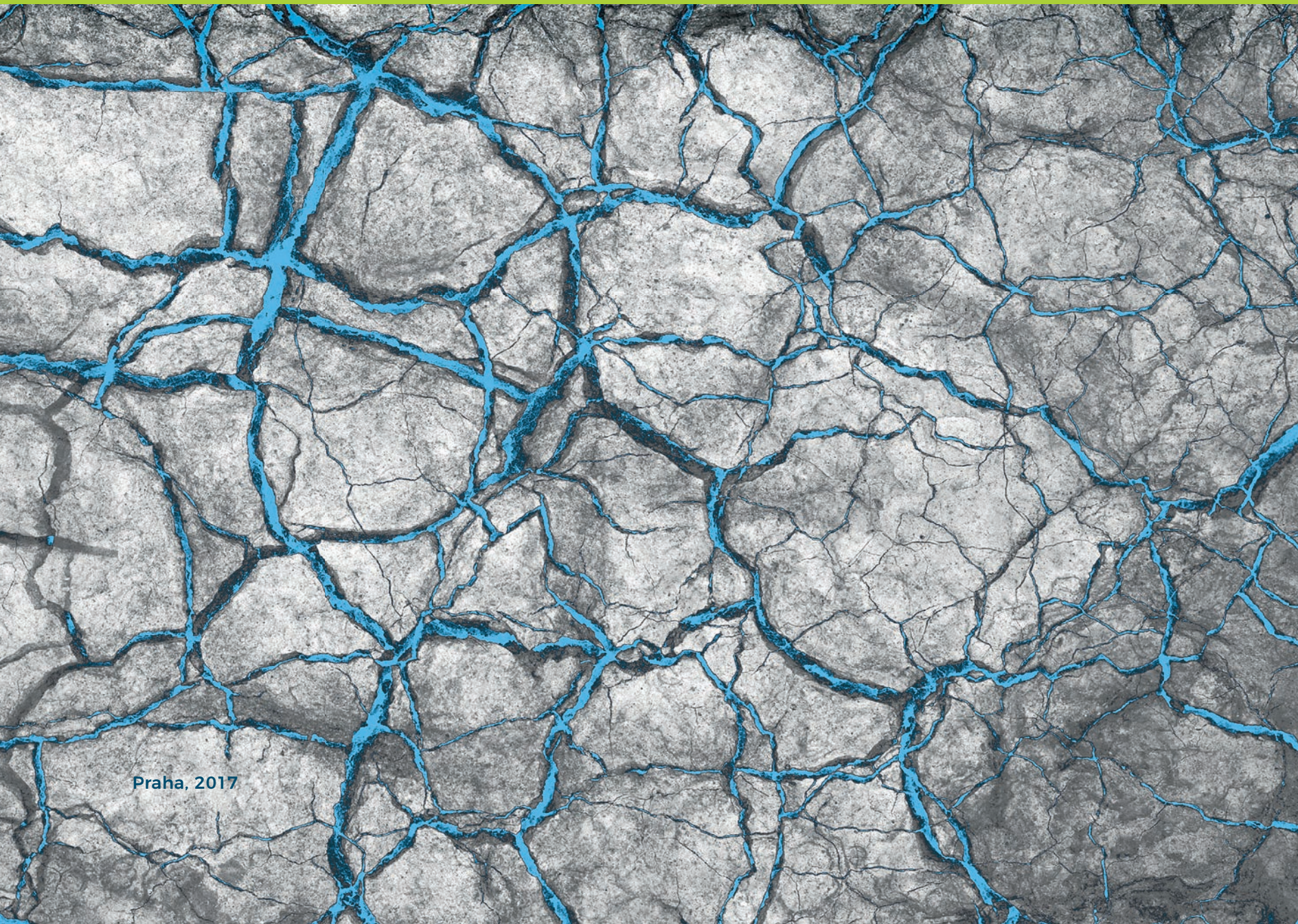
Tomáš Kvítek a kolektiv

RETENCE A JAKOST VODY V POVODÍ VODÁRENSKÉ NÁDRŽE ŠVIHOV NA ŽELIVCE

Význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika



Praha, 2017

POVODÍ VLTAVY

DESIGN

Tomáš Kvítek a kolektiv

RETENCE A JAKOST VODY V POVODÍ VODÁRENSKÉ NÁDRŽE ŠVIHOV NA ŽELIVCE

Význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika

Praha, 2017

© Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, 2017
© prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc., Praha, 2017

ISBN 978-80-270-2488-9

Autorský kolektiv

Český hydrometeorologický ústav
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.

Česká společnost rostlinolékařská
Ing. Jaroslava Čechová

DHI, a. s.
Ing. Pavel Tachecí, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
† Ing. František Doležal, CSc.
Ing. Pavel Fuksa, Ph.D.
doc. Ing. Josef Hakl, Ph.D.
Ing. Zuzana Hrevušová, Ph.D.
prof. Ing. Miluše Svobodová, CSc.
prof. Ing. Jaromír Šantrůček, CSc.
Ing. Jitka Skalická, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí
Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební
Ing. Miroslav Bauer
doc. Ing. Dr. Tomáš Dostál
Ing. Barbora Jáchymová
doc. Ing. Josef Krása, Ph.D.
doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.

FINGEO, s. r. o.
RNDr. Svatopluk Šeda

Krajský pozemkový úřad pro Plzeňský kraj
Ing. Václav Mazín, Ph.D.

Povodí Vltavy, státní podnik
RNDr. Karel Forejt
Ing. Dana Goldsteinová
Ing. Michal Krátký
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta
doc. RNDr. Ivan Bičík, CSc.
Mgr. Martin Hložek
prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.
prof. RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.
RNDr. Luděk Šefrna, CSc.
RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.
Mgr. Lukáš Vlček

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Mgr. Jakub Dobiáš
Ing. Věra Fadrhonsová
Ing. Zora Lachmanová, Ph.D.
Ing. Václav Lochman, CSc.
Mgr. Kateřina Neudertová Hellebrandová, Ph.D.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.
Ing. Renata Duffková, Ph.D.
Ing. Petr Fučík, Ph.D.
Mgr. Markéta Kaplická
Ing. Jana Konečná, Ph.D.
doc. Ing. Zbyněk Kulhavý, CSc.
Mgr. Igor Pelíšek, Ph.D.
Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta
doc. Ing. Jakub Brom, Ph.D.
Ing. Václav Bystřický, Ph.D.
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

Další spoluautoři
Ing. Karel Břetislav Březina
Mgr. Martin Lexa, Ph.D.
Alena Homolová (mapové podklady)

Vědecký redaktor

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
prof. Ing. Jan Vašák, CSc.

Recenzenti

Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.
Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí oddělení hydrologie a životního prostředí

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
prof. Ing. Jan Šálek, CSc.

Editor

Povodí Vltavy, státní podnik
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

Poděkování

Editor díla si je vědom zcela nezastupitelné role Povodí Vltavy, státního podniku při přípravě této publikace. Je třeba poděkovat především generálnímu řediteli RNDr. Petru Kubalovi za vytvoření podmínek pro tvorbu tohoto díla a současně i Ing. Michalu Krátkému, vedoucímu útvaru povrchových a podzemních vod generálního ředitelství, za důvěru a podporu při přípravě knihy a dále za odbornou korekturu legislativních a právních pojmů ve všech kapitolách monografie.

Poděkování míří i ke všem autorům a spoluautorům jednotlivých kapitol, všem co vytvářeli korektury a grafické práce v dostatečné kvalitě, za jejich práci a snahu vytvořit důstojné dílo, které snad vydrží být aktuální delší dobu než jen jeden „slepičí (k)rok“.

Obsah

ÚVOD

Entrée RNDr. Petra Kubaly, generálního ředitele Povodí Vltavy, státní podnik - - - - - 11
Předmluva recenzenta Ing. Miroslava Tesaře, CSc. - - - - - 12
Předmluva recenzenta prof. Ing. Jana Šálka, CSc. - - - - - 13
Předmluva editora a spoluautora knihy prof. Ing. Tomáše Kvítka, CSc. - - - - - 14
Počáteční zamyšlení - - - - - 15

1. KAPITOLA
ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA POVODÍ - - - - - 19
1.1 Charakteristika a význam vodárenské nádrže Švihov na Želivce pro zásobování obyvatel pitnou vodou - - - - - 21
1.2 Klimatologická charakteristika území - - - - - 24
1.3 Pedologické a hydropedologické charakteristiky půd - - - - - 31
1.4 Hydrogeologické poměry - - - - - 39
1.5 Geomorfologická charakteristika - - - - - 50
1.6 Charakteristika vodních útvarů v povodí - - - - - 55
1.7 Hydrologické poměry v povodí - - - - - 57
1.8 Odvodňovací stavby v povodí - - - - - 63
1.9 Dlouhodobý vývoj využití ploch v povodí - - - - - 69
1.10 Vývoj zemědělského obhospodařování půdy v zájmovém území - - - - - 83
1.11 Ochranná pásma vodního zdroje - - - - - 96

2. KAPITOLA
VODNÍ REŽIM KRYSTALINIKA - - - - - 101
2.1 Cesty a velikost odtoku povrchových a podpovrchových vod - - - - - 103
2.1.1 Faktory a mechanismy ovlivňující povrchový a podpovrchový odtok - - - - - 103
2.1.2 Velikost retence vody v půdním profilu - - - - - 109
2.1.3 Cesty odtoku vody před a po odvodnění - - - - - 111
2.1.4 Velikost povrchového a podpovrchového odtoku ve vazbě na vývoj a změnu struktury krajiny - - - - - 113
2.2 Infiltrační oblasti a jejich vliv na vodní režim malých povodí - - - - - 119
2.2.1 Metody určení infiltračních (zdrojových) oblastí hypodermických vod - - - - - 120
2.2.2 Evapotranspirace jednotlivých geomorfologických oblastí - - - - - 128
2.3 Doba zdržení vody v systému půda–hornina - - - - - 131
2.3.1 Teplotní režim drenážních vod a pramenních vývěrů - - - - - 131
2.3.2 Doba zdržení vody v systému půda–hornina - - - - - 135

3. KAPITOLA
JAKOST VODY A ODNOSY LÁTEK V POVODÍ - - - - - 139
3.1 Jakost vody a odnosy látek na přítocích do vodárenské nádrže - - - - - 146
3.2 Jakost vody a odnosy látek povrchového odtoku při srážkoodtokových událostech - - - - - 156
3.3 Jakost vody a odnosy látek podpovrchového odtoku - - - - - 173
3.4 Jakost podzemních vod - - - - - 198
3.5 Jakost vody lesních porostů - - - - - 205

4. KAPITOLA
SHRNUTÍ DŮVODŮ PRO ZVYŠOVÁNÍ RETENCE VODY NA ZEMĚDĚLSKÉM PŮDNÍM FONDU - - - - - 213

5. KAPITOLA
PŘÍRODĚ BLÍZKÁ A TECHNICKÁ OPATŘENÍ KE ZLEPŠENÍ JAKOSTI VODY NA ZEMĚDĚLSKÉM PŮDNÍM FONDU - - - - - 219
5.1 Výběr vhodných lokalit a retenčních opatření ke zlepšování jakosti vody na zemědělském půdním fondu - - - - - 221

ZÁVĚREČNÁ ÚVAHA - - - - - 235

SEZNAM ZKRATEK - - - - - 239

SLOVNÍK POJMŮ - - - - - 245

BIBLIOGRAFIE - - - - - 257

ÚVOD

Entrée

RNDr. Petra Kubaly

generálního ředitele Povodí Vltavy, státní podnik,
předsedy představenstva Svazu vodního hospodářství ČR, z.s.
a prezidenta Mezinárodní komise pro ochranu Labe

„Voda. Čistá voda, pitná voda. Jakou chuť má vlastně čistá voda? Zkoušet to někomu vysvětlovat je stejně pošetilé, jako snažit se vysvětlit, proč někoho milujeme. Ale zatímco tisíce lidí dokážou žít bez lásky, nikdo na světě nedokáže žít bez vody…“

Nemůžeme se chovat tak, aby při různých našich aktivitách docházelo k znehodnocování či ohrožování vodních zdrojů, a to jak z hlediska jejich množství, tak i z hlediska jejich jakosti.

Plošné zdroje znečištění ze zemědělské výroby jsou významným zdrojem znečištění našich vodních toků, rybníků i vodních nádrží, včetně těch vodárenských, které jsou určeny výhradně pro zásobování obyvatel pitnou vodou. Po roce 1990 se naše společnost orientovala zejména na problematiku eliminace bodových zdrojů znečištění povrchových vod. V této souvislosti je třeba konstatovat, že se odvedl obrovský kus práce a jakost vody ve vodních tocích se výrazně zlepšila. Nyní čeká naši společnost další podobný úkol včetně jeho realizace v praxi, a to řešení problematiky plošných zdrojů znečištění ze zemědělské výroby. Dostatek kvalitní pitné vody, ochrana lidského zdraví a současně i rozvoj celé naší společnosti jsou závislé na dostatečném množství neznečištěné vody.

Cílem publikace je seznámit odbornou i laickou veřejnost mimo jiné s poznatky týkajícími se pohybu vody v půdě, příčinami kontaminace povrchových i podpovrchových vod dusičnany i pesticidy, včetně toho, jaké možné způsoby a směry hospodaření na půdě mohou tyto jevy omezovat. V zásobování obyvatel pitnou vodou nelze spoléhat pouze na to, že velké vodárenské nádrže na pitnou vodu lze vybavit kvalitními systémy čištění vody. I tato skutečnost má své hranice. Důležité je realizovat konkrétní opatření přímo v povodí vodních toků, v povodích vodárenských nádrží. Nesmíme zapomínat na skutečnost, že ne všichni spoluobčané jsou zásobováni z vodovodních řadů, často jsou to místní mělké vrty a studně, které jsou nejvíce náchylné na znečištění právě z plošných zdrojů znečištění.

Stanovištní podmínky, ve kterých hospodaří český zemědělec, nejsou moc příhodné pro ochranu jakosti vody a současně i pro retenci vody na zemědělském půdním fondu. Ukazuje se, že současné velké půdní bloky a monokultury na nich by i při optimálním zacházení s půdou nebyly schopny při srážkách s vyšší jak dvouletou pravděpodobností výskytu zadržet vodu na povrchu půdy a v půdě a eliminovat jak erozi půdy, tak i vyplavování živin z půdního profilu. Z dlouhodobého hodnocení celkového odtoku vody z malých povodí se systematickou drenáží vyplývá, že přes 40 % vody nám odtéká podpovrchově drenážními systémy. Tato voda je pak nenávratně ztracena pro další využití na polích a je často kontaminována dusičnany a pesticidy. Je evidentní a prokázáno, že na zemědělských pozemcích chybí přírodě blízká i technická opatření k zabránění, snížení či dokonce odstraňování kontaminace povrchových a podpovrchových vod. Za velmi důležité považuji tu skutečnost, že autoři v publikaci neshrnuli jen a jen teoretické poznatky, ale soustředili se v závěru publikace i na prezentaci komplexního propojeného systému retence vody, čištění vody pomocí trvalých travních porostů a mokřadů a následné akumulace vody v malých subpovodích. Pokud by se takový komplexní systém opatření realizoval na zemědělském půdním fondu, měl by zcela jistě pozitivní vliv na množství a jakost vody nejen v krajině, a to zejména v období, které postupně začíná, kdy dochází k častějšímu střídání extrémních hydrologických jevů, jako jsou přívalové srážky a sucho. Odborná a vědecká komunita v oblasti znečištění z plošných zemědělských zdrojů českým zemědělcům i vodohospodářům mnoho dluží. Je to určitě dáno i tím, že realizace potřebných opatření, která přinesou pozitivní výsledky, je na rozdíl od řešení problematiky bodových zdrojů časově náročná a dlouhodobá. Výsledek neuvidíme hned. Proto pokládám za pozitivní, že kolektiv autorů moha univerzit i výzkumných ústavů zpracoval publikaci o retenci a jakosti vody, která je kompaktním uceleným dílem a která si všímá okolností a podmínek, které zapříčiňují kontaminaci vody povrchové i podpovrchové. Jedná se o komplexní práci mnoha zemědělských, vodohospodářských i přírodovědných odborníků, která by mohla nejen jim, ale i ostatním ukázat souvislosti pohybu vody na zemědělském půdním fondu ve vztahu k její kontaminaci. Poznatky uvedené v této monografii nemusí platit pouze pro zemědělský půdní fond v povodí naší nejvýznamnější vodárenské nádrže Švihov na Želivce, ale mohou být uplatněny i v jiných částech území České republiky. Uvědomění si všech souvislostí týkajících se vyplavování živin a pesticidů z půdy a rychlý odtok vody za srážkoodtokových událostí po povrchu i pod povrchem může i samotným spoluautorům a nejen jim naznačit, kam směřovat další výzkum.

Přejme si, aby tato monografie nezapadla a byla přínosem i motivací pro mnoho našich zemědělských i vodohospodářských odborníků v budoucnosti.

Mějme neustále na paměti, že bez vody to nepůjde…

RNDr. Petr Kubala

Předmluva recenzenta

Ing. Miroslava Tesaře, CSc.

vědeckého pracovníka, vedoucího oddělení hydrologie a životního prostředí Ústavu pro hydrodynamiku Akademie věd ČR, v. v. i.

Široké čtenářské veřejnosti se dostává do rukou nová kniha. Nových knih vzniká každoročně mnoho, ale tato kniha je pozoruhodná, cenná, aktuální a potřebná z mnoha důvodů, z nichž některé se pokusím stručně zmínit. Pozornost je totiž zaměřena na vodu a na půdu. Nutno přiznat, že lze nalézt i četné publikace zabývající se vodou a půdním pokryvem. Neznám však žádnou, která by se detailně zabývala synergickým působením obou uvedených složek biosféry za použití moderních vědeckých metod při využití a vyhodnocení dlouhodobých experimentálních pozorování v uceleném krajinném segmentu. V předložené publikaci se autoři zaměřili na povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, z čehož je patrný další rozměr při nahlížení na recenzovanou publikaci – vodárenská nádrž slouží k zajištění životně důležité tekutiny pro obyvatelstvo. Kromě popisu pohybu vody v půdním prostředí je tedy kladen důraz i na transport látek v nenasycené a nasycené zóně (tedy na kvalitu vody). Navíc poznatky v knize shrnuté jsou částečně zobecnitelné, neboť byly získané v oblasti krystalinika, které pokrývá více než polovinu rozlohy ČR a zabývá se zároveň zemědělským půdním fondem, který rovněž představuje nadpoloviční většinu rozlohy ČR.

Historie naší planety je úzce spjatá s vodou. O vodě, jejím významu a vlastnostech, toho bylo napsáno tolik, že je zbytečné to zde opakovat. Člověk jako živá součást přírody je pochopitelně také svojí existencí závislý na vodě, koneckonců lidské tělo je tvořeno z větší části rovněž vodou (62 až 77 %). Tento obsah je třeba neustále udržovat. Lidé potřebují stále více vody. Každý rok lidstvo spotřebuje 3 800 km^3 sladké vody (tj. vody s obsahem solí < 0,5 g/l), z toho 70 % je užito v zemědělství, 20 % v průmyslové výrobě a 10 % v domácnostech. Voda na Zemi se pohybuje působením sluneční energie, gravitační síly, Coriolisovy síly a dalších faktorů různou rychlostí v prostoru a čase. Tento nepřetržitý cyklus střídání místa výskytu a změny stavu vody, nazývaný jako hydrologická bilance, představuje nejmohutnější látkový oběh na naší planetě. Jako první, kdo pozoroval a popsal vodní bilanci, bývá udáván Leonardo da Vinci (1452–1519), který formuloval myšlenku, že: „Voda je hnací silou celé přírody“ a publikoval „Pojednání o vodě“ (Kodex Leicester) s popisem hydrologického cyklu.

Druhou složkou biosféry podrobně v knize popisovanou, je půda, přesněji řečeno porézní půdní prostředí nacházející se mezi povrchem půdy a nepropustnou vrstvou. Význam půdy pro život na Zemi je, stejně jako je tomu u vody, nezměrný a ničím nenahraditelný. Především je půda stanovištěm rostlin, a tím rovněž zabezpečuje akumulaci sluneční energie. Definice půdy uvádí, že půda je přírodní útvar vzniklý na rozhraní litosféry s atmosférou nebo s hydrosférou součinností pedogenetických faktorů procesem pedogeneze. Pomineme-li strohou definici, můžeme lakonicky konstatovat, že půda jako nositelka rostlinného krytu rovněž poskytuje životní prostor a obživu podstatné části všeho živého na Zemi, člověka zejména. Jestliže spisovatel Izaak Walton (1594–1683) básnicky vodu definoval „vodu jako skladiště přírody, do kterého ukládá své zázraky“, můžeme my parafrázovat „půdu jako úložiště vody a transformátor srážek na odtok“.

V dnešní době už nikdo zřejmě nebude zpochybňovat nutnost zachování zdrojů vody (v dostatečném množství a kvalitě) a většina lidí se snad nechá přesvědčit i o tom, že to nebude možné bez plošně dostatečného funkčního půdního fondu. V každodenním životě však zůstává rozum stát nad tím, jak málo jsme pro to ochotni udělat, či lépe řečeno, jak mnoho jsme schopni dělat proti tomu (averze vůči ochraně lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod a redukce jejich počtu, nevratný nesmyslný zábor mnohdy úrodné půdy budováním skladovacích prostor, zpevněných ploch, fotovoltaických elektráren apod.).

Od dob renesančního vědce a umělce Leonarda da Vinciho, který řekl: „Známe více o pohybu nebeských těles než o půdě pod nohama“, se znalosti o pohybu vody a transportu látek v nenasycené zóně sice značně prohloubily, přesto však zmíněný citát nepozbývá na pravdivosti a transportní procesy ve vadózní zóně půdy nejsou stále dostatečně popsány a jejich studium je stále v popředí zájmu mnoha vědeckých institucí. Navíc je téma monografie o to aktuálnější, že klimatologické studie naznačují, že extremalita klimatu se bude zvětšovat (tedy i frekvence extrémních hydrologických jevů, jakými jsou povodně a sucha), a je tedy nanejvýš nutné se zabývat vodním režimem povodí a tedy i vodním režimem půd v nenasycené oblasti, kde se odehrávají lidskému oku sice skryté, ale o to dramatičtější procesy transformace srážek na odtok. Již zmiňovaný Leonardo da Vinci napsal: „Největší řeky tečou pod zemí“ (Kodex Atlanticus) a editor předložené monografie na několika místech shodně s ním píše o „podzemních vodotečích“.

Předloženou práci vysoce oceňuji díky poctivému zpracování řešené problematiky, kdy se autoři zabývají retencí vody v krajině a možnostmi jejího zvýšení pomocí přírodě blízkých opatření, ale zároveň poctivě přiznávají limity tohoto přístupu. Zjednodušeně řečeno: zvýšení retence vody v krajině je nanejvýš potřebné a zřejmě přispěje k zlepšení vodního režimu půd a zmírnění následků zemědělského sucha. Není však možné tímto přístupem omezit či dokonce eliminovat sucho hydrologické, tedy nízké průtoky ve vodotečích. To může být řešeno pouze za pomoci vodních nádrží, ať už stávajících nebo realizovaných v lokalitách vhodných pro akumulaci povrchových vod. Předložená práce je obdivuhodná svým záběrem a nebylo by nikdy možné ji vypracovat, kdyby řešitelský tým nevycházel z desítek let trvajícího experimentálního výzkumu. Je třeba ocenit práci nejen jednotlivých spoluautorů, ale zejména vynikající práci koordinátora a editora, kterému se podařilo sumarizovat všechny podstatné výsledky a výstupy mnohdy rozsáhlých a časově i finančně náročných vědecko-výzkumných etap vycházejících z hodnocení dlouhodobých náročných polních experimentů do relativně kompaktní a stručné monografie, při zachování její čtivosti, rozumného rozsahu a srozumitelnosti předložených sdělení.

Na závěr si dovolím vyslovit přesvědčení, že předložená kniha si najde svůj okruh čtenářů a osloví širší veřejnost, kterou přesvědčí o tom, že vodu opravdu potřebujeme, a proto je třeba ji šetřit, zadržovat a akumulovat, a to jak v půdě, kde eliminuje či aspoň zmírní půdní sucho a umožní naši obživu, tak i ve vodních nádržích, kde přispěje k minimalizaci sucha hydrologického a zajistí zásobování obyvatelstva vodou. A pro to budeme muset všichni něco udělat a možná i obětovat.

Předmluva recenzenta

prof. Ing. Jana Šálka, CSc.

externího spolupracovníka VUT v Brně, Fakulty stavební, Ústavu vodního hospodářství krajiny

V současné době jsme svědky mnoha změn v koloběhu vody v přírodě, rozšiřování suchých oblastí, klesání hladin podzemní vody aj. Člověk ovlivňuje tyto změny kladně i záporně. Některé změny je člověk schopen předvídat, připravovat se na ně, mnohé jsou mimo jeho možnosti. Změny v distribuci vody jsou dávány do souvislosti se změnou klimatu. Na našem území jsme se dopustili v druhé polovině 20. století mnoha prohřešků v hospodaření s vodou, zejména v urychlování odtoku, neekologickém nakládání s vodami, nevhodnými změnami v hospodaření na zemědělských půdách, lesích, urbanizovaném prostředí aj. Rozhodujícím zdrojem vody v krajině jsou srážky, které se po dopadu na povrch krajiny transformují na povrchový, hypodermický a podzemní odtok. Část srážek se zachytí intercepcí na povrchu vegetace, část infiltruje do půdy a akumuluje se v půdním a geologickém prostředí, určitá část se převede evapotranspirací do ovzduší. Úspěšné vyřešení vodního hospodářství krajiny vyžaduje získání kvalitních podkladů územních, zemědělsko-výrobních, hospodářských, ekonomických, ekologických, lesnických, geodetických, meteorologických a klimatických, hydrologických, hydropedologických, inženýrsko-geologických a hydrogeologických, fyto- a zoocenologických, vodohospodářských, sociálních, kulturních aj.

Je nezbytné aktualizovat a modernizovat stávající metody posuzování, vyvíjet nové postupy hodnocení, navrhovat nové a přesnější matematické modely, využívat znalosti a zkušenosti v řešení této problematiky i ze zahraničí. Rozhodně se v současnosti nevystačí s jednoduchým prakticismem.

Předložená publikace „Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce" je první, komplexně řešenou prací zaměřenou na přesně definované povodí Želivky s cílem získat kvalitní podklady orientované na nové způsoby hospodaření vodou a retenci vody v povodí, zvýšení jakosti vody a definování činitelů, kteří ji ovlivňují.

Publikaci zpracovala na velmi dobré odborné úrovni řada špičkových specialistů z mnoha renomovaných ústavů, vysokých škol a institucí zabývajících se po mnoho let výše citovanou problematikou. Výsledky jsou produktem podrobného průzkumu na místě samém, výstavbou a výzkumem na experimentálních subpovodích vybavených kvalitními měrnými zařízeními, která umožňují zkoumání a řešení dílčích problémů. Při zpracování autoři vycházejí z podrobného průzkumu zaměřeného na základní charakteristiky povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, jejíž součástí jsou základní technické informace, mapové a fotografické podklady. Na tuto úvodní část navazuje stanovení klimatologické charakteristiky povodí, pedologických, hydropedologických a hydrogeologických poměrů, geomorfologická charakteristika, popis vodních útvarů v povodí a podrobně zpracované hydrologické údaje, způsob uspořádání odvodňovacích staveb v povodí aj. Autoři vycházeli z dlouhodobého vývoje a využívání povodí charakterizovaného ukazateli, kterými jsou vývojový index, řetězový index, index změny, koeficient antropogenního ovlivnění v povodí. Důležité je zpracování vývoje zemědělského obhospodařování v zájmové oblasti, metody a způsoby stanovení ochranných pásem.

Autoři podrobně zpracovali vodní režim povodí, sledují cesty proudění vody, zjišťují velikost odtoku povrchových a podpovrchových vod, zkoumají infiltrační oblasti a jejich vliv na vodní režim malých povodí. Podrobně jsou zpracovány metody určení infiltračních oblastí a doby zdržení vody v systému půda – geologické podloží, stanovení infiltračních oblastí. Autoři hodnotí jejich vliv na vodní režim malých povodí, určují infiltrační oblasti hypodermických vod.

V předložené publikaci je podrobně zpracována problematika jakosti vody. Autoři uvádějí schémata cyklu dusíku a fosforu v podmínkách povodí. Zaměřují se na celkovou jakost vody, odnosy NO^{-3}, P_{celk}, NL na přítocích i při mimořádných srážkoodtokových událostech. Vycházejí ze zhodnocení ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí. K tomuto účelu používají podrobně ověřený model WATEM/SEDEM, definují přípravu vstupních dat a konečné výsledky předkládají v tabelární a mapové formě.

Součástí předložené práce je pečlivě zpracované stručné shrnutí dosažených výsledků a doporučení využití získaných poznatků v praxi. Autoři doporučují přírodě blízká a technická opatření ke zlepšení jakosti vody na zemědělském půdním fondu a komplex základních opatření, kterými je možné docílit významné změny v retenci vody a její jakosti v povodí. Tato opatření spočívají ve výběru vhodných lokalit pro retenční opatření na zemědělském a lesním půdním fondu, v návrhu zasakovacích zařízení, stabilizaci drah soustředěného odtoku, využití regulační drenáže a zejména malých vodních nádrží aktivizačních, stabilizačních, akumulačních, infiltračních aj. Významnou roli při řešení této problematiky mají řízené umělé, ale i přírodní mokřady, jejichž problematika je v podmínkách ČR propracovaná včetně řízení odtoku a úpravy jakosti vody.

Publikace je doplněná podrobným seznamem literatury zabývající se problematikou ochrany a organizace povodí. Další součástí publikace je podrobný seznam pojmů doplňujících terminologii uvedenou v ČSN 75 0140. Doporučuji rozpracovat opatření pro pokračující výzkumná šetření, která by navazovala na dosažené výsledky.

Předložená publikace má vysloveně vědecký charakter, přináší značné množství informací využitelných i při řešení problematiky vodního hospodářství vodárenských povodí na Českomoravské vrchovině s charakterem krajiny blízkým povodí Želivky. Poznatky uvedené v publikaci jsou obecně využitelné v praxi, zejména při návrhu opatření na ochranu jakosti vod v oblastech jímání povrchových vod z vodních toků a podzemních vod. Jedná se o podklady, které odborná veřejnost doposud postrádá, kterými jsou výsledky výzkumu zaměřené na kontaminaci povrchových a podzemních vod pesticidy, nevhodně aplikovaná průmyslová hnojiva a organická hnojiva z živočišné výroby.

Za pracovníky praxe bych se velice přimlouval o zpracování stručné příručky nebo metodiky, v níž by byly shrnuty poznatky z výzkumu uvedené v předložené publikaci a stručné návody na jejich využití doplněné o konkrétní příklady.

Přeji této svým způsobem unikátní publikaci při zavádění mnoha nově získaných poznatků v praxi mnoho úspěchů. Autorům přeji mnoho energie, sil a úspěchů při dalším doplňování a prohlubování znalostí v této problematice.

Vidět svět takový jaký je,
a potom jej milovat
– to je to největší umění.

Čínská moudrost

Předmluva editora

prof. Ing. Tomáše Kvítka, CSc.

spoluautora knihy, specialisty Povodí Vltavy, státní podnik,
profesora Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Zemědělské fakulty, katedry krajinného managementu,
člena předsednictva Odboru vodního hospodářství ČAZV

Vážení čtenáři, kniha, kterou držíte v ruce, a právě se ji chystáte číst, je výsledkem a završením dlouhodobé systematické práce celé řady významných odborníků České republiky z mnoha vědních oborů. Jedná se o natolik komplexní problematiku, že i název práce má podtitul. Zkrácení původního názvu, který je jinak velmi výstižný, bylo vedeno snahou v dnešní „zrychlené a často i povrchní" době nezahltit čtenáře hned zpočátku mnoha termíny.

Poznatky byly čerpány jak z výzkumných projektů vedených samotnými autory, tak i z jejich publikací v zahraničních i v domácích periodikách. Nevýhodou těchto samostatných publikací je velká roztříštěnost získaných nových poznatků, které doposud nebyly shrnuty, a v této formě i rozsahu souhrnně publikovány. Cílem publikace je odborné veřejnosti zpřístupnit nejnovější, ale i starší výzkumné poznatky, které by dokumentovaly nejen vývoj poznání v dané oblasti, ale pomohly by i určit nové směry výzkumu. Jsme si vědomi toho, že časem i tyto poznatky, zde prezentované, budou překonány, ale je čas a hlavně snaha přinést i ucelenější pohled na problematiku znečištění vody z plošných zemědělských zdrojů. Současně se vytváří i příležitost, aby na tyto poznatky někdo v budoucnu mohl navázat a neopakoval již zjištěné. Výsledky zde publikované z povodí naší nejvýznamnější vodárenské nádrže lze částečně zobecnit i na ostatní oblasti krystalinika České republiky.

Jak vzápětí zjistíte, současný vodní režim zemědělsko-lesní krajiny, resp. malých subpovodí zásadně a významně ovlivňuje jakost vody malých i velkých vodních toků. Lze konstatovat, že současné plošné zdroje zemědělského znečištění se projevují v povodích velmi negativně a významně ovlivňují jakost vody. Znečištění z plošných zdrojů je silně závislé jak na dlouhodobých srážkách, tak i na extrémních srážkoodtokových událostech. V obecné rovině lze konstatovat, že největšími zdroji plošného zemědělského znečištění jsou eroze (sedimenty a na ně navázané látky) a vody z drenážních systémů obsahující metabolity pesticidů, dusičnany, resp. potenciálně veškeré látky rozpustné ve vodě, které nevytvářejí pevnou vazbu s minerálními půdními částicemi, a které jsou nebo budou aplikovány na zemědělskou půdu.

Jak odnos půdy erozí, tak i látky vyplavované z půdy a zachycované drenážními systémy jsou vázány především na odtok vody. Vždy, když nastanou extrémní meteorologické podmínky, většina z nás si začne uvědomovat, že v krajině probíhají procesy, které nejsme schopni v současné době dostatečně efektivně regulovat. Naše krajina je totiž ve stavu, kdy dlouhodobě neřešené problémy s retencí vody, tedy krátkodobým zadržením vody, způsobují povodně, sucho, pokles hladin podzemních vod. Malá retence vody na zemědělském půdním fondu zapříčiňuje i zhoršenou jakost vody ve vodních tocích a vodních nádržích.

Eroze půdy a odtékající voda z drenážních systémů jsou tak dnes v ČR chápány jako největší problémy současné zemědělské krajiny. Drenážní systémy jako takové odnášejí více znečišťujících látek (dusičnany, pesticidy) než erozní smyvy. Odtok vody z nich je na velkém rozsahu odvodněných ploch celoroční. Eroze je vidět, je medializována, je to vždy senzace vidět fotografie a reportáže o „bahnu a vodě" na náměstích. To co nám škodí na zdraví (pesticidy a dusičnany) ve vodách snad veřejnost nevnímá ani jako problém. Někde nám tedy uniká podstata problémů. V informovanosti, v nechuti věci řešit? Jakost vody v drenážních systémech můžeme snížit buď omezením aplikace látek na půdu, nebo zvýšením retence vody. Koncentrace různých pesticidů vyplavovaných z půdního profilu do drenážních vod někdy ukazují na nepořádky v zemědělství. Současně ukazují jak na snižování půdního profilu erozí, tak i na malou technickou „vodohospodářskou vybavenost" zemědělských pozemků.

Kniha je rozdělena do mnoha kapitol a subkapitol. Přehledové kapitoly, popisující a postihující většinou celou plochu povodí a dávající dostatečný přehled o všem co vše se za mnoho let stalo v povodí vodárenské nádrže, jsou podány v první kapitole. Tato kapitola tedy shrnuje poznatky o minulém a současném dění v povodí a lze konstatovat, že takové komplexnější shrnutí prozatím pro povodí VN Švihov na Želivce doposud chybělo. Druhá kapitola je zaměřena na vodní režim krystalinika, především na shromáždění ucelených poznatků o vodním režimu krystalinika, tak jak byly tyto poznatky zhodnoceny mnoha experimentálními šetřeními v subpovodích a povodích. Třetí kapitola pak navazuje výsledky jakosti vody a odnosu látek zjištěnými především v experimentálních subpovodích. Je však pravdou, že takto souhrnně a do hloubky pojatá šetření o jakosti a době zdržení vody v systému půda–hornina není možné v celém povodí VN Švihov na Želivce realizovat, ani financovat. Proto v těchto kapitolách předložené výsledky nepokrývají celou oblast povodí vodárenské nádrže, pouze dlouhodobě sledovaná experimentální subppovodí a lokality. Dokumentují však stav současného hospodaření na zemědělském půdním fondu a současně i riziko odnosu látek vyplývajících ze současného vodního režimu krajiny. Závěrečná čtvrtá a pátá kapitola shrnují, jak dále postupovat v povodí ve vztahu k redukci plošných zemědělských zdrojů znečištění v zemědělsko-lesních povodích IV. řádu. Tato kapitola je souhrnem možných přírodě blízkých i technických opatření, které by bylo nutno kombinovat pro návrhy opatření jak v rámci zhotovování plánů dílčích povodí, tak i při komplexních pozemkových úpravách z důvodu zlepšení jakosti vody v subpovodích a povodích IV. řádu.

prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

Já vím jen o jednom nebezpečí: když vědec přestane pozorovat a umane si dokazovat.

Vercors (Jean-Marcel Bruller)
Francouzský spisovatel a ilustrátor

Počáteční zamyšlení

Tomáš Kvítek

Proč právě retence vody, vyjádřená i v nadpisu knihy, by měla přispět ke zlepšení jakosti vody? Proč ne jen a pouze redukce dávek živin a dalších aplikovaných látek na rostliny. Odpověď je třeba hledat v tom, jak funguje vodní režim krystalinika, odkud a jakými cestami se voda dostává do půdy, do hydrogeologického podloží, do zvodní a následně do vodních toků, jaká je doba zdržení vody v systému půda–hornina a jaké celkové množství vody odtéká po povrchu, kolik vody odtéká podpovrchově a kolik v podzemní vodě.

Retencí vody v hydrologii rozumíme přirozené, nebo umělé krátkodobé zadržení vody v krajině (na zemědělském půdním fondu, v lesích a v tocích, v intravilánu). Tato voda může být dočasně zadržena na povrchu lesního stromoví, travního porostu, křovin, na povrchu půdy, v půdním krytu (tvořeném nadložním humusem a přízemní vegetací), v půdním profilu, v korytě vodního toku, ve vodní nádrži, v suché nádrži, záchytném příkopě a záchytném průlehu atp. Retence vody je důležitým faktorem pro zachycení srážek a transformaci průtokových, jinak též povodňových vln. Větší retencí vody dosáhneme zmenšení okamžitých povodňových průtoků při současném prodloužení doby trvání zvýšených průtoků a v důsledku toho i delší a pravidelnější zásobování odběratelů vodou. Tato definice je jistě správná, ale nevystihuje celou řadu dalších problémů, které snížená retence vody na zemědělském půdním fondu ovlivňuje. Soustřeďuje se pouze na množství vody. Ale i vodní zákon vždy mluví o množství a jakosti vody současně. Rychlý odtok vody, v důsledku nižší retence vody na zemědělském půdním fondu, ovlivňuje velikost povodní – zimní, jarní, letní a přívalové, sucho hydrologické – množství vody v tocích, agronomické – obsah vody v půdě, rychlý odtok vody má vliv na množství zasakující vody skrze půdní profil a tedy ovlivňuje i výšku hladiny podzemních vod. Rychlý odtok vody dále ovlivňuje množství sedimentů ve vodních tocích, vodních nádržích a rybnících i jakost povrchové vody (nerozpuštěné a rozpuštěné látky) a současně i podpovrchové vody (živiny a xenobiotické látky vyplavované z půdního profilu).

Přírodní podmínky České republiky jsou s ohledem na retenci vody velmi nepříznivé na velké části našeho území. Na více než 60 % území se nacházejí krystalické horniny, především ve vrchovinách, pahorkatinách a hornatinách, kde se střídají úzká údolí podél vodních toků se svahy s převýšením od 150 do 600 m. Pokryvem tohoto horninového podloží jsou většinou kambizemě s malou až střední infiltrační kapacitou, která brání intenzivnějšímu zasakování vody při přívalových srážkách. Další problémy si přidělváme způsobem, jakým se zemědělskou půdou zacházíme. Nelze však nic svádět na to, že zemědělská půda má „genetické“ předpoklady pro erozi půdy a rychlý odtok vody. Pokud bychom přijmuli tuto teorii, pak se vzdáváme velké části odpovědnosti za systém, jakým na půdě hospodaříme. Systém hospodaření na orné půdě rozhoduje jen do určité míry o rychlém odtoku vody. Při výpočtech odtoku vody ze subpovodí a odnosu půdy vodní erozí vychází, že již při dvouleté a vyšší srážce je odtok vody a odnos zeminy ze současně obhospodařované zemědělské půdy tak extrémní, že je možno jej zadržet pouze technickými opatřeními, která by měla být především budována na zemědělském půdním fondu (Kvítek a Krátký, 2016). I kdyby však byla celá Česká republika zatravněna, zalesněna nebo takto exploatovány subpovodí, tak by byl koeficient odtoku ze subpovodí na hodnotách od 0,20 do 0,30. Např. při srážce N = 100 (pro stanici Pelhřimov = 99,8 mm) by pak byl celkový odtok vody z 1 ha 200–300 m^3! A to je voda, která v subpovodí často chybí a nese sebou rozpuštěné a nerozpuštěné látky. Proto záměr, který je směrován pouze na zlepšení hospodaření na zemědělském půdním fondu, není dostatečně efektivní ve vztahu k retenci vody. Hospodaření na zemědělském půdním fondu je pouze částí celého problému retence a akumulace vody.

Diskuze, zda jsou v zemědělské krajině z hlediska retence vody (nemluvíme o opatřeních na vodních tocích, ale o opatřeních na zemědělském půdním fondu) vhodnější přírodě blízká nebo technická opatření, jsou velmi zavádějící. Jedny bez druhých, vzájemně nepropojených se vždy potýkají s problémy týkajícími se buď množství, nebo jakosti vody odtékající z povodí. I zde v této problematice, jak obecně uvádí Komárek (2015), se jedná o dvojici protikladů a západní tradice se „monomanicky“ drží jednoho pólu polárního páru, druhý vylučuje. Obě protichůdné polarity jsou stejně cenné, vyrůstají ze společného kořene či vedle sebe navzájem. Pokud se objeví jednoznačná odpověď, není odpovědí, ale počátkem ideologie. Proto ve vzájemném propojení obou pólů je nutno hledat východisko a mělo by být i zamyšlením pro mnoho jednostranně orientovaných ekologických nebo vodohospodářských odborníků. Je vědecky prokázáno, že přírodě blízká opatření (lesy, trvalé travní porosty, mokřady) mají

velmi příznivý vliv na jakost vody. Tato opatření však nejsou schopna zabezpečit v celém rozsahu požadovanou retenci vody ze srážkoodtokových událostí. Technická opatření (ne svodné, ale záchytné průlehy a záchytné příkopy, suché nádrže, rybníky) jsou vhodnými opatřeními k retenci vody, pokud se nepreferuje pouze akumulace vody (dlouhodobé přirozené nebo umělé zadržení vody v povodí) a nezanedbává se retenční prostor vodních nádrží a rybníků. Technická opatření jsou často doprovázena trvalými travními porosty a řeší i jakost vody.

S ohledem na veřejné zájmy při zajišťování správy krajiny je třeba se snažit o přiblížení se následující teoretické zásadě: „Ze zemědělského subpovodí by měla odtékat, i za extrémních hydrologických podmínek, voda v dobré kvalitě a v neškodném množství“. Kvítek (2015) dále definuje principy a zásady propojené ochrany, tedy množství a jakosti vody, retence a akumulace vody na zemědělském půdním fondu následovně:

1. Je třeba zachytit vodu ještě na zemědělských pozemcích, nejlépe v jejich horních nebo středních částech subpovodí, pomocí záchytných liniových technických prvků (např. záchytné příkopy, záchytné průlehy, malé vodní nádrže) s pásy trvalých travních porostů. Zde dojde k sedimentaci nerozpuštěných látek a infiltraci vody. Tato technická opatření musí mít minimálně pasivní systém regulace odtoku vody, aby voda nebyla po zachycení rychle odváděna do vodních toků, rybníků a vodních nádrží.

2. Navazujícím opatřením musí být převod zachycené povrchové vody přes travní porosty a mokřady, kde dojde k využití, resp. transformaci zachycených rozpuštěných látek v půdě a ve vodním prostředí. Zde by měly být vyústěny i drenážní systémy.

3. Následně je možné vodu akumulovat k jejímu dalšímu využití. S tím souvisí i problematika vodních nádrží, rybníků, zasakování vody do hydrogeologické struktury, různé formy závlah, včetně podzemní závlahy podmokem, popř. jiné její využití přečerpáváním do horních částí subpovodí, kde též může voda infiltrovat za vhodných podmínek do hydrogeologické struktury přes travní porosty.

Hydrologické extrémy (povodně, sucha) s následnými negativními důsledky se začaly vyskytovat od roku 1997 častěji. Území ČR zasáhlo devět významných až katastrofických povodní (ztráta 135 lidských životů a škody ve výši přibližně 190 mld. Kč) a také tři výrazná sucha (2003, 2014 a 2015). Vyskytují se i extrémní lokální povodně a s ohledem na současný i očekávaný vývoj klimatu je třeba začít uvažovat o vytváření vodohospodářsky „chytré krajiny“, tedy vodohospodářsky promyšlené krajiny, kde jsou vzájemně propojeny jednotlivá technická a přírodě blízká opatření, tak jak je známe ze zahraničí (Nizozemsko, Izrael). Záplavy a sucho umí tyto dvě země řešit výtečně. My v našem středoevropském regionu jsme zvyklí, že mnoho za nás vyřeší příroda, a proto vodě na zemědělském půdním fondu mnoho péče nevěnujeme. Stačí se podívat na odtok vody z výpustných zařízení některých rybníků. Zde funguje středověk, zde se zastavil čas. Odtok vody je regulován pomocí prkýnek, které nikdo nenastavuje v závislosti na výskytu meteorologických podmínek. A stačilo by málo.

Nutno však přiznat, že zejména v devadesátých a následných letech minulého století díky významným dotačním prostředkům má převážná část významných rybníků modernizovaná výpustná zařízení a tyto vodní nádrže mají bezpečnostní přelivy na 100letou vodu.

Zemědělský půdní fond spolu s lesním fondem je příčinou většiny zde diskutovaných vodohospodářských problémů. Výměra ČR, podle Českého statistického úřadu (ČSÚ) z roku 2015, je 7 886 973 ha, výměra zemědělského půdního fondu 4 212 tis. ha (53,4 %), výměra orné půdy 2 972 tis. ha (oseto je jen 2 591 tis. ha), les pokrývá 2 668 tis. ha (33,8 %) a právě orná půda (37,8 %) představuje území, kde se ve velké míře rozhoduje o suchu, povodních, sedimentech ve vodních tocích a vodních nádržích, rybnících a zhoršené jakosti vody. Zemědělec by měl být ten, kdo se stará o krajinu. Zákon České národní rady č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu v části první I, § 1, odst. (3) definuje, že do zemědělského půdního fondu náležejí též rybníky s chovem ryb nebo vodní drůbeže a nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby, jako jsou polní cesty, pozemky se zařízením důležitým pro polní závlahy, závlahové vodní nádrže, odvodňovací příkopy, hráze sloužící k ochraně před zamokřením nebo zátopou, technická protierozní opatření apod.

Ustanovení § 23 vodního zákona definuje, že plánování v oblasti vod je soustavná koncepční činnost. Jeho účelem je vymezit a vzájemně harmonizovat veřejné zájmy, z nichž je zřejmě nejdůležitější snížení nepříznivých účinků povodní a sucha a udržitelného užívání vodních zdrojů, zejména pro účely zásobování pitnou vodou. Zcela jednoznačně podle ustanovení § 27 vodního zákona jsou vlastníci pozemků povinni, nestanoví-li zvláštní právní předpis jinak, zajistit péči o ně tak, aby nedocházelo ke zhoršování vodních poměrů. Zejména jsou povinni za těchto podmínek zajistit, aby nedocházelo ke zhoršování odtokových poměrů, odnosu půdy erozní činností vody a dbát o zlepšování retenční schopnosti krajiny.

Je proto důležité, aby finanční zdroje ze Společné zemědělské politiky směřující do programu retence a akumulace vody v krajině, tedy k tvorbě přírodě blízkých a k výstavbě technických opatření a jejich údržbě, mířily přímo k investorovi, a tím je zemědělec. Tak jako se každá obec, město starají o své cesty, parky, pozemky, osvětlení, sběr odpadu, tak by ani zemědělec neměl pouze zajišťovat zemědělskou produkci, ale měl by mít starost také o všechny mimoprodukční funkce zemědělství, tedy i o aktivity, související s retencí vody v krajině. Za tuto péči by měl dostat zaplaceno.

Již naši předci si uvědomovali, že pouze přírodě blízká opatření ke zvýšení retence vody v krajině jsou nedostatečná, že je třeba začít budovat retenční opatření i technická. Např. v Ratibořicích (povodí Úpy) na panství Viléma ze Schaumburg-Lippe byl v letech 1842–1848 vybudován důmyslný systém přeronových polí, propustí, přivaděčů a sběrných struh. Ten umožňoval regulovat vlhkost půdy podle potřeby, libovolně ji měnit. Systém zachycoval i vodu při povodních. Tento systém je velmi podobný tomu, co bychom v dnešní krajině potřebovali, ne pouze dílčí jednotlivá opatření, ale systém opatření. Příkladem systémového řešení retence a akumulace vody může být Třeboňsko: kombinace přírodě blízkých opatření: mokřadů a travních porostů a technických opatření: rybníků. Za tento systém můžeme být vděčni Mikuláši Ruthardovi z Malešova, Josefu Štěpánku Netolickému a Jakubu Krčínu z Jelčan a Sedlčan.

Současné české zemědělství tyto zkušenosti zcela a dlouhodobě ignoruje. A to již od roku 1920. Roky 1920, 1948, 2000 jsou tři mezníky, které jen částečně ovlivnily retenci vody v krajině v 20. a 21. století. Současný systém obhospodařování zemědělské půdy má kořeny v době vzniku Československa. Agrárníci se v roce 1920 rozhodovali, jakou cestou obhospodařování půdy se vydat, zda směrem dánského hospodaření (obilí, zornění půdy) nebo holandského (dobytek na maso, louky a pastviny). Tehdejší cena komodit na newyorské burze rozhodla o typu výroby zaměřeném na obilí. Již tenkrát bylo nevědomky rozhodnuto o snížení retenční kapacity půdy, protože rozdíl mezi ornou půdou a travními porosty je asi 7–10 %. Travní porost výrazně omezuje erozi půdy, zlepšuje jakost vody, snižuje odtok vody po povrchu půdy. V té době též existovala malá políčka, nebyly výjimkou louky střídané ornou půdou, meze a remízky, mechanizačními prostředky byli koně. Ale již tehdy začaly vznikat velké celky orné půdy, především však v nížinách, a vlastnili je velcí statkáři. Větší problémy s retencí vody nastaly po roce 1948. V komunistickém systému tvorby krajiny a významné podpoře programu „Soběstačnosti ve výrobě obilovin“ – obiloviny jsou stepní plodinou, která nemá moc ráda vodu, zmizely meze (ty samy o sobě mají sice malou retenční schopnost, ale rozbíjely a zpomalovaly soustředěné proudy vod tekoucích po pozemku), výrazně se začaly zvětšovat bloky orné půdy, na zemědělské pozemky se dostala těžká mechanizace, půdy v povrchové i podpovrchové vrstvě byly utužovány. Zemědělec chtěl mít vždy rychle přístupné pozemky pro orbu, setí a sklizeň. Lesník vyšší přírůstky dřeva. Proto byly v krajině budovány opatření s cílem rychle odvést vodu z povodí svodnými příkopy, vodními toky a drenážemi. Důsledek je tedy vyšší rychlost odtoku vody, vyšší unášecí schopnost vody a větší objemy odtékající vody z orné půdy (oproti tomu, kdyby byly všude travní porosty a les), méně vody pro zasakování do hydrogeologické struktury. Eroze půdy byla do roku 1989 velmi vysoká, po roce 2000 však trend zhoršování retence vody v půdě vyvrcholil. Se zvýšením eroze se snížila hloubka půdního profilu (tedy i retenční kapacita půdy), začaly se ve zvýšené míře aplikovat pesticidy, které mají negativní vliv i na půdní faunu. Ta v půdě vytváří preferenční cesty a umožňuje rychlejší zasakování intenzivních srážek. Za sucho, na které si zemědělci stěžují, si částečně mohou sami – podporou eroze a tedy i rychlejšího odtoku vody z pozemků. Čím menší hloubka půdního profilu, tím menší zásoba vody v půdě využitelná pro rostliny, ale i hydrologické sucho ve vodních tocích. Eroze půdy souvisí i se zcela nesmyslným obhospodařováním zemědělské půdy ve vztahu k její úrodnosti, protože na 74 % orné půdy pěstujeme obilí, řepku a kukuřici. Z krajiny po roce 1992 postupně zmizely pícniny (v současnosti je jich o 21 % méně při porovnání s celkovou výměrou orné půdy) a zelené hnojení, nastoupily technologie bezorebného zpracování půdy (podpovrchové zhutňování půdy).

Diskutována bude i problematika odvodňovacích staveb v povodí, jejich nepříznivý obraz ve společnosti a současně i jejich, odborně pojatý, vliv na vodní režim krajiny a jakost vody. Je třeba se zamyslet nad vnímáním těchto staveb v krajině. Na jednu stranu jsou tyto stavby kritizovány za problém sucha, následně i za odtok vody, když nastanou povodně. Jejich problém mimo jiné tkví jak v necelistvosti vnímání účinků odvodňovacích staveb v celém systému hospodaření s vodou v krajině a zajišťování produkce potravin, tak i v jednostranném ideologickém „zeleném“ vnímání těchto staveb. Vodohospodářská opatření v ploše povodí, které přitom mají největší účinnost (odvodnění mezi ně patří), jsou pak nahrazována snadněji realizovatelnými a provozovanými opatřeními až v dolních částech povodí. A to je pro vodu vždy již pozdě. Neexistuje totiž jednotný systém podpory komplexně pojaté výstavby a komplexní péče o všechny vodohospodářské stavby, odvodnění zemědělských pozemků nevyjímaje, což má za následek výše zmíněné negativní jevy a současně i zanedbávání údržby a problémy při správě těchto staveb.

Od roku 1948 byly v České republice vychovány generace odborníků – vodohospodářů, kteří by mohli a také chtěli komplexně tvořit krajinu, zvyšovat její retenční a akumulační funkci – a výsledek? Stále se komplexní vnímání souvislostí nepodařilo ve vodohospodářské praxi prosadit. Odděleně se řeší dílčí témata – povodně, sucho, vodní eroze, odděleně se nastavují dotační tituly, oddělené je také, což je hlavní problém, vlastnictví a užívání pozemku, vodohospodářské stavby. Copak není patrné, že právě vlastníci a uživatelé půdy sedí na téže větvi, kterou si pod sebou klidně řežou? Je poměrně zřejmé, že tato zemědělská praxe chce zásadní změnu (Kvítek, 2013). V rámci ucelených subpovodí je třeba chránit více složek přírodního prostředí najednou než jen půdu na půdním bloku.

Proto završením této knihy jsou i návrhy a doporučení, jak současnou nevhodně vodohospodářsky obhospodařovanou krajinu revitalizovat, resp. krajinu meliorovat v pravém slova smyslu, které v latině vyjadřuje zlepšování a ochranu.

1. KAPITOLA

Základní charakteristika povodí

Možná, že moji následovníci v tomto bádání odmítnou leckterou moji domněnku jako mylnou. Neměli by však přitom zapomínat, že jsem mohl budovat své závěry pouze na tom materiálu, který jsem měl k dispozici, nikoli na jejich dokonalejších poznatcích, a že právě bloudění pomáhá často k tomu, abychom v neznámé krajině nalezli správnou cestu.

Matyáš Kalina z Jähensteinu
Český archeolog a vědecký spisovatel

Tomáš Kvítek

Základní charakteristika povodí je výchozím, ale i zásadním podkladem k pochopení souvislostí týkajících se vodního režimu krajiny a jakosti vody. Je popisem významných fyzicko-geografických charakteristik povodí naší nejvýznamnější vodárenské nádrže. Jednotlivé fyzicko-geografické charakteristiky povodí jsou dostatečně podrobně popsány, aby zohlednily příčiny a důsledky „zrychleného" pohybu vody po povrchu půdy a skrze půdní profil. Kapitola 1 tak shrnuje mnoho zajímavých, často nových a dosud nepublikovaných poznatků, současně shrnuje v celé šíři jednotlivých kapitol již dnes obecně známé poznatky, které prozatím nebyly celistvě uspořádány. Popsání klimatických charakteristik povodí jednoznačně ukazuje na současný vývoj klimatu, poznatky z pedologie a hydrogeologie, geomorfologie, hydrologie ukazují na význam retence vody na zemědělském půdním fondu, souhrnné poznatky z využití půdy prokazují trendy za posledních více jak 160 let, výzkumy změny vodního režimu půdy odvodněním navazují na celkovou koncepci popisu fyzicko-geografických charakteristik povodí. Vodárenská nádrž Švihov na Želivce se nachází v zemědělsko-lesní krajině Českomoravské vrchoviny, je výjimečná především svým významem pro zásobování mnoha obyvatel pitnou vodou, ale současně i skutečností, že se nachází v oblasti s rozvinutým a intenzivním zemědělským hospodařením. Proto i poslední dvě kapitoly jsou věnovány jak vývoji zemědělského hospodaření v delším časovém úseku, tak i ochranným pásmům v povodí vodárenské nádrže. Je paradoxem doby, že jakost vody je v současné době především ovlivňována plošnými zdroji ze zemědělského hospodaření, které jsou jen velmi obtížně lokalizovány a prokazovány. Přitom ve 40. letech minulého století, kdy začal monitoring jakosti vody v povodí, nic nenasvědčovalo tomu, že právě zemědělství bude významným faktorem ovlivňujícím jakost vody mnoha vodních toků v tomto povodí.

Současně je možno trochu překvapivé konstatovat, že o tak významné a jedinečné vodohospodářské nádrži, jakou jistě je vodárenská nádrž Švihov na Želivce, nebyl doposud napsán takovýto souhrnný text, který by takto podrobné a souhrnné poznatky o fyzicko-geografických charakteristikách povodí dokumentoval. Samozřejmě že není cílem jen pouhý popis stavu fyzicko-geografických charakteristik povodí, ale informace v dalších kapitolách umožňují navázat na tyto základní poznatky a provést hlubší rozbor příčin zhoršené jakosti vody v mnoha subpovodích a povodích IV. řádu. A ty právě vytvářejí „kostru" – základ stavu a vývoje jakosti vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce.

1.1

Tomáš Kvítek

Charakteristika a význam vodárenské nádrže Švihov na Želivce pro zásobování obyvatel pitnou vodou

Svět se změnil. Cítím to ve vodě.
Cítím to v půdě. Cítím to ve vzduchu.
Mnohé, co kdysi bylo, je ztraceno.

John Ronald Reuel Tolkien
Britský filolog a spisovatel

Vodárenské dílo Švihov na Želivce je nejvýznamnější vodárenský zdroj povrchové vody v České republice, bylo postaveno v letech 1965–1975, a to 4,29 km nad soutokem vodních toků Želivky a Sázavy (obrázek 1).

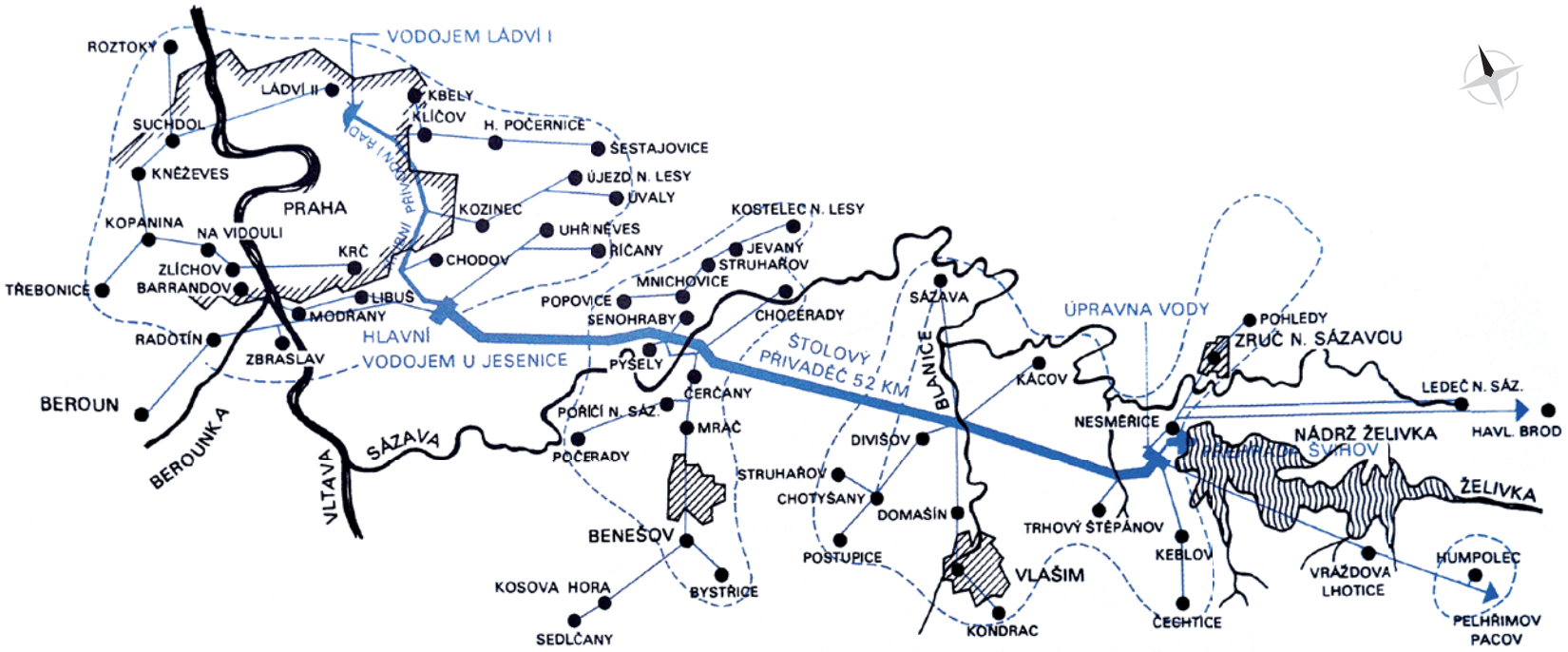
Hlavním účelem díla, jež je nedílnou součástí rozsáhlého vodohospodářského komplexu, je zásobování hlavního města Prahy, středočeské oblasti a části jihočeské a východočeské oblasti pitnou vodou až do výše 5,25 m^3/s (obrázek 2 a 3). Z hlediska objemu povrchové vody v zásobním prostoru i z pohledu odebíraného množství se jedná o největší vodárenskou nádrž nejen v České republice, ale i ve střední Evropě. Při maximální hladině činí celkový objem vodárenské nádrže 309 mil. m^3 při zatopené ploše 1 602,64 ha a délce vzdutí 38 km. Obvod vodárenské nádrže při maximální hladině dosahuje více jak 150 km. Plocha povodí k hrázi vodárenské nádrže je 1 178 km^2, zasahuje na území tří krajů (Jihočeský, Středočeský a Kraj Vysočina) a šesti okresů (Benešov, Havlíčkův Brod, Jihlava, Kutná Hora, Pelhřimov, Tábor). Největšími sídly v povodí vodárenské nádrže jsou města Pelhřimov a Pacov.

Hráz vodárenského díla Švihov na Želivce je přímá, zemní s návodním hlinitým těsněním (foto 1). Založena je na úrovni údolních štěrků, ve svazích je zavázána až 1,5 m pod původní terén. Výška hráze nad základovou spárou dosahuje 58,3 m, šířka hráze v koruně činí 7,0 m a její celková délka 860 m. Celkový objem tělesa hráze představuje 2,342 mil. m^3 nasypaného materiálu.

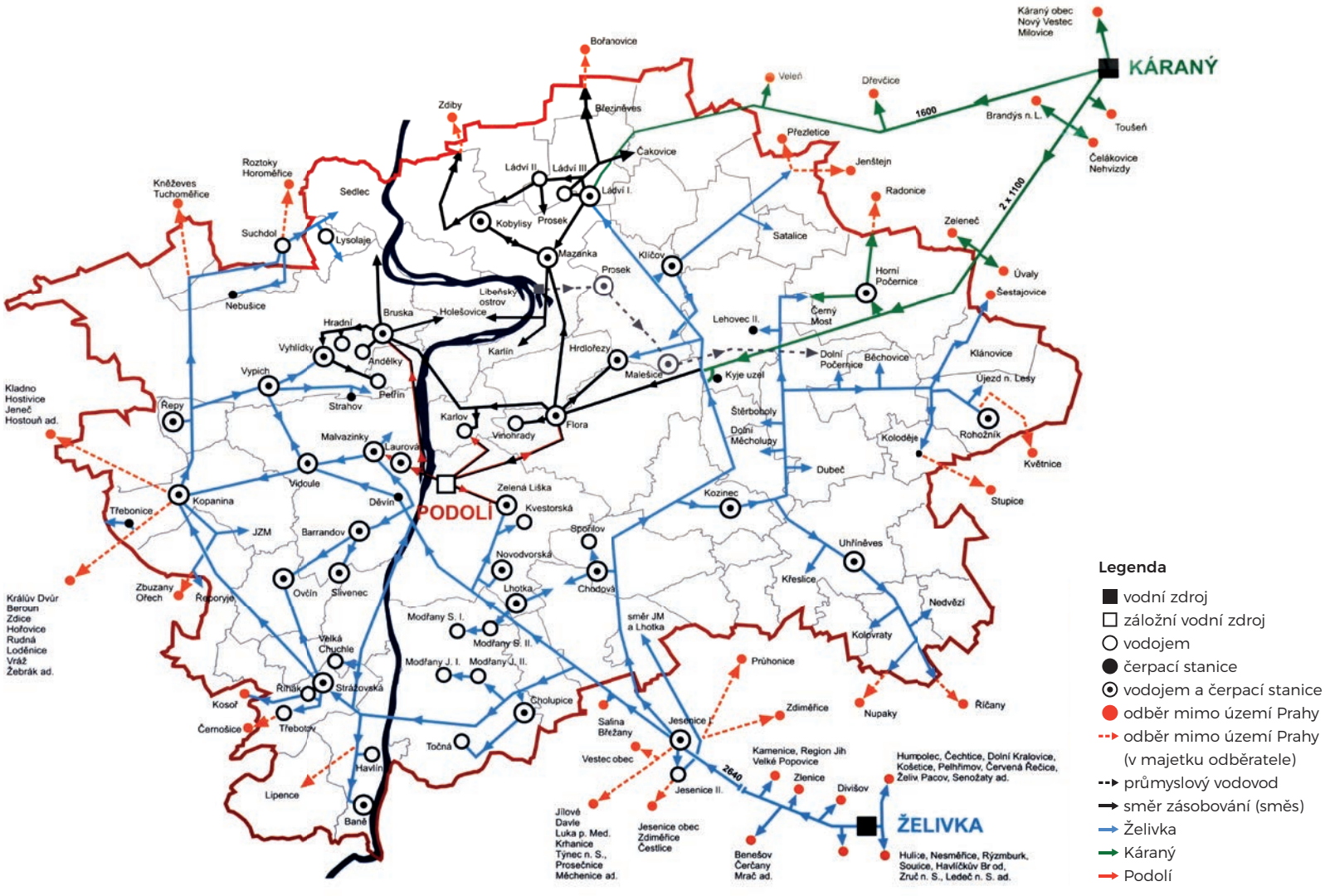
Obrázek 1: Rozmístění vodních děl Trnávka, Němčice, Sedlice a Vřesník. Zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik

Foto 1: Vodárenská nádrž Švihov na Želivce. Zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik

Obrázek 2: Rozvod vody z úpravny vody Hulice u hráze VN Švihov na Želivce.
Zdroj: Archiv Pražské vodovody a kanalizace



Obrázek 3: Rozvod vody z úpravny vody Želivka v Praze.
Zdroj: Archiv Pražské vodovody a kanalizace



Injekční štola sleduje zdravou skálu v podélném směru hráze v celkové délce 580 m. Pod její ochranou byla provedena injektáž skalního podloží. V současnosti slouží štola jako revizní k pravidelnému pozorování a sledování různých hodnot technicko-bezpečnostního dohledu.

Architektonicky zajímavá dominanta sdruženého objektu sestává ze dvou odběrných věží, komunikačního pilíře a bezpečnostního šachtového přelivu.

Odběr vody z vodárenské nádrže je etážový. Pět otvorů v každé odběrné věži rozměrů 1 800 × 1 800 mm po 8,0 m nad sebou umožňuje odběr vody v nejlepší kvalitě z daných horizontů vodárenské nádrže.

Základové výpusti tvoří dvě samostatné větve. První kontrolní uzávěry, umístěné před vtokem, zajišťují ocelové tabule rozměrů 2 500 × 2 700 mm. Druhé rychlouzávěrné tabule rozměrů 1 800 × 1 500 mm jsou ovládány hydraulickými servomotory. Třetím zajištěním výpustí jsou regulační rozstřikovací uzávěry DN 1600, ovládané elektromechanicky. Manipulaci s kontrolními uzávěry a tabulemi vodárenských odběrů umožňuje podvěsný jeřáb o nosnosti 12,5 tuny.

Komunikační pilíř navazuje v horní části na provozní budovu s velínem a rozvodnou, trafostanicí, strojovnou výtahu a limnigrafem. Výtahem, případně schodištěm je zpřístupněna nejnižší část objektu k ovládání a manipulaci rozstřikovacích uzávěrů a asanačního průtoku.

Bezpečnostní šachtový přeliv je vetknut mezi odběrné věže a komunikační pilíř. Přelivná hrana na kótě 377 m n. m. délky 60 m převede při povodni Q1000 transformované retenčním prostorem vodárenské nádrže 384 m³/s, při výšce přepadového paprsku 2,35 m. Usměrňovací žebra v horní části nálevky přelivu způsobí rotaci přepadajícího paprsku vody, jenž padá do svislé šachty průměru 7,50 m do hloubky 49,50 m.

Koleno přelivu navazuje na odpadní štolu podkovovitého tvaru délky 248 m končící vývarem s pěti rozrážeči. Po stranách štoly jsou zabetonována dvě ocelová odběrná potrubí DN 1400.

Koruna hráze je spojena se sdruženým objektem ocelovou tříbokou příhradovou lávkou o dvou polích v celkové délce 127,5 m.

Nedílnou součástí vodárenské nádrže jsou představěné vodní nádrže – Trnávka, Němčice a Sedlice s vyrovnávací nádrží Vřesník, jejichž účelem je v současné době i zachycení splavenin a sedimentů, přinášených vodním tokem horní části Želivky a jejich přítoků – Trnavy a Sedlického potoka, biologické snížení přísunu živin a rozpuštěných i nerozpuštěných látek do vodárenské nádrže (obrázek 1). Součástí tohoto díla je malá vodní elektrárna (MVE) osazená Francisovou turbínou o výkonu 450 kW.

Představěná vodní nádrž Trnávka (foto 2) byla vybudována v letech 1977–1981. Má celkový objem 6,68 mil. m³ při zatopené ploše 98 ha, plocha povodí je 339,40 km², dlouhodobý roční průtok je 2,056 m³/s, hráz je zemní s návodním těsněním, výška hráze je 19 m nad terénem; délka hráze 200 m. Součástí vodního díla je slalomová dráha a malá vodní elektrárna (od roku 1998, instalovaný výkon 165 kW). Vodní nádrž se též využívá pro rekreační účely.

Představěná vodní nádrž Němčice (foto 3 a 4) byla postavena v letech 1975–1980, má celkový objem 1,157 mil. m³ při zatopené ploše 24,71 ha, plocha povodí činí 82,33 km², dlouhodobý roční průtok je 0,445 m³/s, hráz je zemní a výška hráze je 12,20 m nad terénem; délka hráze je 165 m.

Představěná vodní nádrž Sedlice (foto 5) byla vystavěna v letech 1921–1927, celkový objem je 2,22 mil. m³ při zatopené ploše 38,30 ha, plocha povodí je 412,43 km², dlouhodobý roční průtok je 2,576 m³/s , hráz je gravitační a výška hráze je 22,7 m nad terénem; délka hráze je 118 m. Součástí tohoto vodního díla je MVE, se třemi Francisovými turbínami o výkonu 2 159 kW.

Vodní nádrž Vřesník (foto 6) je vyrovnávací vodní nádrž na řece Želivce, která se nachází necelý kilometr východně od Želiva v okrese Pelhřimov v Kraji Vysočina. Byla vybudována během let 1925–1928 na 55,23 říčním kilometru mezi Želivem a osadou Vřesník. Délka hráze v koruně činí 78,7 m. Vodní nádrž slouží k částečnému vyrovnání průtoků pod vodní elektrárnou Sedlice. Od roku 1983 je součástí tohoto vodního díla malá vodní elektrárna, která je osazena třemi Kaplanovými turbínami o výkonu 160 kW. Vodní nádrž se též využívá pro rekreační účely.

Foto 2: Představěná vodní nádrž Trnávka. Zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik

Foto 3: Hráz představěné vodní nádrže Němčice. Zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik

Foto 4: Představěná vodní nádrž Němčice s návodní stranou hráze a s vodní hladinou. Zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik

Foto 5: Hráz představěné vodní nádrže Sedlice za povodně 14. srpna 2002. Zdroj: Kvítek T.

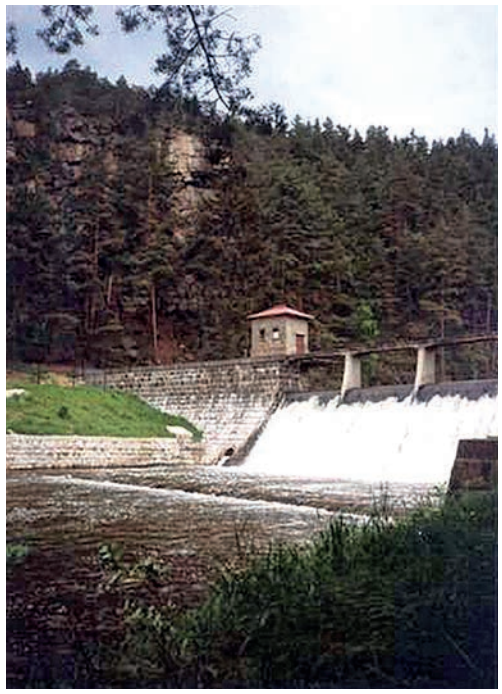


Foto 6: Hráz vyrovnávací vodní nádrže Vřesník. Zdroj: Kvítek T.

1.2

Radim Tolasz
Tomáš Kvítek
Markéta Kaplická

Klimatologická charakteristika území

Slunce nás potěší, déšť nás osvěží, vítr nás povzbudí, sníh nás rozradostní. Neexistuje totiž špatné počasí, jsou jen různé druhy dobrého počasí.

John Ruskin
Anglický spisovatel, básník, vědec

Vodárenská nádrž (VN) Švihov na Želivce leží na rozhraní Středočeského kraje a Kraje Vysočina, větší část povodí je však v Kraji Vysočina. Pro obecnou představu o změnách teplotních a srážkových poměrů v povodí VN Švihov na Želivce lze použít teploty vzduchu a srážky připravené pro Kraj Vysočina (tabulka 1) od roku 1961 (ČHMÚ, 2016). Dlouhodobá (1961–2015) průměrná teplota vzduchu Kraje Vysočiny je 7,3 °C, nejchladnějšími byly s teplotou 5,9 °C roky 1962, 1980 a 1996, nejteplejší byly předposlední dva roky 2014 a 2015 s teplotou 9,1 °C (graf 1). Pro názornost je tato řada teploty pro Kraj Vysočina v grafu 1 proložena klouzavým 11letým průměrem, lineární trend je 0,3 °C za 10 let (statisticky významný na hladině 95 %). Roční chod teploty (graf 2) je v Kraji Vysočina charakterizován maximem v červenci (17,1 °C) a minimem v lednu (–2,8 °C), postupný růst dlouhodobého průměru teploty je výraznější v letních měsících a v lednu. Průměrná teplota vzduchu v červenci je v období 1981–2010 o 1,1 °C vyšší než v období 1961–1990, v srpnu o 1,2 °C a v lednu o 1,0 °C. V září, říjnu a v prosinci je tento vzestup jen 0,2 °C.

Tabulka 1: Klimatologické a srážkoměrné stanice v širší oblasti VN Švihov na Želivce

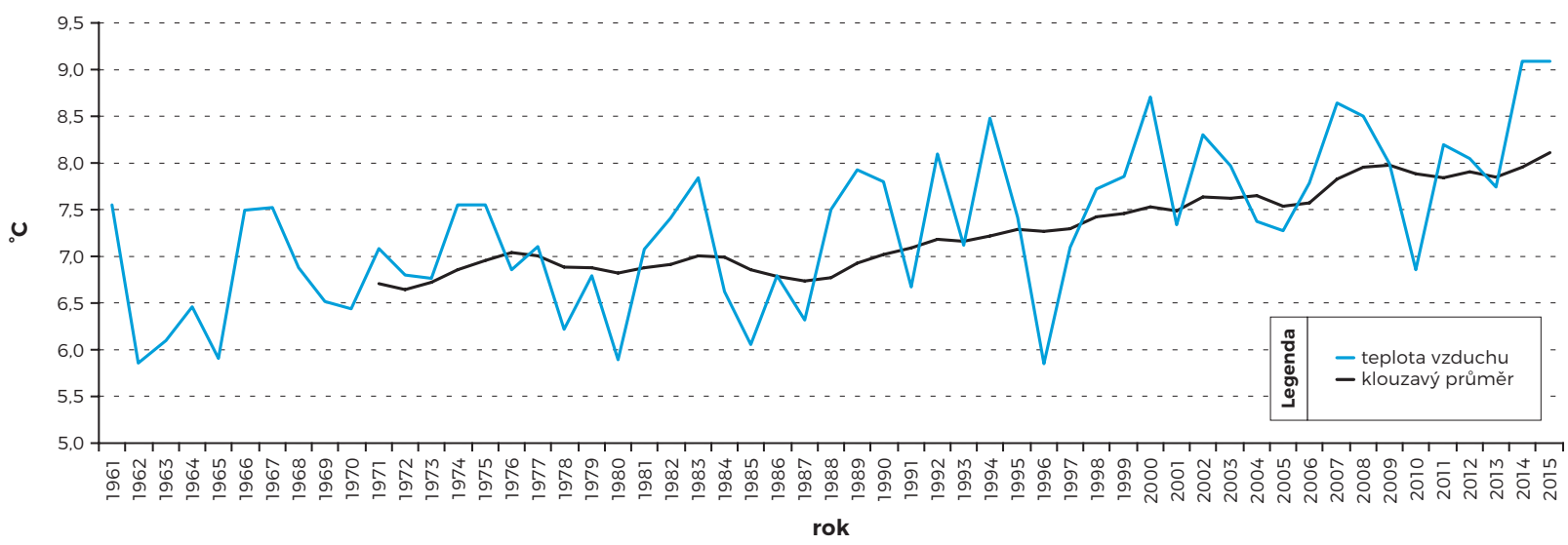
Stanice[1)]	Souřadnice a nadmořské výšky	Zpracované prvky (první rok)[2)]
Bohdaneč	49°46'43" s.z.š., 015°13'26" v.z.d., 460 m	SRA (1925), SN (1941)
Dolní Kralovice, Střítež	**49°39'45" s.z.š., 015°09'35" v.z.d, 420 m**	**SRA (1961), SN (1961)**
Habry[3)]	49°45'07" s.z.š., 015°29'13" v.z.d., 467 m	SRA (1897), SN (1897)
Havlíčkův Brod	49°36'43" s.z.š., 015°34'47" v.z.d, 452 m	T (1911), SRA (1882), SN (1897)
Hulice	**49°43'16" s.z.š., 015°05'12" v.z.d., 378 m**	**T (1991), SRA (1991)**
Humpolec	49°32'49" s.z.š., 015°21'10" v.z.d., 515 m	SRA (1953), SN (1953)
Košetice	**49°34'25" s.z.š., 015°04'50" v.z.d., 532 m**	**T (1988), SRA (1932), SN (1932)**
Ledeč nad Sázavou	49°41'55" s.z.š., 015°17'03" v.z.d., 408 m	SRA (1898), SN (1921)
Nížkov	49°31'57" s.z.š., 015°48'24" v.z.d., 526 m	SRA (1931), SN (1931)
Pacov	**49°28'00" s.z.š., 014°59'56" v.z.d., 580 m**	**SRA (1963), SN (1963)**
Pelhřimov	**49°26'01" s.z.š., 015°14'04" v.z.d., 520 m**	**SRA (1988), SN (1988)**
Polná	49°29'11" s.z.š. , 015°42'22" v.z.d., 480 m	SRA (1963), SN (1963)
Přibyslav, Hřiště	49°34'58" s.z.š., 015°45'45" v.z.d., 533 m	T (1954), SRA (1954), SN (1954)
Psáře	49°45'13" s.z.š., 014°58'04" v.z.d., 475 m	SRA (1899), SN (1942)
Řendějov	49°46'00" s.z.š., 015°04'53" v.z.d., 453 m	SRA (1951), SN (1951)
Světlá nad Sázavou	49°40'22" s.z.š., 015°24'27" v.z.d., 410 m	SRA (1897), SN (1951)
Štoky	49°29'54" s.z.š., 015°35'15" v.z.d., 530 m	SRA (1951), SN (1951)

Poznámky

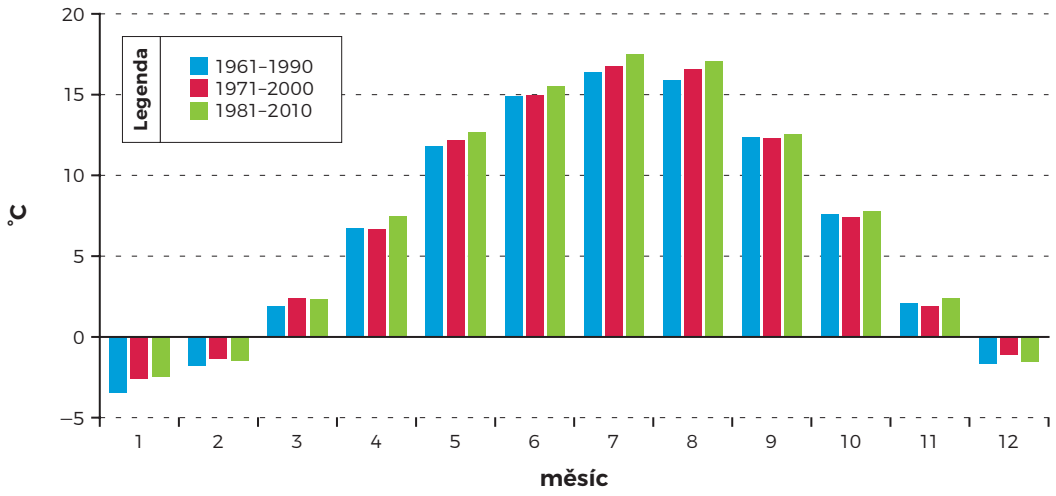
[1)] Zvýrazněné stanice leží v povodí VN Švihov na Želivce
[2)] T – průměrná denní teplota vzduchu, SRA – denní úhrn srážek, SN – sněhová pokrývka
[3)] Na stanici Habry není k dispozici měření v období 1961–1969

Roční chod srážek v Kraji Vysočina (graf 3) je charakteristický téměř padesátiprocentním podílem čtyř měsíců v letním půlroce (květen až srpen) na ročním úhrnu. Změny v jednotlivých třicetiletých obdobích jsou nepravidelné a nevykazují žádný statisticky významný trend. Průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek je 659 mm, srážkově nejbohatší byly roky 2010 (843 mm) a 2002 (839 mm) a nejsušším byl rok 1973 (510 mm). Meziroční kolísání (graf 4)

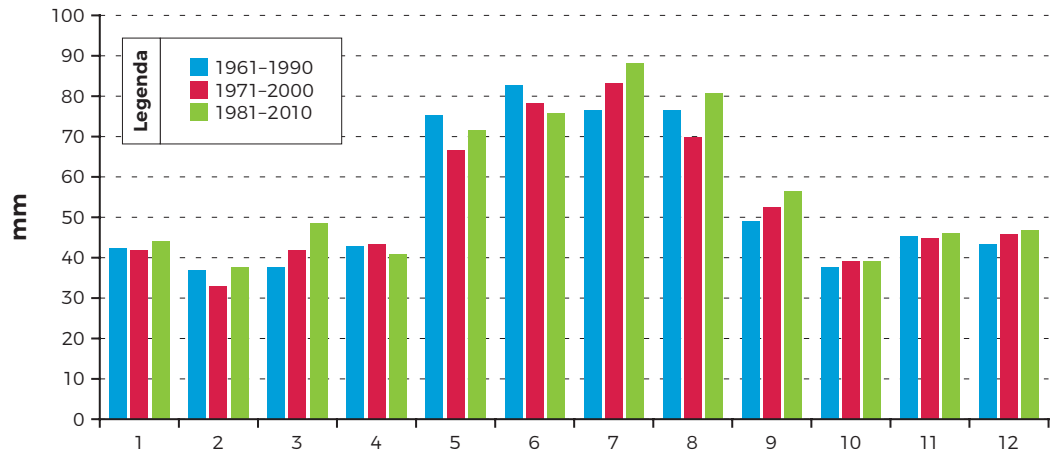
Graf 1: Roční teplota vzduchu (°C) pro Kraj Vysočina za období 1961–2015, vložen 11letý klouzavý průměr.



Graf 2: Změna ročního chodu teploty vzduchu (˚C) pro Kraj Vysočina, srovnání období 1961–1990, 1971–2000 a 1981–2010.



Graf 3: Změna ročního chodu srážek (mm) pro Kraj Vysočina, srovnání období 1961–1990, 1971–2000 a 1981–2010.



dosahuje až 300 mm (839 mm v roce 2002 a 527 mm v roce 2003), řada však nevykazuje statisticky významný trend (řada je proložena 11letým klouzavým průměrem).

Řady průměrné roční teploty vzduchu v povodí VN Švihov na Želivce máme k dispozici jen pro Košetice (od roku 1988) a Hulice (od roku 1991). Vývoj roční teploty (graf 5) na těchto stanicích je zobrazen spolu s řadou ročních teplot pro Kraj Vysočina (graf 1).

Mimo povodí VN Švihov na Želivce, ale v jeho blízkosti, leží klimatologické stanice s dlouhou řadou pozorování – Havlíčkův Brod má použitelnou teplotu od roku 1911 a Přibyslav od roku 1954. Vývoj průměrné roční teploty na těchto stanicích (graf 6) ukazuje

Tabulka 2: Průměrná teplota vzduchu (˚C) v jednotlivých desetiletích na stanici Havlíčkův Brod

1911–1920	7,1	1961–1970	7,0
1921–1930	7,2	1971–1980	7,2
1931–1940	7,1	1981–1990	7,6
1941–1950	7,3	1991–2000	8,0
1951–1960	7,2	2001–2010	8,2

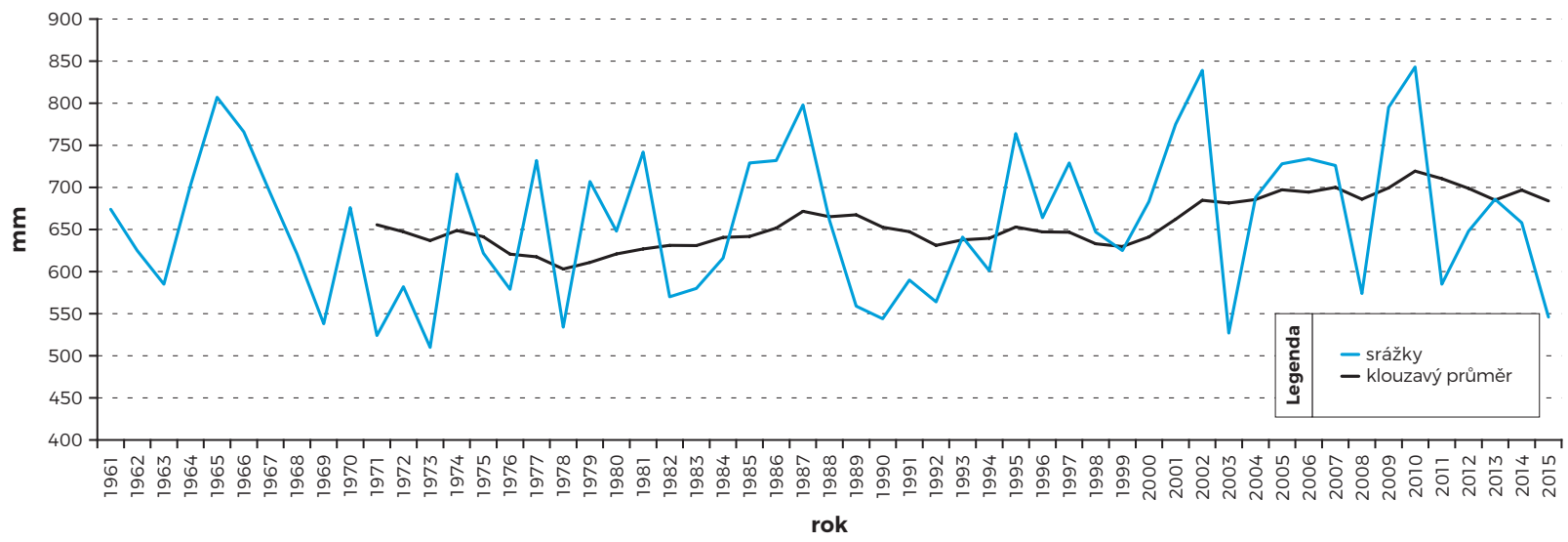
významný vzestup této charakteristiky v posledních desetiletích. Průměrná teplota vzduchu v jednotlivých ucelených desetiletích je uvedena pro stanici Havlíčkův Brod (tabulka 2).

Roční úhrn srážek je v povodí VN Švihov na Želivce k dispozici na stanicích Dolní Kralovice, Hulice, Košetice, Pacov a Pelhřimov. Vývoj ročních úhrnů srážek (graf 7) je doplněn o srážku pro Kraj Vysočina (graf 4). Je vidět, že v oblasti je srážkový vývoj na jednotlivých stanicích velmi podobný a je tedy možné použít pro další charakteristiku klimatu VN Švihov na Želivce syntetickou řadu měsíční teploty i srážek, která je vypočtena pomocí aplikace CLIDATA/GIS (Šercl, 2008 a Tolasz, 2009). Tato řada je k dispozici pro teplotu za období 1951–2015, pro srážky za období 1901–2015 a pro vybrané charakteristiky sněhové pokrývky za období 1941–2015. Obě tyto řady dobře reprezentují povodí VN Švihov na Želivce.

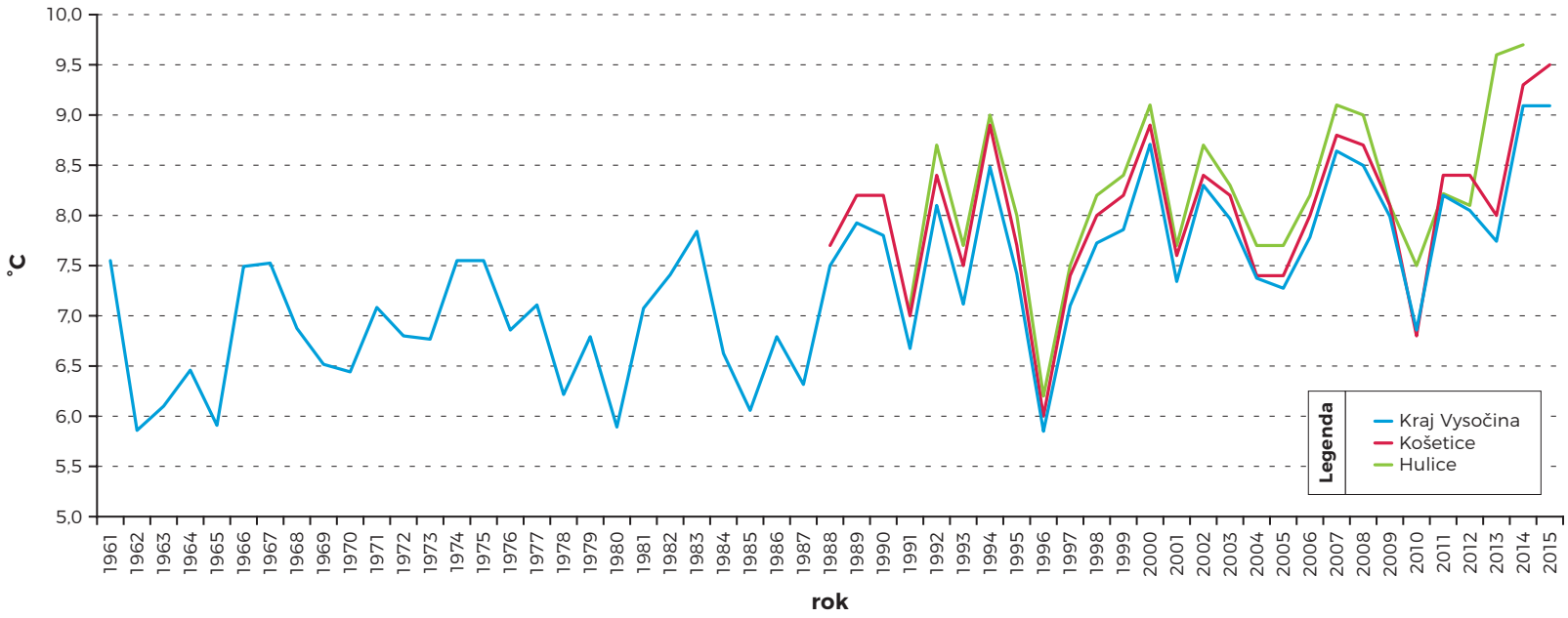
Základní teplotní charakteristiky vypočtené ze syntetické řady měsíčních teplot pro povodí VN Švihov na Želivce spolu s extrémními denními teplotami vzduchu (tabulka 3) pro jednotlivé měsíce ukazují, že v historii byly v oblasti zaznamenány teploty v širokém intervalu od –37 do +37 °C, roční amplituda v průměru nejchladnějšího (únor) a nejteplejšího měsíce (červenec) je 20 °C.

Roční chod teploty vzduchu v povodí VN Švihov na Želivce (graf 8) je pro srovnání doplněn ročním chodem nejteplejšího (2015) a nejchladnějšího (1956) roku v období 1951–2015.

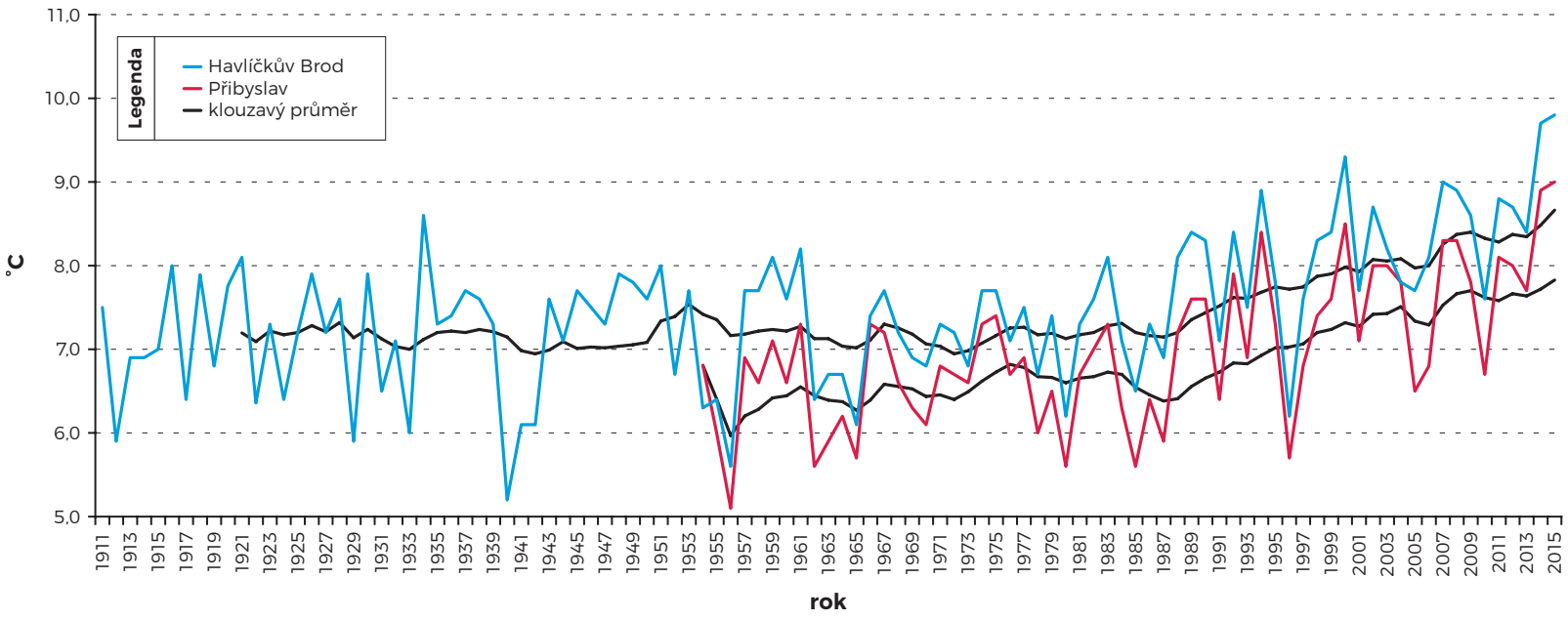
Graf 4: Roční srážka (mm) pro Kraj Vysočina za období 1961–2015, vložen 11letý klouzavý průměr.



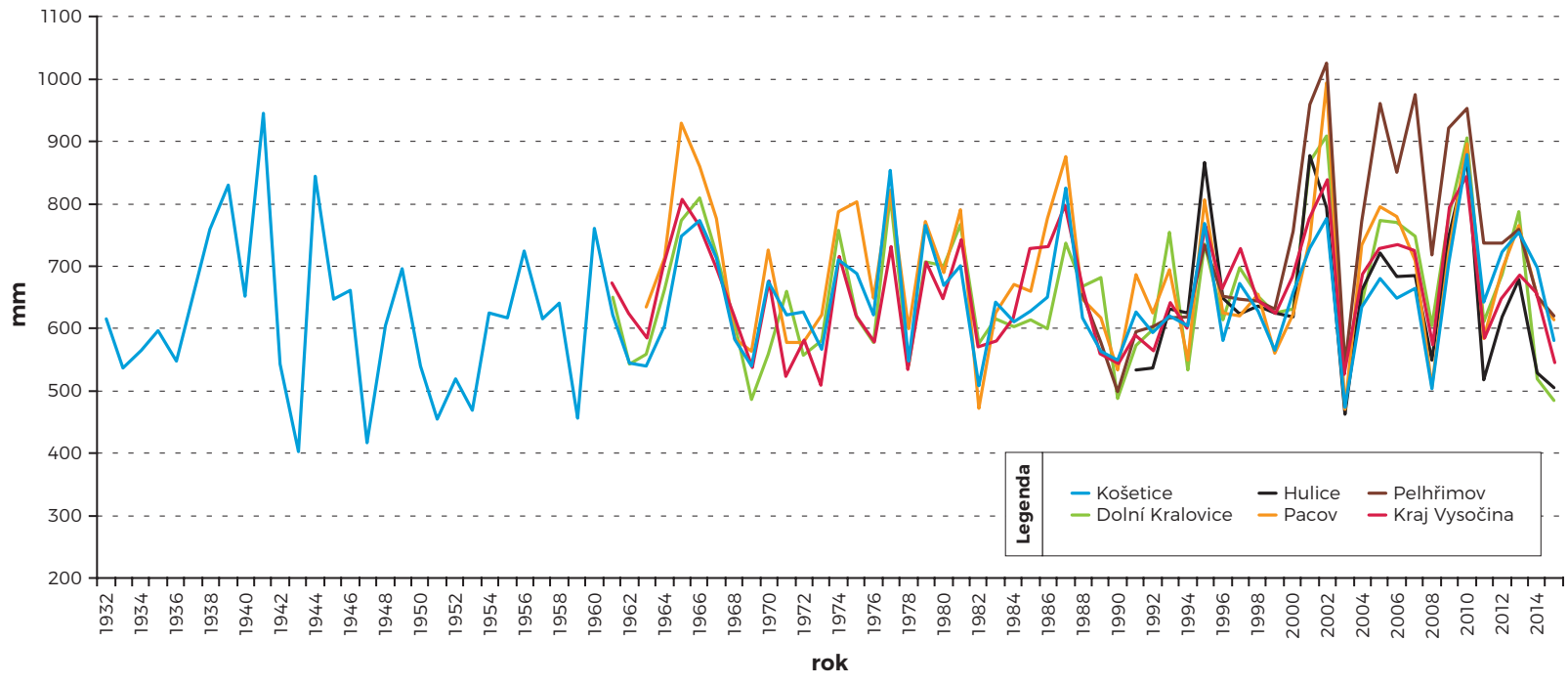
Graf 5: Průměrná roční teplota vzduchu (˚C) na stanicích Košetice a Hulice v porovnání s řadou teploty vzduchu pro Kraj Vysočina.



Graf 6: Průměrná roční teplota vzduchu (˚C) na stanicích Havlíčkův Brod a Přibyslav, vloženy 11leté klouzavé průměry.



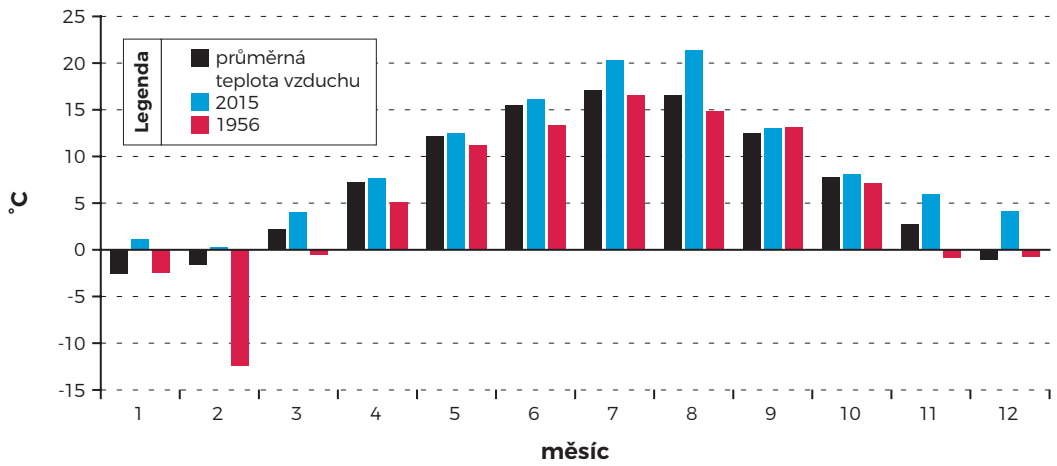
Graf 7: Srovnání ročního úhrnu srážek na stanicích v povodí VN Švihov na Želivce.



Tabulka 3: Teplotní charakteristiky vzduchu (˚C) povodí VN Švihov na Želivce

Měsíce/ charakteristiky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
Průměrná teplota vzduchu	–2,6	–1,6	2,2	7,2	12,2	15,4	17,0	16,5	12,5	7,7	2,7	–1,0	**7,4**
Maximum	3,0	3,8	6,0	12,0	15,3	19,3	21,0	21,4	15,9	11,3	6,2	4,2	**9,5**
Rok maxima	**2007**	**1966**	**2014**	**2009**	**2002**	**2003**	**1994**	**2015**	**1999**	**2001**	**2014**	**2015**	**2015**
Minimum	–8,9	–12,4	–2,6	4,0	8,3	12,7	14,2	13,9	9,5	3,9	–1,0	–6,6	**5,3**
Rok minima	**1963**	**1956**	**1987**	**1980**	**1991**	**1974**	**1980**	**1978**	**1996**	**1974**	**1965**	**1969**	**1956**
Maximální teplota vzduchu	17,5	18,9	23,2	28,1	32,7	35,0	37,0	37,3	35,0	26,6	19,4	17,7	
Datum	12. 1. 1993	24. 2. 2008	21. 3. 1974	29. 4. 2012	29. 5. 2005	7. 6. 1998, 21. 6. 2000	28. 7. 2013	20. 8. 2012	1. 9. 2015	1. 10. 1956	7. 11. 1997	5. 12. 1961	
Stanice	Hulice	Hulice	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	Hulice	Hulice	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	Hulice	Havlíčkův Brod	
Minimální teplota vzduchu	–30,0	–36,9	–25,5	–9,6	–4,7	–2,2	1,8	0,0	–4,8	–9,5	–20,5	–27,6	
Datum	8. 1. 1985	10. 2. 1956	5. 3. 1971	1. 4. 1996	5. 5. 1980	1. 6. 1977	6. 7. 1951	26. 8. 1980	30. 9. 1959	28. 10. 1997	25. 11. 1975	29. 12. 1996	
Stanice	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	Přibyslav	Přibyslav	Přibyslav	Havlíčkův Brod	Přibyslav	Havlíčkův Brod	Hulice	Přibyslav	Havlíčkův Brod	

Graf 8: Roční chod průměrné teploty vzduchu (˚C) v povodí VN Švihov na Želivce.



Základní srážkové charakteristiky vypočtení ze syntetické řady měsíčních úhrnů srážek pro povodí VN Švihov na Želivce (tabulka 4) jsou doplněny o maximální denní úhrn srážek, maximální výšku sněhové pokrývky a maximální hodnotu nového sněhu naměřené v jednotlivých měsících v povodí VN Švihov na Želivce od roku 1901.

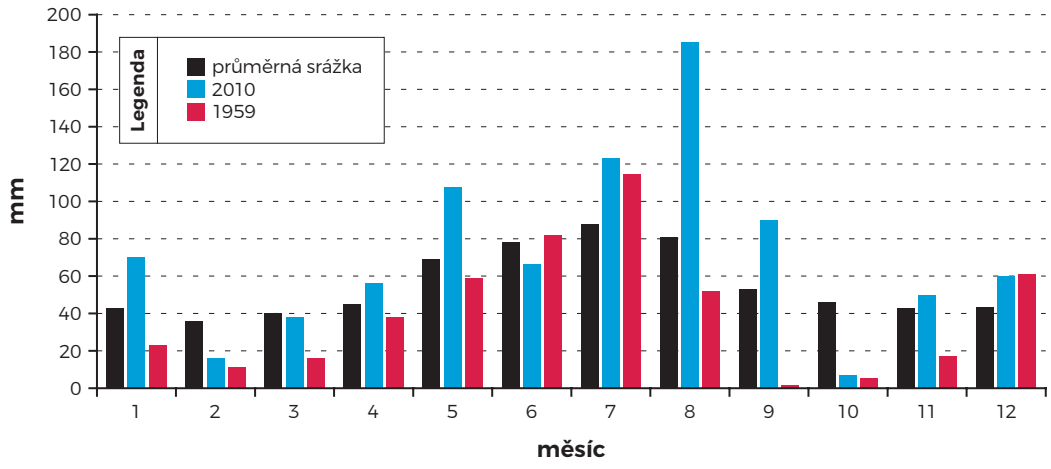
Roční chod srážek v povodí VN Švihov na Želivce (graf 9) je pro srovnání doplněn ročním chodem nejvlhčího (2010) a nejsuššího (1959) roku v období 1901–2015.

V oblasti pozorujeme i změny ve srážkových intenzitách, které lze dokladovat součtem denních úhrnů srážek vyšších než 95. a 99.

Tabulka 4: Srážkové charakteristiky (mm) povodí VN Švihov na Želivce

Měsíce/ Charakteristiky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
Průměrná srážka	43,0	36,0	40,2	45,2	68,8	78,2	87,6	80,6	52,9	46,2	43,0	43,5	**665,1**
Maximum	115,6	100,8	122,5	113,4	136,1	231,9	214,1	222,0	167,1	148,3	104,7	120,5	**868,8**
Rok maxima	**1976**	**1948**	**2000**	**1917**	**1962**	**1926**	**1957**	**1938**	**1910**	**1935**	**1910**	**1974**	**2010**
Minimum	8,2	2,7	4,3	1,9	7,9	22,2	16,1	17,6	1,6	0,3	0,9	3,1	**480,8**
Rok minima	**1990**	**1930**	**1921**	**2007**	**1992**	**1935**	**1921**	**1904**	**1959**	**1951**	**1920**	**1972**	**1959**
Maximální denní úhrn	48,9	38,2	38,7	55,0	118,2	134,0	114,6	141,0	90,0	80,0	50,0	60,4	
Datum	7. 1. 1960	22. 2. 2001	20. 3. 2007	27. 4. 1978	21. 5. 1985	16. 6. 1962	17. 7. 2010	8. 8. 1979	4. 9. 1975	27. 10. 1930	2. 11. 1951	10. 12. 1930	
Stanice	Nížkov	Světlá nad Sázavou	Bohdaneč	Habry	Polná	Havlíčkův Brod	Habry	Polná	Pacov	Světlá nad Sázavou	Habry	Humpolec	
Maximální výška sněhu (cm)	80	93	143	69	23	2	0	0	0	30	35	49	
Datum	6. 1. 1941	28. 2. 1970	10. 3. 1970	2. 4. 44	10. 5. 1953	3. 6. 1953				31. 10. 1940	24. 11. 2010	22. 12. 1967	
Stanice	Havlíčkův Brod	Štoky	Štoky	Habry	Havlíčkův Brod	Pacov				Pacov	Habry	Přibyslav	
Maximální výška nového sněhu (cm)	26	50	38	32	23	2	0	0	0	27	28	35	
Datum	12. 1. 1954	24. 2. 1933	20. 3. 2007	23. 4. 1980	9. 5. 1953	2. 6. 1953				30. 10. 1919	26. 11. 1922	8. 12. 1922	
Stanice	Havlíčkův Brod	Nížkov	Pelhřimov	Košetice	Havlíčkův Brod	Pacov				Habry	Havlíčkův Brod	Havlíčkův Brod	

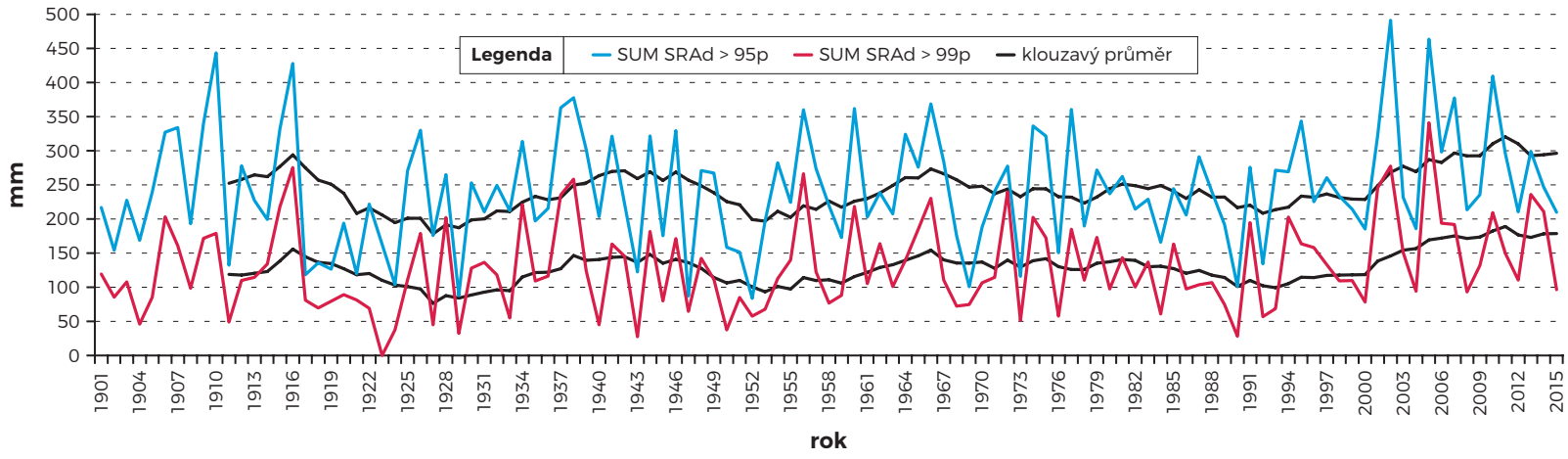
Graf 9: Roční chod srážek (mm) v povodí VN Švihov na Želivce v období 1901–2015.



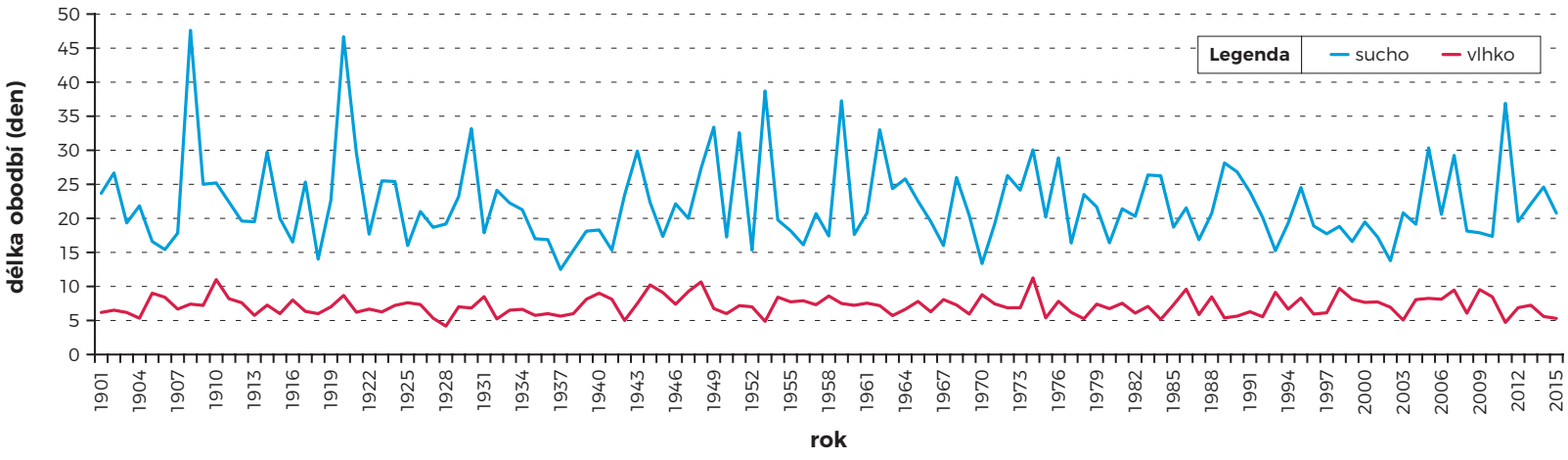
percentil (graf 10) za období 1901–2015. Výskyt těchto vyšších denních úhrnů srážek v jednotlivých letech značně kolísá, na začátku 21. století je obecně vyšší. V průběhu 20. století můžeme pozorovat období s častějším výskytem vyšších úhrnů (10., 40. a 60. léta) a nižších úhrnů (20., 50. a 80. léta).

O značném kolísání srážkového režimu vypovídá i zpracovaná průměrná délka suchého a vlhkého období (graf 11). Vlhké období je definováno jako počet po sobě jdoucích dní s denním úhrnem srážek 1 mm a více, suché období s denním úhrnem srážek pod 1 mm. Ve zpracovaném období od roku 1901 kolísá délka takto definovaných srážkových období v průměru kolem sedmi

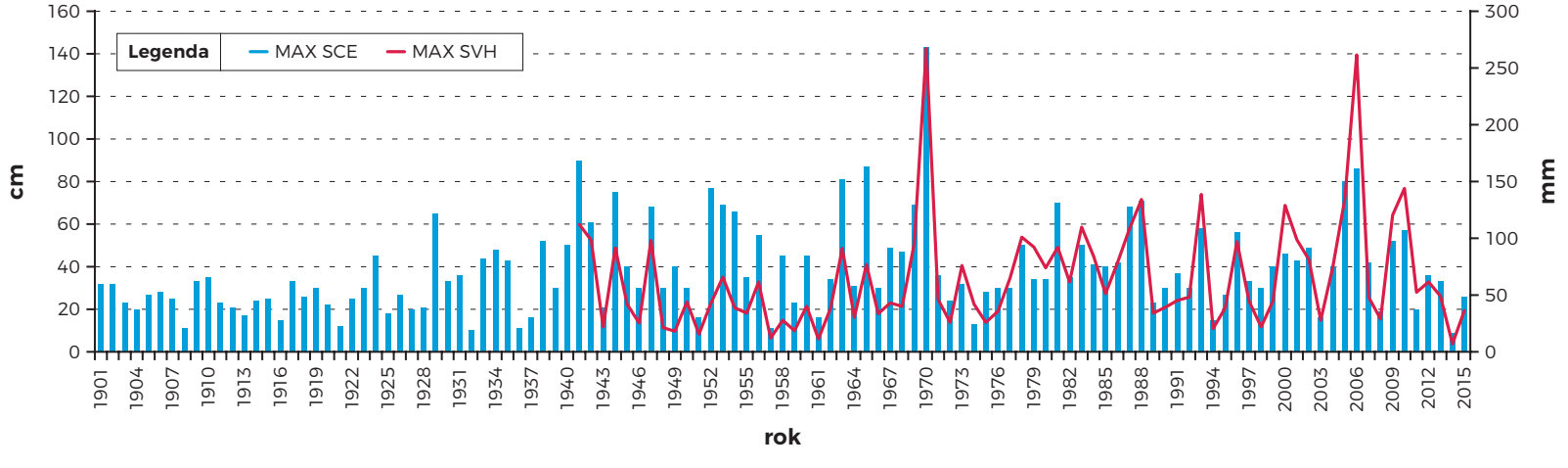
Graf 10: Součet denních úhrnů srážek (mm) nad 95. a 99. percentil v povodí VN Švihov na Želivce, vloženy 11leté klouzavé průměry.



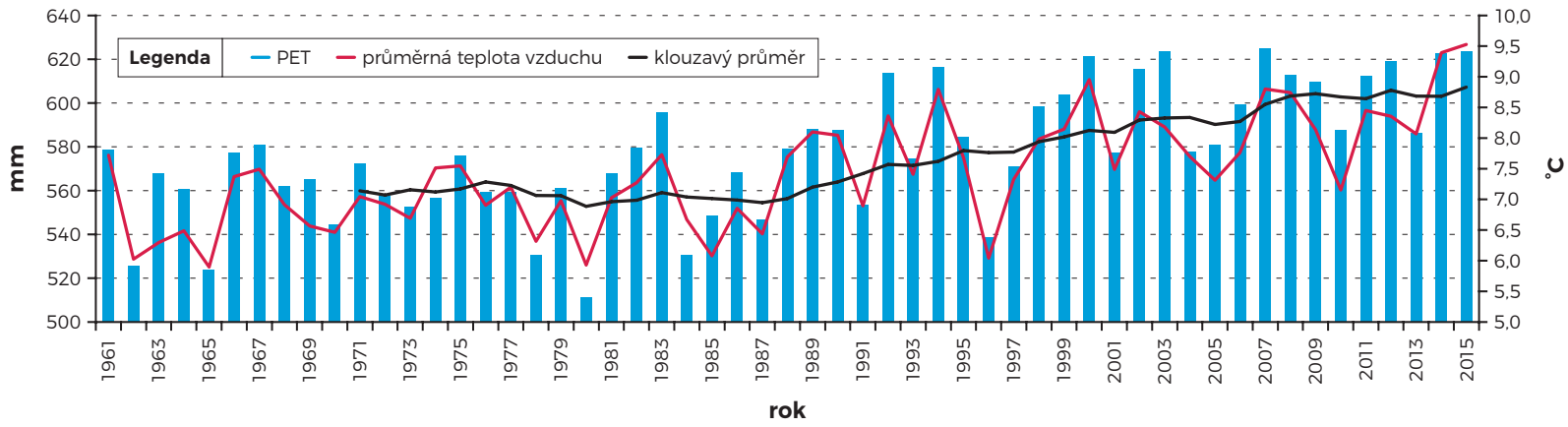
Graf 11: Kolísání suchých s vlhkých období v povodí VN Švihov na Želivce.



Graf 12: Maximální výška sněhu (cm) a vodní hodnota sněhové pokrývky (mm) v povodí VN Švihov na Želivce.



Graf 13: Potenciální evapotranspirace (mm) s 11letým klouzavým průměrem a průměrná roční teplota vzduchu pro Kraj Vysočina (˚C).



dní, bezsrážkové období trvá v průměru 22 dní s podstatně větším rozptylem od 47 v roce 1908 do 12 dní v roce 1937.

Pro hodnocení vodní bilance v povodí VN Švihov na Želivce je k dispozici i syntetická řada výšky sněhu (od roku 1901) a vodní hodnoty sněhové pokrývky (od roku 1941). Vývoj maxima výšky sněhové pokrývky (graf 12) v povodí VN Švihov na Želivce od roku 1901 je doplněn od roku 1941 i o maximální naměřenou hodnotou vodní hodnoty sněhu. Vidíme, že se v této oblasti zatím nepotvrzuje očekávaný pokles výšky sněhu ve střední Evropě, zvyšuje se však meziroční variabilita výskytu těchto extrémních hodnot.

Při hodnocení vláhové bilance povodí VN Švihov na Želivce je vhodné brát v úvahu i změny potenciální evapotranspirace, které zde byly vypočteny z dostupných dat od roku 1961 podle Penmana–Monteitha v souladu s postupy publikovanými v práci Allen a kol. (1998), (graf 13).

Teplota vzduchu postupně narůstá a zvyšuje se i potenciální evapotranspirace v povodí VN Švihov na Želivce, vzestup srážek (graf 3) však v oblasti není v posledních letech zaznamenáván. Vláhový deficit je však v povodí VN Švihov na Želivce periodicky dorovnáván jednotlivými srážkově bohatšími roky (1977, 1987, 1995, 2002, 2010).

Rámeček 1

Zpracováno podle článku (Šálek, Kaplická a Kvítek, 2008): Silné bouře na Pelhřimovsku dne 23. května 2005

Příklad vybrané intenzivní bouře ze dne 23. května 2005

V povodí vodárenské nádrže se dne 23. května 2005 vyskytly intenzivní konvektivní bouře doprovázené přívalovým deštěm a silným krupobitím, které způsobily na několika místech materiální škody, a to především na Pelhřimovsku mezi obcemi Velký Rybník a Kojčice. Srážkoměrné stanice Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) v dané oblasti mimořádné hodnoty nezaznamenaly, ale na účelové srážkoměrné síti Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i. (dále pouze VÚMOP) byly naměřeny neobvykle vysoké úhrny, z nichž nejvyšší činil 171,4 mm za 24 hodiny.

Pro analýzu vývoje konvektivních bouří jsou klíčová měření z meteorologických radiolokátorů. Český hydrometeorologický ústav provozuje dvě radarová zařízení, jedno na kótě Praha v Brdech a druhé na vrchu Skalky na Drahanské vrchovině. Připomínáme, že se jedná o dopplerovské radary, pracující v pásmu C, které uskuteční celé objemové měření za 10 minut, což byl v roce 2005 základní interval pro analýzu vývoje oblačnosti i pro výpočet odhadů srážek. V době výskytu rozebíraných bouří byly oba radiolokátory v provozu a jejich měření nevykazovala podstatné technické obtíže.

První konvektivní bouře se podle údajů meteorologických radarů začaly vyskytovat na Prachaticku kolem 11. hodiny UTC (13. hodiny SELČ), v dalších hodinách byl patrný vývoj bouří zejména v jižních a středních Čechách. První bouřky na Vysočině se vyskytly kolem 12.00 UTC (14.00 SELČ) v oblasti asi 7 km jihozápadně od Pelhřimova, ale během následující hodiny zeslábly a částečně se přemístily na sever.

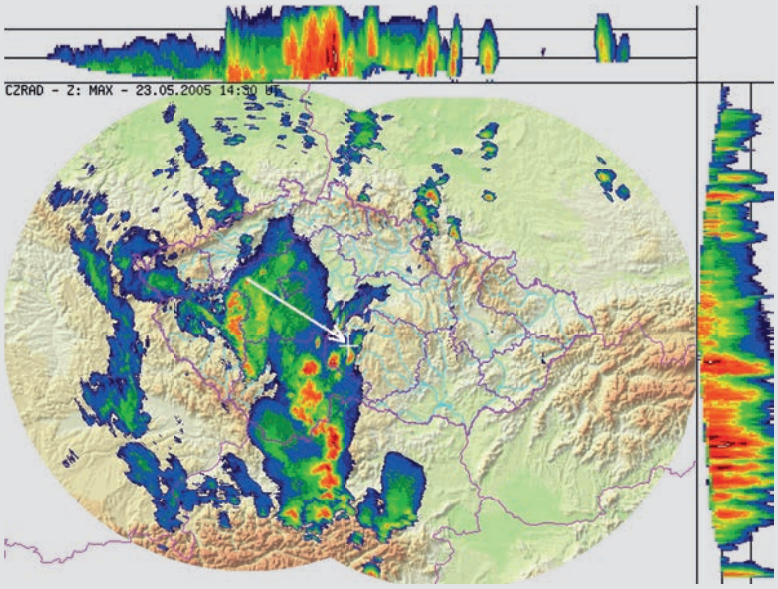
Další zesílení bouřkové činnosti nastalo kolem 14.30 UTC (16.30 SELČ), kdy se od západu přiblížil hlavní pás intenzivních bouří, které se vyvinuly v jižních Čechách. Na jeho čele se v oblasti Pelhřimova vyvinula velmi výrazná bouře, která setrvala mezi Pelhřimovem a Humpolcem asi do 16.10 UTC (18.10 SELČ), kdy začala výrazněji slábnout (obrázek 4 a 5). Zároveň došlo ke spojení s dalšími konvektivními bouřemi do výrazného bouřkového pásu (squall line), který postupoval dále k severovýchodu. Před tímto pásem se ve východních Čechách a na Moravě i nadále vyvíjely zpočátku izolované, později četnější bouřky.

Obrázek 4 se vztahuje k 23. květnu 2005, 14.30 UTC (16.30 SELČ), kdy se nad západní částí Českomoravské vrchoviny začaly tvořit silné konvektivní bouře. Lokalitu obce Kojčice ukazuje bílý křížek, na který míří šipka.

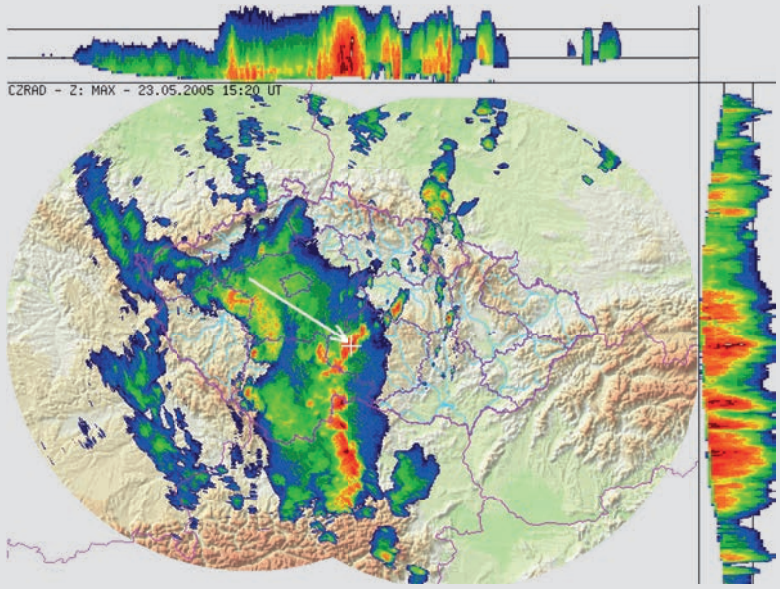
Pro bližší analýzu srážek bylo možné použít též soubor měření sedmi srážkoměrných stanic VÚMOP. Dvě ze stanic jsou automatické (u obce Dehtáře a v obci Velký Rybník), na ostatních stanicích probíhá ruční měření srážek. Všechny sledované srážkoměrné stanice patří VÚMOP a jsou umístěny na experimentálních povodích a lokalitách. Nejvyšší srážkové úhrny zaznamenali pozorovatelé na stanicích u obce Vadčice (171,4 mm, resp. 164,0 mm). Nejblíže obci Kojčice měří srážkoměrná stanice umístěná jihozápadně od obce Dehtáře (obrázek 6), která dne 23. 5. 2005 zaznamenala srážkový úhrn ve výši 146,5 mm.

Jednohodinové a pětiminutové úhrny srážek z období mezi 16.00 a 20.00 hodinou SELČ jsou

Obrázek 4: Maximální hodnoty radarové odrazivosti ve vertikálním směru (na mapce), doplněné hodnotami maximální odrazivosti ve směru východ-západ a sever-jih, převzaté z aplikace JSMeteoView.

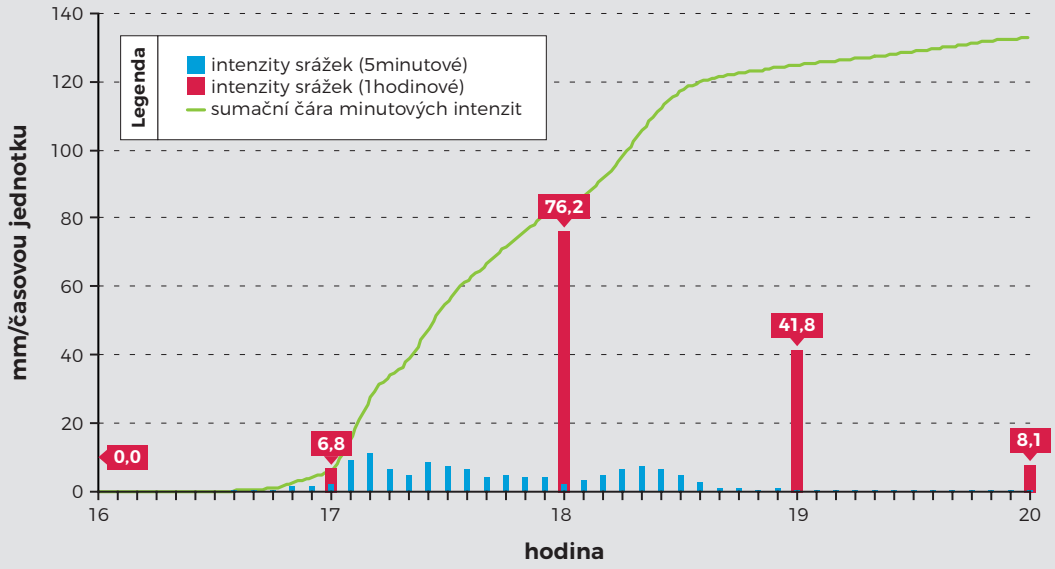


Obrázek 5: Radiolokační odrazivost v 15.20 UTC (17.20 SELČ), bouře nad Kojčicemi a okolím dosáhla stadia maximálního rozvoje. Lokalitu obce Kojčice ukazuje černý křížek.



Obrázek 6: Denní srážkové úhrny 23. 5. 2005 na stanicích provozovaných VÚMOP a experimentální povodí Kopaninského potoka.

Graf 14: Srážkové intenzity ze srážkoměrné stanice u obce Dehtáře dne 23. 5. 2005, 16–20 hodin SELČ. Zdroj: VÚMOP



pro automatickou stanici umístěnou u obce Dehtáře zaznamenány podrobně (graf 14). Z grafu je patrné, že zde byl během čtyř hodin (od 16. do 20. hodiny SELČ) naměřen srážkový úhrn 132,9 mm. Mezi 17. a 18. hodinou zde bylo zjištěno dokonce 76,2 mm. Takové srážkové úhrny popisují Kulasová, Šercl, Boháč (2004) pro území, na kterém se nachází obec Kojčice a srážkoměrná stanice Dehtáře, jako maximální jednodenní srážku s dobou opakování 100 let (na základě pozorování z let 1890, 1895–2002). Konkrétně uvádějí rozmezí 80–90 mm.

Janeček a kol. (2012) uvádí hodnoty maximálních denních úhrnů srážek

Foto 7: Vrstva krup a zeminy v hospodářské nádrži v obci Kojčice dne 23. 5. 2005. Zdroj: Kvítek T.

Foto 8: Cesty odtoku povrchové vody z orné půdy přes trvalé travní porosty a srážkoměr na stanici Vadčice. Zdroj: Kvítek T.

meliorací a ochrany půdy průtoky. Jedná se o povodí s plochou 7,1 km², průměrný průtok v závěrovém profilu dosahuje 27 l/s, specifický průtok 4 l/s km². V tomto povodí došlo během srážkové události 23. 5. 2005 k vybřežení vodního toku a jeho rozlití po přilehlých plochách. Záznamy ultrazvukových čidel používaných pro měření polohy hladiny vody v toku byly většinou přerušeny vlivem vysokých vodních stavů. Na základě stop v okolí vodního toku a s pomocí doplňkových měření byl odhadnut kulminační průtok v závěrovém profilu povodí na přibližně 10 m³/s. Specifický kulminační průtok dosáhl 1,4 m³/s km².

Kromě vlastních extrémních srážkových úhrnů byla tato bouře zajímavá i výskytem extrémního krupobití. Vlastní kroupy neměly (naštěstí) velikost potřebnou k působení rozsáhlejších škod na majetku, ale padaly v takovém množství, že vytvořily vrstvu kolem 5–20 cm mocnou a naplnily přilehlou hospodářskou nádrž, resp. koupaliště (foto 7).

Cesty odtékající vody z přívalové srážky ze zorněného půdního bloku jsou zřetelné na přilehlém pozemku (foto 8). Zřetelně je vidět výrazná dráha soustředěného odtoku i skutečnost, že trvalý travní porost nebyl schopen (přesto, že je zatravněna celá dolní část svahu) zadržet veškerou vodu a erozní smyv.

s pravděpodobností opakování za „n“ roků (podle Šamaje, Valoviče, Brázdila, 1985). Pro nejblíže ležící srážkoměrné stanice Humpolec, resp. Pelhřimov, provozované Českým hydrometeorologickým ústavem, odpovídá maximální denní úhrn srážek s pravděpodobností opakování za 100 let hodnotám 100,0 mm, resp. 99,8 mm. Denní srážkový úhrn ze dne 23. 5. 2005 u obce Dehtáře ve výši 146,5 mm tedy převyšuje 100letou srážku uváděnou pro stanice Humpolec a Pelhřimov.

V důsledku srážkové a povodňové události byly zaznamenány škody na majetku a zemědělských plochách. Obec Kojčice leží západně od povodí Kopaninského potoka, na jehož vodním toku monitoruje Výzkumný ústav

1.3 Pedologické a hydropedologické charakteristiky půd

Luděk Šefrna
Karel Břetislav Březina
Tomáš Kvítek

Pole je pánem a člověk je hostem.

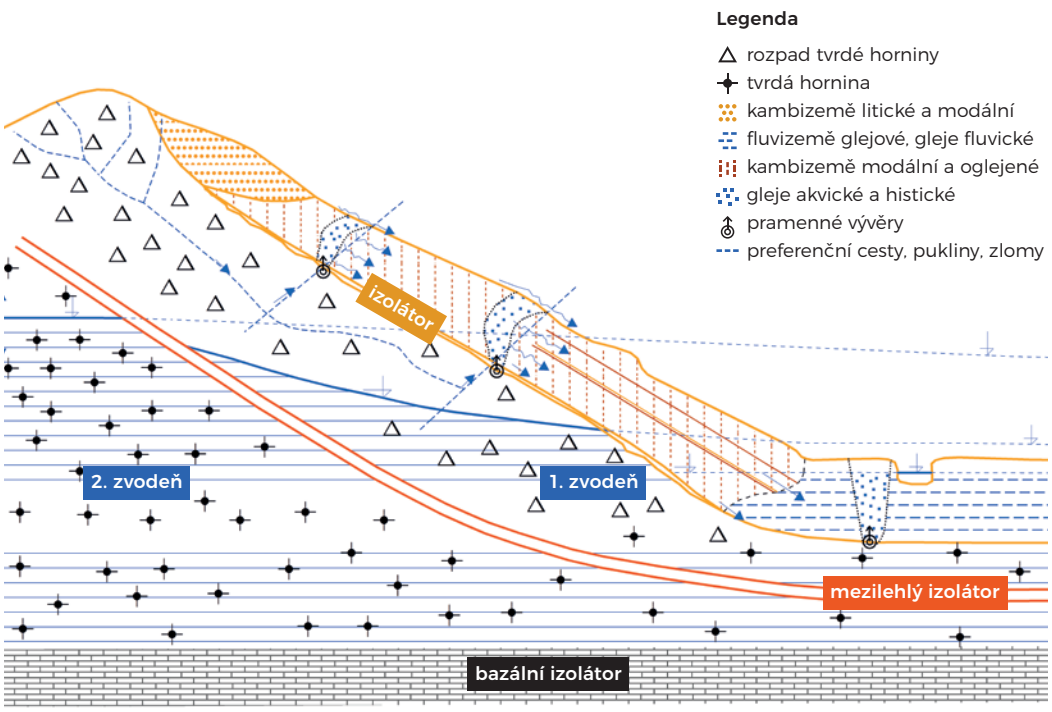
Čínská moudrost

Naše znalosti půdního krytu mají základ v podrobném komplexním průzkumu zemědělských půd (KPZP) ze šedesátých let minulého století v měřítku 1 : 5 000 a lesotypologickém mapování v měřítku 1 : 10 000, které poskytuje představu o lesních půdách. Mapování zemědělských půd bylo jednorázové, lesnické se pravidelně obnovuje v desetiletých intervalech, ale informace o půdách jsou nepřímo odvozovány z mapování lesní vegetace. Kombinace těchto dvou zdrojů dat posloužila k sestavení půdních map 1 : 50 000, které jsou v gesci České geologické služby, a jsou jediným dostupným půdně kartografickým dílem středního měřítka, syntetizujícím zemědělský a lesní půdní fond. Tyto mapy se subtypovou úrovní mapovacích jednotek odpovídají platné české půdní taxonomii (Němeček, 2011) a jsou vhodným instrumentem pro pochopení vztahu mezi půdním krytem a složkami krajiny, jako jsou reliéf, geologická skladba, vegetační kryt, historický vývoj a využití půdy. Absence systematického mapování ostatních půd mimo zemědělský a lesní půdní fond, evidenčně v katastru vedených v kategoriích jako půda neplodná, zastavěná, parky, hřbitovy apod. není rozhodující, protože jejich podíl je malý a lokálně se dají posoudit podle okolních půd a výše uvedených půdotvorných faktorů. Především některé kategorie z tohoto souboru však mohou výrazněji negativně zasahovat do celkových hydrologických parametrů povodí a jejich vodních útvarů, protože mají zásadně pozměněnou infiltrační a retenční schopnost. Patří k nim především zakryté plochy, nádvoří, dvory a místní cestní síť. Na druhé straně musíme funkci některých půd z kategorie ostatní (nezemědělské a nelesní) ve volné krajině považovat za pozitivní. Patří mezi ně především remízky s rozptýlenou zelení, meze, agrární terasy a další drobné plochy často označované jako „polní kazy“. V případě povodí Želivky to je jeden z důležitých fenoménů, protože zvyšují mozaikovitost jednotlivých krajinných složek, která napomáhá harmonizaci koloběhu vody v krajině.

Bonitace je jedním z podrobných aplikačních mapových výstupů z KPZP v měřítku 1 : 5 000 (rámeček 2), ale protože je zaměřena

především na hodnocení půdní úrodnosti, jsou z ní hůře odvoditelné některé mimoprodukční funkce půd. Právě mezi ně patří hydrologické funkce, které jsou hlavní oblastí našeho zájmu. V praxi vidíme, že jsou mapy bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) často využívány jako univerzální půdní podklad pro posuzování, modelování a výpočet těchto funkcí. Na stránkách SOWAC-GIS (SOil WAter Conservation) VÚMOP jsou uváděny např. erozní ohroženost, vodní retence či půdní infiltrace v různých měřítcích, ale míra nejistoty zařazení jednotek BPEJ, např. k půdnímu druhu, tedy detailní zrnitostní kategorii, je velká a značně ovlivňuje celkový výsledek. Tomuto tématu se budeme dále podrobněji věnovat.

Každá půda na svém stanovišti odolává zátěži – negativním procesům, jako jsou erozní odnos a opětná akumulace půdních částic v místech se sníženou unášecí energií proudící vody, mineralizace humusu, acidifikace a ztráty živin, zhutnění atd. Jestliže je překročena určitá kritická mez, nazývaná vulnerabilita, radikálně se mohou proměnit (zhoršit) některé půdní vlastnosti jako mocnost, pórovitost, objemová hmotnost, zrnitost, štěrkovitost, kyselost, strukturotvornost, biologické oživení a mnoho dalších a může se zhroutit celý půdní systém. V krajním případě půda zaniká, nebo se navrací do počátečních stádií vývoje. Antropogenní tlak na půdy roste



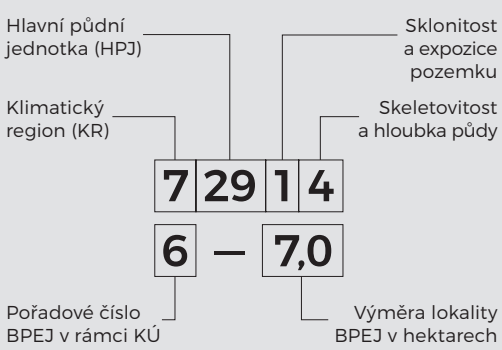
Obrázek 7: Idealizovaná hydropedologická struktura půdního pokryvu.

a díky němu dochází k diferenciaci půdního krytu především v kategorii zemědělských orných půd. K nejintenzivnějším změnám dochází působením, v pořadí významu, eroze, zhutnění, acidifikace a debazifikace. Vyvolané proměny půd se mohou projevovat nejen změnou důležitých fyzikálně-chemických parametrů v rámci půdního subtypu, ale často jsou popisovány případy, kdy původní jednotky jsou nahrazovány jinými. V poslední době jsou díky dálkovému průzkumu země (DPZ), modelování terénu a digitálním metodám mapování, ověřovaných pozemní prospekcí, evidovány např. výrazné nárůsty

Rámeček 2

Hodnocení půd podle bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ)

Číselný kód BPEJ –
Bonitová půdně ekologická jednotka



Obrázek 8: Popis číselného kódu BPEJ.

Systém bonitačního hodnocení zemědělských půd oceňuje veškeré zemědělské půdy v Česku na základě přirozené úrodnosti a lokálních ekologických podmínek.

Na přiloženém schématu (obrázek 8) je vysvětlený pětimístný kód BPEJ. Druhé a třetí číslo definuje hlavní půdní jednotky (HPJ), které mohou být složeny i z několika půdních typů a subtypů, které jsou si přirozenou úrodností blízko. Naproti tomu se však areál jednoho půdního subtypu často rozpadá do několika jednotek BPEJ podle vnitřní heterogenity z hlediska hloubky půdy, svažitosti, expozice a štěrkovitosti. Tyto vlastnosti půd jsou zachyceny v posledních dvou číslech kódu.

Pro odvození dvou pro nás důležitých půdních vlastností – propustnosti a retence pro vodu – je rozhodující znalost zrnitostního složení. Jednotka BPEJ však v tomto směru zahrnuje v některých případech příliš velké rozpětí jeho hodnot. Je proto třeba konfrontovat tyto mapy s původními mapami komplexního průzkumu zemědělských půd (KPZP).

Příklad můžeme uvést pro HPJ 29 – kambizemě ze svahovin pevných hornin okruhu středně minerálně bohatých krystalických hornin, která je v celém povodí Želivky nejvíce zastoupena. Ta je podle štěrkovitosti sice rozdělaná na kategorie bezštěrkovité – středně štěrkovité a silně štěrkovité, ale zrnitost se může pohybovat v širokém rozpětí písčité--hlinitopísčité-písčitohlinité a hlinité, tedy se zastoupením jílu od 10 % do 45 %.

Optimálním souborem mapových podkladů pro posouzení role půdy v celkové vodní bilanci povodí je proto doplnění map BPEJ o leteckou ortofotomapu, mapu KPZP a jednotky zakřivení reliéfu z modelu terénu.

ploch koluvizemí (akumulovaných) a regozemí (erodovaných půd). Koluvizemě mají humusový horizont s mocností nad 50 cm, regozemě půdní profil bez horizontu B a horizont A nově se formující z původního podorničí. Díky tomu je většinou lehčí zrnitosti a štěrkovitější.

Dobrý stav půdy je zárukou menších nákladů na překonávání důsledků výkyvů počasí, jako jsou silné srážky, období sucha i zachování dobré kvality povrchové i podzemní vody. Vývoj počasí posledních let má stále více extrémní podobu a role půdy bude stále důležitější při tlumení jak povodňových vln, tak v tlumení dopadů meteorologického sucha na zemědělství, lesnictví a celou krajinu.

Stručná charakteristika půdního krytu povodí

Struktura půdního krytu v zájmovém území je výsledkem proměnlivosti působení hlavních půdotvorných faktorů v krajině, především matečných hornin, reliéfu, původního vegetačního krytu a způsobu využívání půdy dnes i v minulosti. Protože chceme posoudit především roli půdních vlastností na odtok vody z povodí, musíme brát zřetel nejenom na uspořádání půdních jednotek v prostoru, ale i na heterogenitu celkové půdní mocnosti, zrnitosti, strukturnosti, štěrkovitosti a humóznosti uvnitř mapovacích jednotek, které jsou k dispozici z výchozích půdně-kartografických podkladů, tedy map KPZP, BPEJ a půdních map 1 : 50 000. Hlavní snahou tedy je zpřesnění infiltračních a retenčních poměrů, které mají navíc mnohé příčinné souvislosti s počty pramenních vývěrů, výrony mělkých i hlubokých podzemních vod na povrch a s celkovou hydrogeologickou strukturou. Na obrázku 7 je zachycena složitá cesta vody půdním

Rámeček 3

Rozmístění půd v krajině

Půdy jsou v krajině uspořádány podle působení půdotvorných faktorů. Rozhodující jsou parametry reliéfu a způsob využití půdy. Dlouhodobé zemědělské využívání půdy zcela změnilo profily půd, především svrchní horizonty se orbou velmi vzdálily svými znaky a vlastnostmi. Zanikl výrazný lesní horizont nadložního humusu a další ne příliš mocné povrchové horizonty byly nahrazeny. Dlouhodobá kultivace s hnojením upravila některé parametry půd – především pH, sorpční komplex a jeho nasycení a množství humusu – směrem k vyšším hodnotám, naproti tomu zhoršila rozmanitost života v půdách (edafonu) a samoregulující mechanizmy jako např. odolnost struktury. Tyto změny mají vesměs degradační účinky, z nich nejzávažnějšími jsou vodní a orebná eroze, zhutnění a znečištění cizorodými látkami. Eroze postupně zarovnává reliéf a je přirozeným pochodem vývoje reliéfu. Člověk změnil část naší lesnaté krajiny na kulturní step a urychlil vodní erozi. Přesuny půdních částic erozním ronem do podsvahových konkávních částí se postupně půdy diferencují na erozí ochuzené partie (regozemě) a obohacené (koluvizemě) – obrázek 9.

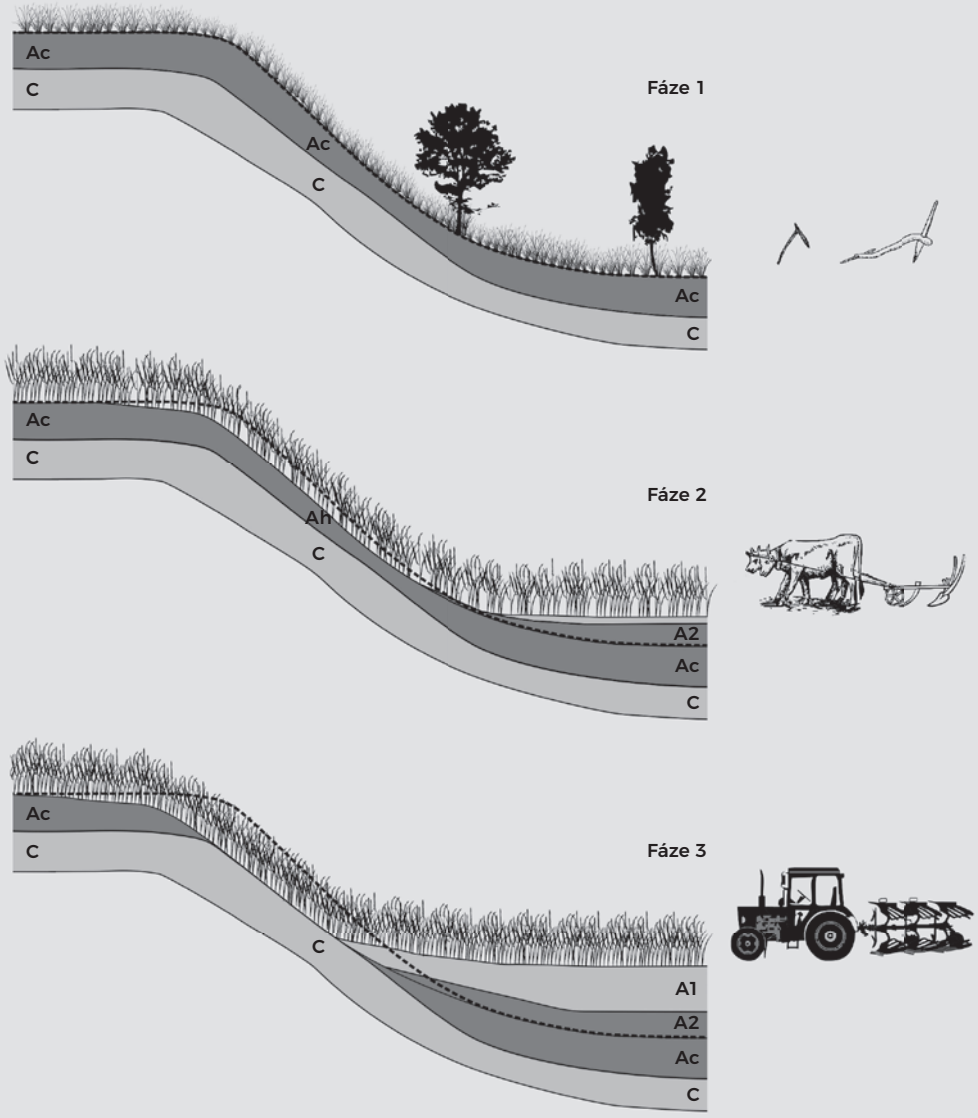
Podle Zádorové a kol. (2011) je možné schematicky tento proces v čase zachytit následovně:

Fáze 1 probíhala v počátcích zemědělství a díky primitivnímu způsobu hospodaření neznamenala mnoho změn pro půdy, které byly ještě v původním stavu.

Fáze 2 se již spolu s intenzivnějším hospodařením ve středověku začala projevovat koluviováním původních půdních typů.

Fáze 3 s nástupem nové agrotechniky s hospodařením na zcelených honech zásadně urychlila erozně-akumulační procesy, které lokálně mění půdní kryt díky vzniku původně neexistujících typů.

Poslední fáze vývoje půd erozně-akumulačními procesy mění zrnitostní složení půd i jejich hloubku. Jemnozem se postupně přemísťuje do podsvahových poloh, které se stávají zrnitostně těžšími. Naproti tomu erodované konvexní části svahů jsou skeletovitější a zrnitostně lehčí. Ve vztahu k vodě jsou konvexní části náchylnější k erozi, ale lépe jimi infiltruje srážková voda do podloží, úpatí svahů a dna svahových úpadů jsou cílem akumulace jemnozemě z vyšších svahových partií a mají vyšší vodní retenci.



Obrázek 9: Změny profilů půd při zemědělském využívání pozemků.
Zdroj: Zádorová a kol. (2013)

a horninovým prostředím a její transformace do odtékající vody v recipientech.

Půdní profil je z hlediska zrnitosti půd velmi rozdílný na temenech kopců (písčité a hlinitopísčité substráty) a v údolí (hlinité až jílovité substráty). Hloubka půdního profilu kolísá od mělkých půd (0,3 m) až po půdy hluboké nad 1,0 m. Půdní profil je výrazně modifikován pramenními vývěry a půdními izolátory vzniklými chemickými procesy, záteky jemných částic skrz makropóry k rozhraní půda–hornina, zhutněním půdního profilu mechanizačními prostředky (více v kapitole 2 o vodním režimu krystalinika). Šeda (2014) uvádí, že v oblastech krystalinika, tj. především v jižní polovině naší republiky a v severních pohraničních horách, jsou rozsáhlé lokality, kde se obvykle vyskytují pouze jedna až dvě základní vodárensky využitelné zvodně. První, často nespojitá, omezená na menší plochy dané především morfologií terénu, ale současně zvodeň prakticky přítomná v každém povodí, je vázána na kolektor, který tvoří kvartérní pokryv a mělké pásmo zvětralin či masivního připovrchového rozpojení puklin skalního podkladu. Mocnost této zvodně činí zpravidla pouze několik metrů, hladina podzemní vody (HPV) je volná a nachází se mělce pod povrchem terénu. Podložním (v daném případě mezilehlým) izolátorem je buď tzv. „cementační pásmo“ o mocnosti obvykle pouze několika desítek centimetrů, tj. pásmo snížené propustnosti nezpevněných kvartérních sedimentů vniklé vysrážením některých iontů z vodního roztoku, nebo skalní prostředí, sice zvětralé či rozpukané, ale v němž jsou pro vodu propustné dutiny druhotně zatěsněné jílovitými produkty větrání matečné horniny nebo jílovitými záteky z kvartérního pokryvu. Druhá vodárensky využitelná zvodeň v oblasti krystalinika je obecně vázaná na pásmo připovrchového rozpojení puklin skalního podkladu. Je to pásmo zasahující do hloubek několika desítek metrů, někdy především v oblastech rigidních vyvřelin i výrazně přes sto metrů, přičemž bazální izolátor tvoří pásmo, kdy se pro vodu propustné pukliny svírají. Tato druhá zvodeň v oblasti krystalinika je těžko definovatelný systém dílčích subzvodní, které dohromady vytvářejí jeden zvodnělý systém charakteristický stejnou či obdobnou ustálenou úrovní hladiny podzemní vody, podobnou jakostí vody a časovým režimem tvorby podzemní vody. Činitelů, které její výskyt určují, je celá řada, avšak kromě morfologie terénu se jako klíčový jeví litologický charakter horniny a stupeň jejího tektonického postižení. Ve vztahu k nadložní kvartérní zvodni je na plošně velmi rozsáhlých náhorních plošinách (např. prakticky celá Českomoravská vrchovina) obvyklé, že ustálená hladina podzemní vody první zvodně (kvartérní) je zpravidla výše až významně výše než hladina zvodně druhé (krystalinické) a při jejich propojení hrozí ztráta vody v první zvodni.

Celé povodí vodárenské nádrže leží na vltavsko-dunajském pomezí, označovaném z geologického pohledu jako Moldanubikum. Je to jedna z nejstarších a nejstabilnějších části Českého masívu. Reliéf náleží typově k pahorkatinám s vyššími výškovými rozdíly a vrchovinám. Budovány jsou hlubinně metamorfovanými horninami – rulami, pararulami, migmatity, ortorulami či svory anebo mladšími komplexy plutonických granitoidů. Oblast nebyla postižena mořskou transgresí a její vývoj reliéfu přes několik fází tektonických zdvihů a poklesů směřoval k parovinnému rázu. Z hlediska minerální síly substrátů se jedná především o chudší horniny s vysokým zastoupením křemene. Jejich zvětraliny nacházíme ve formě soliflukčních svahových sedimentů, které se vytvářely v periglaciálním klimatu čtvrtohor, a dnes jsou matečným substrátem kambizemí. Na svazích východní a jihovýchodní expozice nižších nadmořských výšek jsou často obohaceny eolickým materiálem a mají charakter těžších polygenetických hlín, na kterých se můžeme setkat s luvizemními subtypy kambizemí až s luvizeměmi. Většina matečných hornin půd, se kterými se v povodí setkáváme, jsou z hlediska pozice k původnímu horninovému podloží alochtonní povahy. To znamená, že jejich minerální obsah není pouze přímým dědictvím původního nezvětralého horninového podloží, ale směsí zvětralinového pláště vyšších částí svahů.

Rámeček 4

Popis hlavního půdního typu v povodí Želivky

Geologická stavba povodí je až na výjimky monotónní, tvořená krystalickými horninami. Zvětráváním těchto krystalických hornin vznikly lehčí a hrubozrnnější matečné substráty. Jejich hlavní složkou jsou křemen, živce a slídy, doplněné ve větším či menším množství tmavými minerály jako amfibol, turmalín apod. Tyto substráty se během dob ledových v pleistocénu (asi 2 miliony let) působením gravitace při mrznutí a tání (tzv. soliflukci) ukládaly na svazích. V nižších nadmořských výškách se do těchto svahovin často přimísily prachové (eolické) částice, které posunuly zrnitostní složení směrem ke střední (hlinité) třídě.

Základní stavební jednotkou půdního krytu je kambizem KA (dříve hnědá půda – foto 9), nejrozšířenější půdní typ na území Česka. Název je odvozen z latinského slova cambiare – měnit, vyměnit, protože v horizontu B dochází k vnitropůdnímu zvětrávání původních minerálů, při kterém se uvolňují některé živiny, Fe, Al, a tvoří se jílové minerály jako např. illit.

Volné železo zbarvuje půdu do rezivých až červených odstínů. Kambizemě se vyskytují v mírném humidním klimatickém pásmu, a to především pod listnatými lesy. U nás je najdeme ve všech lesních výškových stupních, od dubohabrových až po horské bučiny s jedlí. Zrnitostně jsou kambizemě lehčí, nejčastěji písčitohlinité a hlinitopísčité. Kambizemě jsou velice rozmanité z hlediska trofismu (minerálního bohatství půdy, jež podmiňuje nasycenost či nenasycenost půd a tím i jejich odolnost vůči okyselení a podzolizaci), zrnitosti, chemických i fyzikálních vlastností a forem nadložního humusu (moder) v případě lesních půd. V jejich vlastnostech se odráží vliv půdotvorného substrátu a nadmořské výšky. Kambizemě se vyznačují bohatým podílem volných prostorů mezi agregáty i uvnitř agregátů a vysokou biologickou aktivitou v původním neporušeném stavu. Kambizemě jsou vývojově mladé půdy a vyvinuly se nejčastěji z rankerů a pararendzin. Hlavními půdotvornými procesy je humifikace a sialitizace, tj. sialitické zvětrávání s tvorbou druhotného jílu (illitu) bohatého na křemík.

Foto 9: Kambizem.
Zdroj: Tomášek M.

Díky velké rozmanitosti půdotvorných faktorů kambizemě nacházíme v široké škále subtypů od mělkých a skeletovitých slabě vyvinutých litických a rankerových až po hluboké modální, hydromorfizmem ovlivněné oglejené i silně kyselé a sorpčně nenasycené dystrické půdy. Mimo uváděné modální, luvické a oglejené subtypy jsou ostatní subtypy výlučně lesními půdami.

Půdní kryt je výrazně monotónní, jeho nízká rozmanitost a kontrastnost koresponduje s malou rozmanitostí matečných hornin původního vegetačního krytu i klimatu. Současné půdy jsou vesměs holocénní, to znamená maximálně 12 tisíc let staré. Původně se vyvinuly jako lesní půdy dubobukových, bukových až bukojedlových lesů kambizemního typu a částečně jako mladé půdy azonálních lužních lesů se zastoupením vrb, olší, jasanů, topolů a jilmů na glejových a fluvizemních půdních typech. Kambizemě, jako nejrozšířenější půdní typy Česka, mají velkou subtypovou variabilitu, především díky širokému spektru texturních, hydromorfních a fyzikálně chemických vlastností (rámeček 4).

Troficky patří kambizemě hlavně ke kyselým a sorpčně středně až silně nenasyceným kategoriím lehkých až středně těžkých půd. Díky poměrně konsolidovanému starému reliéfu, jehož vývoj směřuje k parovině, jsou půdy hluboké až středně hluboké podle polohy ve svahu a štěrkovitost i kamenitost je relativně nízká. Pouze v dolních částech vodních toků vznikla v pleistocénu postupně díky zpětné erozi hlouběji zařízntutá údolí. Nástup zemědělství byl ve srovnání se starosídelní oblastí středního Polabí a jeho širšího okolí opožděný. Odlesnění a následné zemědělské využívání přesto výrazně zasáhlo do půdotvorných procesů. Především přemísťováním jemnějších půdních částic jílové a prachové frakce po spádnici svahu vodní erozí, došlo k urychlení erozně akumulačního procesu, který je v současnosti považován za jednu z nejvážnějších příčin degradace půd. Již od raného středověku byly podsvahové konkávní polohy reliéfu a dna údolí postupně zaplňovány přemístěnými jemnými půdními částicemi, především hlinité povahy. Dna údolí zaplněná půdami přemístěnými fluviální činností vodních toků do podoby plochých niv (aluvií) mají povahu regionální, to znamená, že jsou zde akumulovány půdní sedimenty celého povodí. V podsvahových polohách, které mají lokální charakter, jsou půdní koluviální sedimenty složené z jemnějších půdních částic pocházejících z výše položených partií svahů a plošin. V obou těchto reliéfem predisponovaných polohách nacházíme často půdy semihydromorfní (pseudogleje, stagnogleje, fluvizemě a oglejené subtypy kambizemí – foto 10 a 11) a hydromorfní (gleje). Přechod niv do koluvizemí je nesnadno vymezitelný, protože fluviální a svahové procesy jsou propojené a ve styčných místech se kombinují.

Rozdíly mezi půdami lesními a zemědělskými jsou, díky dlouhodobě odlišnému vývoji od neolitu, také patrné podle subtypového zastoupení kambizemních půd. U lesních půd je plošně více mesobazických až dystrických, litických a rankerových kambizemí, protože pro lesní plochy je typičtější svažitější reliéf s častějšími výchozy hornin, zemědělské půdy mají naproti tomu díky agrotechnickým zásahům chemické parametry udržované na úrovni modálních subtypů díky úpravě pH a nasycenosti sorpčního výměnného komplexu. Obecně platí,

Foto 10: Semihydromorfní půdy.
Zdroj: Kvítek T.

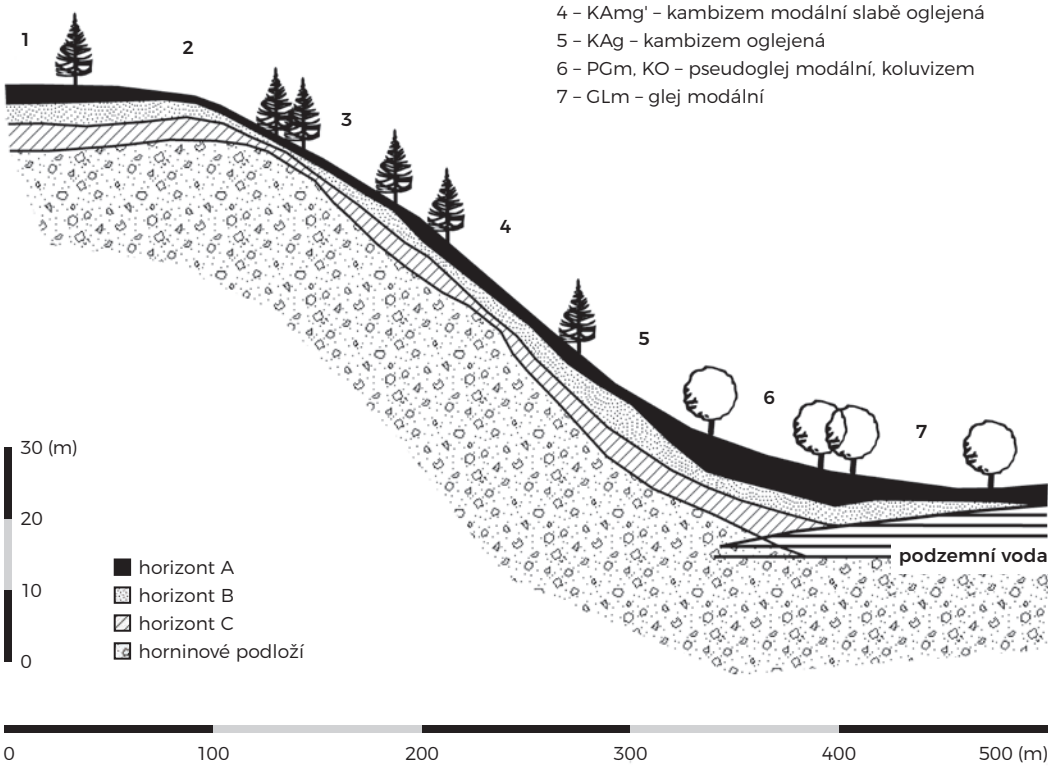
Foto 11: Semihydromorfní půdy.
Zdroj: Kvítek T.

že ve vyšších polohách nad 600 m n. m. začínají dominovat dystrické kambizemě, u lesních půd se s nimi setkáváme častěji i v nižších polohách. Jsou silně kyselé a sorpčně nenasycené a pod lesy tvoří společně s kryptopodzoly přechodový článek k podzolům. Podzolizace je navíc podpořena od 19. století zavedením velkoplošného pěstování smrkových a borových monokultur, ve kterých rozklad organického detritu, hlavně jehličí, v nadložním humusu ještě více okyseluje půdní horizonty. Na půdách z minerálně chudších hornin v tomto případě můžeme mluvit o formě antropogenně podmíněné podzolizace, která v budoucnu může nabrat na rychlosti.

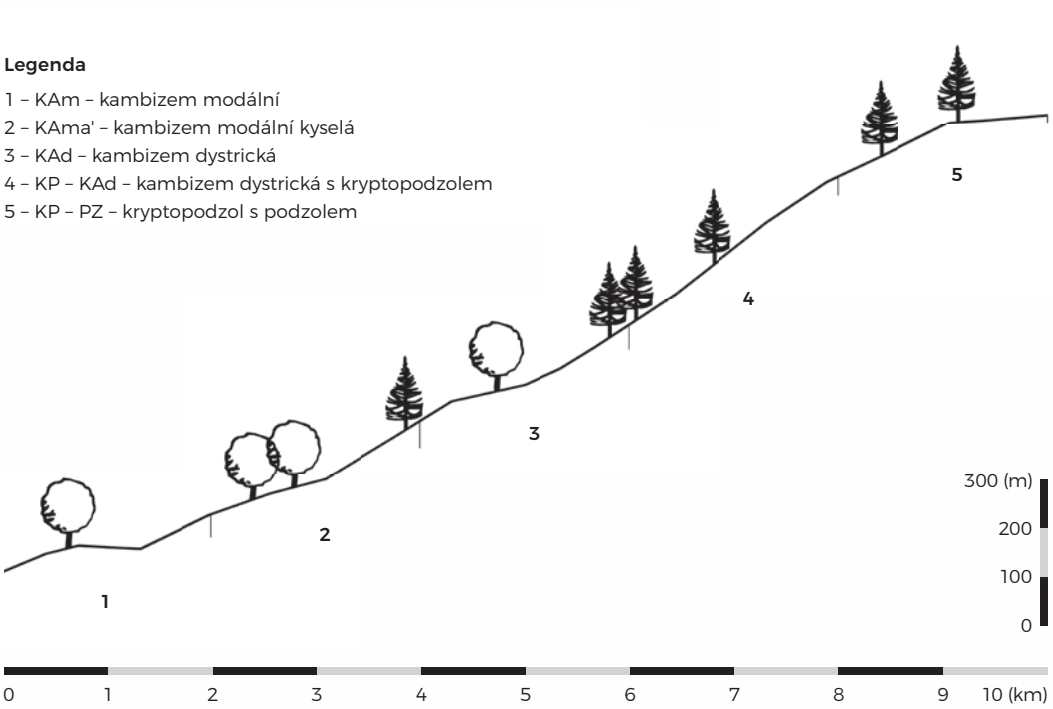
Z hlediska struktury půdního krytu v povodí můžeme použít zjednodušené generalizované schéma, tzv. půdní katénu. Hydromorfní katéna (obrázek 10) nám ukazuje schematické uspořádání půd v řezu krajinou napříč údolím od rozvodí do nivy vodního toku.

Obrázek 10: Generalizované schéma hydromorfní katény zachycující řez svahem v detailu subpovodí s dominancí kambizemí modálních kyselých.

Legenda
1 – KAma' – kambizem modální kyselá
2 – KAs, RG – kambizem rankerová, regozem modální (arenická)
3 – KAma' – kambizem modální kyselá
4 – KAmg' – kambizem modální slabě oglejená
5 – KAg – kambizem oglejená
6 – PGm, KO – pseudoglej modální, koluvizem
7 – GLm – glej modální



Obrázek 11: Generalizované schéma topografické katény.



Tabulka 5: Zastoupení jednotlivých HPJ ve vybraných vodních útvarech

ID a název vodního útvaru	HPJ	Zastoupení ze ZPF (%)	ID a název vodního útvaru	HPJ	Zastoupení ze ZPF (%)
DLV_0330 Želivka (Hejlovka) od pramene po Cerekvický potok	29	23,23	DVL_0390 Kejtovský potok od pramene po ústí do toku Trnava	29	66,88
	34	45,78		37	1,31
	37	0,08		47	10,85
	50	17,37		50	1,05
	64	1,29		58	0,42
	67	9,32		67	0,12
	68	2,46		68	2,51
	73	0,33	DVL_0400 Trnava od toku Kejtovský potok po ústí do toku Želivka (Hejlovka)	29	72,23
DVL_0340 Cerekvický potok od pramene po ústí do toku Želivka (Hejlovka)	29	23,40		50	3,38
	34	51,64		58	29,24
	37	0,04	DVJ_0450 Blažejovický potok od pramene po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	29	68,40
	50	8,98		32	2,82
	64	0,23		37	0,86
	67	12,73		47	1,45
	68	2,86		50	17,19
	73	0,12		68	8,06
DVL_0380 Trnava od pramene po Kejtovský potok	29	75,79		71	0,01
	32	0,70		73	0,00
	34	4,50	DVL_0470 Čechtický potok od pramene po ústí do toku Sedlický potok	29	68,04
	37	0,10		32	4,15
	40	0,01		37	0,77
	47	0,31		40	0,88
	50	7,49		47	1,35
	58	3,52		50	10,71
	64	0,24		64	0,26
	67	0,66		67	11,89
	68	6,28		68	1,96
	71	0,22			
	73	0,00			

Poznámky: Názvy vodních útvarů jsou uvedeny v kapitole 1.6 Charakteristika vodních útvarů v povodí, obrázek 34 a tabulka 9. ZPF – Zemědělský půdní fond

Topografická katéna (obrázek 11) zachycuje obecnou zákonitost výškové zonality s uspořádáním půd v transektu povodím od nejnižších poloh do nejvyšších.

V prvním případě je vidět nárůst hydromorfizmu odpovídající zvyšujícímu se nasycení půdy vodou po spádnici od rozvodí ke dnu údolí s vodním tokem, kde již vysoko položená hladina podzemní vody podmiňuje glejový půdotvorný proces s redukčními horizonty. Řetězec půd má následující články: kambizem modální – kambizem mezobazická (rankerová, arenická, regozem) – kambizem modální akumulovaná slabě oglejená – kambizem akumulovaná (koluvizem) oglejená – pseudoglej modální - glej nebo fluvizem glejová. Ve druhém případě od nejnižších nadmořských výšek má katéna hlavní členy: kambizem modální – kambizem mezobazická – kambizem dystrická – kryptopodzol – podzol. Toto schéma je zobecněné a nebere ohled na horninovou variabilitu a způsob využití.

Původní vývoj svahů jako součást zarovnávání reliéfu se po odlesnění díky erozi, acidifikaci s debazifikací, zhutnění a dalším negativním vlivům urychluje a vychyluje přirozený vývoj půd i zastoupení jednotlivých půdních představitelů nejen proměnou jejich fyzikálně chemických parametrů jako je kyselost, sorpční komplex, humóznost, pufrace, zrnitost, štěrkovitost, hloubka půd, ale ve výsledku dochází k proměně půdního krytu z hlediska zastoupení půdních jednotek, jejich velikosti i tvaru, jak dokazují práce z poslední doby (Zádorová, 2011 a další). To vše je důvodem k obezřetnosti v přístupu k dosavadním pedologickým podkladům starým 45 let, který musí být kritický a musí hledat způsoby jejich objektivizace podle postupů, které nám současné technické možnosti nabízejí.

Kambizemě zaujímají 75,7 % plochy povodí Želivky, pseudogleje 5,1 %, gleje 16,8 % a fluvizemě 2,4 %. Podle Syntetické půdní mapy 1 : 200 000, list C-3 Tábor převažuje v povodí Želivky, podle morfogenetického klasifikačního systému, kambizem typická varieta kyselá, ve

Legenda

29 – kambizemě modální převážně mezobazické včetně slabě oglejených variet ze svahovin metamorfovaných a granitických pevných hornin střední až lehčí zrnitosti – 54,9 % na zemědělském půdním fondu (ZPF),

32 – kambizemě podobné povahy jako předešlé, ale zrnitostně lehké s výrazným podílem hrubého písku až grusu (1 %),

34 – kambizemě dystrické v chladnějších oblastech nadmořských výšek nad 600 m, výrazně kyselé a sorpčně nenasycené (19,6 %),

37 – skupina mělkých a slabě vyvinutých půd umístěných především na prudších svazích a v jejich horních částech (0,7 %),

40 – skupina svažitých půd nad 12° zrnitostně lehčí a bez typologického zařazení (0,5 %),

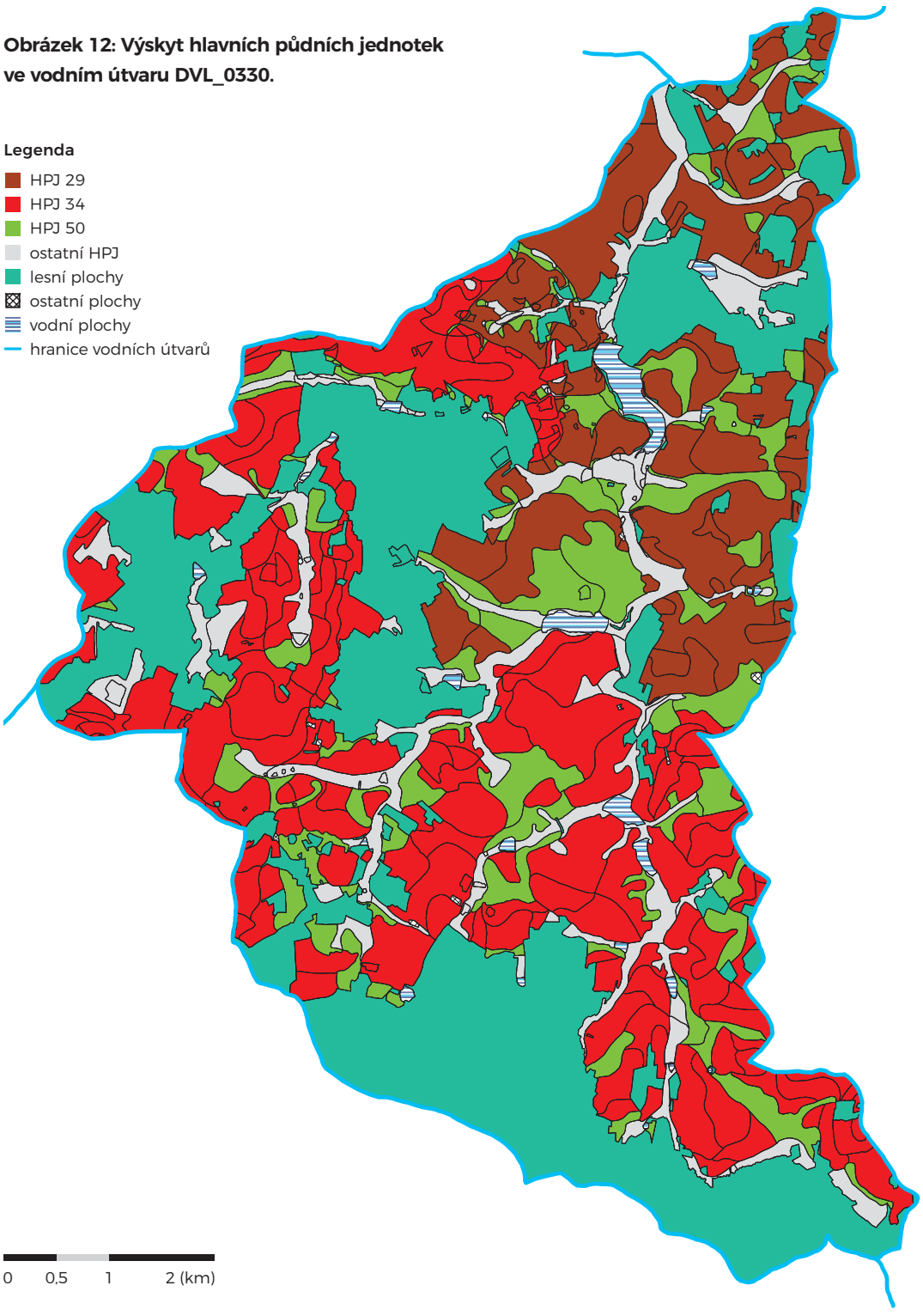
47 – pseudogleje z eolicky obohacených svahovin zrnitostně středně těžké (0,8 %),

50 – kambizemě oglejené, pseudogleje modální ze zvětralin hornin jak jsou uvedeny v HPJ 29 (11,4 %),

58 – fluvizemě případně na ně navazující koluvizemě v nivách především dolních částí vodních toků (0,6 %),

64, 67, 68, 71 a 73 – skupina hydromorfních půd, především glejů, na dnech údolí a v pramenních částech prakticky všech vodních toků (9,3 %).

Obrázek 12: Výskyt hlavních půdních jednotek ve vodním útvaru DVL_0330.



výše položených okrajových částech povodí kambizem dystrická a v jihozápadní části povodí až po obec Kámen a také v severní části povodí pak kambizem typická. Úzké nivy horních částí vodních toků jsou vyplněny glejem typickým, nivy dolních částí toků pak fluvizemí typickou. V lokálně zamokřených svazích se vyskytuje pseudoglej typický. Generalizace uvedených map je však příliš velká a nedá se použít pro detailnější studium půdního krytu. Půdní mapa 1 : 50 000 je v tomto směru ideální, protože lesní půdy jsou na rozdíl od podobných map přehledových v měřítku 1 : 200 000 nebo 1 : 250 000 zobrazené podle podkladů lesnické typologie a nejsou tedy interpolované podle zemědělských ploch. Prozatím však nejsou k dipozici ve vektorové podobě půdní mapy v měřítku 1 : 50 000 pro celé území VN Švihov na Želivce, a proto ji použijeme jenom na zpracování modelového vodního útvaru DVL_0330.

Předchozí mapy jsou generalizací komplexního průzkumu zemědělských půd (KPZP) v měřítku 1 : 5 000 nebo 1 : 10 000 ze šedesátých let minulého století. Mapy jsou k nahlédnutí v půdním archivu jako negeoreferencované rastrové pracovní mapy (SOWAC-GIS) a nedají se jednoduše využít pro analýzu půdního krytu celého povodí. Tyto půdní mapy sloužily následnému bonitačnímu mapování jako podkladová matrice pro mapy BPEJ 1 : 5 000, které jsou zpracovány vektorově. Z toho vyplývá, že jejich použití je velmi operativní, ale protože jsou vytvořeny pro oceňování půd podle jejich přirozené úrodnosti, narážíme na některá interpretační úskalí. Hydropedologické funkce půd se dají odvodit jenom přibližně a je třeba mít na zřeteli nepřesnosti, které vznikají hlavně nedostatečnou informací o zrnitostním složení půd. Abychom je mohli lépe specifikovat, tak provedeme v další kapitole analýzu vhodnosti jejich použití.

Z hlediska bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) se např. ve vodním útvaru DVL_330 vyskytují (obrázek 12) převážně následující hlavní půdní jednotky (HPJ), které je možné vyčíst z prvního dvojčíslí (2. a 3. číslo) kódu (počet HPJ je 78). Půdy s marginálním zastoupením, to znamená s podílem pod 0,5 % v ZPF, v tomto případě neuvažujeme, protože jejich lokalizace v této velkoplošné studii nemá význam (tabulka 5).

Z této bonitační charakteristiky vyplývá, že půdně typologicky je v povodí kambizemí 75,5 %, pseudoglejů 12,2 %, glejů 9,3 %, svažitých, mělkých a silně štěrkovitých zemědělských půd 1,3 %, podle HPJ 37 a 40.

Velmi kontroverzní, zatím odborně nedořešenou, kapitolou ve vývoji půdního krytu bylo období masívního odvodňování pozemků v šedesátých až osmdesátých letech minulého století. Neměnilo se jím druhové nebo typové složení půd, ale především jejich vodní (především retence vody) a vzdušný (zvrat z redukčního na oxidační) režim. Ovlivněno však bylo více půdních vlastností, např. úbytek organických látek v půdě jejich zvýšenou mineralizací, pozměněná rychlost denitrifikace apod. Nevíme přesně z kolika procent odvodňovací systémy fungují, ale relativním vyjádřením bylo povodí Želivky odvodněno méně – 17 % než ostatní plochy ZPF v Česku s hodnotou mezi 20 a 25 %. Z tabulky 6 je patrné, že nejvíce odvodněny byly logicky semihydromorfní půdy a hydromorfní

Tabulka 6: Podíl odvodnění převažujících hlavních půdních jednotek zastoupených v povodí Želivky

HPJ	Výměra HPJ v povodí (ha)	Výměra HPJ odvodněná (ha)	Odvodnění HPJ (%)
15	216,56	37,15	17,16
20	2,98	0,65	21,75
29	44 779,74	4 389,95	9,80
32	815,39	50,36	6,18
34	15 979,25	1 796,63	11,24
37	573,55	23,31	4,06
40	377,05	13,88	3,68
46	123,40	38,21	30,96
47	638,80	156,70	24,53
50	9 251,10	4 050,70	43,79
58	453,05	30,39	6,71
64	684,61	491,50	71,79
65	2,50	1,99	79,85
66	10,05	4,10	40,78
67	2 743,87	1 223,33	44,58
68	2 901,73	1 023,05	35,26
69	266,53	110,56	41,48
70	227,38	14,62	6,43
71	524,20	30,75	5,87
72	43,95	30,37	69,12
73	848,74	445,42	52,48
74	82,08	46,66	56,85
75	41,65	1,87	4,48
76	21,80	13,66	62,65
77	5,29	0,20	3,76
Celkem	**81 620,17**	**14 026,00**	**17,18**

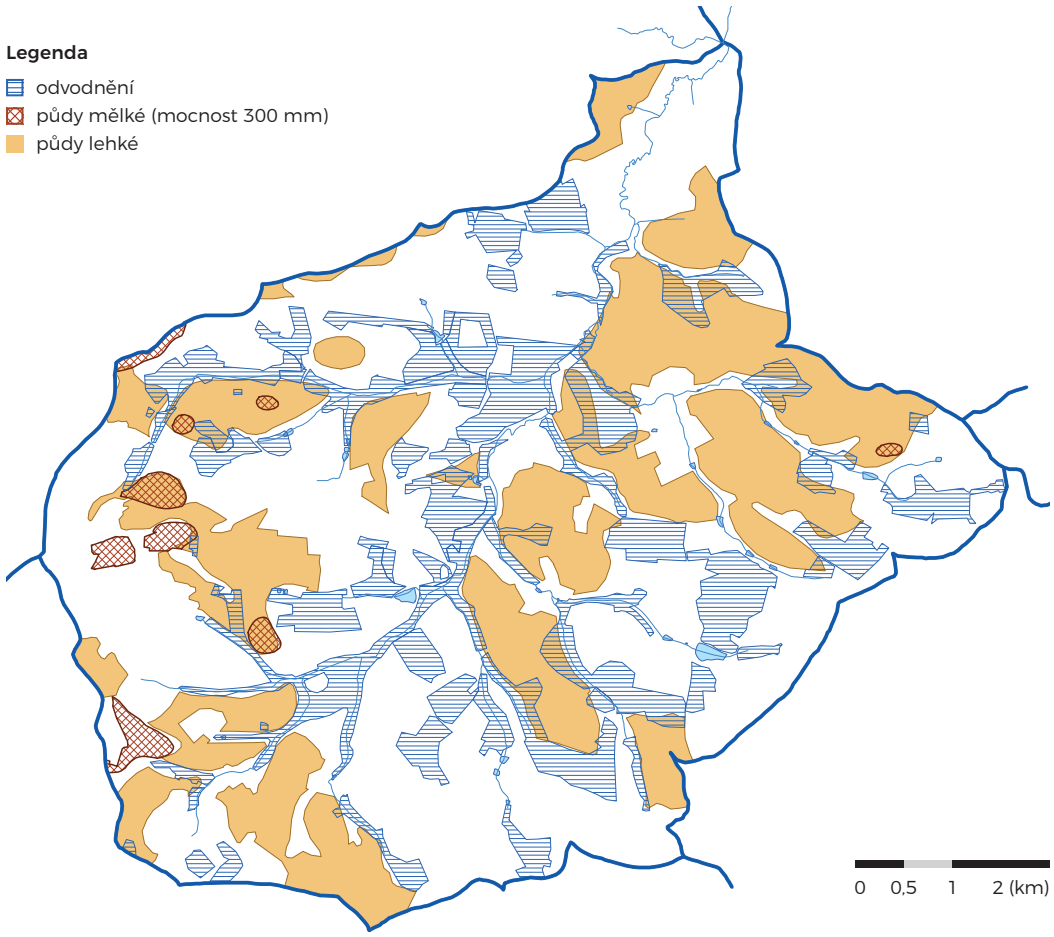
Poznámka: Při analýze odvodněných HPJ nebylo zohledněno, že některé HPJ byly odvodněny vícekrát a odvodňovací stavby se často i překrývají.

půdy, HPJ 64 a 65 jsou konstruovány jako odvodněné, a proto mají přes 70 % odvodněných ploch a HPJ 50 je odvodněna nad 40 %. Ostatní anhydromorfní půdy s nejzastoupenější kambizemní HPJ 29 mají podíl odvodnění kolem 10 %, stejně jako podobná, ale výše položená HPJ 34.

Zajímavější informace o odvodnění nám poskytne údaj o odvodnění podle podrobného zrnitostního složení. Odvodnění lehkých půd můžeme považovat za zbytečné nebo neefektivní z hlediska výše investovaných nákladů. Protože však každé odvodňovací akci předcházel podrobný hydropedologický průzkum, je pravděpodobné, že detailní mapování fyzikálních vlastností na každém pozemku poskytlo odlišné zrnitosti oproti zjištěným při KPZP. V každém případě podle našich podkladů bylo odvodněno relativně velké procento těchto lehkých půd, nejvíce u HPJ 29 – 12,50 %, HPJ 34 – 16,68 % a HPJ 50 – 50,67 % (obrázek 13).

Závěrem kapitoly o půdách zdůrazňujeme, že půdní kryt se vyvíjí podle rychlosti různých degradačních procesů, které jsou vyvolávány zejména nevhodným hospodařením. Fyzikální parametry půd povodí z dosavadních půdních podkladů předchozích mapování nejsou dostatečně detailní a musíme proto hledat cesty, jak je zpřesňovat a objektivizovat.

Obrázek 13: Stav odvodnění ve vodním útvaru DVL_0470 ve vazbě na lehké a mělké půdy.

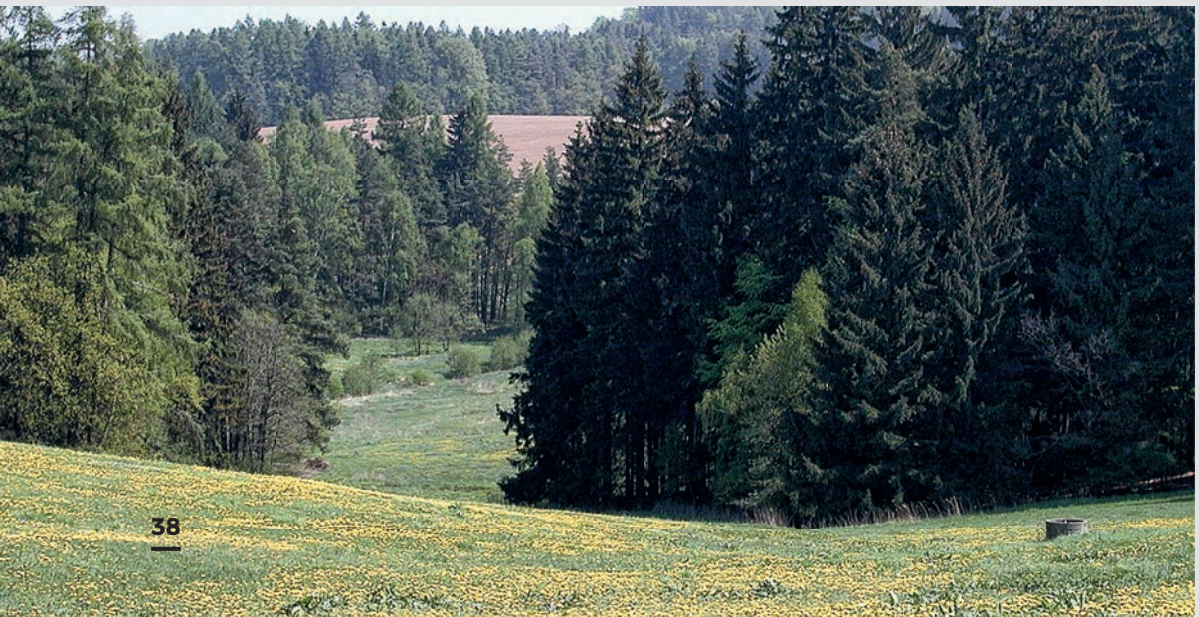


Rámeček 5

Struktura půdního pokryvu

Půdní vlastnosti jsou uspořádány ve vztahu ke sklonitosti a ke konkrétní poloze půdy ve svahu. Směrem od vrcholových plošin k úpatí svahu můžeme popsat čtyři jednotky. Plochý vrchol, konvexní část nebo úbočí, více či méně rovnoměrný svah a konkávní část u úpatí (foto 12). V každé z těchto topografických jednotek působí odlišné půdotvorné procesy, díky nimž jsou půdy ve svahu uspořádány do tzv. katény. Nejdůležitější je povrchové a vnitropůdní laterální proudění vody, které ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půd. V naší krajině je nejdůležitějším poznatkem fakt, že půdy v nižších polohách dostávají větší množství vláhy, resp. se stávají převlhčenými. Roste hydromorfizmus, půdy mají silnější znaky redukčních procesů, kdy nedostatek kyslíku v půdních pórech vyvolává redukci železa z trojmocných forem na dvojmocné, a půdní horizonty dostávají typické skvrnité až mramorované zbarvení šedými a rezivými odstíny, případně i tmavými bročky a nodulemi, typickými pro pseudogleje.

Foto 12: Morfologie terénu ve vztahu k půdnímu pokryvu. Zdroj: Kvítek T.



V místech, kde hladina podzemní vody vystupuje k povrchu, především na dnech úzkých údolí, jsou projevy hydromorfizmu nejsilnější a vznikají gleje, pro něž jsou nejtypičtějšími barvami zelená a modrá.

Idealizovaná typická topografická katéna v povodí Želivky začíná na rozvodní plošině kambizeměmi modálními, ve směru spádnice směrem k vodnímu toku pokračuje konvexním svahem, kde se nejvíce projevuje erozní odnos půdního materiálu, a půdy se stávají lehčími, mělčími a štěrkovitějšími, v extrémním případě regozeměmi a nebo kambizeměmi litickými. V přímé části svahu jsou kambizemě v různém stádiu ovlivnění transportem erodovaného materiálu a mají proto širokou škálu tomu odpovídající subtypové příslušnosti. V konkávní části postupně s růstem mocnosti sedimentovaného materiálu se zvětšuje mocnost humusového horizontu a díky povrchovému i laterálnímu obohacení vodou z vyšších poloh jsou půdy postupně mírně a potom silněji ovlivňovány vodou, která je poutána v systému půdních pórů. Kambizemě mírně oglejené následují kambizemě oglejené a pseudogleje. Konečným článkem katény jsou různé subtypy gleje a nebo ostatních jednotek referenční skupiny stagnoglejů, kde je hospodaření s orbou výrazněji limitováno.

1.4 Svatopluk Šeda

Hydrogeologické poměry

Celé město se může přestěhovat, ale studna ne. Milenci se potkají, uhasí žízeň, založí rodinu a vychovají děti tam, kde je studna. Ale když se jeden z nich rozhodne odejít, studna nemůže jít s ním. A láska, i když je stejně čirá jako ta voda ve studni, tam zůstane také.

Paulo Coelho
Brazilský spisovatel

Objem vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce činí asi 309 mil. m³ vody, objem podzemní vody v horninovém prostředí v povodí tohoto vodního díla je několikanásobně větší. Udržet vodu v krajině je tedy klíčovou potřebou celé vodárenské soustavy Želivka, nemající alternativu. Z toho vyplývá, že studium pohybu vody v území od spadu srážkové vody v jakékoliv její formě na zemský povrch až po její drenáž do povrchového toku je nutno pojímat jako jednu společnou množinu dějů, ať se tato množina v různých částech povodí skládá z rozdílného počtu či významnosti jednotlivých dějů. Podzemní a hypodermický odtok přitom patří mezi nejdůležitější prvky této množiny, a protože tento podpovrchový odtok je kromě jiného funkcí geologické a hydrogeologické stavby území, je jí věnována samostatná kapitola.

Geologické a hydrogeologické poměry

Povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce se nachází v oblasti moldanubika, tj. v geologické jednotce proterozoického stáří, ve které je horninový soubor tvořen převážně metamorfovanými horninami a v menší míře i horninami magmatickými. Tyto krystalinické horniny jsou samy o sobě prostředím hlubšího oběhu podzemní vody. V jejich nadloží, prakticky v souvislé ploše, jsou potom zachovány sedimenty kvartérního stáří různých genetických typů. Ty jsou často prostředím samostatného mělkého oběhu podzemní vody (obrázek 14).

Geologické poměry

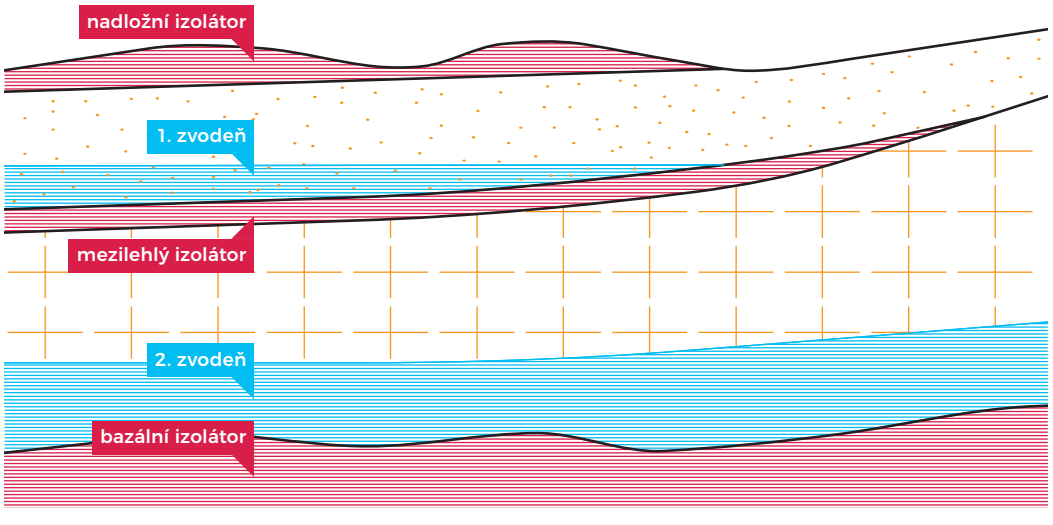
Dnešní reliéf terénu v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, jehož podoba má zásadní význam pro vodní režim území, je výsledkem endogenních a exogenních jevů, které působily stamiliony let na geologickou stavbu zdejšího území. Jeho vývoj je sledovatelný od konce paleozoika, kdy po hlavních fázích variského vrásnění došlo k mohutné denudaci a patrně již v kulmu, tedy na konci paleozoika, byla někdejší vrchovina zarovnána v parovinu. Během mesozoika a hlavně v období terciéru došlo k tektonickým pohybům denudovaného horského trupu, jakožto odezvy alpsko-karpatské orogeneze. Pohyby se projevovaly jednak vyklenováním a vyzdvihováním střední části Českomoravské vrchoviny, jednak vznikem a oživováním vnitřních zlomů. Vrchovina tak dostala svůj dnešní tvar, kdy jednotlivé plošiny jsou omezeny různě vysokými zlomovými svahy, ale vlivem exogenních sil dochází k jejich postupnému obrušování a k odnosu zvětralin do nižších částí území. A protože tento proces postupné denudace je významně ovlivňován litologií horninového souboru, projevující se značnými rozdíly v odolnosti jednotlivých typů hornin vůči exogenním činitelům, poznání geologických poměrů území je jedním z významných faktorů k pochopení vodního režimu území a především jeho části odehrávající se pod povrchem terénu.

Litologie skalních hornin

Povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce je tvořeno téměř výhradně krystalickými horninami spodní stavby Českého masívu, náležející moldanubické kře. Jsou zde zastoupeny jednak metamorfity moldanubického strukturního patra, jednak mladší magmatity variského strukturního patra. Moldanubické metamorfity, představující komplex katazonálních až mezozonálních metamorfovaných hornin, jsou s největší pravděpodobností stáří staroproterozoického. Zastoupeny jsou zde hlavně parabřidlice jednotvárné série a v západní části území pak metamorfity série svorové (obrázek 15).

Horniny jednotvárné série tvoří severozápadní část území a jsou součástí české větve moldanubika. Vlastní série je charakterizována nepatrným podílem vložek odchylných hornin, zvláště vápenců a erlánů, poněkud hojnější jsou vložky amfibolitů a kvarcitů. Základní horninou jsou středně zrnité silimaniticko-biotitické pararuly, místy slabě migmatitizované. V nich je možno rozlišit dva typy, břidličné a masivnější, které se střídají v decimetrových až metrových polohách. Výrazné je toto střídání např. na výchozech v širším okolí Strážiště. V minerálním složení převládá plagioklas nad křemenem a biotitem, podstatnou součástí je také silimanit. Muskovit, draselný živec a granát se vyskytují spíše akcesoricky.

V jihozápadní části území, v širším okolí Obratně, jsou vyvinuty horniny svorové série, které jsou regionálně řazeny k Chýnovským svorům. Jsou považovány za zbytky nejmladšího moldanubického strukturního stupně. S okolními horninami jsou spojeny pozvolnými přechody, místy je styk tektonický. Základní horninou jsou dvojslídné pararuly většinou dokonale břidličnaté s typickou porfyroblastickou strukturou.



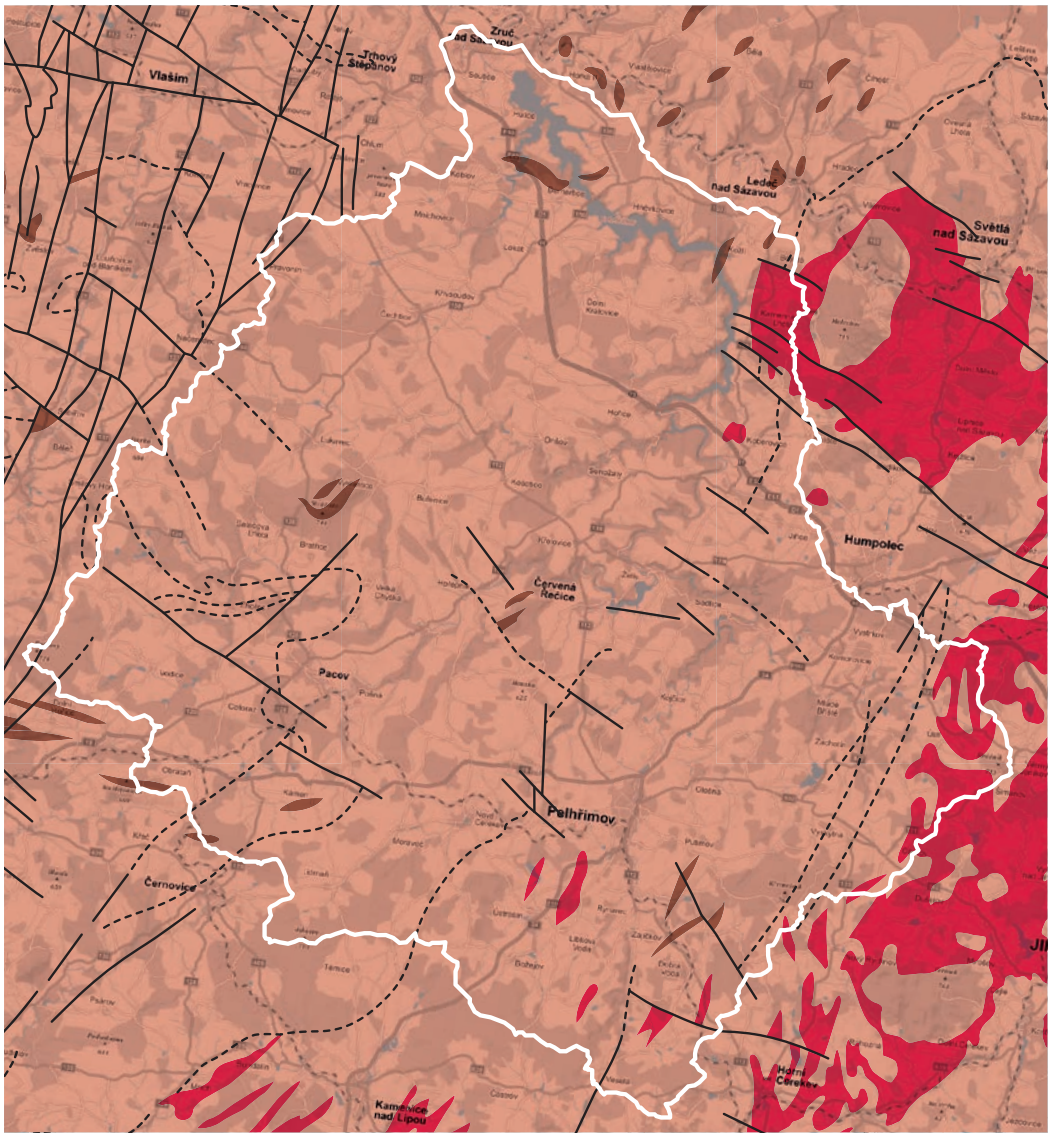
Obrázek 14: Schéma běžného dvoukolektorového zvodnění krystalinika.
Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.

Typické svory jsou vyvinuty jen ojediněle. Zjištěny byly např. v okolí obce Kámen.

Silný vliv složení struktury i textury původních moldanubických hornin měla i periplutonická metamorfóza a migmatitizace vázaná hlavně na moldanubický pluton. V plášti tohoto plutonu jsou vyvinuty migmatity tvořící v zájmovém území pruh SV–JZ směru až 15 km široký. Na severozápadě pozvolna přecházejí přes horniny pestré série s větším zastoupením litologicky odlišných složek (kvarcity, amfibolity, erlány apod.) do pararul jednotvárné série, na jihovýchodě přiléhají k vlastnímu plutonu. Lze v nich rozlišit řadu typů spojených pozvolnými přechody. Převahu mají hrubozrnné cordieriticko-biotitické pararuly s velikostí zrn 1–2 cm. Minerální složení je charakterizováno vysokým obsahem živce, méně hojný je plagioklás a křemen. Směrem k jihozápadu se v tomto pruhu vyskytují deriváty, jejichž základní složkou je biotitická rula, časté jsou injekční žilky tvořené aplity a cordieritickými nebulity vyvíjejících se zpravidla z hrubozrnných pararul cordieriticko-biotitických zvyšováním obsahu živců. Součástí této části moldanubika jsou i četné ortobřidlice, tvořící menší tělesa a vložky v paraseriích. Mezi největší tělesa patří biotiticko-muskovitická ortorula v území mezi Lhotkou a Těchorází, které jsou srovnávány s nejmladším derivátem moldanubických orotorul, ortorulami gfolskými, stejné horniny se potom vyskytují u Arneštovic ve střední části povodí a potom v západním okolí Pacova. V západní a severní části území se potom vyskytují ojedinělé polohy amfibolitů. Společně s nimi, avšak v daleko větší míře, vystupují čočky kvarcitů. V zájmovém území je lze sledovat ve dvou pruzích. První vede z jižního okolí Pacova přes Hořepník a Červenou Řečici k Lhoticím, druhý pak od Lukavce k Onšovu a Hořicím. Největší mocnosti (skoro 500 m) dosahuje kvarcitové těleso Strážiště, ostatní vložky mají mocnost mnohem menší. V terénu se většinou uplatňují jako morfologicky výrazné elevace – např. Čertova skála u Hořepníka, Kostelíček u Onšova aj., a významněji, než by odpovídalo jejich malé ploše, ovlivňují jak povrchový, tak i podpovrchový odtok.

Nedílnou součástí zdejší části moldanubika jsou granitoidní horniny. Tvoří řadu pozdně syntektonických až čistě posttektonických těles obklopených rulami a migmatity. Jsou vesměs variského stáří. K největším tělesům náleží centrální pluton Českomoravské vrchoviny, který zasahuje do severní a východní části území a výrazně se projevuje v morfologii terénu. Jeho drobné apofýzy proráží dále komplexem migmatických a cordieritických rul zejména v jižní části území mezi Pelhřimovem a Dobrou Vodou. Petrografické složení zastoupených granitoidů je do značné míry homogénní. Rozdíly jsou pouze ve velikosti zrna, rozdíly v minerálním složení bývají nevýznamné. V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou nejrozšířenější světlé, muskoviticko-biotitické granity až adamelity eisgarského typu. Jsou většinou jemnozrnné až drobně zrnité (mrákotínský typ)

Obrázek 15: Přehledná geologická mapa zájmového území. Zdroj: ČGS



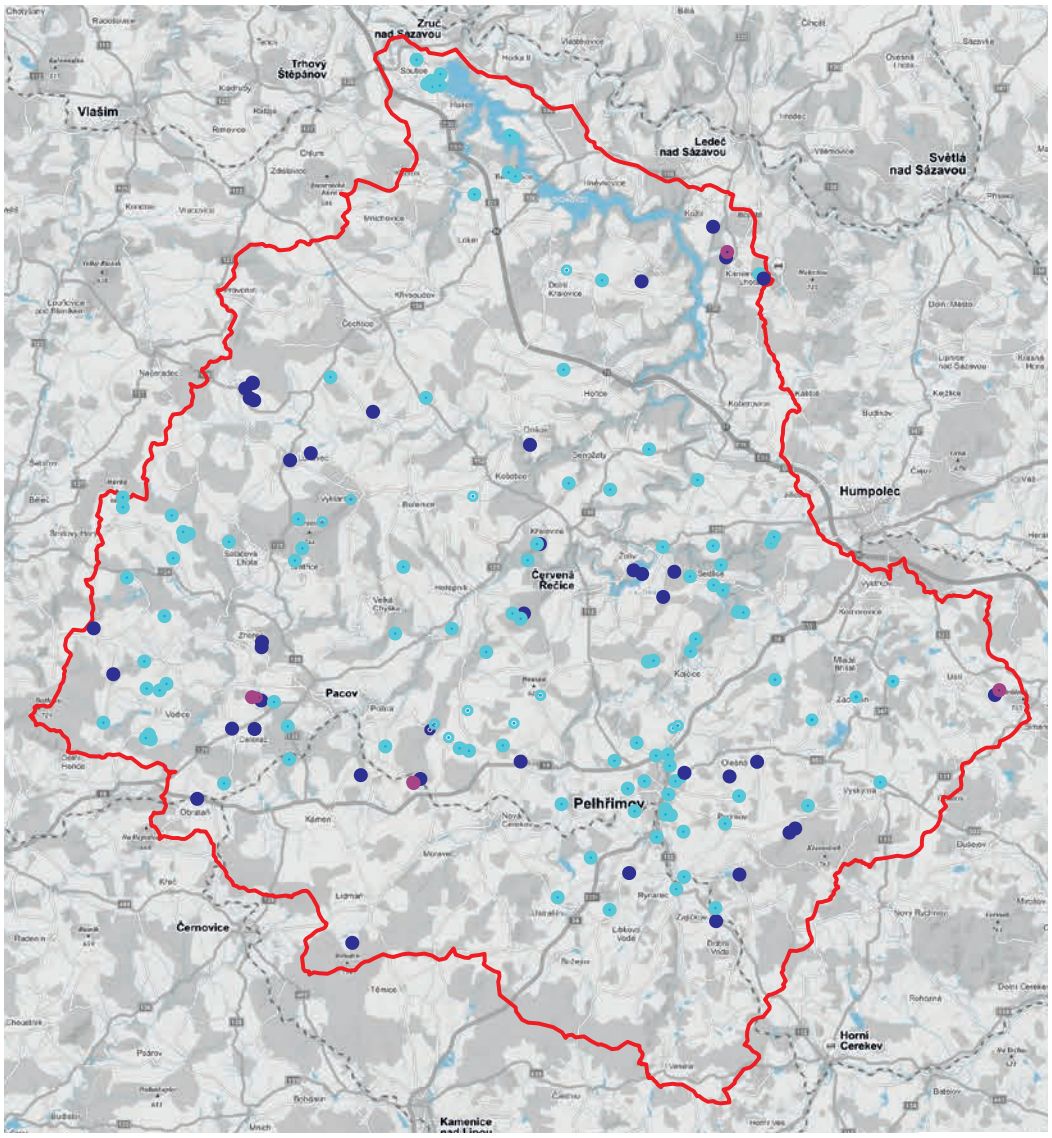
Zvětralinový plášť

S ohledem na geologickou stavbu oblasti se z důvodu velmi dlouhého geomorfologického vývoje v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, ve srovnání s některými jinými oblastmi Čech, nevykytuje souvislejší kvartérní pokryv větších mocností. Zvětralinový plášť je totiž tvořen převážně jílovitopísčitými zvětralinami terciérního a mesozoického stáří, vzniklých na horninách krystalinika, které byly pouze částečně ovlivněny pozdějším kvartérním zvětráváním. Geneticky je zvětralinový plášť představován především různými druhy eluviálních a deluviálních hlín, proluviální sedimenty se vyskytují jen ojediněle na úpatí vysokých svahů, zpravidla tektonicky predisponovaných. Druhy půd z hlediska jejich granulometrie většinou odpovídají produktům zvětrávání podložních hornin. Na magmatitech ve východní části území jsou vyvinuty převážně hlinitopísčité půdy, na horninách jejich pláště jsou to většinou jílovitohlinité až hlinitojílovité či jílovité půdy, které se tvoří zejména zvětráváním cordieritických rul. V severozápadní části území se na tamních pararulách vykytují písčitojílovité až jílovitohlinité půdní druhy, avšak v horní části profilu bývají lokálně vyvinuty i čistě písčité zvětraliny. Mocnost zvětralinového pláště je velmi proměnlivá. Nejmenší bývá v okolí těles odolných hornin (kvarcity, amfibolity, ortoruly), největší v tektonicky porušených oblastech. V průměru se jeho mocnost pohybuje okolo 5 až 10 m, větší mocnost (20–30 m) však nebývá zvláštností. Maximální hloubka zvětraliny byla zjištěna v severní části území u Arneštovic, kdy zvětraliny ruly byly dokumentovány barvy šedomodré, které navětráním rychle přechází v barvu žlutou až narezavělou. Hlavními součástkami jsou křemen, živec, biotit a muskovit, přičemž biotitické typy jsou častější než typy pouze muskovitické. Žilný doprovod centrálního plutonu je dosti vzácný. Relativně nejrozšířenější jsou leukokratní žuly přecházející do aplitů nebo pegmatitů. Vystupují v úzkém pruhu JZ – SV směru mezi Zmíšovicemi a Lhoticemi a dále v malých výskytech na různých místech povodí (Svépravice, Pobistrýce aj.)

až do hloubky 70 m. Vlastní kvartérní sedimenty (produkty kvartérního zvětrávání) jsou zastoupeny v podřízeném množství. Za zmínku stojí pouze ojedinělé kamenité až balvanité sutě o mocnosti 0,5–2,0 m na svazích vrchovin především v horních částech povodí. Fluviální uloženiny jsou v důsledku poměrně značné hustoty říční sítě sice hojné, ale mocnost nebývá velká. V horních a středních částech vodních toků v plochých údolích bývají vyvinuté zajílované písky až štěrkopísky o mocnostech 2–3 m, nápadně větší mocnost těchto uloženin, až 9 m, byla zjištěna na říčce Bělé v okolí Pelhřimova. Dolní části vodních toků, zejména v severní části území, kde jsou tyto zahloubeny pod úrovní terciérního až mesozoického zvětralinového pláště, jsou na fluviální uloženiny chudší. Zde bývají vyvinuty naplaveniny hrubších frakcí o mocnosti kolem 1–2 m. Z pleistocenních uloženin řeky Želivky se v zájmovém území zachovaly nepatrné zbytky třech terasových stupňů severně od Želivi, které leží 105, 74 a 47 m nad dnešní úrovní řeky.

Výše dokumentované údaje jsou získávány buď povrchovým geologickým mapováním, nebo vrtnou sondáží. Souhrn těchto podkladů je znázorněn na dvou přehledných mapových podkladech, kterými jsou Geologická mapa (obrázek 15) a Mapa vrtné prozkoumanosti (obrázek 16), obojí z archivních dat České geologické služby a jedné podrobné mapy vrtné prozkoumanosti jako ukázka pro řešení detailních geologických a hydrogeologických poměrů v typových povodích.

Obrázek 16: Přehledná mapa vrtné prozkoumanosti zájmového území. Zdroj: ČGS



Poznámka: Data z vrtné prozkoumanosti jsou součástí samostatné, vícestupňové databáze.

Tektonika území

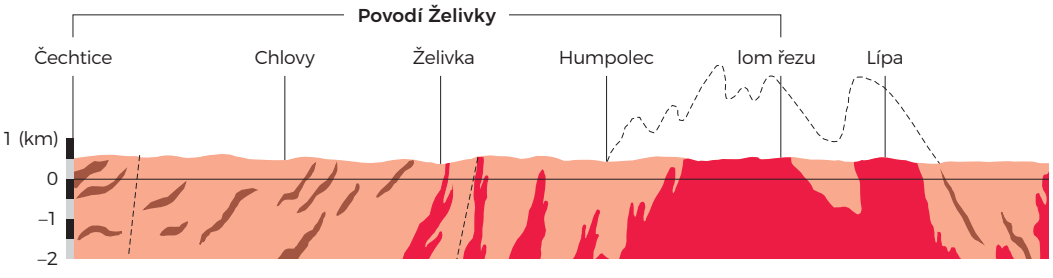
Na vývoji moldanubika se podílela řada vrásnivých a metamorfních pochodů. První vrásnění spojené s epizonální až mezozonální metamorfózou bylo snad předassynské. Další, spojené s katazonální metamorfózou většiny hornin a s intruzemi ortobřidlice, proběhlo na konci algonkia. Moldanubické horniny byly hlavně v prostoru Českomoravské vrchoviny zvrásněny do řady plochých, severojižních vrás s hojnými tektonickými poruchami směru SSZ – JJV. Během variské orogeneze na konci paleozoika došlo k oživení starých struktur a k intruzi granitoidních hornin do jader antiklinál. Do nejvýznamnějšího antiklinorního pásma vnikl centrální pluton Českomoravské vrchoviny, zasahující i do východní části zájmového území. Vlastní intruzi hornin předcházely silná periplutonická metamorfóza a migmatizace okolních hornin. Směr vrstev hornin pláště plutonu i pararul v území je zhruba severovýchodní – jihozápadní, tedy souběžný s mladším systémem tektonických poruch v české větvi moldanubika. Ojedinělé odchylky z tohoto směru se vyskytují v blízkosti apofýz centrálního plutonu nebo poblíž tektonických linií. Drobně tektonický výzkum v širším měřítku, tak významný pro režim podzemních vod mělkého i hlubšího oběhu, však nebyl v moldanubických metamorfitech dosud prováděn.

Část centrálního plutonu, zasahující právě do zájmového území, proráží plášť diskordantně. Jeho stavba je poměrně jednoduchá, neboť jako posttektonické těleso tuhl pomalu a klidně a pukliny jsou většinou pravidelné. Převládající pukliny jsou směru 345–15°, odpovídající patrně tzv. S-puklinám a směru 90–110°, odpovídající Q-puklinám (obrázek 17). V mladších fázích variského vrásnění při terciárním vrásnění saxonském došlo k rozpadu moldanubika na samostatné kry ohraničené radiálními dislokacemi. Jejich síť bohužel nelze přesněji stanovit, neboť pohyby na nich se často několikrát opakovaly.

Z obrázku 17 je zřejmé, jak prakticky celé povodí Želivky tvoří mírně ukloněné západní křídlo antiklinoria, usměrňující po plochách břidličnatosti odtok podzemní vody.

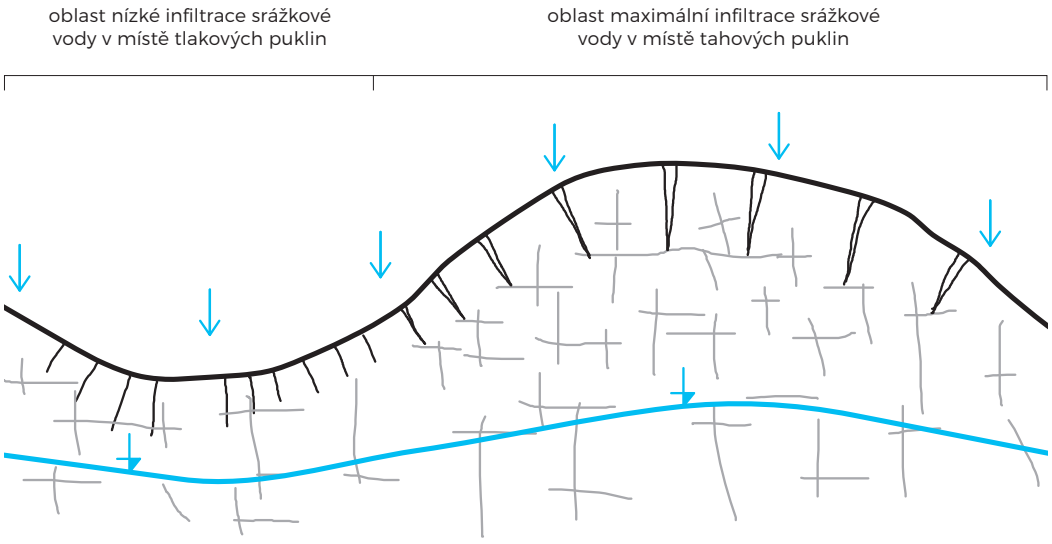
Právě makrotektonika zájmového území s antiklinální části tvořenou vyvřelinami centrálního plutonu a jeho obalovou sérií dodnes představující vrcholovou část území má zásadní vliv na formování vodního režimu povodí Želivky. Představuje totiž jednak

Obrázek 17: Geologický profil zájmovým územím ve směru Q-puklin. Legenda viz obrázek 15
Zdroj: ČGS



bariéru západním a severozápadním větrům, které přinášejí největší objem srážek vypadlých právě na návětrné části antiklinoria a jednak příčinu vzniku a existence tahových puklin ve skalním masívu, jež přivádějí v důsledku svého rozevření srážkovou vodu do hlubších poloh horninového souboru a zvyšují tak podzemní složku odtoku vody z území na úkor povrchového a hypotermického odtoku (obrázek 18).

Obrázek 18: Schéma vzniku a hydrogeologické funkce tahových puklin v antiklinálních strukturách. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.



Hydrogeologické poměry

Povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce nacházející se v pravobřežní části povodí horní a střední Vltavy je budováno výhradně krystalinickými horninami. Ty jsou na podzemní vody, např. ve srovnání s mladšími sedimentárními formacemi, poměrně chudé. Na druhé straně zase vyšší nadmořská výška a návětrná strana zdejší části Českomoravské vrchoviny způsobují, že specifický odtok podzemní vody je v rámci České republiky průměrný až mírně nadprůměrný a významně převyšuje odtok z většiny území v levobřežní části povodí horní a střední Vltavy, včetně povodí Berounky.
Z hlediska hydrogeologické rajonizace leží celé zájmové území v hydrogeologickém rajónu Krystalinikum v povodí Sázavy a v jeho rámci je vymezen pouze jeden útvar podzemní vody č. 65 200 Krystalinikum v povodí Sázavy.

Hydrofyzikální vlastnosti zastoupených hornin a jejich zvodnění

Mezi základní hydrofyzikální vlastnosti horninového souboru patří jejich odporové a kapacitní parametry. Odporové parametry specifikují schopnost zvodněného horninového prostředí propouštět vodu a kapacitní parametry pak schopnost tuto vodu akumulovat a uvolňovat. Drtivá většina skalních hornin zastoupených v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce náležejících k metamorfitům moldanubického strukturního patra a magmatitům variského strukturního patra vykazuje pouze puklinovou propustnost a obecně nízké až velmi nízké odporové a kapacitní parametry. Pouze ojedinělé vložky jiných hornin, např. vápence a erlány vyskytující se v západní a v severozápadní části území, mohou vykazovat pseudokrasovou a zcela výjimečně i krasovou propustnost a z toho plynoucí anomálně zvýšené hodnoty odporových i kapacitních parametrů. Jinak je tomu u někdy až desítky metrů mocného zvětralinového pláště skalních hornin, který vykazuje propustnost průlinovou a zpravidla nízké až střední hodnoty odporových a kapacitních parametrů.

Míra zvodnění převážně se vyskytujícího skalního prostředí je tedy většinou závislá na charakteru puklin a jejich rozevření, méně již na jejich četnosti. Celková míra zvodnění je však funkcí i mnoha jiných faktorů, mezi které patří tektonická pozice jednotlivých dílčích jednotek v předvariském a hlavně povariském geologickém vývoji, petrografické složení, hloubkové rozdíly a druhotné změny v propustnosti puklin, vliv kvartérních krycích zemin, srážkové a infiltrační poměry, spojení podzemní vody s krajinným reliéfem ve vazbě na způsob jejího odvodňování apod. Staré tektonické linie a poruchová pásma variská nebo předvariská, pokud nebyly oživeny během saxonské orogeneze, nemají pro oběh podzemních vod velký význam. Mnohem větší význam náleží mladým saxonským tektonickým liniím, z nichž zejména otevřené tahové pukliny v antiklinálních strukturách jsou nejvolnějšími cestami oběhu podzemní vody. Ve střední a západní části povodí se však tato zmlazená tektonická pásma vyskytují jen ojediněle (především v polohách kvarcitů) a většinou jsou místním oživením starší tříštivé tektoniky. Větší výskyt těchto systémů je naopak vázán na východní část území, tedy především na oblast výskytu migmatitů pláště centrálního plutonu.

Význam petrografického složení hornin pro jejich zvodnění je dán jednak jejich odlišným chováním k účinkům vnějších napětí a tím rozdílného druhu deformace, jednak různým zrnitostním složením zvětralinového pláště, charakterizujícím jeho retenční schopnost. Horniny tvořící téměř celou západní a severozápadní část území, tedy většinou biotiticko-silimanitické pararuly, se chovají k účinkům vnějších napětí jako hmota víceméně plastická a pohybové plastické deformace silně převládají nad tektonikou tříštivou. Pukliny jsou sice hlavně v povrchových částech skalního souboru hojné, ale většinou téměř sevřené. Ojediněle otevřenější pukliny se do hloubky rychle spínají a k vodotěsnému sepnutí puklin dochází již v hloubkách několika desítek metrů. Větší tektonické linie v této oblasti chybí, drobné zlomy malého dosahu, umožňující hlubší oběh podzemních vod, se nacházejí výjimečně v oblastech masivnějších prokřemenělých pararul, např. v okolí Markvarce či v okolí Černovic.

Zvětralinový plášť těchto hornin, v němž převládají jílovitohlinité zeminy, většinou nadlepšuje velmi slabou puklinovou propustnost podložních hornin tím, že nejenom pohlcuje srážkovou vodu a pomalu ji předává svému skalnímu podkladu, ale často se sám stává i jejím kolektorem. Naopak horniny pláště centrálního plutonu mají v důsledku své pozice v tektonické stavbě území a petrografickému charakteru poněkud příznivější hydrofyzikální vlastnosti. Pukliny v nich sice nejsou tak časté, ale bývají mnohdy rozevřené i do hloubek více než 100 metrů. Kromě toho je oblast jejich výskytu nejsilněji postižena mladými tektonickými poruchami, které umožňují komunikaci podzemních vod na velké vzdálenosti a patrně spojují tyto horniny i s vlastním centrálním plutonem. Zvětralinový plášť v tektonicky porušených oblastech dosahuje značné mocnosti a bývá samostatným kolektorem podzemní vody či vytváří konjugovanou zvodeň s puklinovým systémem podložních skalních hornin. To však většinou neplatí pro oblast cordieritických rul, neboť jílovité zvětraliny těchto hornin jsou zábranou intenzivnějšího napájení svého skalního podkladu srážkovou vodou. Ortobřidlice se od výše popisovaných parabřidlic odlišují povšechně větší puklinovou propustností. Jejich malé plošné rozšíření v rámci zájmového území však potlačuje jejich větší význam. Nejdůležitější jsou kvarcitické horniny, které jsou díky své rigiditě porušeny drobnými, pravidelnými puklinami umožňující oběh podzemní vody ve větších hloubkách a na delší vzdálenosti. Příkladem je hydrogeologicky aktivní kvarcitové těleso Strážiště v západní části území nebo několik kilometrů dlouhé těleso ortorul východně od obce Želiv ve střední části území. A konečně granity centrálního plutonu jsou prostředím s relativně největší puklinovou propustností. Rigidita všesměrně zrnitých hornin způsobuje, že vnější napětí se projevovalo převážně tříštivou tektonikou. Pro oběh podzemních vod jsou nejvýznamnější příčné tahové pukliny s hladkými rovnými stěnami,

průběžné na velké vzdálenosti i do hloubky, často přecházející do regionálně významných zlomů. V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jim odpovídá směr zhruba severojižní. Zvodnění centrálního plutonu, včetně jeho malé části zasahující do východní části povodí, však není tak velké, jaké lze zaznamenat v jiných posttektonických plutonech. Pluton se totiž stýká se svým pláštěm diskordantně a je nutno předpokládat vyznívání jeho propustnosti s hloubkou. Pluton totiž postrádá spodní konkordantní rozhraní s krystalickými břidlicemi výrazně odlišné rigidity a prakticky k těsnému sepnutí puklin dochází již v hloubkách kolem 100 až 200 m. Kromě toho postrádá oběh podzemní vody výraznější usměrnění dané absencí ostrého spodního ohraničení nádrže puklinové podzemní vody. Naopak hlinitopísčité zvětraliny hornin centrálního plutonu mají jednak značný retenční účinek a vydatně zesilují napájení hlubšího puklinového oběhu magmatických hornin a jednak jsou, mimo jiné i v důsledku své nadmořské výšky a terénního reliéfu, nezřídka i kolektorem relativně vydatné zvodně mělkého oběhu podzemní vody.

Z empirických poznatků ovlivňujících hydrofyzikální parametry hornin však vyplývá ještě jeden nesmírně důležitý poznatek dokumentující vliv spojení podzemní vody s krajinným reliéfem. Ten naznačuje, že zatímco v oblasti infiltrace, tj. převážně na svazích vrchoviny, je propustnost horninového souboru plošně proměnlivá v závislosti na matečném substrátu, v oblasti drenáže, tj. především v údolních dnech, je naopak ve vazbě na častou tektonickou predispozici těchto míst propustnost zvýšená. Rozdíl transmisivity vyjadřující schopnost vést podzemní vodu celým svým profilem může být řádový.

Režim podzemních vod

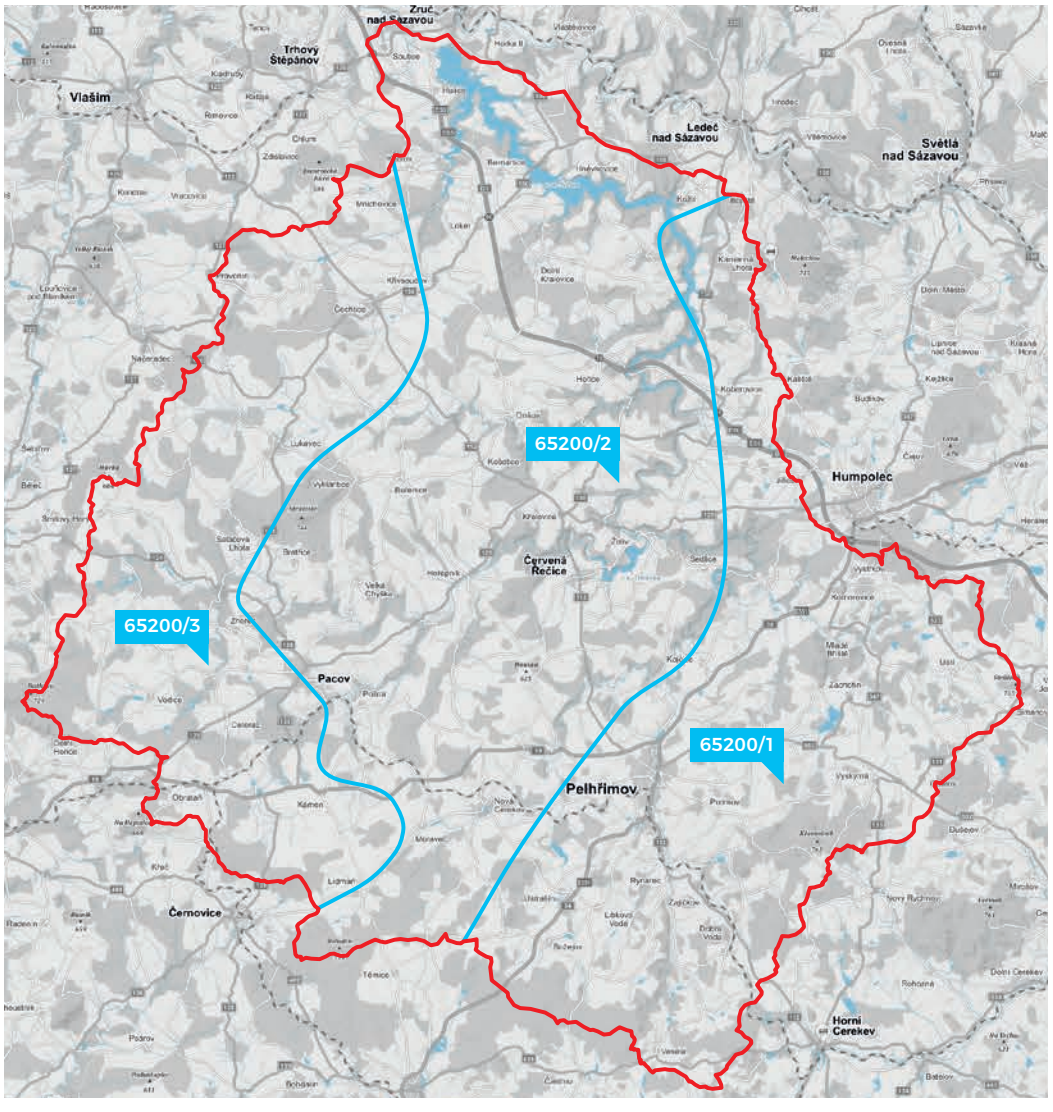
Prostorový i časový režim podzemních vod v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce je v důsledku strukturní roztříštěnosti území, heterogenity horninového souboru a jeho filtrační anizotropie sice velmi obtížně sledovatelný, ale přesto lze alespoň rámcově popsat hlavní zákonitosti oběhu podzemní vody a vymezit několik typů hydrogeologických oblastí s obdobným prostorovým režimem podzemních vod. Mezi nejzákladnější poznatky patří ten, že zdejší údolí, byť erozivní, zpravidla sledují tektonicky porušená pásma a navíc v nich působí efekt zvyšující propustnosti horninového souboru vlivem drenážního účinku tekoucí vody vyvěrající v důsledku hydrostatického tlaku stále nebo sezonně na povrch terénu. Na povrchu terénu viditelná říční síť tak má svou obdobu i v podzemí, ve kterém se nacházejí plošně omezené zóny privilegovaného proudění podzemní vody, jakési „podzemní vodoteče“, a okolní rozsáhlé oblasti hydrogeologického masívu vedoucí podzemní vodu ve významnější míře jen ve své propustnější zvětralinové části v míře časově proměnlivé, tedy se sezonními maximy a minimy.

Další poznatek pak souvisí s tím, že oběh, akumulace a drenáž podzemní vody mohou ve významnější míře probíhat jen v zóně tzv. aktivní výměny podzemní vody, jejíž plošná rozloha je obvykle funkcí terénního reliéfu a jejíž hloubka je pak funkcí zonální propustnosti horninového souboru. Přestože hydrogeologická rajonizace ČR přiřazuje všechny zdejší podzemní vody pouze k jednomu vodnímu útvaru podzemní vody, kdy vodním útvarem podzemní vody se ve smyslu zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) rozumí „vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech s tím, že kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr“, je pro praktické účely tohoto regionálního elaborátu nezbytné pouze jeden oficiálně stanovený vodní útvar podzemní vody č. 65 200 dále rozdělit na dílčí subútvary (obrázek 19), v nichž má prostorový a samozřejmě i časový režim své vlastní zákonitosti. V povodí vodárenského díla Švihov na Želivce byly tedy pro účely rámcové specifikace časového a prostorového režimu podzemních vod vyčleněny tři subútvary podzemní vody, a to moldanubický pluton, včetně jeho pláště (65 200/1), metamorfity pestré série, včetně jejich vložek (65 200/2), a metamorfity jednotvárné série, včetně série svorové (65 200/3).

A poslední poznatek se týká celkové charakteristiky vodního režimu v území, tj. tvorby, oběhu, akumulace a přírodní drenáže podzemní vody ve vazbě na hypodermický a povrchový odtok, s dílčími odlišnostmi v hydrogeologických povodích jednotlivých subútvarů podzemní vody.

Základní útvar podzemní vody a samozřejmě i tři vymezené subútvary jsou tvořeny tzv. hydrogeologickým masívem, když druhým typem hydrogeologického prostředí v ČR je hydrogeologická pánev. Hydrogeologický masív je charakteristický tím, že vlastnosti hydrogeologického tělesa nebo preferenčních zón proudění podzemní vody v něm souvisí nejenom se stratigrafií nebo litologií horninového prostředí, ale značný význam mají i jiné faktory, jako jsou nadmořská výška, klimatické poměry, charakter a mocnost zvětralinového pásma, tektonický styl území, terénní reliéf, vegetační pokryv území apod. Povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce má z hlediska reliéfu mírně asymetrický tvar, kdy jeho východní a jihovýchodní část je v důsledku existence odolných hornin moldanubického plutonu a jeho

Obrázek 19: Situace subútvarů podzemní vody v zájmovém území. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.



pláště vyzdvižena do výšek až přes 700 m n. m. (Křemešník 765 m n. m.), zatímco západní a severozápadní část území s převahou méně odolných hornin jednotvárné série je snížena do výšek kolem 450–550 m n. m., i když i zde nad terén vyčnívají ostrohy odolnějších hornin (např. Strážiště s kótou 744 m n. m.). Oběh podzemní vody ve zdejším hydrogeologickém masívu má přes dílčí rozdíly tyto společné charakteristiky:

- zcela dominantně zde převládá propustnost puklinová a s výjimkou zvětralinového pláště zde není dokumentována mezizrnitostní pórovitost;
- nevyskytují se zde, až na ojedinělé výjimky (vápencové nebo erlánové polohy), vrstevní kolektory, v nichž by prostorový režim byl jednoznačně dán geometrií příslušné horninové vrstvy;
- existují zde tři hydrostratifikační zóny, a to svrchní zvětralinová zóna zasahující do hloubek jednotek, výjimečně až nižších desítek metrů, střední puklinová zóna (tzv. zóna připovrchového rozpojení puklin), která je z hlediska existence pro vodu vodivých zón často výrazně heterogénní a tato zasahuje do hloubek mnoha desítek metrů, výjimečně i do hloubek přes 100 m a konečně spodní zóna masivní, pouze s ojedinělým systémem pro vodu vodivých zón zasahujících do hloubek stovek až nižších tisíců metrů.

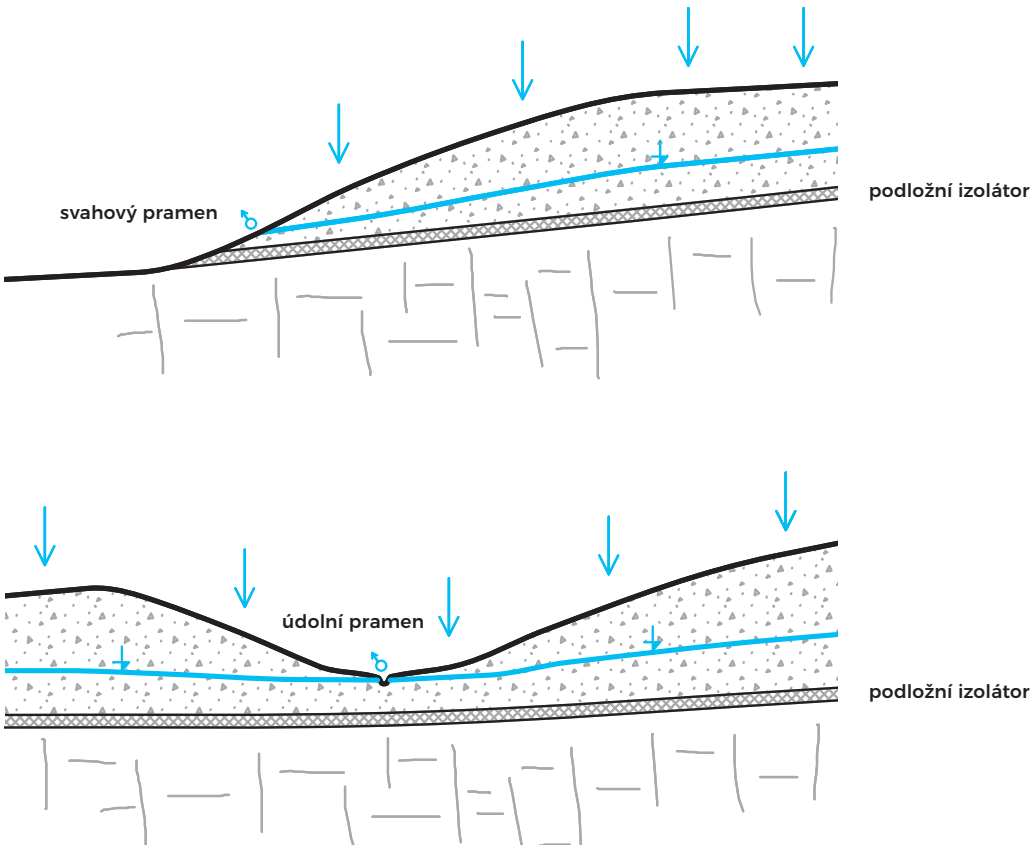
V zájmovém území lze ve svrchní a střední hydrostratifikační zóně, tj. v zóně intenzivního oběhu podzemní vody klíčového pro celkový odtok podzemních vod z území, vymezit tři základní typy prostorového a časového režimu podzemních vod.

První typ, příznačný především pro členitější terén středních nadmořských výšek ve střední a v západní části povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, tj. pro subútvary podzemní vody č. 65 200/2 a 65 200/3, je charakteristický tím, že se zde vytváří mělká první zvodeň vázaná na průlinově propustný pokryv nezpevněných hornin eluviálního, deluviálního nebo proluviálního charakteru a ve větší hloubce potom druhá zvodeň vázaná na puklinově propustný skalní podklad (obrázek 14).

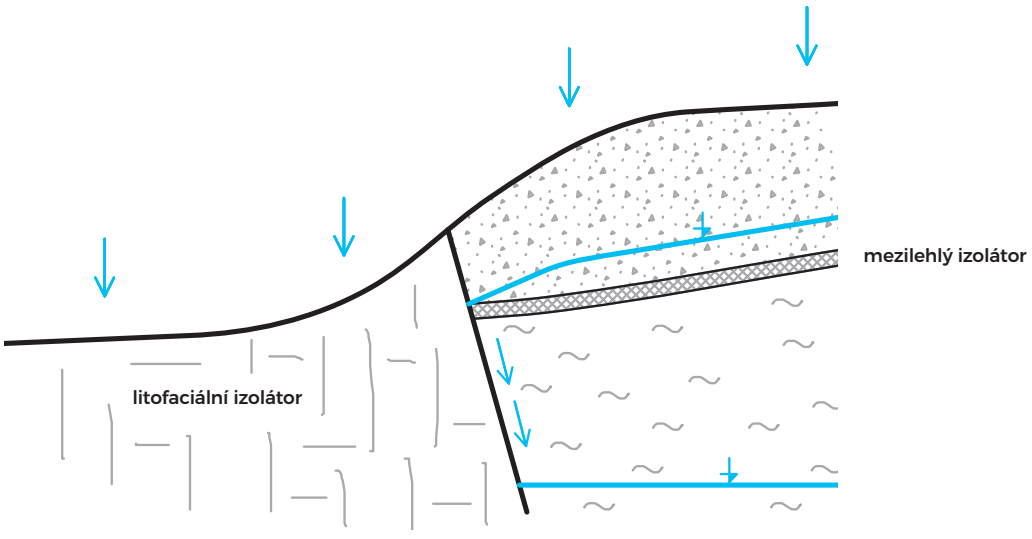
V případě první zvodně činí mocnost kolektoru podzemní vody obvykle pouze jednotky metrů a jeho plošná rozloha v běžném rozsahu několika hektarů je vázána výhradně na přímé hydrologické povodí. Počevní izolátor je zde tvořen buď tzv. cementačním pásmem sedimentů snížené propustnosti, nebo málo propustnou skalní horninou. K infiltraci srážkových vod dochází zpravidla v celé ploše povodí, směr odtoku podzemní vody je konformní se sklonem terénu. K odvodnění dochází buď formou sestupných, obvykle svahových nebo údolních pramenů (obrázek 20), přelivem do hlubší zvodně v místech tektonického porušení, vyklínění nebo zeslabení počevního izolátoru (obrázek 21) nebo plynulým příronem do vodních toků. Oběh podzemní vody je zpravidla rychlý, což je způsobeno dobrou propustností nezpevněných sedimentů a větším sklonem hladiny podzemní vody. K doplňování kolektoru srážkovou, resp. povrchovou vodou dochází kromě nevegetačního období i při větších srážkách v období vegetace a reakce stavů hladiny podzemní vody na srážky je obvykle rychlá (hodiny až dny).

Druhá zvodeň v těchto oblastech je vázána na puklinově propustný skalní podklad. Jedná se o horninový soubor o mocnosti až několika desítek metrů, výjimečně i více, jeho plošná rozloha může činit až jednotky km^2 a nemusí být bezprostředně vázána na přímé hydrologické povodí. Hloubková úroveň počevního izolátoru je v závislosti na míře svírání puklinových systémů proměnlivá. K infiltraci srážkových vod dochází zpravidla ve vyšších částech povodí, kde absentuje první zvodeň, nebo kde se voda z první zvodně přelévá do hlubších poloh a směr odtoku podzemní vody není jednoznačně dán lokálním sklonem terénu, ale spíše celkovou strukturní stavbou území. K odvodnění této hlubší zvodně dochází buď formou sestupných, obvykle údolních pramenů vyvěrajících v místech dolní erozivní základny území, nejčastější je odvodnění podzemních vody hlubšího oběhu formou plynulého přítoku do vodních toků zpravidla prostřednictvím první zvodně (obrázek 24) a výjimečně i formou pramenů vzestupných,

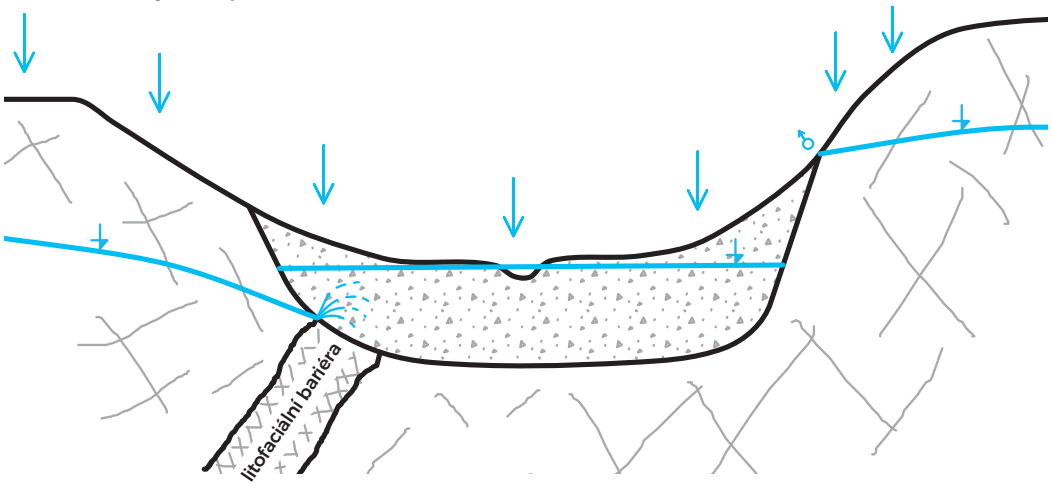
Obrázek 20: Schéma oběhu a odvodnění mělké zvodně vázané na průlinově propustné nezpevněné sedimenty formou pramenních vývěrů. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.



Obrázek 21: Schéma oběhu a odvodnění mělké zvodně vázané na průlinově propustné nezpevněné sedimenty formou přeronu do hlubší zvodně. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.



Obrázek 22: Schéma oběhu a odvodnění hlubší zvodně vázané na puklinově propustné skalní horniny. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.

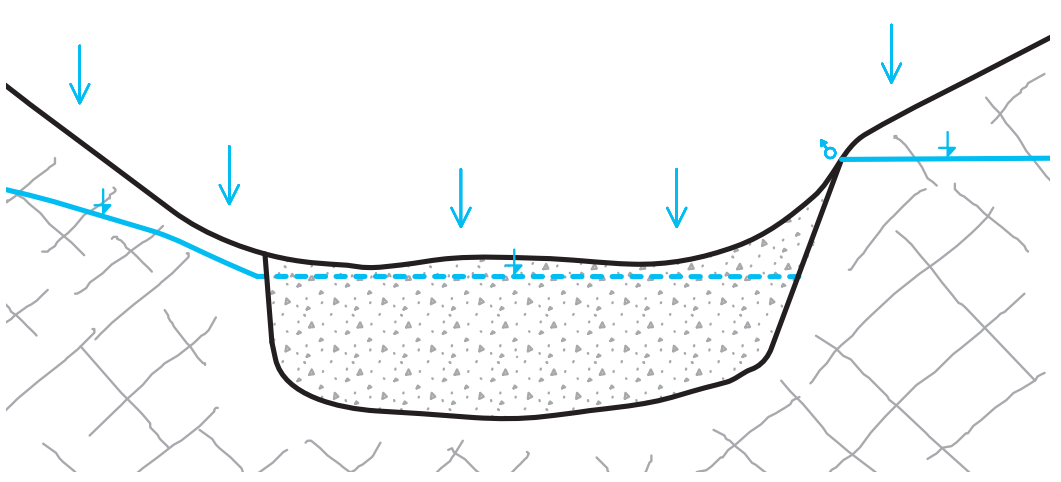


většinou bariérových, tektonicky nebo litofaciálně podmíněných. Oběh podzemní vody je ve srovnání s první zvodní výrazně pomalejší, k doplňování kolektoru srážkovou vodou dochází zpravidla pouze sezonně v nevegetačním období a reakce stavů hladiny podzemní vody na srážky je podstatně pomalejší než v případě první zvodně (dny až týdny).

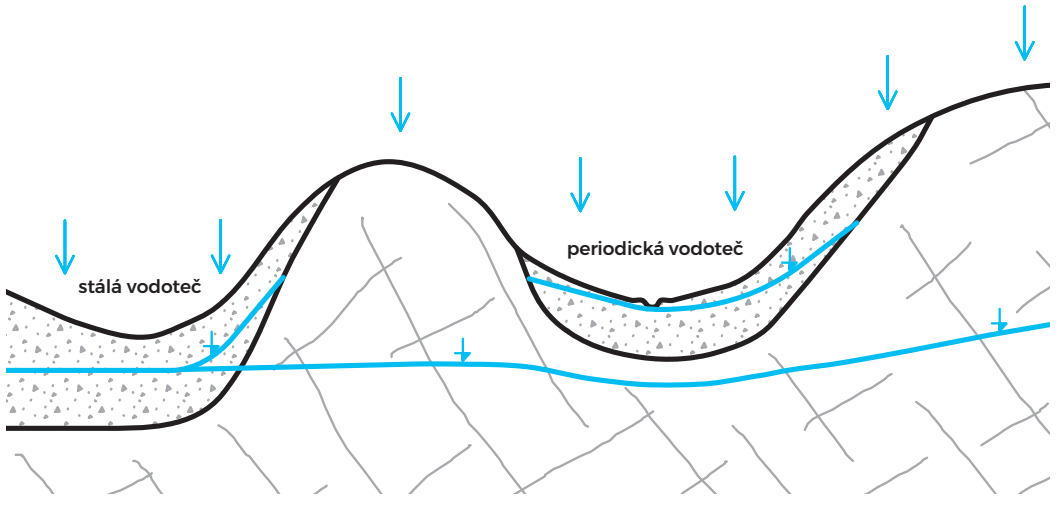
Druhý typ prostorového a časového režimu podzemních vod, je příznačný především pro území výše položená, tvořená rigidními horninami s písčitým zvětráváním, tedy pro oblast hornin moldanubického plutonu a části jeho pláště při východním okraji povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce (oblast subútvaru podzemní vody č. 65 200/1), kam dále náleží i izolované výskyty odolných hornin typu křemenců a oblasti výskytu hlubokých eluvií, a je charakteristický tím, že se zde zpravidla vytváří jen jedna významnější zvodeň, vázána na tzv. kolektor připovrchového rozpojení puklin. Název je výstižný svým věcným obsahem (od povrchu směrem dolů), ale méně již svým vertikálním dosahem, protože zóna připovrchového rozpojení puklin bývá v zájmové oblasti propojena s hlubším puklinovým systémem do hloubek často převyšujících 100 m. Plošný rozsah tohoto zvodněného kolektoru činí až několik km^2 a bývá spojen s výskytem určitého druhu hornin (granity, migmatity, ortoruly, křemence) a jejich zvětralin. K infiltraci srážkových vod dochází většinou na temenech a svazích vrchů, zejména jsou-li kryty propustnými balvanitými, hlinitokamenitými či hlinitopísčitými sutěmi a voda bez výraznějšího odporu vsakuje ve směru gravitace do hlubších poloh. Po dosažení hladiny podzemní vody, zakleslé v hloubce často i několik desítek metrů pod povrchem terénu, se vertikálním směr pohybu podzemní vody mění na pohyb subhorizontální a voda proudí až několik kilometrů dlouhou komunikační zónou z oblasti její tvorby do oblasti akumulace vytvářející se při dolní erozivní základně území. Zde má voda již tlakový charakter, v důsledku snižující se úrovně terénu se její hladina přibližuje k povrchu a k drenáži vody dochází především po poruchových zónách. Vznikají tak artéské prameny, mnohem častější jsou však skryté výrony podzemní vody tohoto typu do údolních náplavů vodních toků, odkud je voda drenována do povrchového odtoku. Míst odvodnění tohoto typu podzemní vody na cestě z oblasti její tvorby do oblasti její akumulace je obvykle víc. V nejnižších polohách jsou to již zmíněné údolní prameny nebo izolované skryté výstupy vody do údolních fluviálních nebo fluviodeluviálních sedimentů (obrázek 22) či neprivilegované přerony podzemní vody do údolních náplavů (obrázek 23). Ve vyšších polohách v členitém terénu to může být celé spektrum vývěrů od pramenů sestupných přes prameny přelivné až po prameny vzestupné, ať již rozptýlené nebo soustředěné. Rychlost oběhu podzemní vody je v důsledku objemově většího rozsahu tohoto typu zvodní proměnlivá, obecně se ve směru pohybu vody k místu dolní erozivní základy zpomaluje a délka oběhu vody od spadu srážkové vody na povrch terénu až po drenáž podzemní vody na povrch terénu může běžně činit řadu měsíců, výjimečně až několik let. Zvodeň tohoto typu je charakteristická sezonním doplňováním vody, především v nevegetačním období, a reakce stavů hladiny podzemní vody na srážky je s ohledem na obvykle značnou zásobnost kolektoru oproti prvnímu druhu prostorového a časového režimu podzemních vod pomalá (zpravidla týdny).

Třetí typ prostorového a časového režimu podzemních vod, sice velmi častý ale plošně omezený jen na nejbližší okolí vodních toků, je typický pro fluviální, případně fluviodeluviální sedimenty údolních náplavů charakteru nedokonale opracovaných štěrků zpravidla zahliněných, štěrkopísků, písků a jílovitých písků (obrázek 25). Počevní izolátor je obvykle tvořen povrchem

Obrázek 23: Schéma bodového (liniového) odvodnění zvodně vázané na tzv. kolektor připovrchového rozpojení puklin. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.



Obrázek 24: Schéma neprivilegovaného odvodnění zvodně vázané na tzv. kolektor připovrchového rozpojení puklin do údolních náplavů. Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.

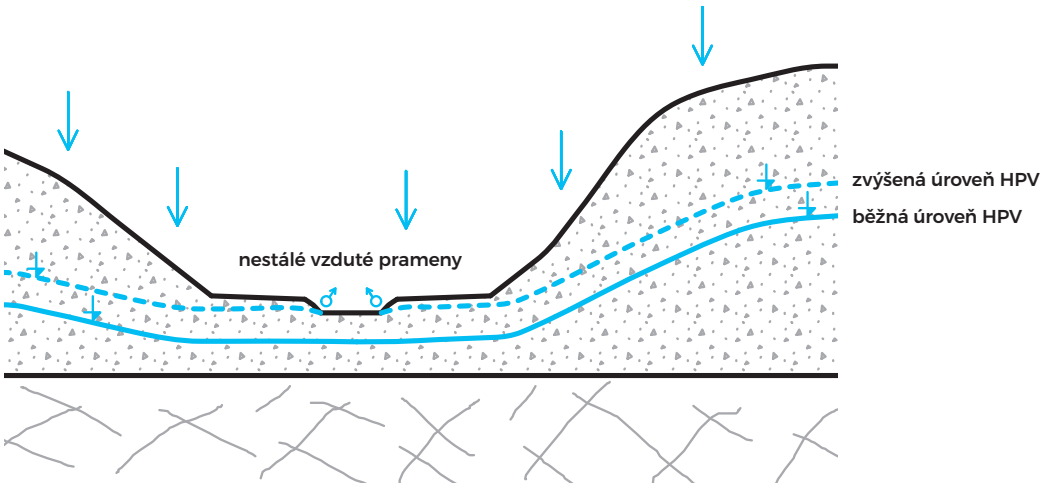


skalních hornin. V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou těchto malých zvodní stovky, mají šířku v jednotkách nebo desítkách metrů, délku ve stovkách až tisícovkách metrů, ale jejich mocnost činí zpravidla pouze nižší jednotky metrů. K dotaci těchto zvodní dochází jednak vsakem srážkové vody na povrch terénu v místě výskytů těchto struktur, z převážné části však přírorem tzv. cizích vod, ať již to jsou sestupné nebo vzestupné proudy podzemní vody projevující se jako pramenní vývěry nebo jako plynulý příron do vodotečí prostřednictvím fluviálních náplavů. Vztah k povrchovému toku je zpravidla přímý, kdy podzemní voda se v době dlouhodobého útlumu odtokového procesu drénuje do povrchového toku a v době vyšších průtoků vody ve vodním toku je naopak kolektor mělké podzemní vody napájen povrchovou vodou. Časová závislost je v tomto případě bezprostřední (maximálně hodiny).

Tři zmíněné typy časového a prostorového režimu podzemních vod, které byly vyčleněny v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, jsou v reálném hydrogeologickém terénu vzájemně propojeny a zejména třetí druh časového a prostorového režimu podzemních vod, charakteristický pro náplavy v okolí vodních toků, je až na zcela ojedinělé výjimky vlastního izolovaného režimu funkcí konečného stadia regionálního oběhu podzemní vody v krajině. Jeho význam pro vodní režim zájmového území je proto zcela zásadní, protože právě tento typ režimu podzemní vody velmi významně reguluje rychlost celkového odtoku vody z území.

Vzájemné propojení jednotlivých typů časového a prostorového režimu podzemní vody je dáno mnoha faktory, tím nejjednodušším a ilustrativním je charakter zvětralinového pláště, konkrétně jeho granulometrie, mocnost, sklon jeho podloží a charakter tohoto podloží. Je-li propustnost pláště taková, že umožní průsak srážkové vody ve směru gravitace, voda sestupuje až na skalní podklad a podle jeho povahy buď po něm odtéká ve směru největšího sklonu do míst přírodní drenáže (sestupné prameny nebo plynulý příron do vodotečí), nebo vsakuje do jeho puklin umožňujících hlubší oběh podzemní vody. Pokud je však propustnost zvětralinového pláště nízká, začínají zde významnou roli sehrávat molekulární síly (kapilarita vs. výpar). Hladina podzemní vody se ustaluje v dlouhodobém průměru v úrovni odpovídající rovnováze mezi průměrným vsakem a průměrným výparem. Tato rovnováha je však porušována jednak členitostí povrchu, jednak rozdílnou hloubkou zvětralin. Mezi terénními elevacemi a depresemi dochází k hydraulickému spádu, což má za následek, že hladina vody v elevacích je níže, než by odpovídalo vztahu mezi průměrným vsakem a výparem, v depresích je naopak výše. Je-li přítok vody z elevace do depresí větší, než stačí zvýšený výpar z depresí odebrat, vystupuje hladina až k povrchu a vzniká, často

Obrázek 25: Schéma vniku nestálých vzdutých pramenů nad erozivní základnou území.
Zdroj: Archiv FINGEO s. r. o.



Tabulka 7: Průměrné vydatnosti pramenů v povodí Želivky ve srovnání s jejím průměrným průtokem

Hydrologická povodí	Průměrná vydatnost pramenů (l/s)	Průměrný průtok (l/s)	Podíl vydatnosti pramenů na průměru průtoku (%)
Želivka nad Cerekvickým potokem	13,19	280	4,7
Cerekvický potok	8,41	380	2,2
Želivka nad Bělou	2,88	140	2,0
Bělá	33,21	870	3,8
Želivka nad Jankovským potokem	3,98	70	5,9
Jankovský potok nad Hejnickým potokem	10,42	200	5,1
Hejnický potok	18,14	250	7,3
Jankovský potok pod Hejnickým potokem	2,80	10	2,8
Jankovský potok po ústí	49,13	440	11,2
Želivka pod Jankovským potokem po Želiv	17,24	130	13,3
Trnava nad Kejtovským potokem	131,38	1 150	11,4
Kejtovský potok	15,66	700	2,2
Trnava po ústí	13,11	440	3,0
Martinický potok	15,53	610	2,5
Želivka pod Martinickým potokem	7,65	-	-

Zdroj: Archiv Vodní zdroje Bylany u Chrudimi

vysoko nad místní erozivní základnou, vzdutý pramen. Má většinou kolísavou vydatnost, v době minim vysychá a je charakteristický především v oblasti jílovitých zvětralin ve střední a severozápadní části povodí.

V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce se nachází přibližně 1 500 pramenů o průměrné úhrnné vydatnosti přibližně 500 l/s, řada z nich je však nízkých vydatností nebo se jedná o prameny vysychající. Jen výjimečně je jejich vydatnost vyšší než 1 l/s. K nim náleží zejména pramenní skupina pod Křemešníkem, která je patrně odvodněním hornin centrálního plutonu přes jejich plášť prostřednictvím mladých tektonických poruch, pramenní oblast Strážiště, dotovaná vodou z tektonicky porušených kvarcitických hornin, prameniště Perlavka u Humpolce aj. Vydatnost pramenů ve srovnání s průměrným povrchovým odtokem z dílčích částí povodí Želivky sestavil Šeda (1972) a údaje jsou patrné z tabulky 7.

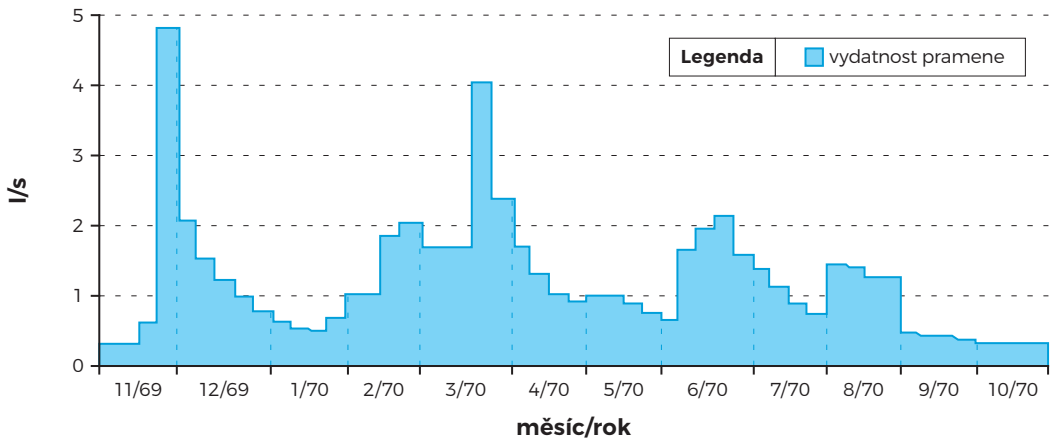
Z tabulky také vyplývá, že prameny se na celkovém odvodnění území podílejí asi 5 %, zcela rozhodující je proto odvodnění podzemních vod plynulým přírorem do vodních toků. Na příkladu podrobného rozboru prostorového a časového režimu podzemních vod z typových povodí bude potom ukázáno, že právě podíl této podzemní vody postupně se drénující na povrch terénu zcela zásadním způsobem ovlivňuje vodní režim rozsáhlých území, ve kterých se mluví o tzv. hypodermickém (podpovrchovém) odtoku. Přitom se často jedná o konjugovaný odtok podzemní a hypodermický, ve kterém z hlediska bilančního je významnější a často dominantní a stálejší právě podzemní složka odtoku.

Bilance zásob podzemní vody a vodní stavy

Zásoby podzemní vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou až na nevýznamné indukované zdroje tvořeny přírodními zdroji podzemní vody vzniklými jednak přímým vsakem srážkové vody do nasycené zóny horninového souboru a jednak vsakem nepřímým, ke kterému dochází tak, že voda se do saturované zóny dostává z těles povrchové vody (vodní toky, rybníky, zaplavené terénní sníženiny apod.). Pro dané povodí je základní veličinou tzv. specifický odtok podzemní vody udávající, jaké množství vody vzniklé vsakem srážkových vod se podílí na podzemním odtoku. V zájmovém povodí se specifický odtok podzemní vody pohybuje ve východní části území na kontaktu hornin moldanubického plutonu se svým pláštěm v rozmezí 3–5 l/s km^2, na převážné části zájmového území se však tento odtok pohybuje v rozmezí jen 2–3 l/s km^2. To znamená, že podíl podzemního odtoku vody z celkových srážek se pohybuje kolem 10 %. S uvážením celkové plochy povodí pak můžeme konstatovat, že průměrná hodnota přírodních zdrojů podzemní vody v povodí se pohybuje kolem 3 000–3 500 l/s, tzn., že činí přibližně polovinu průměrné hodnoty celkového odtoku.

Průměrné hodnoty jsou samozřejmě tvořeny souborem průtoků s různou mírou překročení a pro hodnocení těchto hodnot pro období vyšších zabezpečeností je nezbytné režimní sledování vodních stavů a průtoků. Měření na podzemních vodách dlouhodobě

Graf 15: Vydatnost pramene č. PP327 Podivice s podrobným měřením vydatnosti v hydrologickém roce 1970. Zdroj: ČHMÚ



provádí ČHMÚ a v povodí nebo v jeho těsné blízkosti má celkem sedm vrtů pro sledování hladiny podzemní vody a k tomu pozoruje síť 12 pramenů. Umístění pozorovaných vrtů a pramenů v území jsou patrná z následujících obrázků 26 a 27.

Časový režim podzemní vody dokládá značnou proměnlivost stavu hladin a vydatnosti pramenů v povodí. Bohužel pozorované vrty zachycují většinou pouze stav hladiny v mělké zvodni, kde rozkolísanost se pohybuje maximálně v nižších jednotkách metrů, zatímco ze zkušenosti provozu vodárenských vyplývá, že hladina podzemní vody v hlubších zvodních může v závislosti na srážkoodtokové bilanci kolísat v rozsahu často i deset a více metrů. Pro sledování míry zvodnění hlubších zvodní jsou proto důležitější vydatnější pramenní vývěry. Z rozboru dokumentovaných dat vyplývá, že většina pramenů má kolísavou vydatnost s několikanásobným doplňováním odvodňované zvodně v průběhu roku. Příkladem může být pramen Podivice situovaný v horninách pláště moldanubického plutonu v severní části povodí v subútvaru podzemní vody č. 65 200/1 (graf 15).

Chemismus podzemních vod

Podzemní vody krystalinika v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou vesměs velmi nízce mineralizované až hladové (v průměru do 100 až 150 mg/l), měkké až velmi měkké, většinou slabě kyselé až neutrální reakce. Hlubší obzory podzemních vod mají vodu poněkud tvrdší, mají však také podstatně

Obrázek 26: Státní pozorovací sítě podzemních vod – vrty.
Zdroj: ČHMÚ

Obrázek 27: Státní pozorovací sítě podzemních vod – prameny.
Zdroj: ČHMÚ

Rámeček 6

Přirozená hydrogeologická stratifikace

Přirozená hydrogeologická stratifikace je jev, který definuje místa výskytu určitého významnějšího množství podzemní vody, pro které se používají různé, i když ne zcela identické názvy (zvodeň, zvodnělý kolektor, obzor či horizont podzemní vody, nádrž podzemní vody, vodní útvar podzemní vody, vodní zdroj podzemní vody apod.). Tato místa jsou vzájemně oddělena slabě propustnými nebo nepropustnými horninami (poloizolátory, resp. izolátory). Nauka popisuje přirozenou spojitost nebo nespojitost těchto významnějších množství podzemní vody v horninovém prostředí a charakterizuje vlastnosti jednak kolektorské horniny a jednak vlastní podzemní vody, to vše vždy ve srovnání s okolním významnějším množstvím podzemní vody. Je to tedy jakýsi 3D řez svrchní části horninového prostředí od místa vsaku srážkové vody do jednotlivých kolektorů, přes její oběh a akumulaci až po místa její drenáže na povrch terénu, popisující tedy geometrii a vlastnosti vodních těles podzemní vody a jejich vzájemnou interakci. Porušením přirozené hydrogeologické stratifikace je jakákoliv činnost, která změní geometrii a především vlastnosti vodních těles podzemní vody.

Současné vodní právo v klíčovém zákoně č. 254/2001 Sb. o pojmu hydrogeologická stratifikace nehovoří, definuje však v § 2 pojmy, jako jsou: podzemní voda, vodní útvar, útvar podzemní vody, vodní zdroj podzemní vody, kolektor a hydrogeologický rajón. Podle paragrafu 2, odstavce 3 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) se říká, že „Vodním útvarem je vymezené významné soustředění povrchových nebo podzemních vod v určitém prostředí charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrologického režimu“, v odstavci 7 se uvádí, že útvar podzemní vody je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech; kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr a v odstavci 12 je charakterizován hydrogeologický rajón jako území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemní vody.

Ve vyhlášce č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod je vyčleněno 152 hydrogeologických rajonů a 174 útvarů podzemních vod s vyjádřením vlastního stavu, navazujícím návrhem opatření na zlepšení tohoto stavu podzemních vod, což znamená, že v některém hydrogeologickém rajonu je vymezeno více vodních útvarů. Na rozdíl od hydrogeologických rajonů, které mají konsenzuálně stanovené hranice poplatné aktuálním znalostem o zvodněném horninovém prostředí, totiž podléhají vodní útvary různým vlivům (např. antropogénní činnosti), které mohou měnit jejich stav. V rámci šestiletých hodnocení v rámci plánů oblasti povodí se tak bude provádět jejich aktualizace a do budoucna, budou-li aplikována účinná opatření na zlepšení jejich chemického nebo kvantitativního stavu, může dojít k situaci, kdy se počet hydrogeologických rajonů a útvarů podzemní vody sblíží.

Vyčleněním útvarů podzemní vody ve smyslu vyhlášky č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, stojíme před klíčovým problémem dnešní aplikované hydrogeologie, kde nám legislativa příliš nepomůže a musíme nasadit odbornost a cit. Srovnejme některá ustanovení:

- již citovaný § 2 vodního zákona v odstavci 7 říká, že útvar podzemní vody je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech; kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr;
- ČSN 75 5115 Jímání vody, jejíž části o umisťování a zřizování studen se staly závaznými novelou vyhlášky č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů, říká v článku 5.3.5.1, že v případech, kdy vrtaná studna zastihuje více útvarů podzemní vody, je zpravidla nutno provést ve studni další těsnění zajišťující vzájemné oddělení těch zvodnělých kolektorů, na které jsou vázány rozdílné útvary podzemní vody. Odtěsnění kolektorů je nutno provést prokazatelně funkčním způsobem podle zpracované projektové dokumentace s uvedením konstrukčních parametrů a technologického postupu těsnicích prací;
- vyhláška č. 22/1989 Sb., o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti, uvádí v §203, že „vrt musí být proveden a při opuštění likvidován tak, aby bylo zamezeno nežádoucímu propojení zvodněných nebo plynonosných horizontů…“

A co říká o vodním útvaru či o „zvodnělém horizontu“ odbornost a hydrogeologický cit? Asi to, co říká v § 2, odstavci 3 vodního zákona, tzn., že vodní útvar je vymezené významné soustředění podzemní nebo povrchové vody v určitém prostředí charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrologického režimu.

Jinými slovy, soustředěné množství podzemní vody, lišící se svou geometrií, časově prostorovým režimem tvorby a jakostí vody od jiného soustředěného množství podzemní vody, je základním článkem přirozené hydrogeologické stratifikace horninového souboru, který nesmíme svou činností trvale narušovat! Útvar podzemní vody, podle vyhlášky č. 5/2011 Sb. s tím zpravidla nemá nic společného a pokud by vše výše uvedené bylo vztaženo na to, že přirozená hydrogeologická stratifikace je množina útvarů podzemní vody v intencích vyhlášky č. 5/2011 Sb. a hydrogeologové by takto uvažovali a podle toho svou práci prováděli, v tu chvíli by došlo k nevratnému poškození přirozeného režimu proudění podzemní vody a k totální změně vodních poměrů v rozsáhlých územích ČR, především v pánevních oblastech ale i jiných dvou a vícekolektorových hydrogeologických strukturách.

větší obsahy útočné kyseliny uhličité, takže pro eventuální použití k pitným účelům vyžadují odkyselení. Z chemického hlediska jsou zastoupené vody kalcium – natrium – bikarbonátového typu, v mělčích zónách pak vody kalcium – natrium – sulfátového typu. Většina podzemních vod hlubšího oběhu a vody mělkého oběhu v zóně zpomalené výměny obsahuje také zvýšenou koncentraci železa a eventuálně i manganu.

Významné jsou rozdíly v jakosti vody vlivem antropogenních činností, ať již se jedná o imisní spad, hlubší zásahy do horninového prostředí, meliorační zásahy do půdní vrstvy apod. Tato data pocházející především od provozovatelů vodovodu pro veřejnou potřebu, jsou však samostatným souborem dat a podkladů přesahujících rozsahem možnosti této monografie.

Rámeček 7

Prameny

Pramen ve významu hydrogeologickém je soustředěné místo vývěru pozemní vody na povrch terénu. Pro klasifikaci pramenů se používá celé řady kritérií. Nejpoužívanější z nich jsou následující:

podle charakteru cesty podzemní vody v horninovém prostředí k pramenu
- prameny sestupné
- prameny přelivné
- prameny výstupné (artéské),

podle pozice v terénu
- prameny svahové
- prameny údolní,

podle stálosti
- prameny epizodické
- prameny sezonní
- prameny stálé,

podle rozkolísanosti jejich vydatnosti
- prameny se stálou vydatností (Q max. – min. < 3 : 1)
- prameny s nestálou vydatností (Q max. – min. > 3 : 1),

podle výstupní cesty
- prameny suťové
- prameny puklinové,

podle teploty vody
- prameny studené (< 20 °C)
- prameny teplé (> 20 °C),

podle jakosti vody
- prameny prosté
- prameny minerální,

podle významné jakostní složky
- prameny železité
- prameny sirné
- prameny radioaktivní
- prameny perlivé (kyselky).

1.5 Martin Hložek

Geomorfologická charakteristika

Obtíže hor jsou za námi,
nyní nás čekají obtíže rovin.

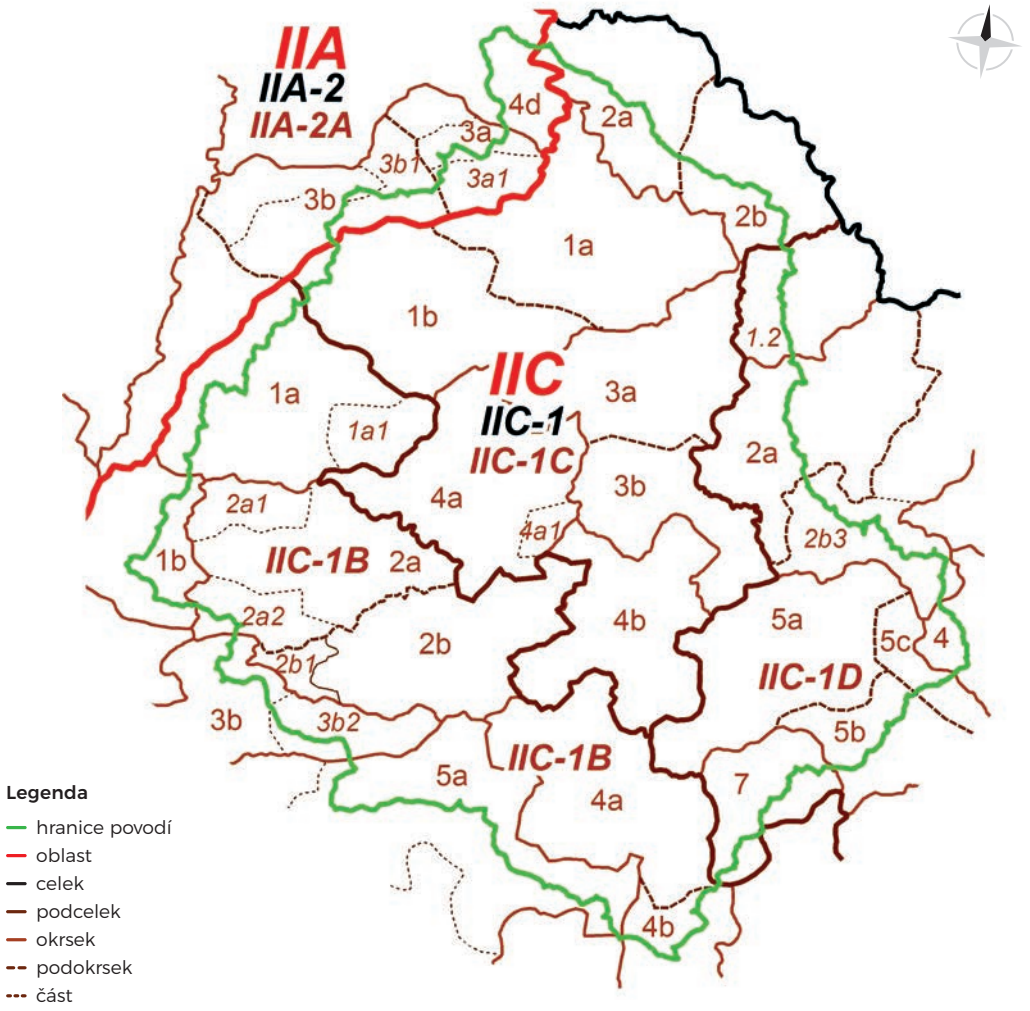
Bertolt Brecht
Německý básník, dramatik

Povodí Želivky náleží z hlediska geomorfologického členění reliéfu do Českomoravské subprovincie. Převážná většina plochy povodí (1 143,9 km², 96,3 %) je součástí Českomoravské vrchoviny. Pouze malé území v severozápadní části povodí náleží do oblasti Středočeská pahorkatina (44,7 km², 3,7 %), která do povodí zasahuje svým východním výběžkem. V povodí jsou vymezeny čtyři podoblasti, 16 okrsků, 24 podokrsků a 10 částí, nejnižších hierarchických jednotek geomorfologického členění. Podrobné geomorfologické členění znázorňuje tabulka 8 a obrázek 28.

Studované území je součástí moldanubika, jedné z nejstarších stavebních jednotek Českého masivu, jehož převážná většina nebyla od staršího paleozoika ovlivněna transgresí moře. V průběhu kadomského vrásnění došlo ke konsolidaci moldanubické geosynklinály. Během hercynského vrásnění započal vývoj reliéfu oblasti – došlo k celkovému výzdvihu moldanubika. Denudační činitelé postupně obnažily hlubinné vyvřeliny vznikající během zmíněných vrásnění; jejich činností byl povrch během období tektonického klidu zarovnán v parovinu (peneplén) nejspíše již v karbonu. Důsledkem denudace vznikl mocný plášť zvětralin (tzv. povariský příkrov), který dále podléhal erozním činitelům, zejména fluviálním procesům. Mladší, paleogenní zarovnaný povrch vzniká následkem tektonického neklidu na rozhraní křídy a paleogénu. Pravděpodobně na rozhraní miocénu a pliocénu se začaly znovu projevovat tektonické pohyby jakožto důsledek alpinského vrásnění. Staré zlomy byly reaktivovány a vznikly nové poruchy. Tato aktivita se výrazně projevila v charakteru reliéfu; došlo k rozlámání území na jednotlivé bloky a k jejich vzájemnému posunu či poklesu.

Vznikly hrásť e a výrazné tektonické svahy. Neotektonické pohyby, které působí na reliéf dodnes, zásadně ovlivnily charakter říční sítě a modifikovaly ji do dnešní podoby. Došlo k rozsáhlým změnám v odvodnění studované oblasti. Do této doby odtékala Želivka přes Kutnohorskou plošinu do středního Labe; stejným směrem odváděly vodu i Blanice a horní

Obrázek 28: Geomorfologické členění reliéfu v rámci povodí Želivky.



Poznámka: Podrobné informace se nachází v tabulce 8.

Tabulka 8: Geomorfologické jednotky povodí Želivky a jejich základní morfometrické charakteristiky

Subprovincie	Oblast	Celek	Podcelek	Okrsek	Podokrsek	Část	Název	Min. nadmořská výška (m)	Max. nadmořská výška (m)	Rozdíl (m)	Střední nadmořská výška (m)	Plocha (km²)	Střední sklon (°)
II							Českomoravská subprovincie	-	-	-	-	-	-
II	A						Středočeská pahorkatina	-	-	-	-	-	-
II	A	2					Vlašimská pahorkatina	-	-	-	-	-	-
II	A	2	A				Mladovožická pahorkatina	320	570	250	436	44,7	6,5
II	A	2	A	3			Načeradecká pahorkatina	380	570	190	463	27,4	6,2
II	A	2	A	3	a		Keblovská pahorkatina	320	518	198	444	3,3	6,2
II	A	2	A	3	a	1	mnichovická část	380	493	113	443	14,0	5,8
II	A	2	A	3	b		Louňovická vrchovina	430	570	140	493	0,5	6,3

Pokračování tabulky 8

Subprovincie	Oblast	Celek	Podcelek	Okrsek	Podokrsek	Část	Název	Min. nadmořská výška (m n. m.)	Max. nadmořská výška (m n. m.)	Rozdíl (m)	Střední výška (m n. m.)	Plocha (km²)	Střední sklon (°)
II	A	2	A	3	b	1	velkoblanická část	509	551	42	532	9,6	6,4
II	A	2	A	4			Kácovská pahorkatina	-	-	-	-	-	-
II	A	2	A	4	d		Sedmipánská pahorkatina	320	450	130	392	17,3	6,6
II	C						Českomoravská vrchovina	-	-	-	-	-	-
II	C	1					Křemešnická vrchovina	325	765	440	548	1143,9	7,3
II	C	1	B				Pacovská pahorkatina	465	740	275	601	429,3	7,3
II	C	1	B	1			Řísnická vrchovina	505	740	235	617	89,6	6,5
II	C	1	B	1	a		Mezileská vrchovina	505	740	235	609	75,8	7,3
II	C	1	B	1	a	1	Stražišťský hřbet	546	740	194	628	17,5	9,1
II	C	1	B	1	b		Batkovská vrchovina	597	720	123	652	13,8	5,7
II	C	1	B	2			Cetorazská vrchovina	465	673	208	580	169,7	7,4
II	C	1	B	2	a		Vodická pahorkatina	465	673	208	583	87,7	8,1
II	C	1	B	2	a	1	pojbucká část	510	655	145	593	15,7	10,0
II	C	1	B	2	a	2	prasetínská část	520	660	140	609	16,3	6,5
II	C	1	B	2	b		Novocerekevská pahorkatina	470	645	175	583	82,0	6,6
II	C	1	B	2	b	1	Obratařská kotlina	525	640	115	568	8,1	5,3
II	C	1	B	3			Chýnovská vrchovina	571	735	164	630	23,7	5,5
II	C	1	B	3	b		Svidnická vrchovina	571	735	164	630	5,8	6,0
II	C	1	B	3	b	2	Svidnický hřbet	576	735	159	638	17,9	6,3
II	C	1	B	4			Božejovská pahorkatina	495	705	210	592	95,8	7,4
II	C	1	B	4	a		Myslotínská pahorkatina	500	675	175	584	79,5	7,5
II	C	1	B	4	b		Bělská pahorkatina	581	705	124	650	16,3	5,6
II	C	1	B	5			Markvarecká pahorkatina	-	-	-	-	-	-
II	C	1	B	5	a		Těmická pahorkatina	555	710	155	642	50,5	6,6
II	C	1	C				Želivská pahorkatina	325	630	305	491	496,3	8,4
II	C	1	C	1			Čechtická pahorkatina	380	630	250	494	175,4	7,1
II	C	1	C	1	a		Dolnokralovická pahorkatina	380	545	165	450	106,6	7,2
II	C	1	C	1	b		Křešínská pahorkatina	425	630	205	536	68,8	6,9
II	C	1	C	2			Zručská vrchovina	325	500	175	422	37,8	7,3
II	C	1	C	2	a		Onšovecká vrchovina	347	500	153	422	22,2	7,4
II	C	1	C	2	b		Ledečská pahorkatina	380	485	105	438	15,6	8,3
II	C	1	C	3			Košetická pahorkatina	380	565	185	462	123,3	11,0
II	C	1	C	3	a		Senožatská pahorkatina	380	545	165	456	73,2	10,8
II	C	1	C	3	b		Červenořečická pahorkatina	380	565	185	469	49,9	11,5
II	C	1	C	4			Hořepnická pahorkatina	429	630	201	528	159,8	8,0
II	C	1	C	4	a		Arneštovická pahorkatina	429	630	201	527	77,3	9,0
II	C	1	C	4	a	1	Mašovický hřbet	425	610	185	525	7,0	10,9
II	C	1	C	4	b		Hodějovická pahorkatina	450	615	165	528	75,5	8,0
II	C	1	D				Humpolecká vrchovina	380	765	385	574	218,3	8,6
II	C	1	D	1			Melechovská vrchovina	-	-	-	-	-	-
II	C	1	D	1		2	pasecká část	400	645	245	542	15,2	13,3
II	C	1	D	2			Lipnická vrchovina	390	660	270	541	60,9	8,7
II	C	1	D	2	a		Kališťská pahorkatina	405	605	200	524	36,8	9,3
II	C	1	D	2	b		Leštinská vrchovina	-	-	-	-	-	-
II	C	1	D	2	b	3	komorovická část	465	660	195	576	24,1	7,8
II	C	1	D	4			Jeníkovská vrchovina	580	710	130	621	636,0	6,3
II	C	1	D	5			Vyskytenská pahorkatina	470	695	225	579	110,3	7,9
II	C	1	D	5	a		Strměšská pahorkatina	470	650	180	564	64,4	8,5
II	C	1	D	5	b		Dušejovská pahorkatina	550	695	145	628	34,6	6,6
II	C	1	D	5	c		Hlávkovská pahorkatina	545	660	115	603	11,4	5,4
II	C	1	D	7			Křemešník (Lešovská vrchovina)	545	765	220	650	25,1	8,8

Poznámka: Morfometrické charakteristiky jsou počítány pouze pro část jednotky ležící na území povodí.

Sázava. Vodní toky zůstaly hlavními erozními činiteli zvětralin vzniklých během paleogénu a zejména ve vyzdvižených oblastech se hluboce zařezávaly. Odnosem tropických zvětralin a následným obnažením bazální zvětrávací plochy vznikl v granitových oblastech typický kupovitý reliéf. Zejména v plochých údolích horních částí vodních toků je možné fosilní zbytky zarovnaných povrchů identifikovat. Denudací byla také obnažena další relativně odolná vulkanická tělesa.

V průběhu pleistocénu bylo důležitým reliéfotvorným činitelem klima, resp. jeho kolísání. Během chladných výkyvů se studované území nacházelo v periglaciální oblasti. Důsledkem byl vznik typických tvarů, zejména v polohách nad 700 m n. m. Příkladem jsou mrazové sruby, kryoplanační terasy a plošiny, kamenná a balvanová moře a také pseudokary. Velmi častým procesem v reliéfu byla soliflukce, která transportovala materiál po svahu do údolí. Během holocénu byla utlumena intenzita geomorfologických procesů. Ze stručného popisu vývoje území je patrné, že reliéf byl modelován několika odlišnými geomorfologickými procesy během různých podnebí, jedná se tedy o polygenetický reliéf.

Charakteristiky geomorfologických jednotek

Následující popis jednotek je proveden po úroveň podcelků:

Středočeská pahorkatina je relativně málo členitá pahorkatina vyvinutá převážně na granitoidech středočeského plutonu a dalších proterozoických a paleozoických horninách. Tento mírně zvlněný pahorkatinný reliéf vznikl denudací v průběhu paleozoika až terciéru. Reliéf této oblasti je silně erozně denudačně rozčleněný a místy silně tektonicky porušený. Během terciéru se začaly intenzivně zařezávat vodní toky vlivem neotektonické aktivity, zejména Vltava, Otava, Sázava, Lužnice a jejich přítoky. Horní úseky říčních údolí jsou však mělké. Časté jsou výrazné strukturní hřbety a suky doprovázené skalními tvary zvětrávání a odnosu. Charakteristické je malé množství kotlinovitých útvarů, které potvrzuje malou relativní výškovou členitost oblasti.

Vlašimská pahorkatina je celek tvořený granitoidy středočeského plutonu a moldanubickými horninami. Četné jsou vložky ortorul. Povrch je silně erozně denudačně rozčleněný. Časté jsou výrazné strukturní hřbety a suky doprovázené skalními tvary zvětrávání a odnosu. Říční údolí jsou zpravidla hluboce zaříznutá.

Podcelek **Mladovožická pahorkatina** je vyvinut převážně na moldanubických horninách; četná jsou ortorulová a metagranitová tělesa a strukturní suky a hřbety. Jedná se zpravidla

o výrazně rozčleněný erozně denudační povrch se silným tektonickým porušením. Charakteristické je hluboké zaříznutí Želivky a jejích přítoků. Na východě se v okrsku Načeradecká vrchovina vymezuje výrazným Načeradeckým srázem.

Českomoravská vrchovina je rozsáhlá oblast s vrchovinným povrchem ve středu a pahorkatinnými rysy na okraji této jednotky. Tato jednotka je budována krystalickými horninami, zejména granitoidy a metamorfity. Ve sníženinách se v průběhu kenozoika a terciéru vyvinuly usazeniny. Typické je stupňovité snižování povrchu směrem ze středních vrchovinných partií k západním a východním okrajům. Údolí vodních toků mají ve vrchovinných částech mělký charakter. Okraje Českomoravské vrchoviny mají naopak pahorkatinný charakter s plochými rozvodími a jsou rozřezány hlubokými a úzkými údolími. Nad plochý reliéf často vyčnívají elevace s malou rozlohou. V oblastech budovaných granitoidy je vyvinut typický kupovitý povrch s tvary zvětrávání a odnosu.

Křemešnická vrchovina je geomorfologický celek tvořený především metamorfovanými horninami. Relativně jednotvárný povrch je rozřezán hlubokými údolími. Členitý povrch je vyvinut zejména v oblastech tvořených granitoidy. Na severozápadě je ohraničena Načeradeckým srázem, který je tektonicky založený a ovlivňuje symetrii říční sítě.

Pacovská pahorkatina tvoří významnou část Křemešnické vrchoviny. Tato pahorkatina je tvořena zejména rulami; ve sníženinách se nachází zbytky neogenních sedimentů. Údolí vodních toků mají zpravidla plochý a rozevřený charakter; rozvodí nejsou zřetelná a dochází k bifurkacím vodních toků. Typický pro Pacovskou pahorkatinu je zvlněný povrch sklánějící se směrem k východu. Na severozápadě podcelku dosahuje reliéf nad Načeradeckým srázem nadmořských výšek 680–720 m n. m. a sklání se do nadmořských výšek 550–600 m n. m. na jihovýchodě. V oblasti Načeradeckého srázu jsou vyvinuta typická zaříznutá konsekventní údolí, naopak směrem k jihovýchodu se údolí rozevírají. Reliéf okrsku Cetorazská vrchovina se sklání od jihu k severu.

Želivská pahorkatina (foto 13, 14 a 15) zaujímá ze všech čtyř geomorfologických podcelků povodí Želivky největší plochu. Je to členitá pahorkatina charakteristická hlubokými údolími. Relativně zvlněný povrch se sklání od západu k východu a zároveň od jihu k severu. Nad zarovnaným povrchem jsou zachovány křemencové suky. Jednotka je tvořená převážně rulami, vyskytují se i polohy křemenců a vápenců. Údolí Želivky a dolní úseky jejích přítoků jsou charakterizovány hluboko zakleslými meandry s neckovitým profilem.

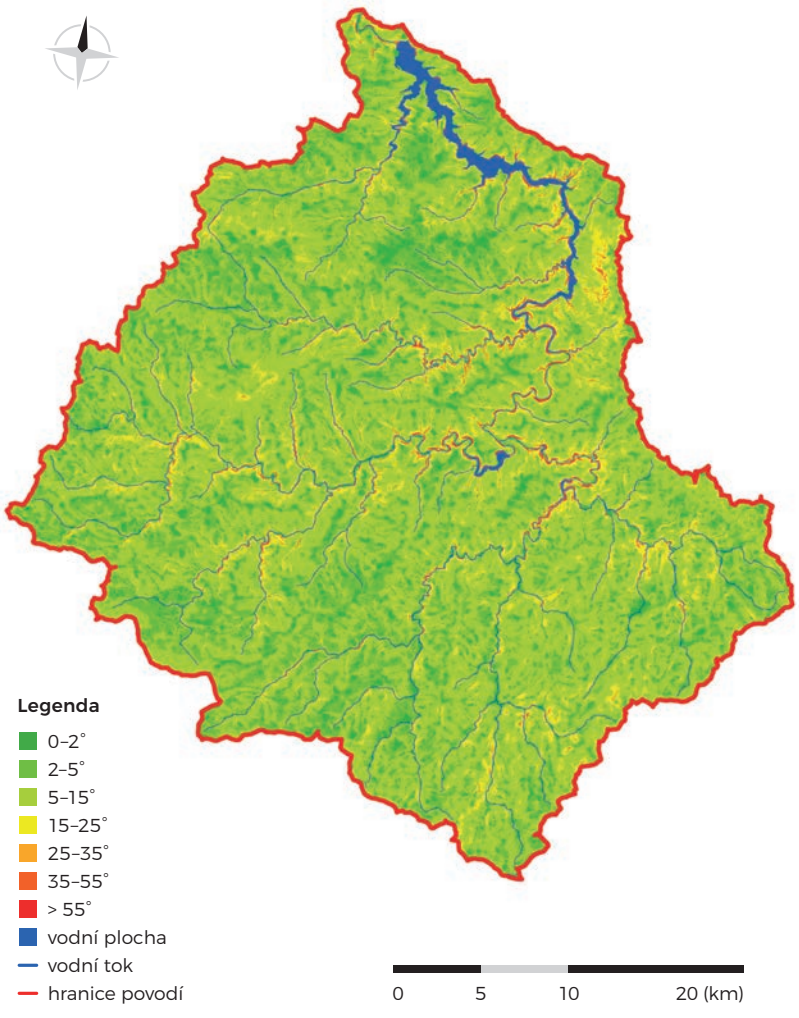
Humpolecká vrchovina je plochá vrchovina; severní část tohoto podcelku je tvořená dvěma hřbety severojižního směru. Západní hřbet je ohraničen výrazným zlomovým svahem. Jižní část má pahorkatinné rysy s vystupujícími hřbety Křemešníku (765 m) a Čeřínku (760 m). Skupina Křemešníku je ze západu tektonicky omezena, zatímco skupina Čeřínku je ohraničena tektonickými svahy ze všech stran. Dominantní horninou je žula a horniny jejího pláště, a proto jsou vyvinuty typické formy zvětrávání a odnosu a také kryogenní tvary (kryoplanační terasy, tory). Vyskytuje se též rula, např. v okrsku Melechovská vrchovina, která je na západě, severozápadě a severovýchodě omezena výraznými zlomovými svahy. Migmatity budují části Jeníkovské vrchoviny a Křemešníku.

Obrázek 29: Rozložení nadmořských výšek v povodí Želivky.

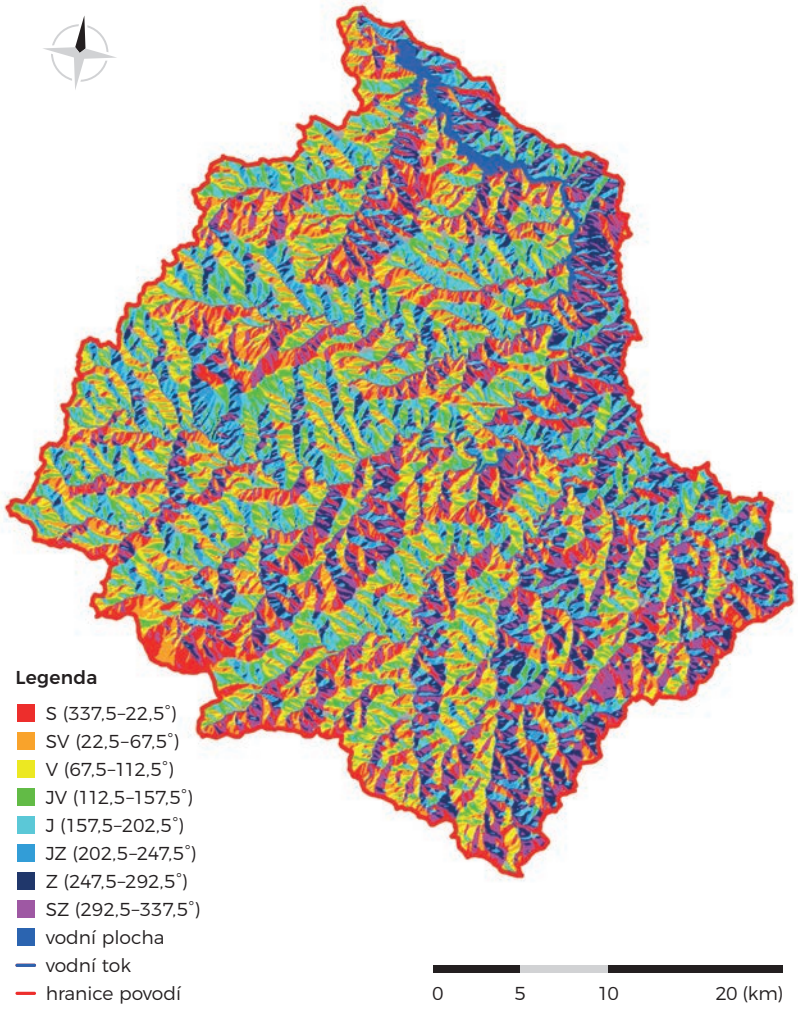
Rozložení nadmořských výšek

Z rozložení nadmořských výšek je patrné zvyšování nadmořské výšky směrem k západnímu, jižnímu a východnímu okraji povodí (obrázek 29). Nejvyšším bodem povodí je Křemešník (765 m n. m.) na jihovýchodním okraji studované oblasti. Reliéf nad 700 m n. m. je dále vyvinut v západní části pohoří (Strážiště, 744 m n. m.). Tyto polohy zaujímají v rámci povodí jen 0,4 % jeho plochy. Nejníže ležící lokalitou je ústí Želivky do Sázavy pod hrází vodárenské nádrže Švihov na Želivce v severním výběžku povodí (320 m n. m.). Oblasti s nadmořskou výškou do 400 m n. m. zaujímají jen 3,5 % plochy povodí. Výrazná většina reliéfu v povodí Želivky se nachází mezi 500 a 600 m n. m. (46,6 %). Zbývající kategorie mají podobné zastoupení, kategorie 400–500 i 600–700 m n. m. se podílí na ploše povodí asi 25 %. Střední výška povodí je 544 m n. m.

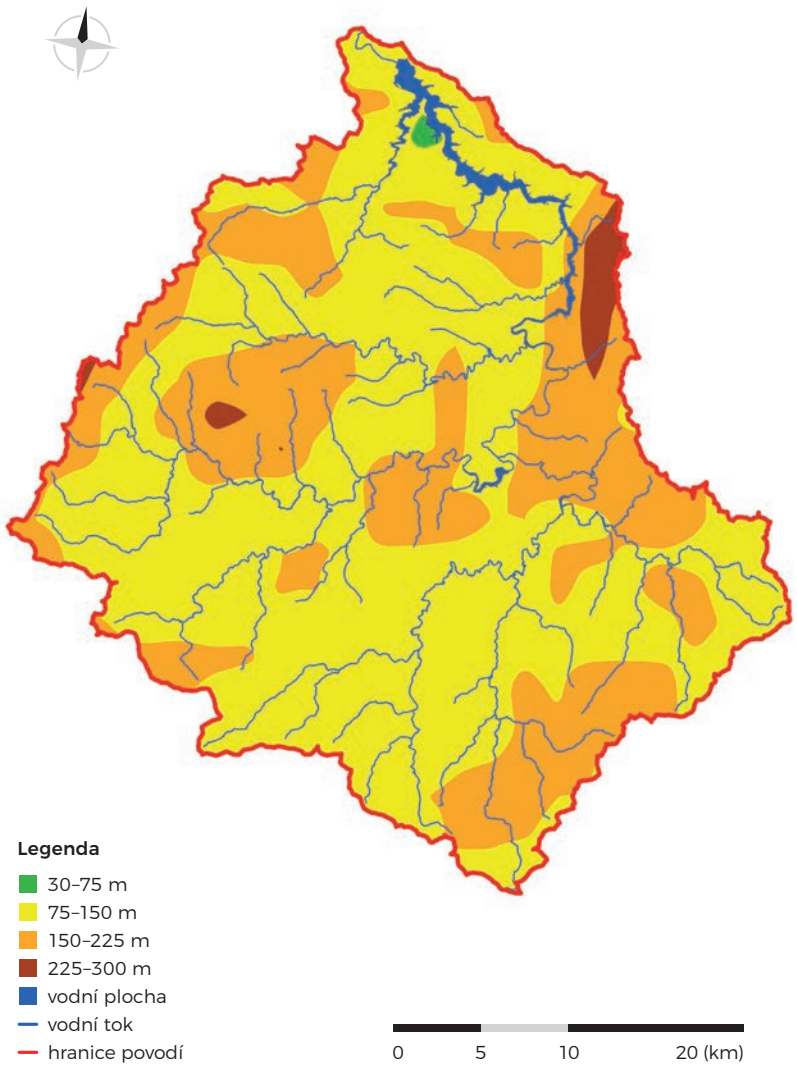
Obrázek 30: Sklon svahů v povodí Želivky.



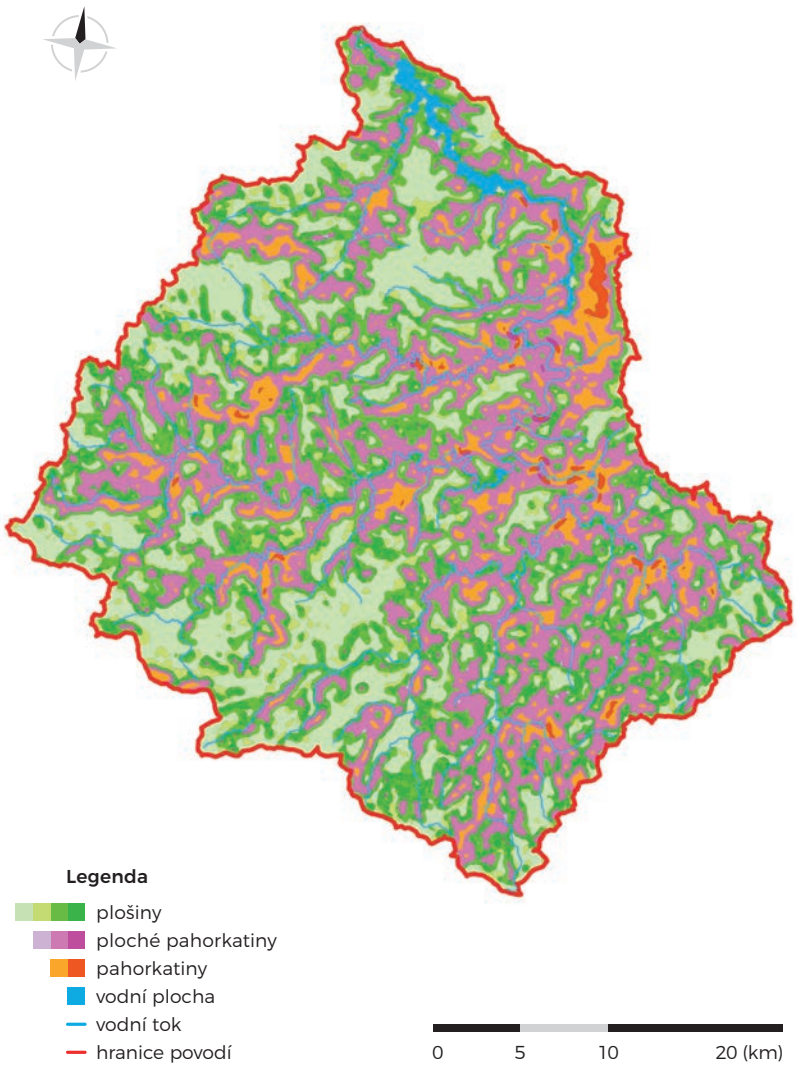
Obrázek 31: Orientace svahů v povodí Želivky.



Obrázek 32: Relativní výšková členitost reliéfu v povodí Želivky.



Obrázek 33: Klasifikace tvarů reliéfu v povodí Želivky.



Sklonitost svahů

V povodí Želivky zřetelně převládají svahy se sklonem 5–15° tvořící 58,3 % plochy povodí (obrázek 30). Na rozvodích a v nivách vodních toků dominují zarovnané povrchy se sklony 0–2° (11,8 % plochy povodí) a 2–5° (20,5 %). Kategorie 15–25° je zastoupena 7,4 %. Svahy o sklonitosti vyšší než 25° zaujímají pouhá 2,0 % plochy povodí. Tyto svahy jsou vyvinuty zejména v hluboce zaříznutých údolích vodních toků, především podél vodního toku Želivky, Martinického potoka, Trnavy a Hejlovky. Střední sklon v povodí má hodnotu 7,9°.

Orientace svahů

Zastoupení jednotlivých kategorií orientace svahů je relativně rovnoměrné a kolísá mezi 10,4 % (JV) a 14,2 % (SZ). I přes tuto heterogenitu existují v rámci povodí některé regionální rozdíly (obrázek 31). Podél východní rozvodnice a v celém jihovýchodním kvadrantu povodí mají značné zastoupení západní svahy. Svahy se severozápadní orientací převažují v jižních partiích povodí a také v povodí Sedleckého potoka na severozápadě. Severní orientace svahů je lokálně častější v okolí hory Svidník (739 m n. m.) na jihozápadě.

Relativní výšková členitost

Z mapy relativní výškové členitosti (obrázek 32) je patrná plošná převaha členitých pahorkatin (75–150 m), které tvoří 65,0 % rozlohy povodí. Ploché pahorkatiny relativní výškové členitosti 150–225 m se rozkládají na 33,2 % relativně rovnoměrně po celé ploše povodí. Prvky ploché vrchoviny (225–300 m, 1,6 %) jsou zejména zastoupeny ve východní partii povodí (Melechovská a Lipnická vrchovina) a útržkovitě na západě (Řísnická vrchovina). Zanedbatelnou plochu (0,2 %) zaujímají ploché pahorkatiny (30–75 m), a to pouze na severu povodí v Čechtické pahorkatiny.

Klasifikace forem reliéfu

Provedená klasifikace reliéfu potvrzuje relativně malou vertikální členitost a vysokou homogenitu povodí (obrázek 33). Součet plochy čtyř subkategorií z 24 činí 86,3 %. Většinu plochy zaujímají plošinné útvary s maximálně málo členitým reliéfem (plains, celkem 42,5 %), jsou vyvinuty zejména na severu a jihozápadě povodí. Příkladem jsou plochá rozvodí v Čechtické pahorkatině a Cetorazské vrchovině. Ploché pahorkatiny (open hills, 30,6 % plochy) se vyskytují relativně rovnoměrně po celém povodí. Pahorkatiny (hills, 8 % plochy) jsou vyvinuty na severovýchodě povodí v Melechovské vrchovině.

Poznámka: Kategorie jsou v textu vzhledem k neexistenci české terminologie zachovány v angličtině.

Rámeček 8

Klasifikace forem reliéfu

Za účelem analýzy tvarů reliéfu byl vytvořen model vycházející z americké klasifikace, která byla rozvíjena od 50. let 20. století Hammondem (1964) a dále upravena Dikauem et al. (1995). Tato analýza je aplikovatelná celosvětově. Vzhledem k neexistenci české terminologie jsou kategorie zachovány v angličtině.

Návrh české terminologické verze by zasluhoval samostatnou studii, a proto mohou být navržené termíny zavádějící.

Základními prvky, z kterých se skládají výsledné kódy tvarů reliéfu, jsou tři parametry: sklon, relativní výšková členitost a typ profilu. Tyto prvky se počítají v předem stanoveném okruhu pixelů v prostředí GIS.

U sklonu jsou vyčleněny čtyři číselné kódy v závislosti na podílu plochy se sklonem menším než 8 % (400: > 80 %, 300: 50–80 %, 200: 20–50 %, 100: < 20 %).

Relativní výšková členitost zahrnuje šest kategorií popisujících zvyšující se hodnotu rozdílu mezi max. a min. nadmořskou výškou v definované oblasti (10: < 30 m, 20: 30–90 m, 30: 90–150 m, 40: 150–300 m, 50: 300–900 m, 60: 900–1500 m).

Typ profilu je definován procentem mírně skloněného reliéfu ležícího pod či nad průměrnou nadmořskou výškou v okolí (1: > 75 % mírně skloněného terénu leží ve sníženinách, 2: 50–75 % mírně skloněného terénu leží ve sníženinách, 3: 50–75 % mírně skloněného terénu leží ve vyvýšeninách, 4: > 75 % mírně skloněného terénu leží ve vyvýšeninách).

Kombinací těchto parametrů vzniká podle Hammonda 94 tříciferných kódů charakterizujících daný tvar – např. 151: High mountains. Dikau následně sloučil uvedené kódy do 24 dvouciferných kódů, např. 55: High mountains.

Slabinou tohoto klasifikačního systému při aplikovatelnosti v našich podmínkách je např. odlišná klasifikace relativní výškové členitosti v porovnání s českou klasifikací. Důležitým aspektem je definování oblasti určené k výpočtům parametrů; v tomto případě byl použit rádius 30 pixelů o rozlišení 10 m.

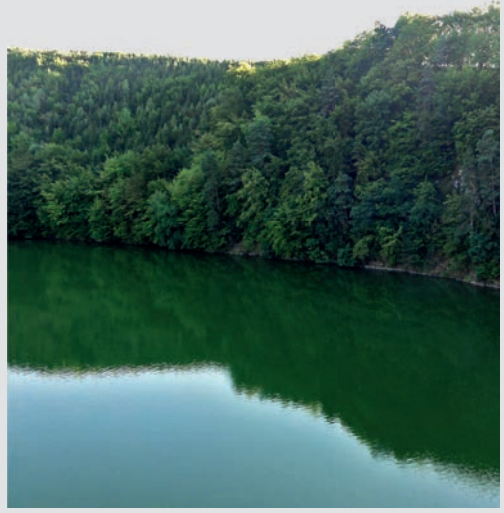


Foto 13: Strmý zalesněný svah k hladině VN Švihov na Želivce u obce Píšť. Zdroj: Kvítek T.

Foto 14: Relativní výšková členitost Želivské pahorkatiny z větší vzdálenosti se zdá malá. Zdroj: Kvítek T.

Foto 15: Mozaika krajiny Želivské pahorkatiny je výrazná a v horních částech povodí se nacházejí lesy. Zdroj: Kvítek T.

1.6

Martin Hložek
Lukáš Vlček
Jakub Langhammer

Charakteristika vodních útvarů v povodí

Příroda je stále otevřená kniha a jen v ní opravdu stojí za to číst.

Antoni Gaudí i Cornet
Katalánský architekt

Vodní útvary jsou celistvé homogenní jednotky povodí, pro něž jsou charakteristické podobné přírodní podmínky a vlastnosti. Vodní útvary představují administrativní jednotky, které umožňují popis stavu vodního prostředí a jeho srovnání s environmentálními cíli Rámcové směrnice – jde tedy o pracovní administrativní nástroj, nikoliv cíl Rámcové směrnice.

Základní východisko pro postup vymezení vodních útvarů povrchových vod představují platné legislativní předpisy EU a ČR, v jejichž rámci je problematika vodních útvarů aplikována. Základním výchozím dokumentem je v tomto ohledu směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 (EC, 2000) ustavující rámec pro činnost společenství v oblasti vodní politiky – tzv. Rámcová směrnice. Rámcová směrnice o vodní politice ES (dále RS) definuje útvar povrchové vody jako „samostatný a významný prvek povrchové vody, jako jsou jezero, vodní nádrž, vodní tok, řeka nebo kanál, část vodního toku, řeky nebo kanálu, brakické vody nebo úsek pobřežních vod“ (EC, 2000).

Vodní útvar je podle § 2 odst. 3 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) ve znění pozdějších předpisů vymezené významné soustředění povrchových nebo podzemních vod v určitém prostředí charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrologického režimu. Vodní útvary se člení na útvary povrchových vod a útvary podzemních vod.

Vzhledem k tématu této publikace je vhodnější provést srovnání morfometrických veličin mezi vodními útvary než v rámci geomorfologických jednotek.

V povodí Želivky bylo vymezeno 16 útvarů povrchových vod (DVL_0330–DVL_0500), z nichž 15 je kategorie řeka a jedna kategorie jezero (obrázek 34 a tabulka 9).

Největší plochu zaujímá vodní útvar Trnava po soutok s vodním tokem Kejtovský potok (152,8 km^2), nejmenší rozlohu vodní útvar Trnava po ústí do vodního toku Želivka (0,8 km^2). Průměrná plocha vodních útvarů činí 66,0 km^2.

Rozložení nadmořských výšek

Střední nadmořská výška vodních útvarů se pohybuje mezi 382,0 m n. m. v severní části povodí na soutoku Želivky se Sázavou a 619,0 m n. m. na jihozápadě povodí v povodí Cerekvického potoka (tabulka 9). Největší podíl nadmořských výšek do 400 m n. m. mají vodní útvary na dolní části vodního toku Želivky a jejích přítocích, zejména v povodí levostranného přítoku Sedlického potoka. Velký podíl těchto nadmořských výšek je také v nejmenším vodním útvaru (Trnava po ústí do vodního toku Želivka). Rozložení nadmořských výšek ve vodním útvaru Želivka po hráz vodárenské nádrže Švihov na Želivce není vzhledem ke zvolenému intervalu nadmořských výšek ovlivněno vzdutím hladiny vodní nádrže. U nadmořských výšek 400–500 m n. m. je osm vodních útvarů s podílem tohoto intervalu více než 50 % (58,2–87,1%), a to opět na dolní a ve střední části vodního toku Želivky a jejích přítocích na dolním toku. Čtyři vodní útvary mají zastoupení tohoto intervalu přibližně čtvrtinové až třetinové (26,3–30,3 %); nacházejí se na střední části vodního toku Želivky, na dolní

Obrázek 34: Zobrazení útvarů povrchových vod v povodí Želivky.

části vodního toku Trnavy, Martinickém potoce a nad ústím Želivky do Sázavy. Nadmořské výšky nad 500 m n. m. nejsou zastoupeny v posledně jmenovaném vodním útvaru a také v nejmenším vodním útvaru. Vyšší nadmořské výšky jsou logicky nejvíce zastoupeny na rozvodích na západě, jihu a východě povodí. Nejvyšší zastoupení nadmořských výšek 600–700 m (nad 50 %) má povodí Cerekvického potoka a horní část vodního toku Hejlovky (Želivky) po soutok s Cerekvickým potokem. Nadmořské výšky nad 700 m n. m. mají jen nepatrné plošné zastoupení. Největší plocha těchto poloh (1,2 %) se nachází v povodí Jankovského potoka na jihovýchodě povodí v oblasti Křemešníku.

Sklonitost svahů

Sklonitost svahů dosahuje výrazně nižší variability než rozložení nadmořských výšek. Střední sklon vodních útvarů se pohybuje mezi 5,8° a 12,1°, přičemž paradoxně nejnižší sklon má jeden z nejvýše položených vodních útvarů – povodí Cerekvického potoka (tabulka 9). Nejvyšší sklon byl vypočten pro nejmenší vodní útvar (Trnava po ústí do vodního toku Želivka). Tyto základní údaje jsou dokladem existence relativně plochého reliéfu i v nejvyšších nadmořských výškách, kde ještě nejsou vodní toky výrazně zaříznuty. I jednotlivé intervaly sklonitosti vykazují nízkou variabilitu. Sklony svahů v intervalu 0–2° zaujímají 8,9–18,7 % plochy studovaných vodních útvarů; do intervalu 10,0–11,0 % však spadá sedm vodních útvarů z 18. Svahy o sklonu 2–5° dosahují podílu 13,0–32,2 % plochy. Největší podíl tvoří tyto mírně skloněné svahy opět v povodí Cerekvického potoka, nejnižší podíl na nejdolejším toku Trnavy. Největší zastoupení mají svahy 5–15°, a to mezi 48,2 % (povodí Blažejovického potoka na dolní Želivce) a 65,8 % (vysoko položené povodí Bělé). Příkře skloněné svahy zaujímají 2,2–14,9 % (Cerekvický potok a nejdolejší část vodního toku Trnavy). Všechny další kategorie jsou zastoupeny nejvíce opět ve vodním útvaru Trnavy po ústí do vodního toku Želivka. Tato skutečnost je také dána již zmíněnou velmi malou plochou vodního útvaru (0,8 km^2). Pouze kategorie svahů s největším sklonem (nad 55°) nemá zastoupení v několika vodních útvarech. I tato skutečnost dokládá charakter reliéfu Českomoravské vrchoviny a Středočeské pahorkatiny s relativně plochými nejvyššími polohami a naopak velkými sklony svahů v níže položených územích, kde se výrazně zařezávají vodní toky.

Orientace svahů

Zastoupení osmi vymezených kategorií orientace svahů je rovněž relativně vyrovnané (tabulka 9). Naopak nejvariabilnější je rozdělení svahů různé orientace ve vodním útvaru Trnava po vzdutí vodárenské nádrže Švihov na Želivce (10,0–14,4 %) a Želivka (Hejlovka) po soutok s vodním tokem Trnava (10,0–15,5 %); oba vodní útvary se nacházejí ve střední části povodí. Převažující orientace se výrazně uplatňuje ve vodním útvaru Trnava po ústí do vodního toku Želivka (4,1–24,5 %, převažuje severozápadní a severovýchodní orientace), Sedlický potok po vzdutí vodárenské nádrže Švihov na Želivce (2,7–22,9 %, S a SZ orientace) a Želivka po ústí do toku Sázava (6,0–25,7 %, převažuje S a SV).

Nejvíce v rámci vodních útvarů převažuje směr jihovýchodní (5×), S a SV (shodně 4×). Jihovýchodní orientace dominuje ve vodních útvarech západní části pohoří, zatímco severovýchodní orientace ve vodních útvarech na dolní části vodního toku Želivky na severu povodí. Naopak jižní až severozápadní orientace jsou zastoupeny málo, největšího zastoupení v rámci vodních útvarů dosahují celkem 4×. Nejmenší zastoupení má jižní (6×, v jižních a severních částech povodí), jihozápadní a západní orientace (shodně 3×, především v západně lokalizovaných vodních útvarech).

Tabulka 9: Zastoupení základních morfometrických charakteristik ve vodních útvarech.

ID vodního útvaru	Název útvaru povrchových vod	Plocha (km^2)	Střední sklon (°)	Střední výška (m n. m.)
DVL_0330	Želivka (Hejlovka) od pramene po Cerekvický potok	49,4	6,4	608,2
DVL_0340	Cerekvický potok od pramene po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	54,5	5,8	619,0
DVL_0350	Bělá od pramene po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	130,6	8,1	588,7
DVL_0360	Jankovský potok od pramene po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	130,0	8,0	583,4
DVL_0370	Želivka (Hejlovka) od vodního toku Cerekvický potok po vodní tok Trnava	71,5	9,4	522,7
DVL_0380	Trnava od pramene po Kejtovský potok	152,7	7,9	594,9
DVL_0390	Kejtovský potok od pramene po ústí do vodního toku Trnava	90,9	7,2	576,5
DVL_0400	Trnava od vodního toku Kejtovský potok po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	96,5	8,4	533,1
DVL_0430	Želivka (Hejlovka) od vodního toku Trnava po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	42,3	8,3	490,0
DVL_0440	Martinický potok od pramene po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	115,1	7,8	538,6
DVL_0450	Blažejovický potok od pramene po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	32,2	6,5	477,5
DVL_0460	Sedlický potok od pramene po Čechtický potok	40,3	7,4	494,7
DVL_0470	Čechtický potok od pramene po ústí do vodního toku Sedlický potok	31,3	7,7	490,8
DVL_0480	Sedlický potok od vodního toku Čechtický potok po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	10,1	6,8	448,3
DVL_0495_J	Vodárenská nádrž Švihov na vodním toku Želivka (Hejlovka)	131,1	-	-
DVL_0500	Želivka (Hejlovka) od hráze Švihov po ústí do vodního toku Sázava	9,9	8,4	382,0
Celkem povodí VN Švihov na Želivce		**1 178,4**	**7,6**	**540,5**
Celkem povodí Želivka		**1 188,4**	**7,6**	**529,9**

1.7

Lukáš Vlček
Martin Hložek

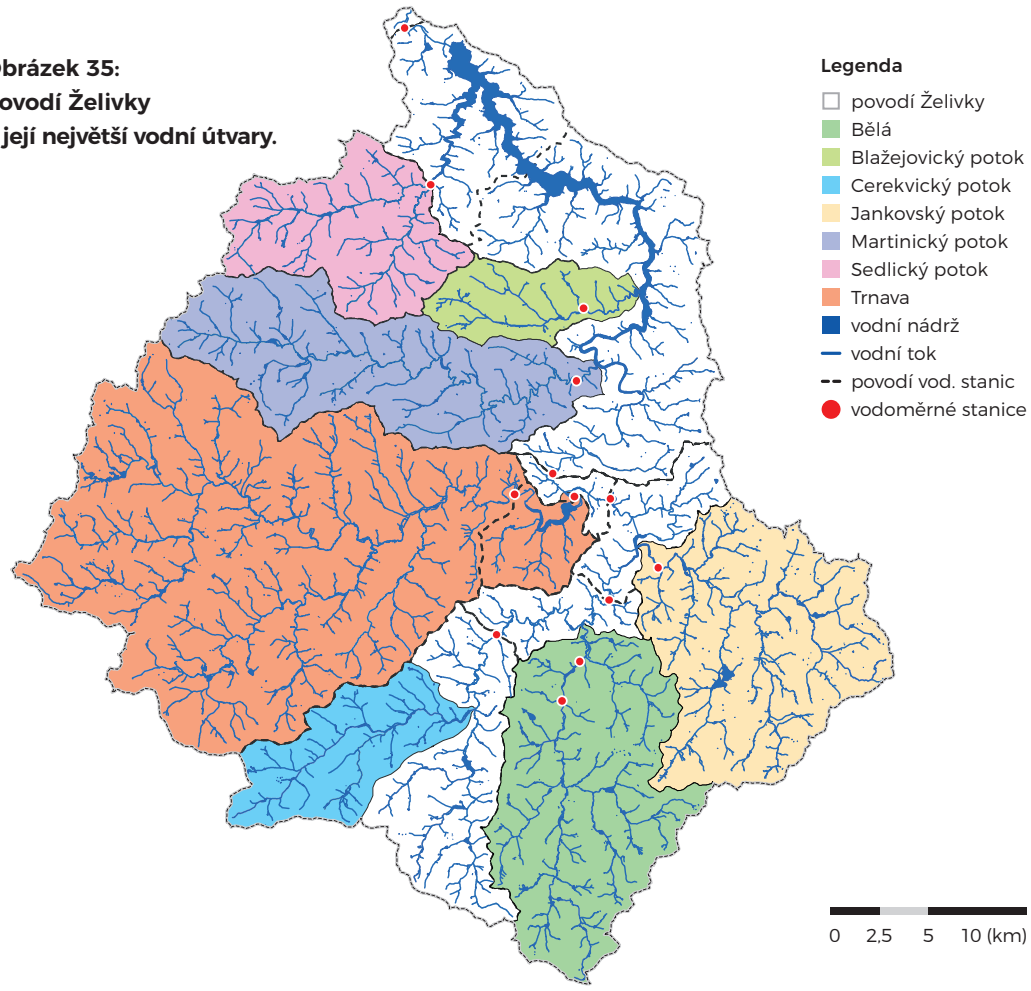
Hydrologické poměry v povodí

Po nás třeba potopa.

Ludvík XV.
Francouzský král

Vodní tok Želivka, v horní části též nazývaný Hejlovka, je vodním tokem III. řádu a je levostranným přítokem Sázavy, do které se vlévá pod Zručí nad Sázavou (foto 16–21). Pramení v Křemešnické vrchovině na severním svahu Trojáku asi 10 km od Pelhřimova v nadmořské výšce 677,25 m, teče od jihu směrem severním. Délka vodního toku je 103,89 km. Povodí Želivky je velice nesouměrné. Jak samotné povodí Želivky, tak povodí jejích hlavních přítoků patří podle koeficientu charakteristiky povodí do vějířovitého typu (tabulka 10). Vějířovitý typ je hydrology obecně chápán jako velmi náchylný na tvorbu koncentrovaného zvýšeného průtoku během povodňových nebo jiných větších srážkoodtokových událostí.

Významné přítoky Želivky jsou potoky Bělá, Blažejovický, Cerekvický, Jankovský, Martinický, Sedlický a největší přítok Trnava. I přes tyto největší přítoky je Želivka dotována množstvím drobných vodních toků (obrázek 35 a tabulka 11).



Obrázek 35:
Povodí Želivky
a její největší vodní útvary.

Tabulka 10: Základní charakteristika povodí Želivky

Plocha povodí (km²)	1 188,37	Koeficient odtoku	0,32
Dlouhodobý průtok (m³/s)	6,98	Charakteristika povodí α	0,46

Tabulka 11: Charakteristika vybraných přítoků vodního toku Želivky

Názvy vodních toků	Plocha	Podíl na rozloze povodí	Průtok	Charakteristika povodí
	(km²)	(%)	(m³/s)	
Želivka	**1188,37**	-	**6,98**	**0,46**
Pravostranné přítoky	**403,60**	**34,00**	-	-
Bělá	130,62	11,00	0,82	0,40
Jankovský potok	130,00	11,00	0,81	0,77
Ostatní p. přítoky	142,98	12,00	-	-
Levostranné přítoky	**784,77**	**66,00**	-	-
Trnava	340,59	28,70	2,06	0,47
Martinický potok	115,10	9,70	0,67	0,24
Sedlický potok	100,10	8,40	0,51	0,67
Cerekvický potok	54,50	4,60	0,35	0,32
Blažejovický potok	32,20	2,70	0,18	0,33
Ostatní l. přítoky	142,28	11,90	-	-

Množství srážek je rovnoměrně rozložené po celém povodí, a to v průměrné roční hodnotě kolem 600 mm. Odtokový koeficient je podobný českému průměru, tedy 0,32. Díky VN Švihov na Želivce v dolní části povodí Želivky však může být tento koeficient zkreslen.

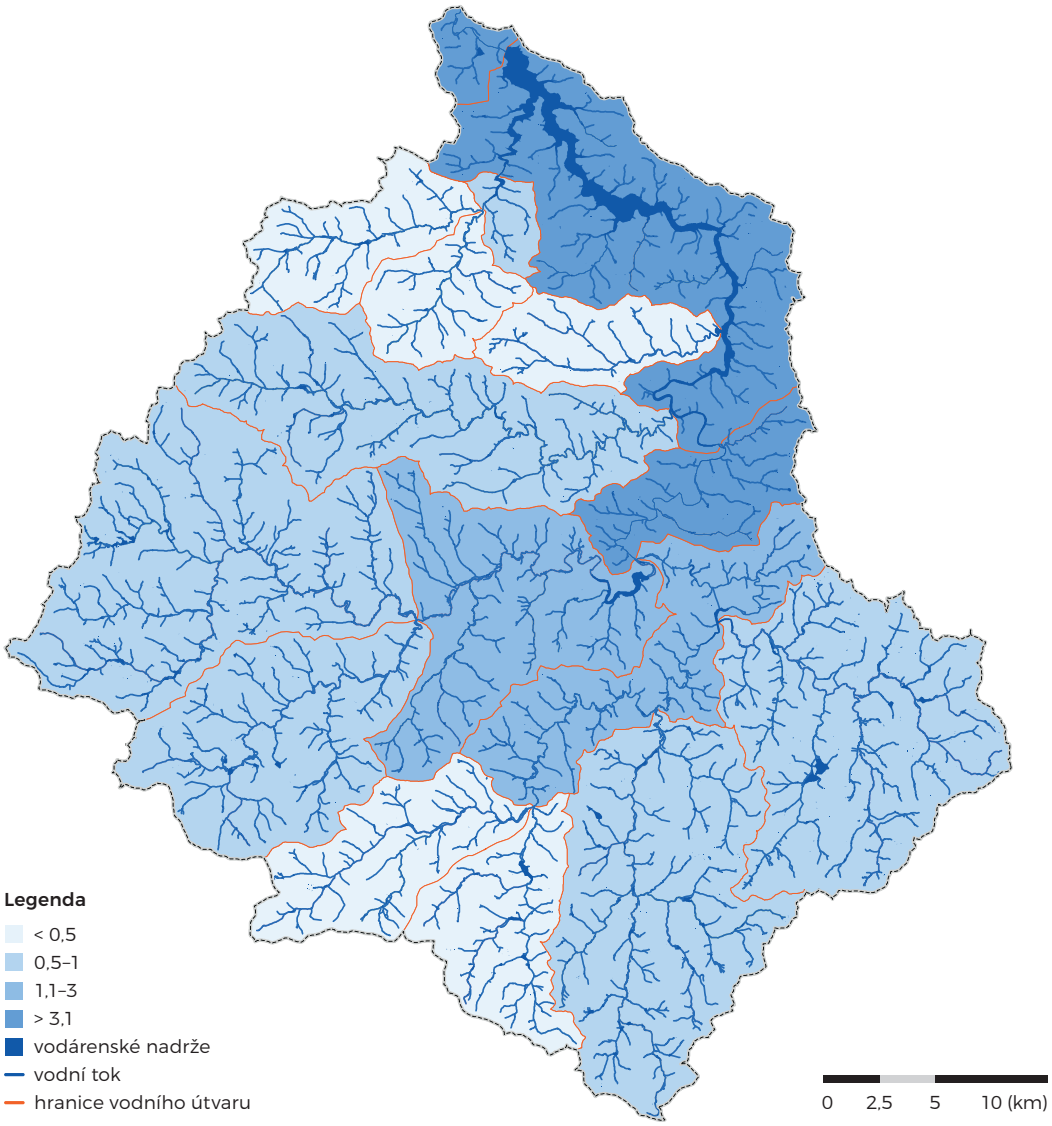
Vodní tok Želivka je napájena převážně levostrannými přítoky, které tvoří 2/3 všech přítoků. Svojí rozlohou i průtokem dominuje řeka Trnava, která teče západovýchodním směrem a u Želivi se vlévá do Želivky (obrázek 34). Pramení pod vrchem Batkovy (721 m n. m.). Její pramenná oblast je široká i díky jejímu pravostrannému přítoku – Kejtovskému potoku. Celé povodí má převážně zemědělský charakter typický pro oblast Českomoravské vrchoviny.

Vzhledem k dlouhodobým průtokům jednotlivých vodních útvarů (obrázek 36) lze říci, že hlavní zdrojová oblast vody pro Želivku je západní část, tedy povodí Trnavy a jihovýchodní část – Bělá a Jankovský potok. Je nutné poznamenat, že výsledný obrázek je také ovlivněn rozdělením vodních útvarů.

Většina vodních útvarů v povodí Želivky má dlouhodobý průtok pod 1 m³/s. Jedná se především o malé pramenné úseky. Za vodní útvary s nejmenším dlouhodobým průtokem přímo ústící do vodního toku Želivky lze označit pramenní oblast Želivky, povodí Cerekvického potoka nebo Blažejovického potoka. Vodní útvary mající odtok větší jak 1 m³/s jsou obvykle níže po proudu, kdy hlavním zdrojem je přítok z jiného vodního útvaru (obrázek 36).

Vodní útvary rozdělují nejen samotné povodí Želivky, ale také jednotlivé přítoky. Liší se významně nejen v rozloze – od 10,1 do 152,7 km² (tabulka 9), ale také v dlouhodobém průtoku (graf 16). Nejmenší vodní útvary byly vyčleněny po výstavbě VN Švihov na Želivce. Nachází se na vodním toku Želivky před vzdutím vodárenské nádrže mezi hrází a ústím do Sázavy. Přírodní koryto by zcela jistě spadalo do stejného vodního útvaru. Jde tedy o útvary vyčleněné převážně na základě antropogenního ovlivnění (přehrada). Největšími vodními útvary jsou pramenní oblast Trnavy, Bělá nebo Jankovský potok. Ač si jsou velikostně podobné a patří k pramenním úsekům Želivky, ve využívání krajiny se mírně liší. Je ovšem nutné podotknout, že z pohledu celého Česka jsou celkové rozdíly minimální.

Obrázek 36: Útvary povrchových vod a jejich dlouhodobé průtoky v povodí Želivky.



Říční terasy Želivky, charakter říčné sítě

Důležitým paleogeografickým indikátorem vývoje reliéfu jsou říční terasy. Tyto jsou vyvinuty především v údolí Želivky. Říční údolí Želivky bylo založeno v miocénu a mělo úvalovitý charakter. Zahlubování vodního toku probíhalo především v kvartéru, a to vlivem tektonického výzdvihu oblasti. Nejvíce bylo zahloubeno údolí mezi vznikem II. a III. terasy – 25–30 m, což koresponduje se zahloubením dolní Vltavy, středního a dolního Labe, dolní Tiché Orlice apod. Výrazný terasový systém je zachován na přibližně 50 km v dolní části vodního toku Želivky.

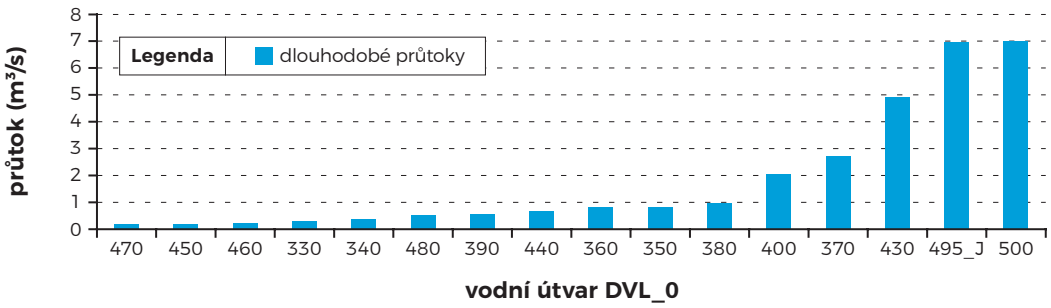
Fluviální sedimenty jsou zachovány ve dvou pozicích – ve starším mladotřetihorním a také kvartérním komplexu. Mladotřetihorní sedimenty jsou zachovány na zarovnaných površích v severní části povodí (podcelek Želivská pahorkatina) ve dvou úrovních. Kvartérní komplex je zachován v terasové podobě v sedmi úrovních.

Údolí Želivky má převážně erozní ráz, který je patrný z výrazného zaříznutí vodního toku. Pouze místy má popisované říční údolí akumulačně-erozní charakter. Údolí je zahloubené zpravidla 40–60 m, místy dosahuje zahloubení přes 100 m. V příčném profilu údolí převažuje neckovitý tvar; údolí tvaru písmene V je vyvinuto vzácně. Na dolním úseku v oblasti vodárenské nádrže Švihov na Želivce je místy vyvinuto úvalovité údolí.

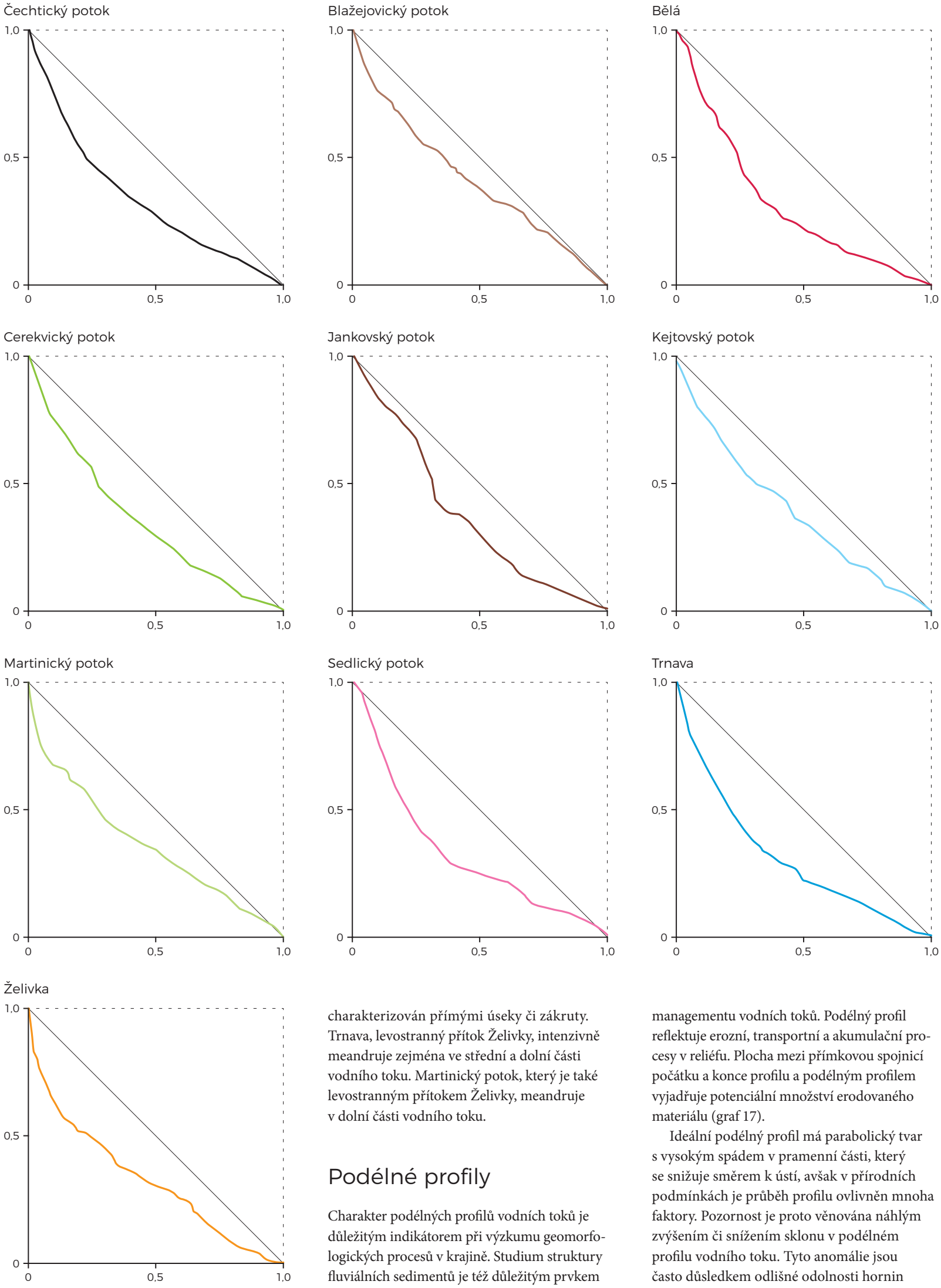
Půdorysné charakteristiky vodního toku Želivky a jejích přítoků jsou velmi variabilní a odrážejí různé horninové složení a geomorfologické procesy. Důležitým aspektem je měřítko, ve kterém se typy říční sítě posuzují. Zřetelně patrná je asymetrie říční sítě povodí Želivky vlivem tektonických pohybů; většina vodních toků ústí do Želivky zleva. Asymetrická je také síť Blažejovického potoka. Stromovitá síť je vyvinuta na Kejtovském potoce, Jankovském potoce a Trnavě; dolní část vodního toku Trnavy má však spíše asymetrický charakter. Vějířovitý typ říční sítě je zřetelný na Cerekvickém potoce a Bělé. Povodí Sedlického potoka zahrnuje prvky vějířovité a pérovité říční sítě. Pérovitá říční síť se vyvinula také na Čechtickém a Martinickém potoce.

Zdrojnice Želivky, Hejlovka, má ve svém pramenním úseku přímé či zákrutovité úseky. V okolí Hodějovic (podokrsek Hodějovická pahorkatina) však sinuosita vodního toku výrazně narůstá a vyskytují se též meandrovité úseky. Dále po proudu směrem k vodní nádrži Sedlice má Hejlovka opět zákrutovitý charakter. Mezi vodními nádržemi Sedlice a Švihov na Želivce má vodní tok Želivky výrazně sinusoidní charakter se třemi výraznými zaklesnutými meandry; zbylé úseky jsou často tvořeny výraznými zákruty. Důvodem pro vznik těchto meandrů může být existence vložek odolnějších hornin (žilný granit, amfibolit, žilný křemen apod.), které mají směr JJZ–SSV, a přetínají několikrát údolí Želivky. V oblasti vzdutí VN Švihov na Želivce se jedná především o zákruty; mezi Ježovem a Kožlím (podokrsky Senožatská a Dolnokralovická pahorkatina) je vyvinut delší přímý vodního úsek toku. Pod hrází VN Švihov na Želivce až k soutoku se Sázavou je vodní tok

Graf 16: Srovnání dlouhodobých průtoků jednotlivých vodních útvarů v povodí Želivky.



Graf 17: Normalizované podélné profily deset páteřních vodních toků povodí Želivky.



charakterizován přímými úseky či zákruty. Trnava, levostranný přítok Želivky, intenzivně meandruje zejména ve střední a dolní části vodního toku. Martinický potok, který je také levostranným přítokem Želivky, meandruje v dolní části vodního toku.

Podélné profily

Charakter podélných profilů vodních toků je důležitým indikátorem při výzkumu geomorfologických procesů v krajině. Studium struktury fluviálních sedimentů je též důležitým prvkem managementu vodních toků. Podélný profil reflektuje erozní, transportní a akumulační procesy v reliéfu. Plocha mezi přímkovou spojnicí počátku a konce profilu a podélným profilem vyjadřuje potenciální množství erodovaného materiálu (graf 17).

Ideální podélný profil má parabolický tvar s vysokým spádem v pramenní části, který se snižuje směrem k ústí, avšak v přírodních podmínkách je průběh profilu ovlivněn mnoha faktory. Pozornost je proto věnována náhlým zvýšením či snížením sklonu v podélném profilu vodního toku. Tyto anomálie jsou často důsledkem odlišné odolnosti hornin

vůči fluviální erozi, vertikálních tektonických pohybů a změny erozní báze. Vliv má i antropogenní činnost, např. stavba přehrad, jejímž důsledkem je zachycení velkého množství zpravidla jemnozrnných sedimentů hrází. Pod hrází pak často vlivem nedostatku sedimentů dochází k zintenzivnění hloubkové eroze.

S průběhem podélného profilu souvisí též poproudová změna vlastností fluviálního sedimentu. Dochází např. ke zmenšování velikosti zrn sedimentu, zvyšování zaoblení či sféricity klastů. Vlivem působení výše uvedených faktorů je však trend poproudových změn často nevýrazný či dokonce negativní.

V povodí Želivky bylo sestrojeno deset podélných profilů, které odpovídají hlavním tokům vodních útvarů. Geologické podloží v povodí Želivky nemá vzhledem ke své relativní homogenitě pravděpodobně zásadní vliv na formování podélných profilů vodních toků. Tektonické poměry

Graf 18: Podélné profily deseti páteřních vodních toků povodí Želivky.

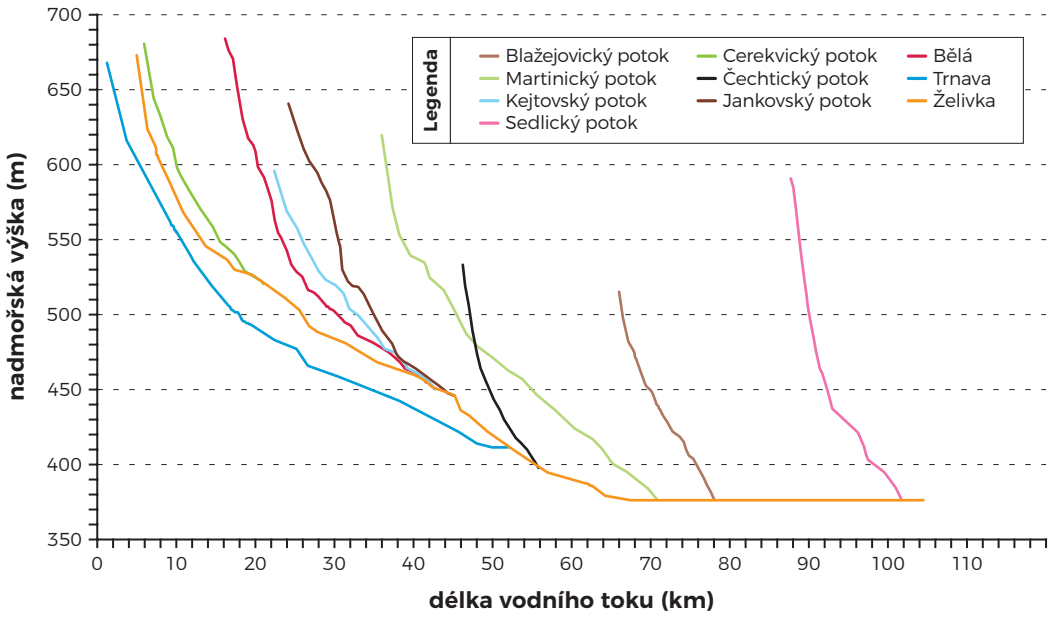


Foto 16: Zalesněný hřeben tvořící rozvodnici mezi povodím Želivky a Sázavy. Zdroj: Kvítek T.

Foto 17: Horní oratelné partie svahů jsou využívány jako orná půda. Zdroj: Kvítek T.

oblasti tudíž mohou hrát důležitou roli při vývoji profilů. Graf 18 přehledně znázorňuje charakteristiku podélných profilů páteřních vodních toků v povodí Želivky. Pro přehlednost byla u profilu Želivky ponechána i část profilu na úseku vzdutí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Za účelem přesnějšího porovnání podélných profilů vodních toků s odlišnou délkou byly vytvořeny již zmíněné normalizované podélné profily (graf 17). Dva profily (Čechtický potok a Trnava) jsou rovnoměrně vyvinuty, zatímco Sedlický potok a Jankovský potok zahrnují v profilech výrazné anomálie s lokálním výrazným snížením či zvýšením spádu. Blažejovický potok má po celé délce profilu relativně vyrovnaný spád. Zbývajících pět profilů je charakterizováno relativně vyrovnaným průběhem s nevýraznými spádovými anomáliemi. Největší potenciální množství erodovaného materiálu vykazuje Bělá a Sedlický potok, zatímco nejmenší množství Blažejovický a Kejtovský potok. Tato charakteristika však nemusí být směrodatná při posuzování tektonických vlivů na podélný profil vodního toku.

Příčné profily

Základní rysy příčných profilů, zejména symetrie, šířka a hloubka údolí, jsou důsledkem přírodních procesů probíhajících v údolí. Míra symetrie příčného profilu je dána zejména tektonickou historií reliéfu a strukturou hornin, které budují studované údolí. Šířka a hloubka údolí jsou také značně ovlivněny tektonickými poměry v reliéfu a jejich náhlými změnami. Indikují převládající typ fluviální eroze – hloubkovou či boční.

Na území povodí Želivky bylo vytvořeno na devíti hlavních vodních tocích celkem 44 příčných profilů (graf 19). Profily byly sestrojeny pod každým soutokem s vodním tokem minimálně III. řádu podle Strahlerovy klasifikace. Na Čechtickém potoce nevyhovoval těmto kritériím žádný profil. Vzhledem k rozdílnému

převýšení souborů příčných profilů byl za účelem porovnání těchto profilů vypočítán tzv. index otevřenosti R. Index je vypočítán jako poměr šířky údolí L a průměrné hloubky údolí h (na základě hloubky pravého svahu údolí h_P a levého svahu údolí h_L). Vysoká hodnota indexu značí převládání boční eroze vodního toku.

Příčné profily Bělé jsou charakterizovány nízkými hodnotami indexu R na profilech č. 1, 2 a 4 (16–20). Tyto hodnoty patří mezi nejnižší v rámci celého souboru profilů. Profily č. 3 a 5 jsou více otevřeny. Průměrná hloubka údolí se pohybuje mezi 34 a 70 m. Všechna údolní dna mají plochý charakter; šířka nivy činí 100–300 m. Oba sestrojené profily Blažejovického potoka dosahují průměrných hodnot indexu otevřenosti (35 a 39) v rámci všech sestrojených profilů v povodí. Průměrná hloubka údolí se pohybuje okolo 45 m. Na profilu č. 1 je říční niva široká několik desítek m, zatímco na profilu č. 2 dochází k mírnému zařezávání vodního toku. Vyšších hodnot indexu R dosahují příčné profily Cerekvického potoka. Hloubka údolí činí 40–60 m. Profily č. 1 a 2 jsou charakterizovány říční nivou širokou přibližně 200 m. Na profilu č. 3 se vodní tok zřetelně zařezává. U Jankovského potoka jsou hodnoty indexu R průměrné; průměrná hloubka

Graf 19: Příčný profil. Číslování příčných profilů je uvedeno podle nadmořských výšek dna vodního toku (od nejvyšší po nejnižší)

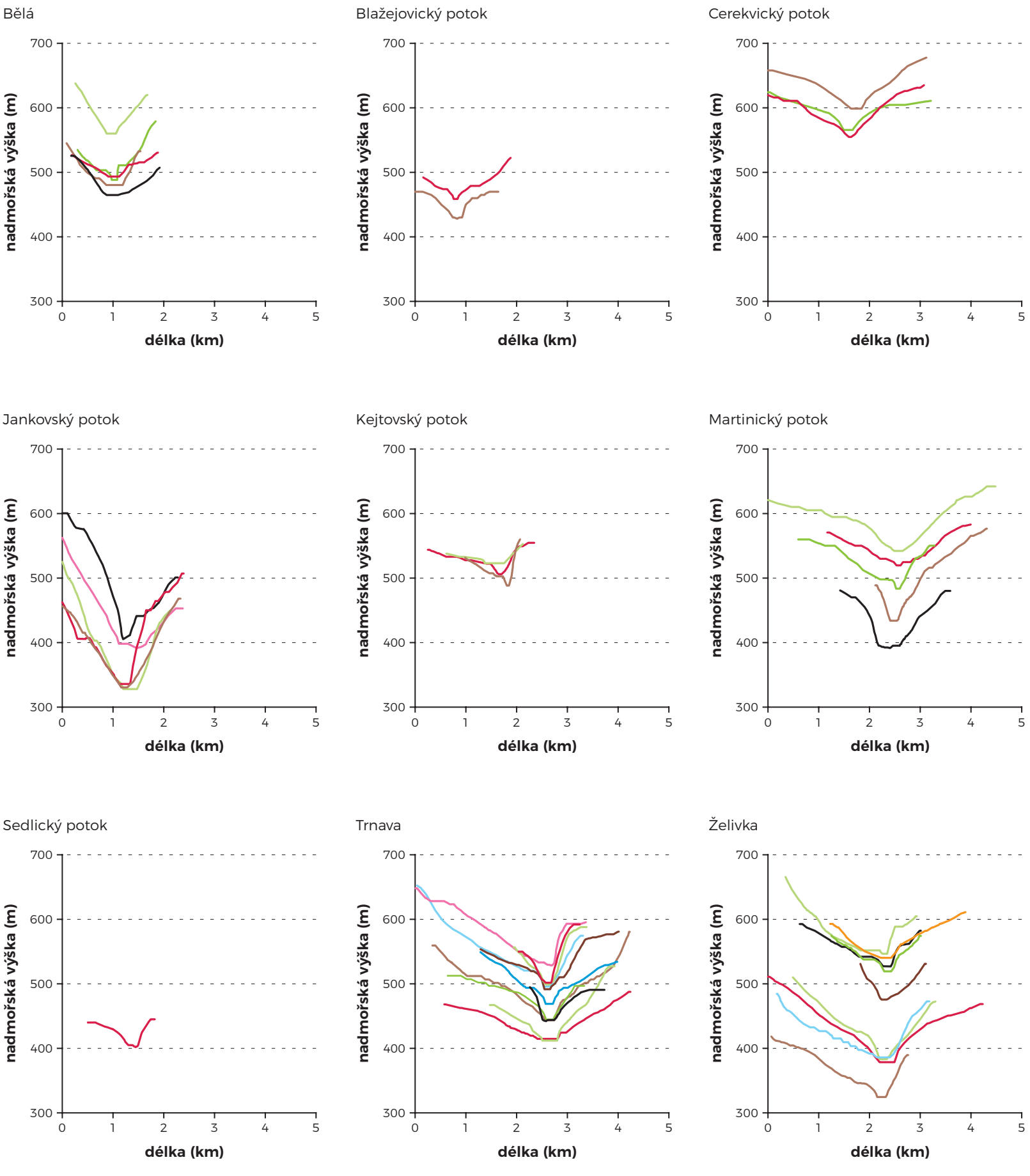


Foto 18: Ukazatel k pramenu Želivky u obce Mezná. Zdroj: Kvítek T.

Foto 19: Pamětní kámen pramene Želivky. Zdroj: Kvítek T.

údolí má hodnotu 60–85 m. S výjimkou profilu č. 1 má údolí v místě sestrojení profilů zpravidla ploché dno. Na profilu č. 5 dosahuje šířka nivy přes 500 m. Kejtovský potok je nejlepší názornou ukázkou poproudového zařezávání vodního toku do podloží. Na třech sestrojených profilech dochází k výraznému poklesu hodnot R, a to z 68 (nejvyšší hodnota) na pouhých 18. Hloubka údolí vzrůstá z 22 m na 60 m. Na profilu č. 1 je šířka říční nivy kolem 700 m, zatímco na profilu č. 3 jen několik desítek metrů. Martinický potok se také po proudu zařezává, ale méně výrazně než Kejtovský potok. Index otevřenosti klesá z 53 na 25, výjimku tvoří profil č. 4. Hloubka údolí kolísá mezi 47 a 88 m; nejhlubší jsou profily č. 1 a 5. Šířka nivy se pohybuje maximálně kolem 200 m. Na Sedlickém potoce byl zkonstruován pouze jeden příčný profil, který má podprůměrnou hodnotu indexu otevřenosti. Hloubka údolí je 40 m a údolní dno je zařízlé do podloží. Celkem 11 profilů bylo vymezeno na řece Trnavě. Hodnoty indexu otevřenosti poproudově kolísají a nabývají hodnot 17–58. Průměrná hloubka údolí také nevykazuje zřetelnou rostoucí tendenci; kolísá mezi 53 a 125 m, což je nejvyšší hodnota ze všech 44 profilů. Zřetelné je poproudové rozšiřování údolních den od pramene k ústí – údolní niva profilu č. 10 dosahuje šířky téměř 500 m. Hlavní vodní tok povodí, Želivka, zahrnuje od pramene vodního toku Hejlovky po vzdutí VN Švihov na Želivce devět profilů. Podobně jako u Trnavy kolísají hodnoty R i u Želivky (22–41). Průměrná hloubka údolí se pohybuje mezi 51 a 107 m. Nejvyšší hodnoty jsou změřeny na nejníže položených profilech a dokládají mírné zařezávání koryta vodního toku. Šířka nivy dosahuje až 300 m, a to na nejníže položených profilech. Příčné profily vybraných vodních toků dokládají vzhledem různým intenzitám zařezávání koryt vodních toků složitý tektonický vývoj území.

Foto 20: Počátek koryta vodního toku Želivky.
Zdroj: Kvítek T.

Foto 21: Řeka Želivka u obce Želiv.
Zdroj: Kvítek T.

Foto 22: Příkopové odvodnění rybníků.
Zdroj: Kvítek T.

1.8

Zbyněk Kulhavý
Tomáš Kvítek
Karel Břetislav Březina
Antonín Zajíček
Igor Pelíšek
Martin Lexa

Odvodňovací stavby v povodí

Kdo neudržuje příkopy v pořádku, ztratí nakonec pole.

Čínská moudrost

Intenzivní zemědělské využívání krajiny klade specifické nároky na vodní režimy půd. V klimatických podmínkách Českomoravské vrchoviny nevyhovuje kulturním plodinám zejména krátkodobý přebytek povrchové i podzemní vody na pozemku, vyskytující se nejčastěji v jarním období, a současně i trvalý přebytek vody z vyvěrajících pramenních vývěrů ve svahu zamokřující níže položené svahové oblasti, z vysoké hladiny podzemní vody v úzkých v současnosti nesklízených nivách a s nižší infiltrační schopnosti půd oglejených (foto 23 a 24). Proto patřilo odvodňování pozemků v těchto oblastech mezi tradičně využívaná hydromeliorační opatření (mělké, povrchové stružky po spádnici, ručně prováděné, odvádějící vodu do recipientu, nevyhovující však intenzivní zemědělské výrobě).

Díky intenzivní kritice staveb se systematickým plošným odvodněním, zejména zaznívající v letech 1990–2000 ze strany osob upřednostňujících pouze zájmy životního prostředí před ostatními společenskými zájmy, jsou hydromeliorační stavby veřejností chápány jako příčina všech negativních projevů v krajině. Středem pozornosti je jednostranné odvádění vody z krajiny, tj. snížení objemu vody v půdě, nikoli však s tím související zvyšování infiltrační schopnosti povrchu a retenčního prostoru odvodněné půdy, kdy obojí přispívá k transformaci složky přímého odtoku z povodí. Lidé, kteří komentují negativně odvodňovací stavby, však zapomínají jak na historické souvislosti při utváření kulturní krajiny a při formování celého vodního hospodářství, tak i na další hydrologické funkce půdy.

Inovativní technologie odvodňování půdy k nám byly importovány přes Německo z Anglie a již v roce 1842 se na území Čech a Moravy tato praxe ujala. Tehdy umožňovalo odvodnění zemědělsky využívat i pozemky dosud zamokřené, tedy z těchto příčin málo úrodné nebo zcela neúrodné. Problém zadržování vody nebyl tak zásadní, neboť v krajině stále významně převažovaly přírodní principy retence (přesto se povodně i sucha vyskytovaly i tehdy). Již v prvních etapách rozvoje zemědělského odvodňování si naši předkové uvědomovali, že oboustranná regulace vlhkostních režimů je pro zemědělství výhodná a že je třeba ji uplatňovat také vhodnými technickými způsoby (např. Petersonova drenáž z roku 1860, drenážní podmok podle Krauze apod.). I jednostranná úprava vodního režimu zamokřených pozemků byla v těchto fázích velmi účinná a z hlediska zemědělství jednoznačně pozitivní (obrázek 37).

S velmi intenzivním odvodňováním se pak setkáváme po roce 1960 (foto 27 a 28), kdy byl prosazován program „Soběstačnost ve výrobě obilovin". Nebyla však věnována odpovídající pozornost kompenzačním opatřením umožňujícím zadržování vody v těch částech krajiny, kde zamokření již nebylo vnímáno jako škodlivé. Přestože se periody sucha vyskytovaly, vodní hospodářství nebylo vystaveno takovému tlaku jako v současnosti, závlahy zemědělských plodin byly provozovány v exponovaných oblastech s podporou státu provozem velkoplošných závlahových systémů.

Kde je tedy problém odvodnění nyní? Tomuto funkčně silně účinnému zúrodňovacímu opatření se kladou za vinu téměř veškeré negativní projevy v zemědělské krajině, aniž by

se pojmenovaly příčiny a souvislosti. Historicky odvodnění vždy do krajiny patřilo, je jej vidět po celém světě a i v Čechách a na Moravě mělo vždy své místo. Odvodnění rybníků, cest, stavenišť, hřišť a dalších ploch je součástí současné krajiny (foto 22). Odvodňování bylo po roce 1948 „zneužito“ k ideologickým cílům kvůli své účinnosti při podpoře efektivního a intenzivního zemědělství, bylo však jen jedním z řady nástrojů. Není větší chybou, že se např. od roku 1948 do konce osmdesátých let v ČR rozoralo 270 000 ha luk a pastvin, 145 000 ha mezí, 120 000 km polních cest, 35 000 ha hájků, lesíků a remízků ve volné krajině a došlo k odstranění 30 000 km liniové zeleně (Vašků, 2011)?

Vašků (2011) konstatuje, že z tohoto zorného úhlu jistě potom nepřekvapuje ani to, že asi 30 zúrodňovacích, vodohospodářských

Foto 23: Zamokření rovinných poloh s odvodem vody povrchovými stružkami.
Zdroj: Kvítek T.

Foto 24: Pramenní vývěr ve svahu.
Zdroj: Kvítek T.

a kulturně-technických činností, které se běžně vyskytují v rejstřících prvorepublikových melioračních projekčních a stavebních firem (kromě odvodnění jsou zde uváděny např. závlahy, protierozní ochrana, rekultivace, pozemkové úpravy, stavba rybníků a malých vodních nádrží, úpravy drobných vodních toků, odbahňování rybníků a kanálů, terénní úpravy, hrazení bystřin, stabilizace strží, budování polních cest, stavby mostků a propustků, zakládání pastvin a jejich zařízení, zřizování sadů, účelové výsadby dřevin v krajině, přírodně-krajinářské úpravy, stavby studní a vodovodních řadů, stabilizace svahů, konsolidace lavinových drah, stokování, slínování, vylehčování těžkých půd, sádrování, rekonstrukce hydromelioračních zařízení atd.), prakticky zdegradovalo na jednostranné plošné odvodnění trubkovou drenáží, nazývané navíc zjednodušeně „melioracemi“.

Kritika staveb odvodnění však přichází až v období, kdy více jak čtvrtina zemědělských půd je již odvodněna. Přitom tyto systémy jsou z převážné části nadále funkční. Lokálně se vyskytující poruchy jsou často příčinou dlouhodobě nedostatečné údržby POZ* i HOZ. Argumentem o potřebnosti odvodnění pro udržení zemědělských aktivit v krajině jsou snahy zemědělců tyto závady podle možností odstraňovat, a to bez jakékoli vnější podpory. Zřejmě jiná kritika by zaznívala v období, kdy tyto systémy vybudovány nebyly a kdy by zamokření pozemků způsobovalo jejich nepřístupnost pro techniku a výrazně by snižovalo výnosy zemědělských plodin.

Je otázka, zda by Česká republika byla od roku 1960, za stavu velké výměry zamokřených půd, soběstačná v rostlinné výrobě, ve výrobě potravin a zda by současné kritizované dovozy zboží na velké vzdálenosti nebyly ještě masivnější. Nastavené tendence v demokratické společnosti dlouhodobě přetrvávají. A to se týká jak odvodnění, tak i zamokřených půd.

Zamokřená půda nemá ve sklonitých podmínkách dostatečnou retenční kapacitu pro zasakování srážkové vody a velmi snadno pak i na

---

Poznámka: * – Podrobné odvodňovací zařízení (POZ), zpravidla se v podmínkách ČR jedná o drenážní potrubí uložené pod povrchem pozemku; hlavní odvodňovací zařízení (HOZ) ve funkci recipientu POZ (nejčastěji vodní tok, upravená vodoteč, vodní nádrž, příkop, zatrubněný odpad atd.).

Rámeček 9

Výhody rýhování, uváděné v počátcích odvodňovacích prací

(F. Václavík, 1863)

Oddělení první: Výhody z rýhování

1. Půda stane se přístupnější a možno tudíž v patřičný čas ji upraviti.
2. Úprava pozemku stane se přesnější, snadnější, a proto lacinější.
3. Půda stane se teplejší, a proto také zdravější.
4. Pozemek stane se hlubší a na ourodu jistější.
5. Mrva atp. oučinkují vydatněji.
6. Místy mokrá půda stane se stejnotvárnou.
7. Vegetace počne dříve a stane se jistější.
8. Výtěžek jest větší a ouroda lepší.

Také učebnice prof. Karla Jůvy z 50. let, která je kompendiem „klasického odvodňování“,

Obrázek 37: Jedna z prvních učebnic o odvodňování půdy v Čechách.

shromáždila argumenty ve prospěch odvodnění zemědělských půd (F. Jůva, 1957. Odvodňování půdy, s. 23–35).

Zamokřená půda je nadbytkem vody rozplavována a vyluhována, nebo se v ní vytváří glejový horizont charakterizovaný nedostatečným provzdušněním a destrukcí sorpčního komplexu. Vytváří se kyselý humus a nastává rašelinění organické hmoty. Kulturní rostliny hynou a ustupují mokřadním rostlinám, kyselým travám a plevelným porostům. Vyvinutý močál představuje neplodnou a kulturně bezcennou půdu, která je závadná pro okolí i z hlediska zdravotního. Vysoká mlžnatost a ochlazování ovzduší je zdrojem bodavého hmyzu, pijavek a cizopasníků zvířat, v teplých pásmech též malárie, tyfu a spavé nemoci. Zamokření a zaplavení půdy ji činí nevhodnou pro růst a vývoj zemědělských plodin. Zemědělské plodiny na zamokřených půdách z jara snadno vymrzají (jsou vytahovány mrazem), ve vzrostlém stavu poléhají, pozdě dozrávají, popř. i hnijí. Trpí chorobami, škůdci a zaplevelením. Jejich růst je v důsledku anaerobiózy zpomalen, trpí chlorózou (žloutnutím). Zamokřená půda, zejména jílovitá, je obtížně zpracovatelná a lepkavá, zvířecí potahy a zemědělské stroje se do ní boří. Jarní práce se opožďují, hnojiva nejsou dostatečně využita. Zaoraný hnůj se v půdě špatně rozkládá a živiny jsou z půdy vyluhovány. Rostliny zakořeňují jen mělce. Zamokřené oblasti jsou málo osídleny a uzavřeny civilizačnímu pokroku.

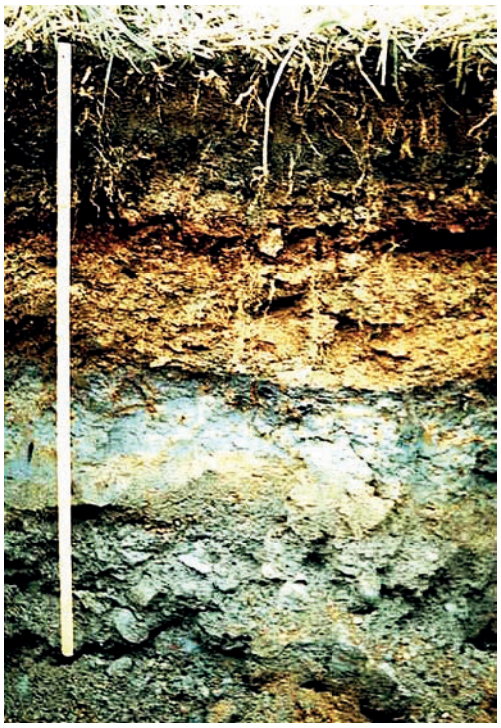


Foto 25: Vznik glejového horizontu v důsledku vysoké hladiny podzemní vody. Zdroj: Kvítek T.

Foto 26: Plošné povrchové zamokření se zhutněným povrchem půdy a zvýšenou erozí půdy. Zdroj: Kvítek T.

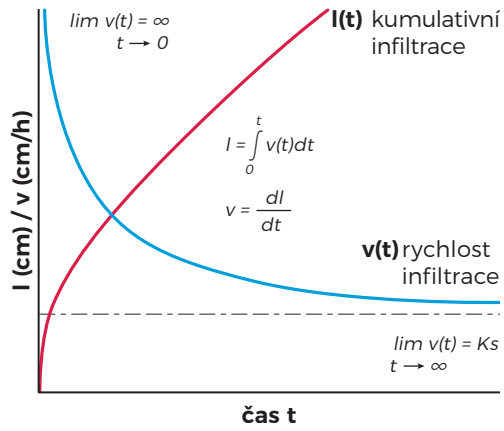
trvalých travních porostech nastává povrchový odtok a v drahách soustředěného odtoku také eroze půdy (foto 25 a 26).

Rychlost infiltrace srážky do půdy totiž velmi rychle klesá s mírou nasycení půdy (je patrné z obrázku 38). Právě odvodněná půda, která se v období před srážkou zbavila rychle pohyblivé vody v gravitačních pórech, má tuto infiltrační schopnost lepší než půda neodvodněná.

Retenční kapacitu půdy (tedy její schopnost krátkodobě zadržet přitékající vodu) danou předvyprázdněnými půdními póry můžeme také přirovnat k retenčnímu prostoru vodní nádrže. Pokud je prostor zaplněný, transformační účinek pro povodňový průtok je velmi snížen, naopak prázdný retenční prostor značně zvyšuje retenční potenciál vodní nádrže, tedy i půdy. Přemokřená půda má proto velmi sníženou schopnost zadržovat srážku infiltrací a zmírňovat tak průběh přívalových povodní, což není paradoxně některými opatřeními respektováno. Zájem na zvyšování retence vody v krajině, potažmo v půdě, je tedy problémem velmi složitým a komplexním, který nelze řešit ve zkratkách.

Návrh zemědělských systémů odvodnění, realizovaný v podmínkách ČR nejčastěji drenážním potrubím (foto 29–31) zaústěným do upravených vodotečí, respektoval objektivní potřebu eliminovat trvalé nebo přechodné zamokření pozemku a rozlišoval několik hlavních příčin zamokření, jak bude uvedeno dále. Intenzita odvodnění byla dána jednak potřebami pěstovaných plodin (tj. přípustnou dobou zamokření v konkrétních půdních podmínkách při zohlednění intenzity přítoku vod a intenzitou kapilárního vzlínání), jednak limity konstrukčního charakteru, což reprezentuje zejména hloubka uložení drénů, daná kritériem ochrany potrubí (proti poškození orbou a pojezdy techniky, proti zarůstání kořeny plodin, proti materiálové degradaci při promrznutí půdy atd.). Rozchod paralelních sběrných drénů a hloubka uložení jsou dva návrhové parametry stavby, které se vzájemně ovlivňují a mohou být předmětem požadované korekce, pokud se historicky mění způsob využití pozemku nebo nároky na intenzitu odvádění přebytků vod. Tyto konstrukční parametry se však velmi obtížně v průběhu existence stavby mění, nebo je změnit nelze vůbec. Určitou možností jsou modernizace odvodňovacích staveb (vkládáním vzdouvacích objektů, hradítek) nebo jejich eliminace (částečné nebo úplné zrušení odvodňovacího prvku).

Problém tkví také v nekomplexnosti vnímání účinků těchto staveb v uceleném systému hospodaření s vodou v krajině. Opatření v ploše povodí, zejména v jeho horních a středních částech, které přitom mají



Obrázek 38: Schematizace jevu rychlosti infiltrace vody do půdy v závislosti na nasycení půdy (modrá křivka).

Foto 27: Rýhovač ETC 202. Zdroj: Kvítek T.

Foto 28: Buldozer pro zahrnování drenážní rýhy. Zdroj: Kvítek T.

Foto 29: Celkový pohled na realizaci stavby odvodnění v nivě. Zdroj: Kvítek T.

Foto 30: Část drenážní šachtice s odtékající podchycenou vodou během výstavby drenážního systému. Zdroj: Kvítek T.

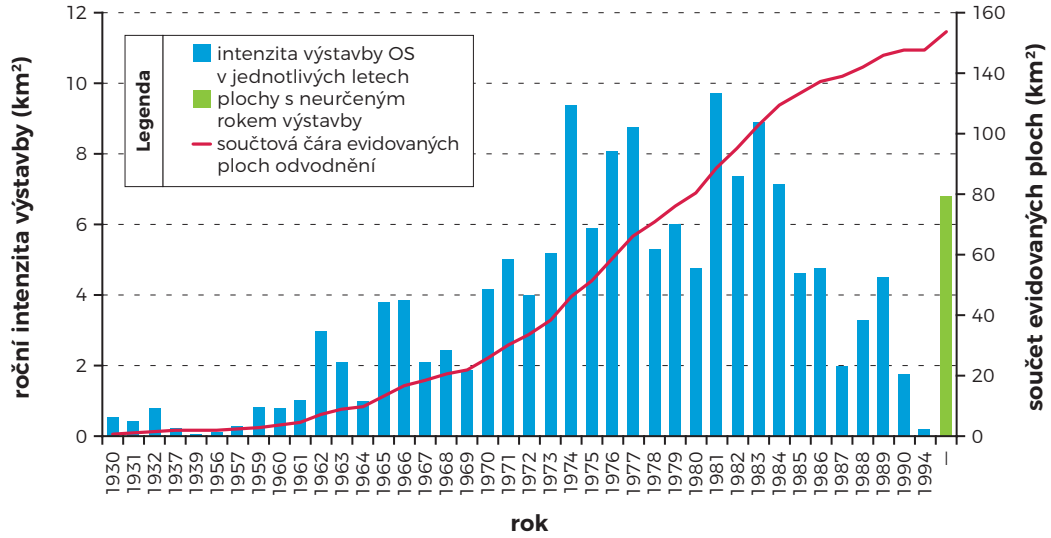
Foto 31: Drenážní šachtice po místní přívalové povodně. Zdroj: Kvítek T.

největší účinnost (odvodnění mezi ně patří), jsou nahrazována snadněji realizovatelnými a provozovanými opatřeními až v dolních částech povodí. Neexistuje totiž jednotný systém podpory komplexní péče o všechny vodohospodářské stavby v krajině, odvodnění zemědělských pozemků nevyjímaje, což má za následek zanedbávání údržby a problémy při správě těchto staveb.

Ani povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, které představuje plochu 1178,43 km², se budování odvodňovacích staveb nevyhnulo. Z této rozlohy bylo za období 1930–1994 odvodněno 149,5 km², což představuje 12,7 % území. Největší objem výstavby proběhl v období 1974–1978 (36,7 km²) a dále mezi lety 1981–1984 (33,1 km²). Po roce 1989 výstavba zemědělských systémů odvodnění v povodí ustává a po roce 1994 již není evidována žádná stavba. Pro jednotlivé roky je intenzita výstavby systémů zemědělského odvodnění v povodí VN Švihov na Želivce prezentována v grafu 20.

V povodí VN Švihov na Želivce se nachází celkem 113 povodí IV. řádu s průměrnou plochou 10,4 km² (od 0,21 do 40,3 km²). Průměrný podíl odvodněných ploch je v těchto povodích IV. řádu 11,76 %, přičemž 24 povodí má podíl odvodnění do 5 % své rozlohy a naopak 13 povodí nad 20 %. Tato povodí se nacházejí zejména v jihozápadní části povodí VN Švihov na Želivce (okolí Ustrašína, Nové Cerekve, Božejova, Obrataně a Smilových Hor) a dále také v severní části povodí v pásu mezi Čechticemi a Hořicemi. Naopak mezi oblasti s nízkou intenzitou odvodnění patří severovýchodní okraj povodí (při vodním toku řeky Želivky) a centrální část povodí v blízkosti vodních nádrží Sedlice a Trnávka (tabulka 12).

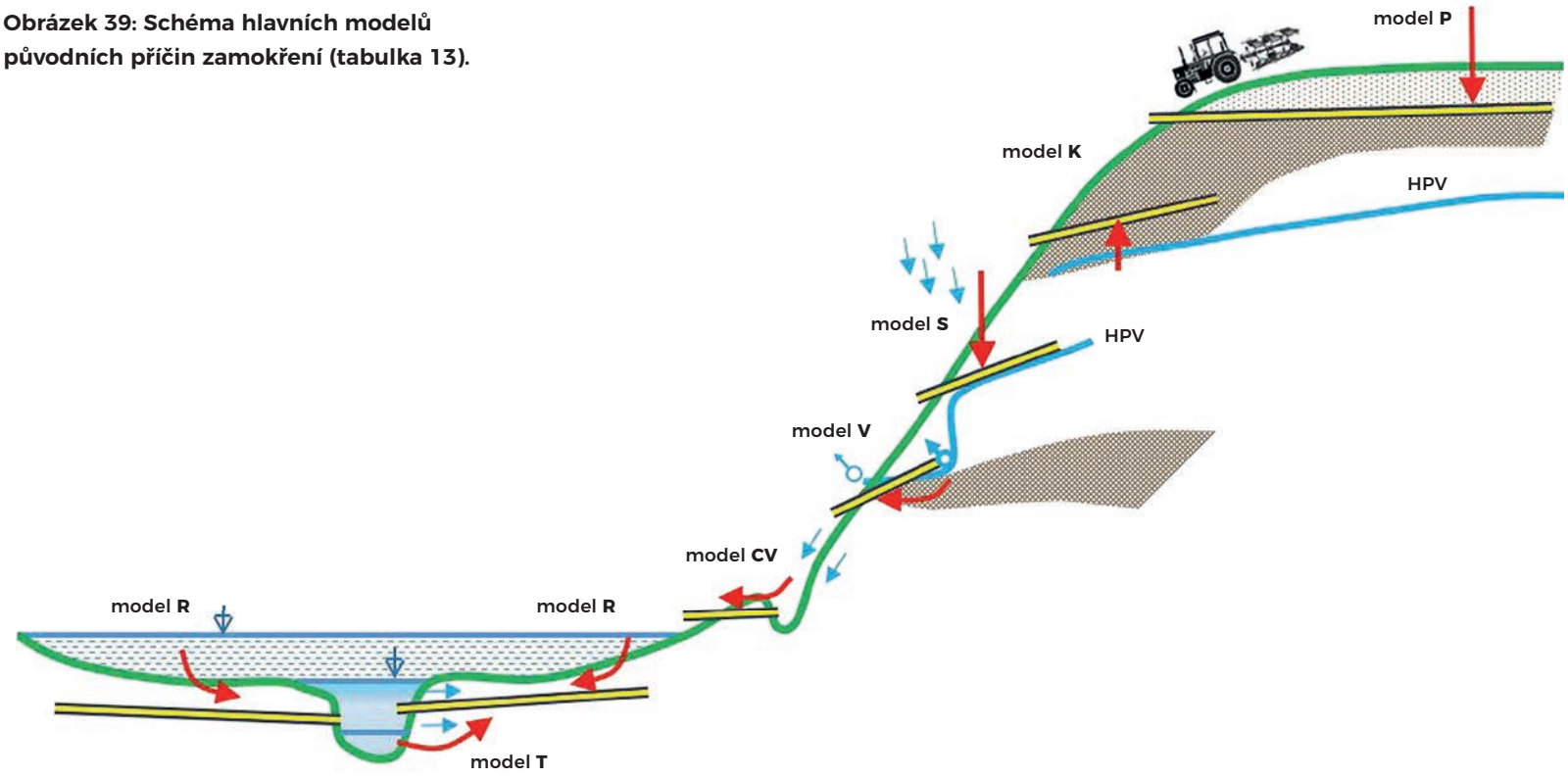
Graf 20: Intenzita výstavby odvodňovacích systémů (vyjádřená v km² kolaudovaných staveb) v jednotlivých letech 1930–1994 a vývoj celkové evidované plochy zemědělského odvodnění v povodí VN Švihov na Želivce, vyjádřený součtovou čarou.



Tabulka 12: Rozsah odvodnění v rámci útvarů povrchových vod

ID vodního útvaru	Název útvaru povrchových vod	Plocha VÚ	Plocha odvodnění	Podíl odvodnění
		(km²)	(km²)	(%)
DVL_0330	Želivka (Hejlovka) od pramene po Cerekvický potok	49,37	11,37	23,04
DVL_0340	Cerekvický potok od pramene po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	54,52	8,39	15,40
DVL_0350	Bělá od pramene po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	130,62	18,29	14,00
DVL_0360	Jankovský potok od pramene po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	130,01	14,25	10,96
DVL_0370	Želivka (Hejlovka) od vodního toku Cerekvický potok po vodní tok Trnava	71,47	6,38	8,93
DVL_0380	Trnava od pramene po Kejtovský potok	152,74	19,47	12,75
DVL_0390	Kejtovský potok od pramene po ústí do vodního toku Trnava	90,90	13,48	14,83
DVL_0400	Trnava od vodního toku Kejtovský potok po ústí do vodního toku Želivka (Hejlovka)	96,49	9,37	9,72
DVL_0430	Želivka (Hejlovka) od vodního toku Trnava po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	42,26	2,90	6,85
DVL_0440	Martinický potok od pramene po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	115,07	16,53	14,37
DVL_0450	Blažejovický potok od pramene po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	32,19	5,35	16,62
DVL_0460	Sedlický potok od pramene po Čechtický potok	40,26	5,30	13,16
DVL_0470	Čechtický potok od pramene po ústí do vodního toku Sedlický potok	31,32	7,25	23,16
DVL_0480	Sedlický potok od vodního toku Čechtický potok po vzdutí vodárenské nádrže Švihov	10,11	2,32	22,94
DVL_0495_J	Vodárenská nádrž Švihov na vodním toku Želivka (Hejlovka)	131,10	8,79	6,71
DVL_0500	Želivka (Hejlovka) od hráze Švihov po ústí do vodního toku Sázava	9,90	1,67	16,81
Celkem povodí VN Švihov na Želivce		**1178,43**	**149,45**	**12,68**
Celkem povodí Želivka		**1188,37**	**151,12**	**12,72**

Obrázek 39: Schéma hlavních modelů původních příčin zamokření (tabulka 13).



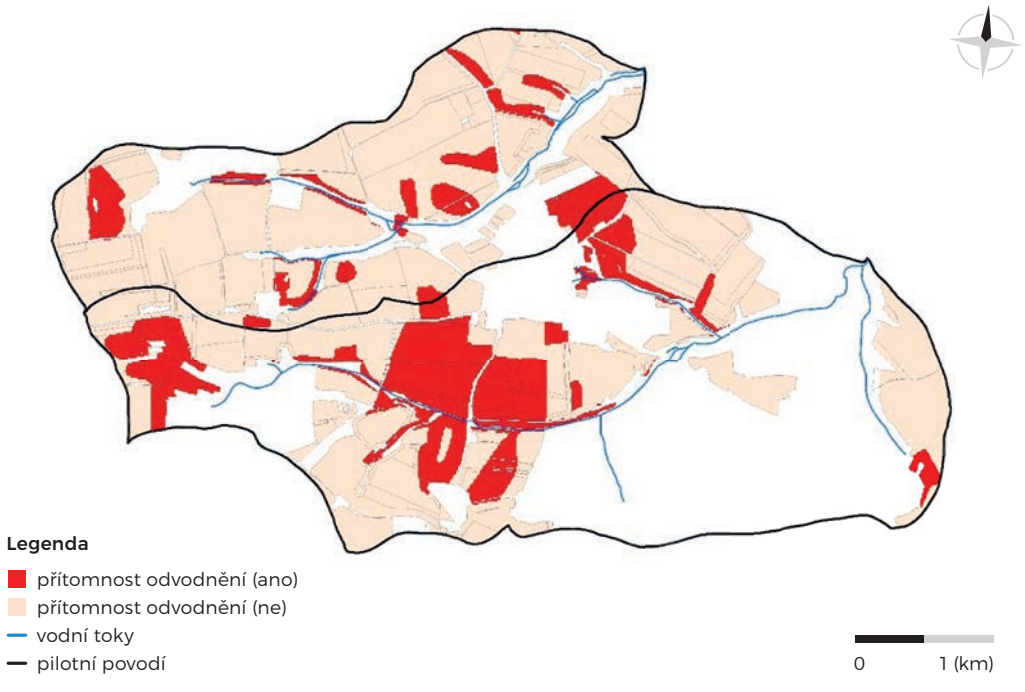
Norma ČSN 75 4200 Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním doporučuje způsoby realizace odvodnění na základě identifikované charakteristiky zamokření (obrázek 39).

Rozlišuje zejména:

– topografii zamokření
(projevy: bodové, lokální, liniové, plošné),
– časový charakter zamokření
(krátkodobé, sezonní, dlouhodobé, trvalé),
– formu zamokření
(podzemní voda, povrchové zamokření, vývěry, kapilární zdvih),
– příčinu zamokření
(je rozepsáno dále).

Před realizací stavby odvodnění byly tyto charakteristiky zamokření stanoveny podrobným melioračním, hydrogeologickým a hydropedologickým průzkumem (viz ČSN 75 4100, TNV 75 4112, TNV 75 4102) a výsledky průzkumů jsou obsaženy v přílohách projektové dokumentace. Pokud je tato dokumentace k dispozici, lze i v současnosti popisovat charakter zamokření pozemku a podle potřeby korigovat funkci odvodnění vhodnými opatřeními (např. Kulhavý a kol., 2013; nebo TNV 75 4221). Vybudováním podpovrchového drenážního odvodnění dochází k podchycení zdrojů zamokření pozemku (k podchycení přítoku vod) a ke snížení hladiny podzemní vody. Odtok drenážní vody je potom projevem původního zamokření. Režim odtoku drenážních vod proto bude korespondovat s charakterem zamokření, jak je popisován výše, a bude se tedy projevovat odtokem krátkodobým, sezonním, dlouhodobým až trvalým. Na příčinách zamokření bude záviset i jakost drenážních vod – tento ukazatel zohledňuje navíc i transport látek (závislý na zdrojích znečišťujících látek)

Obrázek 40: Ukázka evidovaných staveb odvodnění znázorněných v rámci plochy povodí IV. řádu.



Tabulka 13: Hlavní modely původních příčin zamokření. Převzato z tabulky ČSN 75 4200 a modifikováno s cílem použití při klasifikaci stávajících odvodňovacích systémů

Model	Popis zdroje drenážní vody jako původní příčiny zamokření
T	vysoká hladina vody v tocích a vodních nádržích (břehová infiltrace)
S	dešťové srážky zvyšující úroveň hladiny podzemní vody (HPV), (první zvodně)
R	rozlivy (v říční nivě), případně závlaha přeronem, výtopou atd.
CV	povrchový nebo mělký podpovrchový přítok vod na odvodněný pozemek (bývá podchycen záchytnými drény, příkopy nebo sporadickým odvodněním)
K	kapilární zdvih z vysoké HPV, tj. projevuje se u půd středně těžkých až těžkých (na rozdíl od typu P)
P	zvrstvení půdního profilu (snížení propustnosti primárně – jílovité proplástky pod propustnější vrstvou, nebo sekundárně – nevhodnou agrotechnikou a utužením půdního horizontu) a zamokření převážně vodou srážkovou
V	lokální vývěry z hlubokých zvodní (prameny a tektonické zlomy, napjatá HPV)
N	nevhodně nebo nadbytečně provedené drenážní odvodnění, případně aktuálně nefunkční s řadou poruch – zde je zařazeno nad rámec odkazované tabulky ČSN s možností přiřazovat plochám, které na základě aktuálně provedených průzkumů prokazatelně neměly být odvodněny, nebo jako odvodněné již díky ztrátě funkčnosti nepůsobí

Foto 32: Drenážní šachtice v zorněné údolnici. Zdroj: Kvítek T.

a dráhy i intenzitu přítoku vody do drenážního systému. Často se kombinuje několik příčin zamokření současně.

Za účelem klasifikace stávajících drenážních systémů v krajině podle příčin zamokření lze využít zjednodušujících modelů, jak jsou popsány na obrázku 39 a v tabulce 13. Předností takového popisu je možnost vytvoření klasifikačních algoritmů a celý proces klasifikace staveb poté automatizovat např. v prostředí GIS.

Podmínkou dlouhodobé funkčnosti zemědělského odvodnění je pravidelná údržba, případně provádění oprav podle aktuálního stavu odvodňovacího systému. V rámci návrhu byly projektantem předepsány obecné i speciální podmínky užívání stavby reflektující místní specifika. Obecné zásady uvádí novelizovaná TNV 75 4922 Údržba odvodňovacích zařízení. Obsah normy byl aktualizován i s ohledem na změny souvisejících předpisů a zejména změn vlastnicko-uživatelských vztahů. Pozornost byla věnována ekologickému hledisku provádění údržby při současném zohlednění potřeb udržitelnosti podmínek pro zemědělství. Do normy byla zahrnuta možnost víceúčelového využití odvodňovacích systémů, např. pro jejich modernizaci a následné řízení režimu podzemních vod, zlepšení jakosti vody a odvedení vody z povodněmi zatopených ploch (foto 32).

1.9

Ivan Bičík
Přemysl Štych

Dlouhodobý vývoj využití ploch v povodí

Historie je svědectvím času, světlem pravdy, životem paměti, učitelkou života, zvěstovatelkou dávných dob.

Marcus Tullius Cicero
Římský řečník, republikánský politik, filosof a spisovatel

Vývoj využití ploch v Česku je možné sledovat díky dlouhodobé evidenci využití země pomocí dat katastrálního úřadu, přičemž nejstarší údaje jsou z let 1826–1843 (Mašek, 1948). Vzhledem k tomu, že docházelo v průběhu téměř dvou století ke změnám hranic katastrů, bylo využití této datové základny spojeno s náročnými úpravami těchto dat. Ty spočívaly především ve vytvoření stejné struktury kategorií a neměnné územní struktury katastrů, resp. jednotek vzniklých spojováním katastrálních území, kde došlo ke změně hranice. Takto po náročných úpravách vznikla databáze srovnatelných územních jednotek (dále metodika) pro osm kategorií využití ploch. Databáze land use, land cover change (LUCC Czechia) byla vytvořena na Přírodovědecké fakultě UK v průběhu posledních necelých dvaceti let pro časové horizonty 1845 (souhrnně publikovaná data za katastry z dob mapování), 1896, 1948, 1990, 2000 a 2010. Na základě našich zkušeností a dlouhodobého využívání pro různé interpretace je nutné úvodem vysvětlit určité obecnější zákonitosti před vlastním hodnocením změn využití ploch v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce.

1. Od středověku až do 80. let 19. století rozloha zemědělské půdy a orné půdy na území Česka trvale narůstala. Zvětšování rozsahu bylo ovlivněno nutností uživit rostoucí počet obyvatel, neboť procesy intenzifikace zemědělské výroby začaly převažovat až právě v poslední čtvrtině 19. století. Právě v tomto období došlo jednak díky modernizaci společnosti (první mechanizace v zemědělství, výstavba potravinářských závodů, družstevnictví, formování agrokomplexu aj.) a rozvojem železniční dopravy k možnosti přesunu produkce do rychle rostoucích měst i oblastí podhorských a horských, které byly nuceny svoji zemědělskou produkci restrukturalizovat. Tyto trendy zachycují obrázky změn v rozsahu zemědělské půdy, orné půdy a luk a pastvin mezi lety 1845 a 1896.

2. Na území Česka došlo ke stagnaci záboru lesních ploch pro zemědělství již v první čtvrtině 19. století. Tento celkový trend byl doprovázen ještě regionálními specifiky. V posledních dvou dekádách 19. století byla stagnace rozlohy lesních ploch obrácena směrem k pozvolnému nárůstu jejich rozlohy. Tomu odpovídají data v tabulce 14, kdy na konci 19. století rozsah lesních ploch na území dnešního Česka se pohyboval kolem 29 % státního území, dnes činí přibližně 34 % a tento nárůst rozlohy představuje asi 250 tisíc ha.

3. Podstatným zásahem do vývoje intenzity a struktury produkce na zemědělské půdě byla agrární reforma realizovaná od počátku 20. let 20. století. Třebaže se týkala asi půl milionu hektarů, nebyla zcela realizovaná, ale s vlastnickými poměry silně zahýbala. Tento stav se v důsledku válečných událostí opět měnil a část majetků se vracela nazpět původním majitelům (Bičík et al., 2015). Odsun českých Němců a Rakušanů byl do určité míry završením této majetkové restrukturalizace a zároveň impulsem pro následné změny zemědělství a venkova po roce 1948 realizované komunistickými vládami.

4. Zatímco nárůst zastavěných a ostatních ploch byl až do roku 1948 malý a na většině území byly tyto kategorie rozlohou více méně stabilní, nárůst jejich rozlohy po roce 1948 byl velmi silný. Jedním z důvodů byla poměrně mohutná výstavba průmyslová, bytová a obslužná v hlavních centrech osídlení spojená s celkovou modernizací společnosti. Kromě toho ovšem byly rozsáhlé plochy zemědělské, lesní a občas i zastavěné plochy likvidovány velkým rozvojem povrchové a hlubinné těžby uhlí, štěrku, kameniva, výstavbou přehrad a také postupným vytvářením velkoplošné ochrany přírody. Z těchto důvodů došlo k nebývalému nárůstu rozlohy především zastavěných (z 0,6 % na 1,7 %) a ostatních ploch (ze 2,3 % na 8,9 % z úhrnu státního území) mezi roky 1948 a 1990.

5. Vodní plochy představují na území Česka relativně zanedbatelný podíl území, byť v uplynulých dvou stoletích vzrostly téměř o třetinu především výstavbou přehradních nádrží v období obou totalitních vlád (1939–1990). V současnosti představuje jejich rozloha 2,1 % státního území.

Metodika vytvoření databáze a koncepce hodnocení změn využití ploch

Pro účely hodnocení vývoje využití ploch vycházíme z číselných údajů katastru nemovitostí. V letech 1994–2013 byla na PřF UK díky podpoře GAČR vytvořena Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka (1845–2010), dále Databáze LUCC Czechia, která využívá data z evidence katastru. Ta byla k dispozici pro širší veřejnost a roky 1845, 1948, 1990 a 2000 na webu

Tabulka 14: Vývoj rozlohy sledovaných kategorií využití ploch povodí VN Švihov na Želivce a Česka v letech 1845–2010 (podíl na celkové rozloze v %)

Rok/Kategorie	2010		1990		1948		1896		1845	
Území	povodí	Česko	povodí	Česko	povodí	Česko	povodí	Česko	povodí	Česko
Orná půda	46,1	38,1	46,8	41,0	52,2	49,9	53,2	51,5	51,1	48,3
Trvalé kultury (zahrady, sady, chmelnice, vinice)	1,2	3,0	1,5	3,0	0,9	1,9	0,6	1,5	0,4	1,1
Trvalé travní porosty (louky, pastviny)	12,8	12,5	12,5	10,5	14,5	12,9	16,4	14,1	19,1	17,4
Lesní plochy	30,5	33,7	30,2	33,3	28,1	30,2	26,3	29,0	25,5	28,9
Vodní plochy	2,2	2,1	2,2	2,0	0,9	1,1	x	x	1,2	1,4
Zastavěné plochy	1,2	1,7	1,1	1,6	0,8	1,1	x	x	0,5	0,6
Ostatní plochy	6,0	8,9	5,7	8,6	2,6	2,9	x	x	2,2	2,3

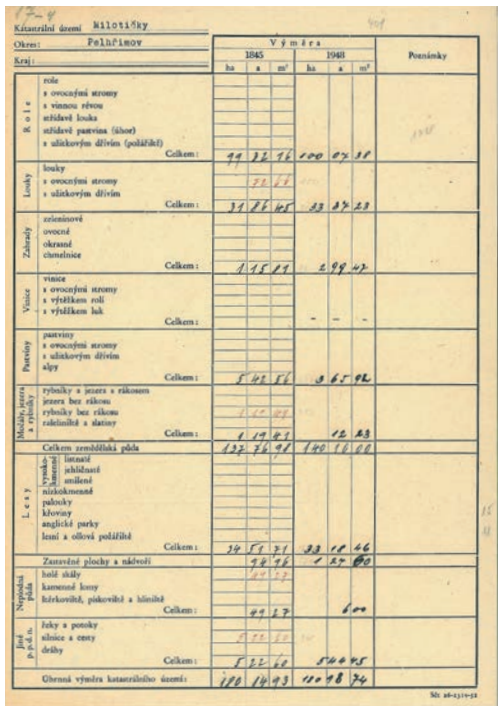
Poznámky
X – údaje nejsou k dispozici. Rozloha Česka je 78 866 km² a povodí VN Švihov na Želivce je 1 178 km².
Zdroj: LUCC Czechia

Rámeček 10

Časové horizonty

Uvedené roky charakterizují základní mezníky historie Česka 19. a 20. století. Data k roku 1845 (jde o zjednodušení, data jsou z let 1826–1843) se prakticky váží k buržoazní revoluci 1848, která otevřela cestu kapitalistické tržní ekonomice, rozmachu průmyslové revoluce, zbavila zemědělství zátěže poddanství a umožnila směřování k demokratickému a občanskému státu (tabulka 15).
Významný mezník ekonomického a technologického vývoje zemědělství Česka na přelomu 19. a 20. století představují data z roku 1896 (ta ovšem nejsou k dispozici v plné struktuře, schází zastavěné, vodní a ostatní plochy a je k dispozici pouze jejich souhrn – ostatní plochy). Konec 19. století (a tím i data za rok 1896) prakticky uzavírá období expanze zemědělských ploch a nastoluje cestu převažující intenzifikace zemědělství. Vlastně šlo o přechod od zemědělské revoluce k první etapě technicko-vědecké revoluce v zemědělství v 80. a 90. letech 19. století (Jeleček, 1985).
Data za rok 1948 zachycují výchozí situaci nového politicko-ekonomického vývoje Československa po převzetí moci komunistickou stranou. Dále jsou využívána data za rok 1990, jenž byl mezníkem ukončení centrálně plánované ekonomiky a bodem návratu demokracie a tržní ekonomiky. Data z let 2000 a 2010 dokumentují jednu a dvě dekády transformace. Nastolení tržní ekonomiky vedlo po roce 1990 ke značnému propadu zemědělské výroby a s tím souvisely i změny ve struktuře využití zemědělského půdního fondu i celkové struktury ploch.Významnou roli v tomto období rovněž hrály globalizační tlaky a integrace Česka do EU v roce 2004 (Bičík a Jančák, 2005, Jančák a Götz, 1997, Bičík a kol., 2010).

Tabulka 15: Výkaz ploch pro katastrální uzemí Milotičky – okres Pelhřimov (archivní dokument)


Katastrální území Milotičky
Okres: Pelhřimov
Kraj:

		Výměra 1845 ha	a	m²	Výměra 1948 ha	a	m²	Poznámky
Role	role							
	s ovocnými stromy							
	s vinnou révou							
	střídavé louky							
	střídavé pastviny (ládor)							
	s užitkovým dřevím (poděbírá)							
	Celkem:	99	32	76	100	07	38	
Louky	louky							
	s ovocnými stromy		71	24				
	s užitkovým dřevím							
	Celkem:	31	25	05	33	37	23	
Zahrady	zeleninové							
	ovocné							
	okrasné							
	chmelnice							
	Celkem:	1	15	23	2	89	47	
Vinice	vinice							
	s ovocnými stromy							
	s výsadkem roli							
	s výsadkem luk							
	Celkem:				-	-	-	
Pastviny	pastviny							
	s ovocnými stromy							
	s užitkovým dřevím							
	alpy							
	Celkem:	5	42	56	3	65	92	
Močály, jezera a rybníky	rybníky a jezera s rákosem							
	jezera bez rákosu		1	50				
	rybníky bez rákosu							
	rašeliniště a slatiny							
	Celkem:	1	19	91	12	83		
	Celkem zemědělská půda	137	76	91	140	16	60	
Lesy	vysokokmenné: listnaté							
	jehličnaté							
	smíšené							
	nízkokmenné							
	paloukv							
	křoviny							
	anglické parky							
	lesní a ořlová poděbírá							
	Celkem:	34	51	71	33	19	46	
	Zastavěné plochy a nádvoří		98	76	1	27	80	
Neplodná půda	holé skály		27	52				
	kamenné lomy							
	štěrkoviště, pískoviště a hliniště							
	Celkem:		99	27		6	00	
Jiné p.p.d.n.	řeky a potoky		5	55				
	silnice a cesty		22	20				
	dráhy							
	Celkem:	5	22	40	5	04	95	
	Úhrnná výměra katastrálního území:	180	10	93	180	98	74	

Zdroj: Ústřední archiv zeměměřictví a katastru ČÚZK

(web.natur.cuni.cz/ksgrrsek/lucc/), k nim byla přidána data za další roky 1896 a 2010 (ta jsou zatím nezveřejněná).

Uvedená data bylo třeba upravit tak, aby byla za daných šest časových horizontů plně srovnatelná. Úpravy byly prováděny ve dvou směrech: srovnatelnost kategorií využití ploch a územní srovnatelnost.

Pro zajištění srovnatelnosti dat získaných z uvedených zdrojů bylo nutné provést úpravu dat jak z hlediska struktury evidovaných ploch, tak z pohledu srovnatelnosti jednotlivých územních jednotek (např. v roce 1845 bylo 54 kategorií, v roce 2010 pak kategorií 10). Proto vytvořená databáze obsahuje osm základních kategorií které, jsou ve všech sledovaných časových horizontech prakticky srovnatelné: orná půda, trvalé kultury (sady, zahrady, vinice a chmelnice), louky, pastviny, lesní plochy, vodní plochy, zastavěné plochy a ostatní plochy. Louky a pastviny od 1. ledna 2000 nadále nejsou rozlišovány, tvoří kategorii trvalé travní porosty. Proto zde použité hodnocení většinou pracuje se sedmi kategoriemi. Kategorie „ostatní plochy“ je velmi heterogenní a obsahuje směs ploch silně antropogenně ovlivněných, polopřírodních i přírodních – manipulační a dopravní plochy, sportovní a rekreační areály, přírodní rezervace a další maloplošná chráněná území, parky, doly, skládky, hřbitovy, různé typy nevyužité půdy a neplodnou půdu atd.

Uvedených osm základních kategorií lze sloučit do tří kategorií sumárních: zemědělská půda (tvořena ornou půdou, trvalými kulturami a trvalými travními porosty = louky + pastviny), lesní plochy a jiné plochy (tvořeny vodními, zastavěnými a ostatními plochami). K roku 1896 máme k dispozici pouze údaje za zmíněnou sumární kategorii jiných ploch, nikoliv za podřazené kategorie základní. Struktura kategorií a podkategorií je přehledně shrnuta (tabulka 16), (Bičík a kol., 2010).

Určitou výjimkou z úplné srovnatelnosti jsou vodní plochy v roce 1948. V tomto roce byly totiž jako vodní plochy zaznamenány pouze stojaté vody (močály, jezera a rybníky), zatímco vody tekoucí (řeky a potoky) byly zahrnuty mezi ostatní plochy. Rozlohu vodních ploch celkem za rok 1948 jsme získali sečtením rozlohy vodních ploch za rok 1948 a tekoucích vod za rok 1845 (a odpovídajícím způsobem byla samozřejmě zmenšena rozloha ostatních ploch k roku 1948). Vycházeli jsme přitom z předpokladu, že se rozloha potoků a řek mezi lety 1845 a 1948 příliš nezměnila. Vzhledem k nepatrné rozloze a malému významu vodních ploch pro sledování změn celkové struktury krajiny je tento metodický prohřešek zanedbatelný.

Takto byly případným spojováním některých (v čase rozlohou proměnlivých) katastrů vytvořeny **srovnatelné územní jednotky (SÚJ)**. Na území Česka se počet katastrů pohyboval přibližně kolem 13 000 katastrálních území (12 696 v roce 1845, 13 027 v roce 2010). Vzniklá databáze operuje s 8 832 SÚJ (dostupná na uvedeném webu s 8 903 SÚJ). Z těchto 8 832 SÚJ je 79,9 % tvořeno jedním katastrem, 10,4 % dvěma, 4,1 % třemi, 2,3 % čtyřmi a zbytek (tj. 3,3 % počtu SÚJ) více než čtyřmi katastry. K nejvýraznějšímu slučování docházelo především v oblastech dynamického vývoje socioekonomické sféry (v severočeských pánvích, vysídleném pohraničí, ve velkých aglomeracích, vojenských újezdech).

Rámeček 11

Datové zdroje

Časový horizont 1845 této databáze vychází z mapování stabilního katastru (na území Česka proběhlo mezi lety 1826 a 1843), jehož písemný operát přibližně odpovídá stavu zde uváděného roku 1845 (Mašek, 1948, Jeleček, 2006). Tato data byla uložena v archivu Ministerstva financí v Praze, později je má k dispozici Ústřední archiv zeměměřictví a katastru (ÚAZK). Úředníci Ministerstva financí vytvořili někdy po roce 1948 listy pro jednotlivá katastrální území, v nichž původní data za rok 1845 přepočítali z rakousko-uherského měrného systému jiter (1 dolnorakouské jitro = 5 754,6 m²) a sáhů do metrického systému. K tomu přidali data o využití ploch za rok 1948, a to v odpovídající struktuře kategorizace ploch. Tato data jsme převzali, sumarizovali do 11 kategorií využití ploch, převedli do elektronické podoby a postupně doplnili třemi dalšími, aktuálnějšími časovými horizonty. Údaje za roky 1990, 2000 a 2010 pocházejí z centrální databáze katastru nemovitostí v Praze. Dále byla přidána data k roku 1896 podle Gemeindelexikon von Böhmen, Bd. IX, Bd. X, Mähren, Bd. XI., Schlesien, Wien 1905.

Rámeček 12

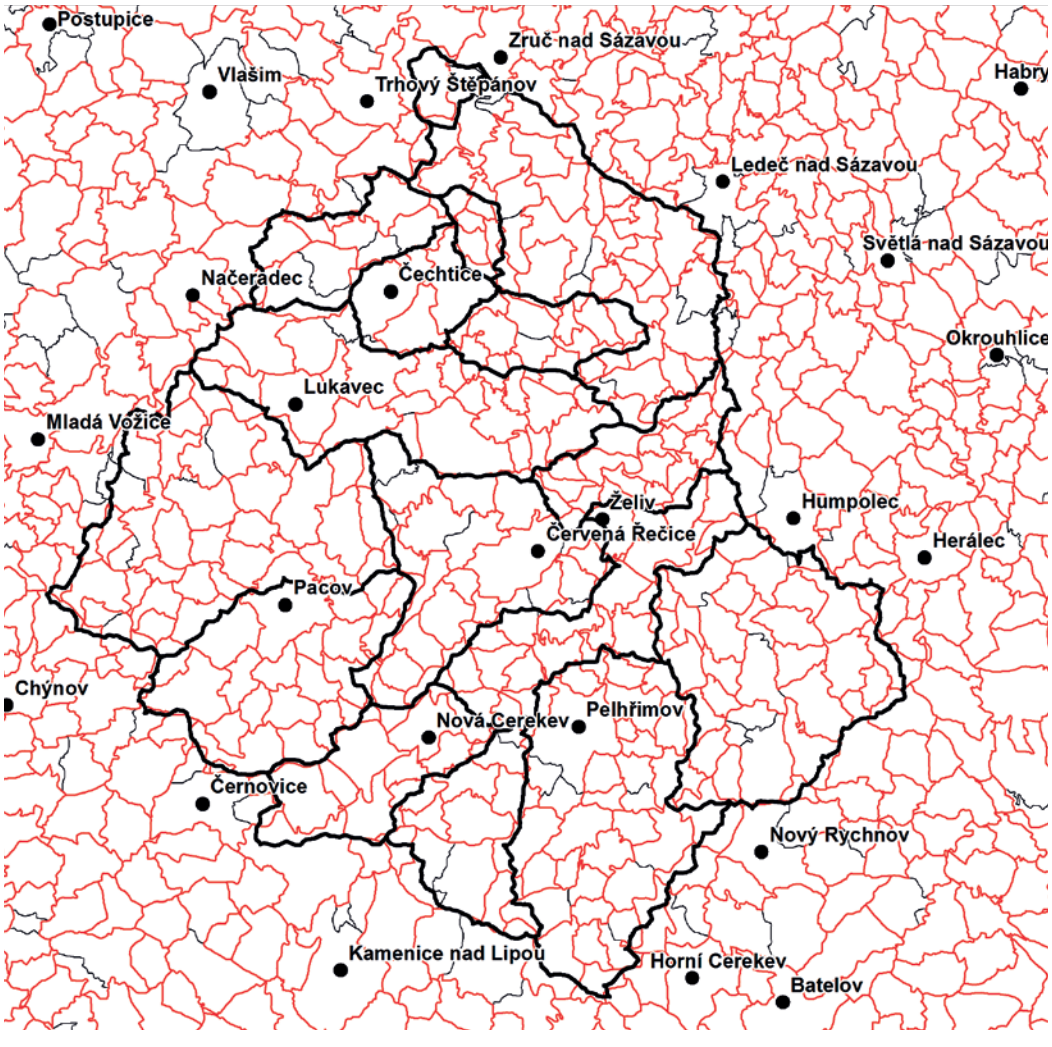
Současná klasifikace využití ploch kategorie a jejich slučování je zachycena v tabulce 16.

Tabulka 16: Současná klasifikace ploch a jejich slučování

Sumární kategorie	Základní kategorie	Poznámky
Zemědělská půda (ZP)	Orná půda (OP)	
	Trvalé kultury (TK)	sady, zahrady, vinice, chmelnice
	Louky (Lo)[1]	celkem trvalé travní porosty (TTP)
	Pastviny (Pa)[1]	
Lesní plochy (LP)	Lesní plochy (LP)	
Jiné plochy (JP)	Vodní plochy (VP)[2]	vodní plochy a vodní toky
	Zastavěné plochy (ZaP)[2]	
	Ostatní plochy (OsP)[2]	manipulační a dopravní plochy, sportovní a rekreační areály, přírodní rezervace a další maloplošná chráněná území, parky, doly, skládky, hřbitovy, různé typy nevyužité půdy a neplodné půdy

Poznámka: [1] Louky a pastviny byly evidovány samostatně do roku 2000, k roku 2010 jsou již k dispozici pouze data za trvalé travní porosty dohromady.
[2] K roku 1896 jsou k dispozici pouze data za sumární kategorii jiných ploch. Zdroj: LUCC Czechia.

Obrázek 41: Srovnatelné územní jednotky (převážně jednotlivé katastry) a vodní útvary.



Legenda

- hranice útvarů povrchových vod
- hranice katastrů
- hranice SÚJ
- významnější obce

0 5 10 (km)

Zdroj: LUCC Czechia

Naopak SÚJ tvořená jedním katastrálním územím se nachází převážně ve stabilních spíše periferních venkovských oblastech. Průměrná velikost katastru je 6,05 km² a SÚJ 8,93 km² .

Plošně nejrozsáhlejší odchylky databáze od stavu v katastrální evidenci se týkají roku 1845, kdy nebyly k dispozici data za Hlučínsko (okres Opava) – jednalo se celkem o 19 SÚJ. Další rozdíly byly způsobeny změnami hranic v souvislosti se vznikem Československa (Valticko, Vitorazsko) a také s postupným zpřesňováním výpočtu výměry ploch. Nicméně ani v tomto roce nejde o žádný výrazný problém, a proto tyto odchylky pomíjíme. Velmi podobné problémy se týkají také dat k roku 1896, v němž nejsou k dispozici údaje o využití ploch ve 20 SÚJ. Obecně lze říci, že jsme se při tvorbě jednotlivých SÚJ potýkali s největšími problémy ve vojenských újezdech (Ralsko, Hradiště a další), kde často docházelo k úplné změně vymezení i označení katastrálních území a kde jsme museli často vytvořit velmi velké a vnitřně nesourodé celky.

Třebaže se databáze opírá o evidované výměry ploch, je nutné si uvědomovat její nedostatky. Ty spočívají především v tom, že jednotlivé kategorie ploch se v průběhu dvou století poněkud měnily. Někdejší zahrady byly intenzivně

Rámeček 13

Úprava získaných dat katastrálního úřadu pro databázi LUCC Czechia

Druhou nutnou podmínkou pro hodnocení vývoje struktury ploch je územní kompatibilita sledovaných jednotek, tedy stabilní územní vymezení. Katastrální území v naší databázi byla ponechána samostatně pouze tehdy pokud jejich celková výměra ve sledovaných letech se nezměnila o více než 1 % jejich celkové rozlohy. Pokud tomu tak nebylo, byla sousední katastrální území, mezi nimž došlo ke změně hranice, sloučena do takových celků, které za celé sledované období svou celkovou rozlohu výrazně neměnily. Za podstatné přitom byl vzat rok 1990 s požadavkem, aby data let 1845, 1948 a 2000 se od rozlohy v roce 1990 nelišila o více než 1 %. Při pozdějším rozšíření databáze o roky 1896 a 2010 byla užita mírně volnější pravidla tak, aby se rozloha územní jednotky v roce 1896 vůči rokům 1990 a 1845 (resp. rozloha 2010 vůči 1990 a 2000) nelišila o více než 2 % (obrázek 41).

Rámeček 14

Typologie makrostruktury ploch

(Bičík, Jeleček a Štěpánek, 2001)

Za prvé takto můžeme porovnávat tři agregátní kategorie využití ploch – zemědělské, lesní a jiné plochy, kdy je teoreticky šest typů, neboť by neměla existovat SÚJ, v níž ubývaly či přibývaly rozlohy všech kategorií (tedy typy +++ a – – –), (tabulka 17). Prakticky to ovšem možné je, a to vlivem odchylek způsobených metodickými nepřesnostmi, resp. akceptováním 1% či 2% odchylky výměry rozlohy SÚJ mezi sledovanými lety. Graficky mohou být tyto typologie znázorňovány tzv. „typogramy" (Bičík a Kupková, 2002). Ve sloupcích tabulky 17 jednotlivých period dává výsledek 100 % a jednotlivé řady v % vyjadřují podíl počtu SÚJ daného typu. První znaménko ve sloupci Typ = zemědělská půda, druhé znaménko = lesní půda, třetí znaménko = jiné plochy.

využívanou půdou k produkci vybraných potravin, dnes v mnoha případech představují spíše rekreační a reprezentační plochu než zemědělsky produkční půdu. Podobně je tomu i u jiných kategorií, a proto interpretace změn a vývojových trendů celkové struktury ploch musí být poměrně opatrná, přestože pracujeme se zdánlivě tvrdými daty. Druhým důvodem je skutečnost, že v posledních dvaceti pěti letech byl takový pohyb ve vlastnické struktuře pozemků, že změny v evidenci nebyly zachycovány zcela přesně. Šlo na příklad o evidenci orné půdy a hlášení změn o její přeměně na louky či pastviny, což mnohdy zůstávalo bez potřebné změny v evidenci (Bičík a Jančák, 2005).

Při práci s databází jsme využili širokou škálu ukazatelů, zde uvádíme jen ty, které jsou využity v této studii. Nejběžnějším ukazatelem je vývojový index. Ten vychází z podílu dané kategorie mezi dvěma časovými horizonty (A/B) a udává, jak se zvýšila či snížila rozloha dané kategorie mezi dvěma časovými horizonty. Index změny (např. Bičík, 1995) představuje agregátní ukazatel, hodnotící v dané jednotce a období jedním číslem celkovou intenzitu změn struktury využití ploch. Neanalyzuje ovšem jeho strukturální charakteristiky, ale pouze bilančně celkovou intenzitu přesunu ploch mezi sledovanými kategoriemi.

Snaha o agregátní hodnocení změn struktury využití ploch nás vedla k využití několika typologií změn jednak makrostruktury (zemědělská × lesní × jiné) a struktury změn zemědělské půdy (proměna zastoupení orné), trvalých kultur (zahrady + sady + chmelnice + vinice) a trvalých travních porostů. Typologie přírůstků a úbytků rozloh jednotlivých kategorií využití ploch (Bičík, 1995, 1998) vychází z vyhodnocení přírůstku (včetně stagnace) či úbytků rozlohy jednotlivých ploch a jejich kombinací vymezujeme jednotlivé typy pro roztřídění souboru SÚJ a vyjádření základní proměny využívání krajiny.

Stabilní katastr byl vytvořen pro celé Předlitavsko (zhruba dnešní Česko, Rakousko, Slovinsko a dále Halič a Lombardii), proto existují archivní data podobné struktury i v Rakousku a Slovinsku. Slovinští geografové vyvinuli metodiku typologie krajinných změn (např. Gabrovec a Kladnik, 1997, Gabrovec et al., 2001), kterou jsme v mírně změněné podobě aplikovali i my.

Tabulka 17: Podíl typů změn makrostruktury ploch na území Česka v jednotlivých periodách

Typ	Perioda (v % z úhrnu počtu SÚJ)				
	1845–1896	1896–1948	1948–1990	1990–2010	1845–2010
– – +	3,7	17,4	9,6	21,1	16,5
– + –	22,3	2,7	0,4	15,9	0,9
– + +	16,5	72,2	89,8	43,2	79,3
+ – –	32,7	0,6	0,0	5,0	0,2
+ – +	13,5	6,2	0,1	3,0	2,6
+ + –	10,9	0,4	0,0	11,7	0,2
Beze změny	0,0	0,0	0,0	0,1	–
Chybějící data	0,4*	0,4*	–	–	0,3*

Legenda: Sloupec – Typ: první znaménko = zemědělská půda; druhé = lesní půda; třetí = jiná plocha
Poznámka: * Katastry Hlučínska, které nebylo možné dohledat pro dva nejstarší časové horizonty.
Zdroj: LUCC Czechia

Hodnocení povodí VN Švihov na Želivce z pohledu změn využití vybraných ploch

Analýza změn rozsahu vybraných kategorií ploch.
Zemědělská půda
(zemědělský půdní fond: ZPF)

Pro vyjádření změn mezi jednotlivými časovými horizonty představuje řetězový index nejjednodušší metodu vyjádření změn a zároveň umožňuje vzájemně porovnávat změny ve stejném období ale v různých vodních útvarech (obrázek 41).

Zemědělská (orná) půda

Rozsah **zemědělské půdy** v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce trvale klesal. To platí jak pro celé povodí, tak s výjimkou prvé sledované periody (1845–1896) také pro všechny vodní útvary. Pokles rozlohy se v letech 1896–1948 pohyboval v jednotlivých vodních útvarech na úrovni 2,5–6,5 %. V následné periodě 1948–1990 na úrovni 6–18 % (tabulka 18). V posledních dvou periodách jsou změny rozsahu ZPF nevelké. Změny zde zjištěné vcelku

Rámeček 15

Vývojový index

$$V_{iA-B} = 100 \cdot \frac{P_{iB}}{P_{iA}}, \qquad (1)$$

kde P_{iA} je podíl kategorie i na počátku sledovaného období a P_{iB} na jeho konci. Index nabývá hodnot od nuly do nekonečna, 100 je hodnotou vyjadřující vývoj beze změny, vyšší čísla značí nárůst a nižší úbytek, 0 značí vymizení dané kategorie a nekonečno (teoreticky) neexistenci kategorie v daném SÚJ na počátku sledovaného období.

Problémem vývojového indexu je jeho nesouměrnost okolo 100 %, resp. směřování k nekonečnu. Nárůst dané kategorie např. z 0,05 na 1 % tak znamená index o hodnotě 2 000 %. Proto by neměl být vkládán do složitějších statistických metod (parametrické korelace, regrese atd.). Zároveň se naskýtá otázka významu změny – je např. 200% vývojový index stejně významný při změně podílu dané kategorie z 0,5 na 1 % jako při změně z 30 na 60 %?

odpovídají stavu za celé území Česka v jednotlivých periodách a jsou důsledkem především intenzifikace zemědělství, kdy je stejná či vyšší produkce zajištěná na menším rozsahu ZPF. V sledovaném území do těchto trendů zasáhla i výstavba vodního díla Švihov, takže část změn v rozsahu ZPF je ovlivněna touto investicí. Z hlediska struktury ZPF lze předpokládat větší dopad této stavby na bezprostřední zázemí jednotlivých vodotečí, takže šlo spíše o louky a pastviny než ornou půdu.

Vývoj rozlohy jednotlivých kategorií ZPF je odlišný jak v úhrnu za celé povodí VN Švihov na Želivce, tak pro jednotlivé vodní útvary a jednotlivé sledované etapy změn. **Orná půda (OP)** ve všech vodních útvarech narůstala v období 1845–1896 o několik procent (1–6 %). V následujícím období je v rozsahu rozlohy patrný spíše úbytek, i když převážně na úrovni 1–3 %. V periodě 1948–1990 (obrázek 42) největší úbytek OP byl v ve vodním útvaru DVL_0495_J (23,5 %) a u většiny dalších kolem 10 %. Je to ovlivněno jak záborem při výstavbě VN Švihov na Želivce, tak obecnějšími trendy charakterizujícími toto období v zemědělství (socializace, mechanizace aj.). V posledních dvou periodách po roce 1990 docházelo až na výjimky ve vodních útvarech DVL_0380 a DVL_0430 k úbytku rozsahu v úrovni 1–3 % (obrázek 43). Periodu změn OP 1990–1948, kdy byly nejvýraznější, zachycuje obrázek 42 podle SÚJ.

Trvalé kultury

Trvalé kultury představují v databázi, s níž operujeme, souhrn čtyř samostatně sledovaných kategorií (zahrady, sady, chmelnice, vinice), z nichž ovšem pouze zahrady nalezneme téměř ve všech SÚJ. Rozloha všech těchto kategorií se pohybovala na celostátní úrovni přibližně od 1 do 3 % státního území, ve výrazné většině SÚJ jde pouze o zahrady. Tak je tomu zřejmě i v sledovaném povodí VN Švihov na Želivce. Rozloha zahrad souvisí s vývojem počtu domů, což je ve venkovských oblastech (tedy i ve sledovaném území) převážně spojené s individuálními rodinnými domy, resp. v minulosti jednotlivými hospodářskými usedlostmi. Tabulka 20 dokumentuje velmi intenzivní změny rozsahu této kategorie, které trvaly až do roku 1990. Poté je pohyb výměry této kategorie ve všech vodních útvarech prakticky neměnný ve srovnání s předchozím vývojem. Předpokládáme, že stabilizace nastala s ohledem na mírný pokles obyvatelstva v analyzovaném území a s tím spojenou omezenou výstavbu nových rodinných domů. Vzhledem k tomu, že tato kategorie na úrovni České republiky představuje asi jen 3 % rozlohy státu a v sledovaném území asi 1 %, nemají tyto velké změny z hlediska intenzity na celkovou strukturu jak zemědělských ploch, tak celkově žádný významný dopad.

Rámeček 16

Slovinská typologie krajinných změn

Typologie krajinných změn je založena na zjednodušení klasifikace využití ploch do pouhých čtyř kategorií: 1. orná půda a trvalé kultury, 2. trvalé travní porosty, 3. lesní plochy, 4. zastavěné, ostatní a vodní plochy. Za období, jež sledujeme, se spočítají změny podílu těchto kategorií na rozloze SÚJ. Dále již uvažujeme jen přírůstky. Zjistíme, která z kategorií zaznamenala největší přírůstek, a podle ní přiřadíme SÚJ do jedné ze tříd/typů změn. Rozlišujeme přitom čtyři typy – zalesňování (největší přírůstek v SÚJ zaznamenaly lesní plochy), zatravňování (největší přírůstek travních porostů), intenzifikaci (největší přírůstek orné půdy a trvalých kultur) a jiné změny (největší přírůstek zastavěných, ostatních a vodních ploch). Tyto „jiné změny“ v podstatě odpovídají urbanizaci včetně rozvoje průmyslu a těžby (tj. nárůstu zastavěných a ostatních ploch), jelikož SÚJ s největším nárůstem vodních ploch jsou výjimečné. Pokud nejvyššího přírůstku dosáhlo shodně dvě a více kategorií, byl typ změny určen podle té, která měla na počátku sledovaného období nejnižší podíl na rozloze SÚJ (lze říci, že nárůst byl pro ni relativně nejvýznamnější).
Každý z uvedených čtyř typů můžeme dále rozlišit podle jeho síly/dominance v dané SÚJ, a to pomocí procentního podílu převažujícího přírůstku na všech přírůstcích celkem. Rozlišujeme tři stupně: změnu silnou (více než 75 % přírůstků v SÚJ bylo onoho převažujícího typu), průměrnou (50–75 %) a slabou (méně než 50 % přírůstků v SÚJ bylo převažujícího typu). To vytváří kombinaci 12 typů změn a jejich síly, do nichž můžeme v daném období každou SÚJ zařadit. SÚJ, v nichž nedošlo ke změně na více než 1 % rozlohy, jsou ze sledování vyčleněna.

Tabulka 18: Řetězový index rozlohy ZPF

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990	2010/2000
DVL_0330	10	96,22	95,68	92,55	99,67	97,69
DVL_0340	9	97,62	95,78	92,44	99,84	99,82
DVL_0350	30	99,31	96,87	88,73	99,72	98,41
DVL_0360	30	101,33	97,07	89,57	99,73	98,84
DVL_0370	15	101,68	98,19	91,86	99,66	99,57
DVL_0380	33	100,16	97,43	91,55	100,08	99,29
DVL_0390	26	99,27	97,55	91,43	99,61	99,43
DVL_0400	4	98,01	96,95	88,62	99,66	99,95
DVL_0430	13	98,21	96,65	89,47	99,82	99,72
DVL_0440	19	100,35	95,41	93,06	99,88	99,82
DVL_0450	6	95,77	93,70	92,96	99,86	99,73
DVL_0460	9	99,73	93,61	93,27	100,16	106,16
DVL_0470	2	100,64	97,44	93,94	100,25	99,85
DVL_0480	3	96,70	96,98	90,56	98,98	99,53
DVL_0495_J	39	98,37	94,64	81,57	99,74	99,68
DVL_0500	12	100,13	96,51	92,02	99,73	99,68

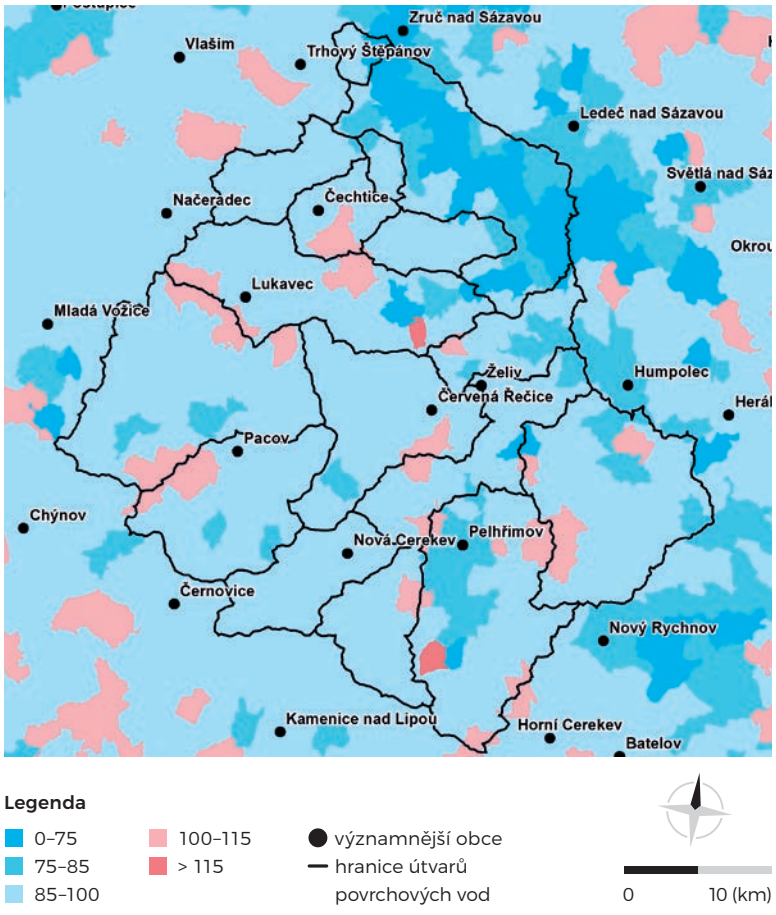
Zdroj: LUCC Czechia

Rámeček 17

Řetězový index

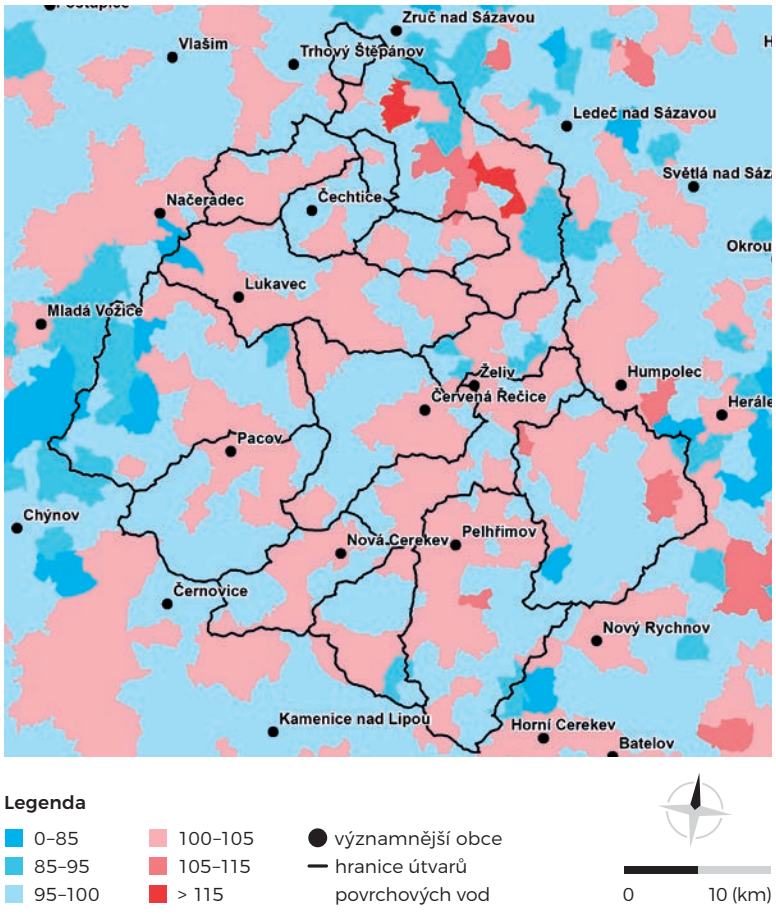
Řetězový index je vyjádřen rozsahem dané kategorie v roce 2, vůči rozsahu dané kategorie v roce 1 vynásobené stem. Poté následuje stejný postup výpočtu rozsahu dané kategorie roku 3 vůči roku 2, poté roku 4 proti roku 3 atd. Jde tedy vlastně o opakovaný jednoduchý index pro více časových horizontů (tabulka 18).

Obrázek 42: Vývoj rozlohy orné půdy mezi roky 1948 a 1990.



Poznámka: 100 = stav v roce 1948 (hodnocená území SÚJ).
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

Obrázek 43: Vývoj rozlohy orné půdy mezi roky 1990 a 2000.



Poznámka: 100 = stav v roce 1990 (hodnocená území SÚJ).
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

Tabulka 19: Řetězový index rozlohy orné půdy 1845–2010

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990	2010/2000
DVL_0330	10	101,95	98,73	95,58	99,26	96,57
DVL_0340	9	100,10	95,49	92,36	100,00	99,25
DVL_0350	30	105,78	100,00	91,27	98,79	96,96
DVL_0360	30	105,82	98,09	88,59	99,46	99,10
DVL_0370	15	106,18	99,71	93,48	99,72	98,93
DVL_0380	33	106,43	99,24	92,75	94,77	98,65
DVL_0390	26	103,66	97,75	91,93	100,03	98,32
DVL_0400	4	102,16	99,31	89,17	100,47	98,28
DVL_0430	13	101,23	100,60	88,57	98,75	91,12
DVL_0440	19	105,57	96,32	94,91	99,54	99,65
DVL_0450	6	103,58	100,75	95,43	100,08	100,95
DVL_0460	9	103,92	94,35	96,36	100,24	106,63
DVL_0470	2	103,86	98,88	98,03	99,27	99,91
DVL_0480	3	100,85	98,74	91,25	99,43	99,47
DVL_0495_J	39	103,12	97,32	76,57	99,91	99,45
DVL_0500	12	102,04	99,40	93,88	99,79	99,64

Zdroj: LUCC Czechia

Louky byly jako samostatná kategorie evidovány pouze do roku 2000. V tradičním hospodaření měly významnou funkci pro produkci sena pro ustájený dobytek. Z hlediska funkce v povodí VN Švihov na Želivce jsou ovšem dnes nezastupitelné z hlediska udržení vody v krajině a omezování vodní eroze. Tady není důležitý přehled za celé území, především proto, že změny rozlohy jsou mezi vodními útvary hodně diferencované. Všechny vodní útvary se vyznačují úbytkem rozlohy luk, v některých pak velmi výrazně, a to téměř ve všech sledovaných periodách. To lze vzhledem k jejich vodohospodářské funkci pokládat za nežádoucí (tabulka 21).

Pastviny stejně jako louky byly evidovány samostatně do roku 2000, poté spolu s loukami vytváří **trvalé travní porosty (TTP)**. Pastviny byly pro tradiční zemědělství klíčové a v této funkci v některých oblastech Česka zachovaly svůj význam až do meziválečného období minulého století. Nicméně ve sledovaném povodí VN Švihov na Želivce lze konstatovat silný pokles jejich významu jak v prvním, tak ve druhém a největší ve třetím sledovaném období. Jistě to souvisí s požadavky na omezení pastvy dobytka v prvním a druhém pásmu ochrany vodního zdroje po výstavbě VN Švihov na Želivce (třetí perioda). Celkově lze říci, že došlo k poklesu jejich rozlohy za první dvě periody na méně než polovinu, ve třetí znovu na polovinu. Celkově se tedy tato kategorie mezi roky 1845 a 2000 snížila na přibližně 10–20 % někdejšího rozsahu! To ovšem není jen důsledkem výstavby vodního díla, ale především změnami zemědělského hospodaření v sledovaném období. Období, v němž došlo k výstavbě VN Švihov na Želivce, zachycuje největší změny rozsahu pastvin (tabulka 22).

Trvalé travní porosty

Pro srovnání sloučených kategorií luk a pastvin je zařazena tabulka 23, která dokumentuje souhrnný pokles také této sloučené kategorie. Zatímco v minulosti ztráta funkce pastvin a později i luk je pochopitelná, z hlediska potřeb ochrany vodního zdroje a jako protierozní

Tabulka 20: Řetězový index rozlohy trvalých kultur 1845–2010

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990	2010/2000
DVL_0330	10	548,95	40,00	234,39	106,11	105,22
DVL_0340	9	122,22	145,08	152,30	102,18	121,14
DVL_0350	30	146,33	278,36	179,05	101,09	99,20
DVL_0360	30	145,76	249,42	181,24	100,06	100,54
DVL_0370	15	153,62	174,06	180,22	102,71	100,74
DVL_0380	33	165,88	145,70	169,01	100,84	101,24
DVL_0390	26	168,46	181,65	163,93	99,59	100,98
DVL_0400	4	122,31	143,97	162,90	99,03	104,55
DVL_0430	13	124,52	182,90	205,95	99,45	99,46
DVL_0440	19	120,63	172,28	139,71	100,41	100,30
DVL_0450	6	122,95	128,67	146,11	100,71	101,23
DVL_0460	9	214,74	215,69	164,32	98,34	101,88
DVL_0470	2	93,88	111,74	140,08	103,89	99,57
DVL_0480	3	157,89	106,67	154,69	102,02	98,75
DVL_0495_J	39	133,22	152,17	145,59	100,41	100,14
DVL_0500	12	142,56	135,68	134,17	104,27	99,24

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 21: Řetězový index rozlohy luk 1845–2000

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990
DVL_0330	10	61,77	55,43	16,47	84,48
DVL_0340	9	56,43	55,82	36,12	95,48
DVL_0350	30	67,78	64,40	24,25	90,45
DVL_0360	30	74,40	72,61	36,13	92,38
DVL_0370	15	68,36	67,18	18,87	102,45
DVL_0380	33	67,11	72,01	11,83	114,65
DVL_0390	26	67,38	74,01	28,27	94,41
DVL_0400	4	63,87	64,35	38,03	90,61
DVL_0430	13	80,90	61,39	36,85	88,83
DVL_0440	19	73,03	71,59	27,81	98,91
DVL_0450	6	69,21	47,49	28,35	93,55
DVL_0460	9	78,62	74,73	17,14	98,87
DVL_0470	2	89,43	76,78	16,30	104,47
DVL_0480	3	75,14	73,09	41,79	87,50
DVL_0495_J	39	72,72	61,53	38,93	96,88
DVL_0500	12	100,30	101,16	109,18	99,58

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 22: Řetězový index rozlohy pastvin 1845–2000

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990
DVL_0330	10	61,77	55,43	16,47	84,48
DVL_0340	9	56,43	55,82	36,12	95,48
DVL_0350	30	67,78	64,40	24,25	90,45
DVL_0360	30	74,40	72,61	36,13	92,38
DVL_0370	15	68,36	67,18	18,87	102,45
DVL_0380	33	67,11	72,01	11,83	114,65
DVL_0390	26	67,38	74,01	28,27	94,41
DVL_0400	4	63,87	64,35	38,03	90,61
DVL_0430	13	80,90	61,39	36,85	88,83
DVL_0440	19	73,03	71,59	27,81	98,91
DVL_0450	6	69,21	47,49	28,35	93,55
DVL_0460	9	78,62	74,73	17,14	98,87
DVL_0470	2	89,43	76,78	16,30	104,47
DVL_0480	3	75,14	73,09	41,79	87,50
DVL_0495_J	39	72,72	61,53	38,93	96,88
DVL_0500	12	84,30	61,61	17,30	91,27

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 23: Řetězový index trvalých travních porostů 1845–2000

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990	2010/2000
DVL_0330	10	81,67	91,39	81,40	100,47	100,51
DVL_0340	9	89,79	94,24	89,33	99,45	101,60
DVL_0350	30	86,92	87,20	78,04	102,41	102,54
DVL_0360	30	90,58	91,67	87,92	100,46	97,92
DVL_0370	15	87,10	90,69	81,09	99,01	102,53
DVL_0380	33	83,06	89,84	82,87	121,40	101,13
DVL_0390	26	84,90	93,84	84,57	97,87	103,91
DVL_0400	4	82,99	84,47	79,00	95,32	108,78
DVL_0430	13	87,33	78,36	85,40	105,52	142,06
DVL_0440	19	84,56	89,10	82,28	101,34	100,56
DVL_0450	6	77,93	71,75	79,23	98,68	93,40
DVL_0460	9	86,48	88,54	76,95	99,52	101,49
DVL_0470	2	89,92	90,73	72,42	105,46	99,53
DVL_0480	3	80,80	88,96	83,22	96,30	99,93
DVL_0495_J	39	81,19	79,30	98,60	98,94	100,52
DVL_0500	12	93,13	85,12	82,22	99,06	99,91

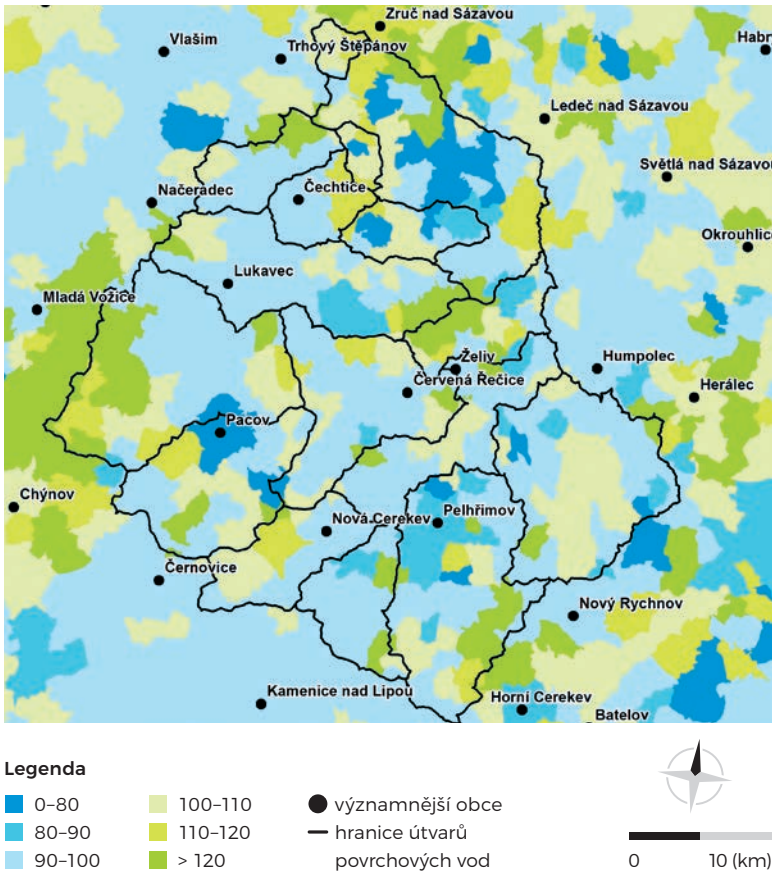
Zdroj: LUCC Czechia

opatření by po výstavbě VN Švihov na Želivce bylo žádoucí spíše zvětšení rozsahu trvalých travních porostů. To ovšem naráží na potřebu zajištění ekonomiky zemědělských podniků, resp. zajištění větších dotací za újmu, kterou by rozšíření TTP bez možnosti intenzivního zemědělského využití vyžadovalo (obrázek 44).

Lesní plochy

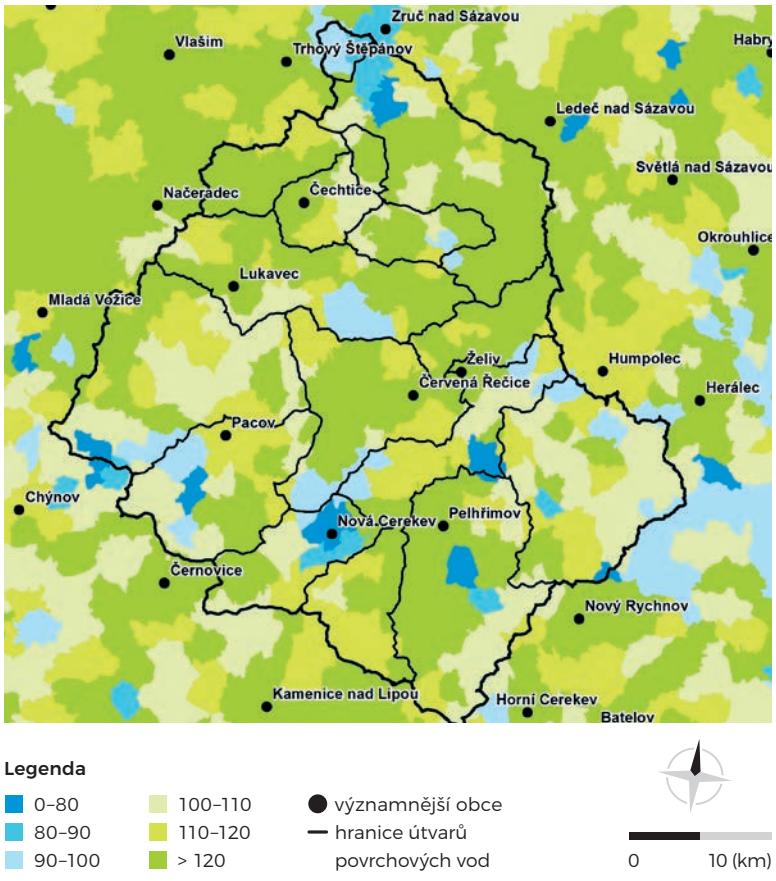
Představují v povodí VN Švihov na Želivce (podobně jako na většině území Česka) relativně stabilní prvek (tabulka 24). Prakticky s výjimkou první periody (1845 až 1896), kdy se u šesti vodních útvarů rozloha lesních ploch zmenšila, můžeme hovořit o trvalém nárůstu rozlohy lesních ploch prakticky ve všech vodních útvarech (úbytky o méně než 1 % jejich rozlohy bereme jako v podstatě stabilní rozlohy). Tyto trendy dokumentují skutečnost, že sledované povodí VN Švihov na Želivce, podobně jako většina území Česka, od počátku 20. století charakterizuje fáze lesní transformace (Mather, 2002). Jde o jev spojený s postproduktivistickým přístupem ke krajině, kdy lesní plochy dostávaly postupně další funkce (rekreační, vodohospodářské, ekologické aj.) a jejich rozsah se díky intenzifikaci zemědělství pozvolna zvětšoval. Tento jev charakteristický pro nejvyspělejší státy Evropy se tak uplatnil i na území Česka a také ve sledovaném povodí. Z hlediska jednotlivých period největší nárůst lesních ploch zaznamenáváme mezi roky 1896–1948 a také v období 1948–1990, kdy byl do jisté míry ovlivněn výstavbou přehrady a novými funkcemi krajiny. Naopak po roce 1990 jsou změny rozsahu lesních ploch minimální s mírným nárůstem rozlohy ve většině vodních útvarů (obrázek 45).

Obrázek 44: Vývoj rozlohy trvalých travních porostů mezi roky 1990–2010.



Poznámka: 100 = stav v roce 1990 (hodnocená území SÚJ).
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

Obrázek 45: Vývoj rozlohy lesních ploch mezi roky 1845–2000.



Poznámka: 100 = stav v roce 1845 (hodnocená území SÚJ).
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

Tabulka 24: Řetězový index rozlohy lesních ploch 1845–2010

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990	2010/2000
DVL_0330	10	109,39	106,00	106,15	100,12	100,65
DVL_0340	9	105,25	105,62	104,05	100,07	100,22
DVL_0350	30	105,96	105,09	109,89	100,34	101,93
DVL_0360	30	99,79	104,36	106,21	100,19	100,67
DVL_0370	15	97,95	103,66	108,60	100,19	100,41
DVL_0380	33	100,11	104,29	106,81	99,45	100,81
DVL_0390	26	102,92	103,75	106,84	100,20	100,43
DVL_0400	4	106,79	105,55	106,82	100,06	100,16
DVL_0430	13	106,67	109,11	116,61	100,39	100,71
DVL_0440	19	99,90	113,23	109,48	99,99	100,30
DVL_0450	6	118,58	118,00	108,77	101,66	100,14
DVL_0460	9	101,38	115,53	107,69	99,64	105,39
DVL_0470	2	98,71	106,37	104,48	100,02	100,49
DVL_0480	3	120,20	114,37	111,76	99,21	99,97
DVL_0495_J	39	104,71	109,66	104,68	100,14	100,85
DVL_0500	12	99,46	112,19	115,12	100,34	100,63

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 25: Řetězový index zastavěných ploch 1845–2010

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1845–1948	1948–1990	1990–2000	2000–2010
DVL_0330	10	147,62	126,50	104,01	101,52
DVL_0340	9	147,55	142,20	102,88	108,13
DVL_0350	30	166,94	161,21	110,31	108,64
DVL_0360	30	165,87	144,77	105,44	105,94
DVL_0370	15	148,12	133,05	106,58	100,62
DVL_0380	33	151,61	131,24	100,19	100,25
DVL_0390	26	157,73	145,45	104,46	99,07
DVL_0400	4	142,42	133,74	108,64	103,83
DVL_0430	13	151,31	130,80	102,91	104,26
DVL_0440	19	140,98	138,08	102,74	101,48
DVL_0450	6	153,77	126,99	104,83	97,92
DVL_0460	9	142,15	140,88	101,31	101,42
DVL_0470	2	147,41	143,22	101,05	98,39
DVL_0480	3	160,87	118,92	102,27	100,79
DVL_0495_J	39	173,33	145,34	104,05	105,53
DVL_0500	12	8 500,00	135,29	108,70	101,04

Zdroj: LUCC Czechia

Zastavěné plochy

Zastavěné plochy se ve sledovaném období na území Česka zvětšily téměř trojnásobně. Je zřejmé, že tento celkový nárůst rozlohy byl regionálně i lokálně hodně diferencovaný (tabulka 25 a 26). Ve venkovských oblastech byl tento nárůst menší, lokálně i nulový, v pohraničních oblastech i záporný. Ve sledovaném povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce odpovídá nárůst rozlohy zastavěných ploch celkovým trendům venkovských oblastí Česka, tedy jde převážně o dvojnásobnou rozlohu této kategorie po sledovaných asi 160 letech. Je tomu tak u většiny vodních útvarů, nicméně u některých je nárůst rozlohy zastavěných ploch trojnásobný (DVL_0495_J, DVL_0350 a DVL_0360). Přitom je nárůst rozlohy

Tabulka 26: Rozloha zastavěných ploch v letech 1845–2010 (ha)

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	ZAST_45	ZAST_96	ZAST_48	ZAST_90	ZAST_00	ZAST_10
DVL_0330	10	29,40	-	43,40	54,90	57,10	57,97
DVL_0340	9	38,20	-	54,30	76,50	77,50	83,80
DVL_0350	30	73,50	-	122,70	197,80	218,20	237,06
DVL_0360	30	100,20	-	166,20	240,60	253,70	268,76
DVL_0370	15	23,90	-	35,40	47,10	50,20	50,51
DVL_0380	33	77,70	-	117,80	154,60	154,90	155,28
DVL_0390	26	80,20	-	126,50	184,00	192,20	190,41
DVL_0400	4	23,10	-	32,90	44,00	47,80	49,63
DVL_0430	13	19,10	-	28,90	37,80	38,90	40,56
DVL_0440	19	73,20	-	103,20	142,50	146,40	148,57
DVL_0450	6	10,60	-	16,30	20,70	21,70	21,25
DVL_0460	9	26,50	-	39,10	55,60	57,20	58,01
DVL_0470	2	13,50	-	19,90	28,50	28,80	28,33
DVL_0480	3	4,60	-	7,40	8,80	9,00	9,07
DVL_0495_J	39	119,60	-	207,30	301,30	313,50	330,83
DVL_0500	12	34,00	-	51,40	68,70	69,00	69,72

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 27: Rozloha vodních ploch 1845–2010 (ha)

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	VODY_45	VODY_96	VODY_48	VODY_90	VODY_00	VODY_10
DVL_0330	10	139,80	-	102,50	137,60	138,70	143,42
DVL_0340	9	37,10	-	29,70	55,20	53,30	58,43
DVL_0350	30	228,20	-	108,20	197,90	195,00	209,92
DVL_0360	30	360,60	-	250,30	349,80	348,60	373,01
DVL_0370	15	83,10	-	59,30	87,30	88,80	88,81
DVL_0380	33	165,50	-	137,90	209,60	206,00	217,93
DVL_0390	26	159,40	-	114,40	160,30	156,80	160,41
DVL_0400	4	47,90	-	43,30	142,60	141,10	141,05
DVL_0430	13	48,10	-	44,40	75,90	73,60	75,10
DVL_0440	19	99,20	-	78,90	115,10	113,90	114,19
DVL_0450	6	13,90	-	12,50	14,70	16,10	17,14
DVL_0460	9	44,20	-	30,80	68,20	65,90	61,08
DVL_0470	2	8,80	-	6,80	15,70	14,30	14,97
DVL_0480	3	0,80	-	0,50	5,00	4,40	4,37
DVL_0495_J	39	255,10	-	244,00	1677,60	1679,80	1674,86
DVL_0500	12	49,70	-	39,00	60,30	64,40	64,25

Zdroj: LUCC Czechia

zastavěných ploch docela rovnoměrně rozdělen do jednotlivých sledovaných period.

Vodní plochy

Vodní plochy jsou relativně málo zastoupeny v jednotlivých vodních útvarech VN Švihov na Želivce. Ve všech vodních útvarech mají relativně nevelkou rozlohu v podobě desítek hektarů a celková změna rozlohy ve sledovaných letech je poměrně nevelká v absolutní výměře, ale podstatná z hlediska relativních změn mezi lety a jednotlivými vodními útvary (tabulka 27). Výstavba VN Švihov na Želivce vedla v periodě 1948–1990 k nárůstu rozlohy vodních ploch v DVL_0495_J, kde došlo k nárůstu na více než šestinásobek rozlohy vodních ploch z roku 1948. Ve všech dalších vodních útvarech je viditelné poměrně značné kolísání rozlohy vodních ploch patrné v nárůstu především jak v roce 1990, tak i v dalších časových horizontech 2000 a 2010 (tabulka 28).

Jiné plochy

Jiné plochy představují souhrn zastavěných, vodních a ostatních. Zatímco zastavěné a vodní jsou definovány poměrně jednoznačně, jsou ostatní konglomerátem převážně plošně nevelkých, ale funkčně velmi různorodých kategorií. Jde o plochy přírodních neužitků (skalnaté výchozy, suťoviska, písčité přesypy apod.), dále o plochy parků, hřbitovů, maloplošných rezervací, 1. zón národních parků, sportovních hřišť apod. Jejich různorodost je natolik veliká, že je otázkou, zda je můžeme sumárně vnímat jako plochy ekologicky cenné, nebo naopak v krajině spíše nežádoucí a s nejasným dopadem na vodní bilanci v krajině. Na území Česka jde o kategorii, jejíž rozloha se zvětšila za půl druhého století více než třikrát, a jde o nejrychleji rostoucí kategorii. Také v povodí Želivky jde o poměrně velký nárůst rozlohy této skupiny dílčích kategorií a je to bezpochyby ovlivněno kromě jiného i výstavbou vodárenské nádrže Švihov na Želivce, v periodě 1948–1990 také nárůstem vodních ploch

Rámeček 18

Generalizace strukturálních změn

První generalizace je založena na bilančním zhodnocení změn rozlohy jednotlivých kategorií uvnitř katastru. Katastr je pro nás tedy černou skříňkou, kde zánik 10 ha luk na jednom místě a obnova 10 ha luk na jiném místě katastru mezi dvěma časovými horizonty vyznívá jako nulová změna v bilančním hodnocení dat katastru. Jde totiž o to, že v rámci katastru může nějaká kategorie ubývat a na jiném místě katastru naopak narůst. Výsledkem bude rozdíl úbytku a nárůstu těchto ploch mezi dvěma časovými horizonty. Tím se skutečná intenzita změn do určité míry ztrácí! Druhou generalizací je pak hodnocení změn nikoliv jednotlivých katastrů, ale celých vodních útvarů – tedy součtem dat za katastry do vodních útvarů spadající. Vzhledem k tomu, že vývoj každé kategorie uvnitř jednotlivých katastrů může být protichůdný, je výsledek za celé povodí vlastně druhou generalizací. Nicméně pro daný cíl analýzy krajinných změn vodních útvarů tato dvojí generalizace podává jednoznačnou odpověď na trendy změn a jejich intenzitu. Je třeba mít také na zřeteli, že reálné změny v krajině jsou vždy větší, než toto bilanční hodnocení ukazuje.

Tabulka 28: Řetězový index rozlohy vodních ploch 1845–2010

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1845–1948	1948–1990	1990–2000	2000–2010
DVL_0330	10	73,31	134,24	100,79	103,40
DVL_0340	9	80,05	185,85	96,55	109,61
DVL_0350	30	47,41	182,90	98,53	107,65
DVL_0360	30	69,41	139,75	99,65	107,00
DVL_0370	15	71,35	147,21	101,71	100,01
DVL_0380	33	83,32	151,99	98,28	105,79
DVL_0390	26	71,76	140,12	97,81	102,29
DVL_0400	4	90,39	329,33	98,94	99,96
DVL_0430	13	92,30	170,94	96,96	102,04
DVL_0440	19	79,53	145,88	98,95	100,25
DVL_0450	6	89,92	117,60	109,53	106,47
DVL_0460	9	69,68	221,42	96,62	92,68
DVL_0470	2	77,27	230,88	91,08	104,69
DVL_0480	3	62,50	100,00	88,00	99,30
DVL_0495_J	39	95,64	687,54	100,13	99,70
DVL_0500	12	78,47	154,61	106,79	99,77

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 29: Řetězový index rozlohy jiných ploch 1845–2010

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1896/1845	1948/1896	1990/1948	2000/1990	2010/2000
DVL_0330	10	89,40	118,57	155,64	102,41	114,76
DVL_0340	9	94,90	114,96	160,90	100,36	111,69
DVL_0350	30	80,14	131,43	226,97	101,09	104,72
DVL_0360	30	80,77	122,73	221,11	101,54	104,96
DVL_0370	15	83,31	113,36	195,74	102,44	102,57
DVL_0380	33	95,38	112,58	190,76	102,29	102,18
DVL_0390	26	95,85	123,23	196,06	102,25	102,31
DVL_0400	4	93,19	114,60	224,71	101,82	99,93
DVL_0430	13	99,76	111,67	178,30	100,32	99,13
DVL_0440	19	93,90	115,71	164,79	101,16	100,45
DVL_0450	6	101,35	121,36	176,77	95,02	102,13
DVL_0460	9	89,10	116,58	185,86	100,78	101,29
DVL_0470	2	95,23	114,48	183,42	97,68	99,55
DVL_0480	3	102,68	103,73	241,00	110,29	102,90
DVL_0495_J	39	97,27	122,27	305,82	100,66	99,37
DVL_0500	12	99,53	113,95	177,87	101,95	101,45

Zdroj: LUCC Czechia

Tabulka 30: Rozloha jiných ploch v letech 1845–2010 (ha)

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1845	1896	1948	1990	2000	2010
DVL_0330	10	311,4	278,4	330,1	513,8	526,2	603,8
DVL_0340	9	247,1	234,5	269,6	433,8	435,4	486,3
DVL_0350	30	636,7	510,3	670,7	1 522,3	1 539,0	1 611,7
DVL_0360	30	901,1	727,9	893,4	1 975,4	2 005,9	2 105,4
DVL_0370	15	241,6	201,3	228,2	446,7	457,6	469,4
DVL_0380	33	586,6	559,5	629,9	1 201,6	1 229,2	1 256,0
DVL_0390	26	576,9	553,0	681,5	1 336,2	1 366,3	1 397,8
DVL_0400	4	180,7	168,4	193,0	433,7	441,6	441,3
DVL_0430	13	171,7	171,3	191,3	341,1	342,2	339,2
DVL_0440	19	479,2	450,0	520,7	858,1	868,1	872,0
DVL_0450	6	66,5	67,4	81,8	144,6	137,4	140,3
DVL_0460	9	211,1	188,1	219,3	407,6	410,8	416,1
DVL_0470	2	81,9	78,0	89,3	163,8	160,0	159,2
DVL_0480	3	26,1	26,8	27,8	67,0	73,9	76,0
DVL_0495_J	39	930,9	905,5	1 107,2	3 386,1	3 408,5	3 387,2
DVL_0500	12	235,5	234,4	267,1	475,1	484,4	491,4

Zdroj: LUCC Czechia

po vzdutí přehradního jezera (tabulka 29 a 30). V tomto případě jde jednoznačně o vodní plochy. Částečně se na tomto nárůstu podílí i ostatní plochy nárůstem komunikací, nádvoří atd. Podstatná je skutečnost, že změny rozlohy této sumární kategorie po roce 1990 vykazují v podstatě zanedbatelné změny s výjimkou vodních útvarů DVL_0350 a DVL_0360 + 5 % mezi lety 2000 a 2010. Mezi roky 1845 a 1896 se ve sledovaném území projevil i úbytek jiných ploch. V ostatních periodách došlo téměř ve všech vodních útvarech k nárůstu rozlohy jiných ploch, nejvýrazněji v letech 1948–1990 (obrázek 46).

Typologie makrostruktury krajinných změn

Evaluace krajinných změn podle typologie změn makrostruktury je založena na hodnocení změn hlavních krajinných kategorií využití ploch – zemědělské půdě (ZPF), lesních a jiných plochách (zastavěná + vodní + ostatní). Je zřejmé, že jde o dvojitou generalizaci skutečných krajinných změn (tabulka 31).

Z hodnocení typologie makrostruktury ploch vyplývají následující závěry:

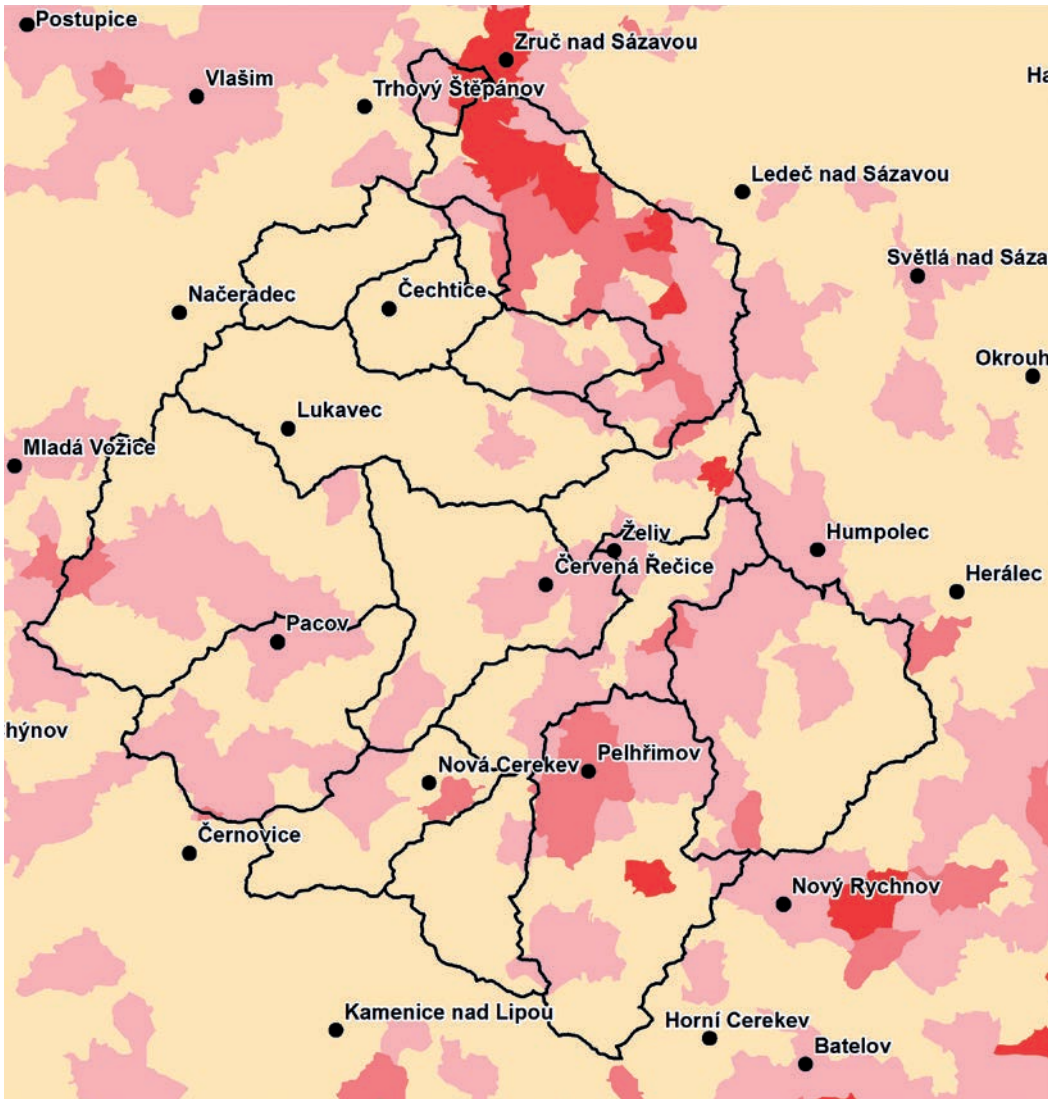
a. Jednotlivá sledovaná období vykazují odlišné trendy vývoje makrostruktury ploch.

b. Prvé období (1845–1896) je charakterizováno přechodem od extenzivního k intenzivnímu rozvoji hospodářství, což platí především pro zemědělství. Proto se ukazuje na základě především přírodních podmínek na jedné straně ještě nárůst rozlohy ZPF (šest vodních útvarů) a na druhé straně úbytek ZPF (deset vodních útvarů). Dělo se tak především na úkor či ve prospěch lesních ploch, které v 11 vodních útvarech svým rozsahem vzrostly. Jiné plochy se částečně podílely také na nárůstu ZPF ovšem jen v malé míře (vysoušení mokřadů). V periodě se vyskytlo pět odlišných typů vývoje makrostruktury.

c. V druhém období (1896–1948) je změna makrostruktury zcela jednoznačná, ve všech 17 sledovaných vodních útvarech je charakteristický jediný typ (– + + tedy úbytek ZPF a nárůst rozlohy lesních a jiných ploch).

d. Třetí perioda (1948–1990) je typická v celém Česku velkými úbytky ZPF vyvolanými jednak socializací a mechanizací zemědělských aktivit, ale i malou pozorností

Obrázek 46: Vývoj rozlohy jiných ploch mezi roky 1948 a 1990.



Legenda

100–200 300–400 ● významnější obce
200–300 > 400 — hranice útvarů povrchových vod

Poznámka: 100 = stav v roce 1948 (hodnocená území SÚJ).
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

0 5 10 (km)

věnovanou zemědělství a obecněji celé krajině. Tomuto trendu odpovídá i sledované povodí Želivky. Ve všech 17 vodních útvarech ubývalo rozlohy ZPF za současného nárůstu lesních ploch (14 vodních útvarech) a jiných ploch.

e. Čtvrtá perioda (1990–2000) je poznamenaná rozsáhlými změnami v držbě pozemků (restituce, privatizace) a s tím spojenými problémy a snahami o přesné vymezování pozemků navrácených či kupovaných. Bezpochyby tyto změny ovlivnily pestřejší změny makrostruktury využití ploch, které jsou po první periodě druhé z hlediska pestrosti zjištěných typů.

f. Pátá perioda (2000–2010) vykazuje dosti podobné trendy vývoje makrostruktury ploch ve 12 vodních útvarech (– + +). Ve všech pak je charakteristický trend úbytků rozlohy ZPF. Závěrem této evaluace zdůrazňujeme, že v posledních dvou periodách není přesnost evidence na stejné úrovni, jako tomu bylo dříve. Souvisí to s trendy restrukturalizace zemědělství jako reakce na ztrátu dřívějších dotací a „čekáním" na dotace z EU po připojení Česka k EU. Tyto nepřesnosti se týkají především hlášení změn ve využití parcel mezi ornou půdou a TTP (louky + pastviny). Toto upozornění se ovšem jen minimálně dotýká této evaluace povodí VN Švihov na Želivce. Přehledně je znázorněna frekvence typů vývoje makrostruktury v jednotlivých periodách (tabulka 31).

Index změny

Index změny je ukazatelem vyjadřujícím intenzitu změn bilančního hodnocení mezi dvěma časovými horizonty. Vzhledem k tomu,

Tabulka 31: Typy změn krajinné makrostruktury v jednotlivých vodních útvarech a sledovaných periodách

		1845–1896			1896–1948			1948–1990			1990–2000			2000–2010		
ID vodního útvaru	**SÚJ**	**ZPF**	**Lesy**	**Jiné**	**ZPF**	**Lesy**	**Jiné**	**ZPF**	**Lesy**	**Jiné**	**ZPF**	**Lesy**	**Jiné**	**ZPF**	**Lesy**	**Jiné**
DVL_0330	10	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+
DVL_0340	9	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+
DVL_0350	30	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+
DVL_0360	30	+	–	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+
DVL_0370	15	+	–	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+
DVL_0380	33	+	+	–	–	+	+	–	+	+	+	–	+	–	+	+
DVL_0390	26	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	+
DVL_0400	4	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	–
DVL_0430	13	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	–
DVL_0440	19	+	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	+	–	+	+
DVL_0450	6	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	–	–	+	+
DVL_0460	9	–	+	–	–	+	+	–	+	+	+	–	+	–	+	+
DVL_0470	2	+	–	–	–	+	+	–	+	+	+	+	–	–	+	–
DVL_0480	3	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	–	+	–	–	+
DVL_0495_J	39	–	+	–	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	+	–
DVL_0500	12	+	–	–	–	+	+	–	–	+	–	+	+	–	+	+

Zdroj: LUCC Czechia

Rámeček 19

Index změny

(Bičík et al., 1996)

Index změny počítáme podle vzorce:

$$IZ_{A-B} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| P_{iB} - P_{iA} \right|}{2}, \qquad (2)$$

kde IZ_{A-B} je index změny v období A až B, n je počet kategorií využití ploch, P_{iA} je podíl kategorie i na počátku sledovaného období a P_{iB} na jeho konci. Čím vyšší je index, tím byla změna struktury ploch v území intenzivnější. Index nabývá hodnot od 0 do 100, a zjednodušeně řečeno, udává na kolika procentech daného území došlo mezi dvěma časovými horizonty ke změně využití ploch. To je ovšem hypotetické – nejsou samozřejmě sledovány změny během období, ale pouze porovnáván počáteční a koncový stav. Ignorovány jsou též případné prostorové přesuny (v realitě poměrně časté především v rámci zemědělského půdního fondu) beze změny jejich celkové rozlohy. Index změny představuje agregátní ukazatel, kdy jedním číslem hodnotíme intenzitu změny struktury využití ploch.

že sledujeme data podle evidence katastru, index změny zachycuje jen bilanční změny vykázané v evidenci. Přesto je index změny významným ukazatelem intenzity proměny krajinného využití, je však třeba si uvědomit, že bude v každém katastru vždy nižší, než je realita v terénu.

Index změny dokumentujeme v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce podle jednotlivých SÚJ pro období, kdy změny byly nejvýraznější – tedy mezi lety 1948 a 1990. Zde se jako hybné síly intenzity krajinných změn promítla jednak vlastní výstavba vodní nádrže a řady dalších vedlejších zařízení. Jako významnou hybnou sílu je třeba vidět i výstavbu dálnice D1 a několik silničních přivaděčů. V neposlední řadě se na nejvyšší intenzitě krajinných změn promítla i socializace zemědělství spojená s opouštěním svažitých, méně úrodných a malých ploch ZPF, výstavbou objektů pro živočišnou výrobu, opravou zemědělských strojů a ve střediskových obcích také bytovou a obslužnou výstavbou.

Pro potřebnou generalizaci a možnost srovnání jednotlivých vodních útvarů zařazujeme tabulku 32, která uvádí index změny za jednotlivé vodní útvary počítaný pro sedm základních kategorií (TTP = louky + pastviny dohromady) a s vynecháním časového horizontu 1896. Pro tento rok nejsou k dispozici data za zastavěné, vodní a ostatní plochy, ale pouze data za jejich souhrn. Proto je tento časový horizont v hodnocení vynechán, aby nedošlo ke zkreslení intenzity krajinných změn vzniklé rozdílným počtem sledovaných kategorií.

Rozdíly v intenzitě krajinných změn jsou jednoznačně patrné z tabulky 32. Ukazuje se, že s výjimkou vodních útvarů DVL_0330, DVL_0450 a DVL_0460, ve všech ostatních byla nejvyšší intenzita proměny krajiny realizována v periodě 1948–1990. Podstatnou část příčin těchto změn ovlivnila výstavba vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Rozdíly mezi maximem a minimem indexu změny byly zaznamenány v prvé periodě na úrovni 7,7, v druhé periodě pak 7,8 (minimum vždy ve vodním útvaru DVL_0470), ve třetí jen 2,6 a ve čtvrté 4,4. Je patrné, že obě decenia období transformačních změn mají podstatně nižší rozdíly mezi maximem a minimem a celkově je intenzita krajinných změn podstatně nižší. Celkově je úroveň indexu změny ve všech vodních útvarech na velmi nízké úrovni, což je ovlivněno jednak nižším tlakem společnosti na území a zřejmě je vyvoláno řadou agrotechnických opatření při hospodaření v pásmech ochranného pásma vodního zdroje.

Koeficient antropogenního ovlivnění představuje ukazatel, který signalizuje tlak společnosti na krajinu. Jak uvádíme v rámečku 20 a v metodice výpočtu jde o poměr evidovaných kategorií ploch s výraznějším zásahem do krajiny (orná půda, zastavěné a ostatní plochy) a ploch spíše přírodního charakteru. Tyto přírodní tvoří trvalé travní porosty, lesní a vodní plochy. Ve výpočtu nejsou zahrnuty plochy trvalých kultur, které na většině území (tím spíše ve sledované oblasti VN Švihov na Želivce) stejně mají v podstatě zanedbatelný

Tabulka 32: Index změny (počítaný pro sedm kategorií)

ID vodního útvaru	Počet SÚJ	1845–1948	1948–1990	1990–2000	2000–2010
DVL_0330	10	6,1	5,0	0,3	1,4
DVL_0340	9	4,7	4,8	0,1	0,4
DVL_0350	30	7,0	8,6	0,6	1,4
DVL_0360	30	4,0	7,7	0,3	0,7
DVL_0370	15	4,2	6,4	0,3	0,6
DVL_0380	33	4,9	6,0	2,7	0,6
DVL_0390	26	4,0	6,7	0,3	0,8
DVL_0400	4	4,9	8,3	0,5	0,9
DVL_0430	13	5,4	8,5	0,7	4,7
DVL_0440	19	4,8	5,3	0,3	0,2
DVL_0450	6	10,8	5,5	0,6	0,7
DVL_0460	9	5,3	5,0	0,2	3,0
DVL_0470	2	3,1	4,7	0,6	0,2
DVL_0480	3	5,7	7,8	1,0	0,3
DVL_0495_J	39	5,7	12,5	0,1	0,4
DVL_0500	12	4,1	6,4	0,3	0,6

Zdroj: LUCC Czechia

Rámeček 20

Koeficient antropogenního ovlivnění

(Kupková, 2001)

Koeficient antropogenního ovlivnění je počítán podle vzorce:

$$KAO = \frac{OP + ZaP + OsP}{TTP + LP + VP}, \qquad (3)$$

kde OP je podíl orné půdy, ZaP podíl zastavěných ploch, OsP ostatních ploch, TTP trvalých travních porostů, LP lesních ploch a VP vodních ploch (vše v procentech celkové rozlohy jednotky v daném roce). Trvalé kultury nejsou pro svou různorodost v tomto ukazateli uvažovány. Koeficient nabývá hodnot od nuly do nekonečna, čím je nižší, tím je antropogenní tlak menší. Koeficient antropogenního ovlivnění roven 1 znamená vyrovnanost ploch s větší a menší zátěží pro krajinu; tato hodnota však není nijak normativní.

význam. Srovnáním obou obrázků z let 1948 a 1990 (obrázky 47 a 48) vyplývá, že v roce 1990 se tento koeficient mírně zmenšil, což představuje pouze konstatování zjištěného trendu. Je samozřejmé, že jde o hodnocení na základě bilančních dat databáze LUCC Czechia, nicméně je nutné být při srovnání v čase při interpretaci relativně opatrný. Vhodnější využití obou obrázků spatřujeme spíš v možnosti analýzy regionálních diferencí v jednom časovém horizontu.

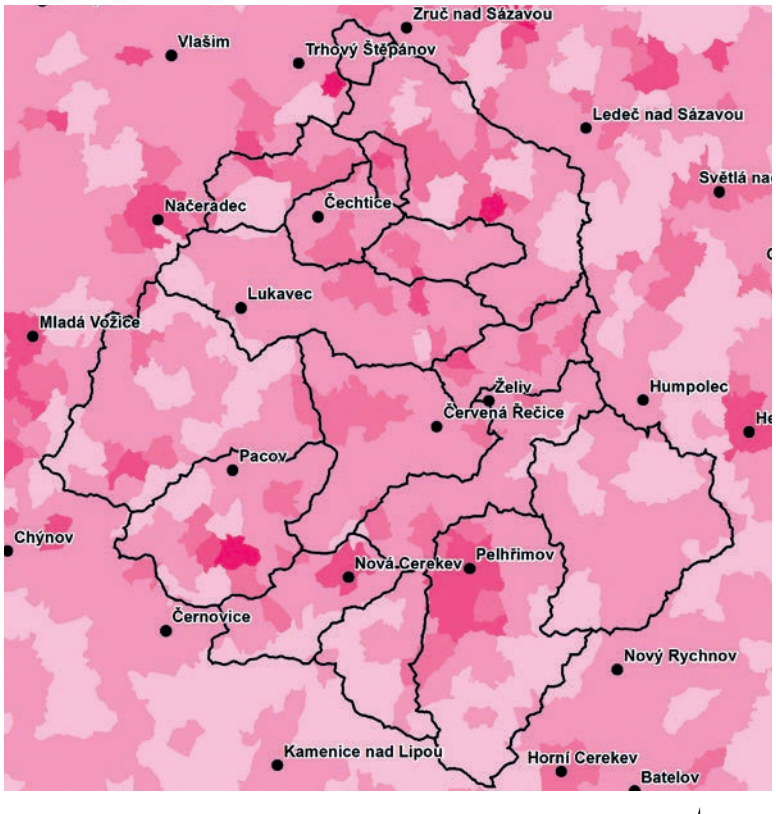
Hlavní procesy přeměny krajiny

Tabulka 33 velice pěkně charakterizuje situaci ve změnách makrostruktury v jednotlivých periodách podobně, jako to platí pro celé Česko. V prvé periodě 1845–1896 došlo k odlišnému vývoji z hlediska rozlohy ZPF. V šesti vodních útvarech ještě vzrostla výměra ZPF, což bylo většinou doprovázeno úbytkem rozlohy jak lesních, tak jiných ploch. V jedenácti vodních útvarech došlo v prvé periodě k poklesu rozlohy ZPF, což představuje změnu oproti vývoji v několika dřívějších staletích! S výjimkou tří vodních útvarů došlo u všech ostatních k poklesu výměry jiných ploch!

Druhá perioda vymezená lety 1896 a 1948 vykazuje jediný typ vývoje makrostruktury a tím je úbytek ZPF a nárůst jak lesních, tak jiných ploch. To znamená, že struktura ploch odpovídá z hlediska vztahu příroda–společnost období trvalého snižování významu prvního sektoru ve prospěch druhého (průmysl, doprava). Také ve třetí sledované periodě 1948–1990 pokračuje stejný trend, to znamená pokles rozlohy ZPF a nárůst rozlohy lesních a jiných ploch. Poslední dvě periody 1990–2000 a 2000–2010 charakterizuje podstatně kratší časový úsek oproti předchozím 40 až 50letým periodám. Navíc je první transformační decenium poznamenáno rozsáhlým procesem restitucí a privatizací, které zásadním způsobem změnily vlastnickou strukturu, což mělo poměrně významný dopad i na strukturu ploch. Obě tyto kratší periody ve většině vodních útvarů představují typy s úbytkem ZPF a až na výjimky také nárůst lesních a jiných ploch.

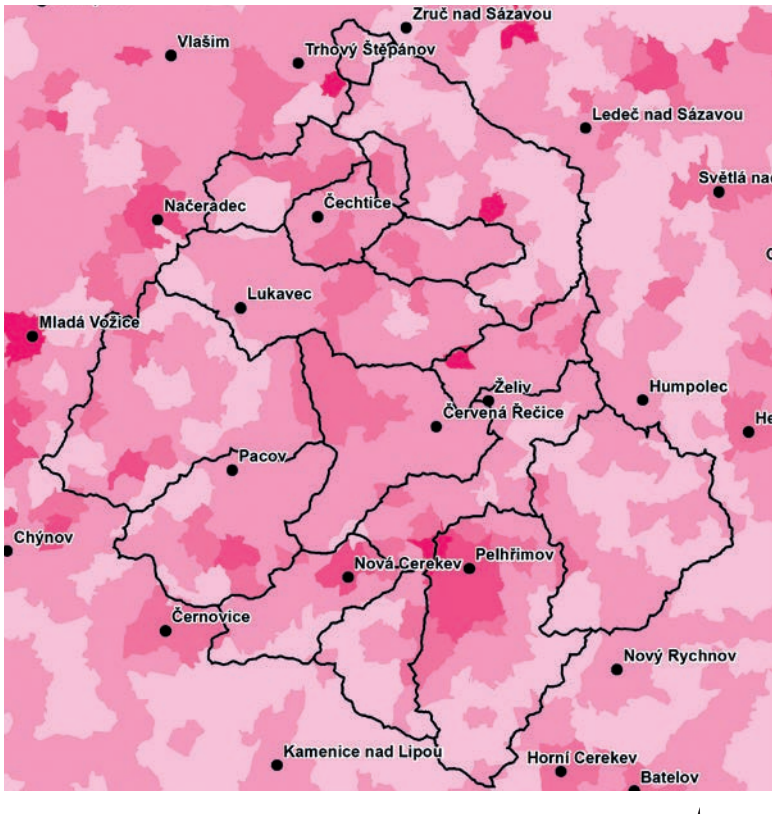
Tabulka dokumentujte ve všech čtyřech sledovatelných periodách (rok 1896 není v potřebném členění k dispozici) poměrně jednoznačně převahu vždy jednoho procesu krajinné přeměny. Mezi roky 1845 a 1948 jde o nejvýznamnější proces v podobě nárůstu zastavěných a ostatních ploch, tedy proces „urbanizace". Pouze u vodního útvaru DVL_0370 jde ve sledovaném povodí VN Švihov na Želivce o proces intenzifikace zemědělství, u vodních útvarů DVL_0470 a DVL_0480 pak o proces zalesňování. Druhá perioda ohraničená roky 1948 a 1990 vykazuje jako nejvýznamnější proces opět „urbanizaci" (celkově i ve vodních útvarech), dále proces zavodnění (nárůst vodních ploch – ve vodních útvarech DVL_0495_J, DVL_0340, DVL_0480 a DVL_0460). Ve vodním útvaru DVL_0430 se projevil nejvýrazněji proces zalesňování. Třetí perioda (období 1990–2000) je typická jak procesem „urbanizace" (většina sledovaných vodních útvarů), tak nárůstem vodních ploch (vodní útvar DVL_0380, DVL_0460 a DVL_0500), u některých jde o nejsilnější proces v nárůstu lesních ploch a evidovaných rozloh trvalých travních porostů. Ve čtvrté periodě tedy prvním deceniu 21. století byla jednoznačně nejvýznamnějším procesem „urbanizace" charakteristická pro všechny vodní útvary, ovšem při velmi nízkých změnách (podle indexu změny). Zde musíme upozornit na skutečnost, že databáze pracující s evidovaným rozsahem jednotlivých kategorií katastrálního úřadu vykazuje po roce 1990 sníženou kvalitu přesnosti evidence (Bičík a kol., 2010). Restitucemi, privatizací a hlavně „čekáním na připojení k EU" nebyly vždy nahlášeny změny rozsahu jednotlivých kategorií především mezi ornou půdou a trvalými travními porosty. Na celostátní úrovni činil tento rozdíl až asi 300 000 ha neobdělávané orné půdy a její faktickou přeměnu na trvalé travní porosty. Tato nepřesnost se bezpochyby projevuje i v datech, s nimiž zde pracujeme a zpřesnění by si vyžádalo terénní

Obrázek 47: Koeficient míry antropogenního ovlivnění krajiny 1948.



Poznámka: Hodnocená území SÚJ.
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

Obrázek 48: Koeficient míry antropogenního ovlivnění krajiny 1990.



Poznámka: Hodnocená území SÚJ.
Zdroj: Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka

Rámeček 21

Typologie krajinných změn

Typologie krajinných změn byla rozpracována kolegy z Geografického ústavu Slovinské Akademie věd v Lublani (Gabrovec a Kladnik, 1997, Gabrovec et al., 2001). Metoda pracuje s pěti kategoriemi ploch a to tak, že data z naší databáze jsou sloučena: orná půda + trvalé kultury, trvalé travní porosty (louky + pastviny), dále lesní plochy, zastavěné + ostatní plochy a pátou kategorií jsou plochy vodní. Podle toho, který proces v území dominuje, hovoříme o intenzifikaci zemědělství, zatravňování, zalesňování či urbanizaci nebo zavodnění. Podle toho jak se jednotlivé přírůstky rozlohy mezi dvěma časovými horizonty takto spojených ploch podílí na všech přírůstcích mluvíme o různé intenzitě uvedených pěti procesů. Je důležité upozornit, že se neposuzuje absolutní velikost nárůstu těchto sjednocených kategorií, ale pouze trendy. Takže může nastat situace, že se zvětšila rozloha o dva či tři hektary a vyjde, že jde o silný proces třeba zalesnění, neboť z kladných přírůstků rozlohy sloučených kategorií se nárůst lesa jeví jako nejvýznamnější. Ve skutečnosti přitom může jít třeba jen o nepatrný nárůst rozlohy o desetiny procenta.

práci a využití DPZ. Kromě toho v území došlo i k opouštění orné a TTP z více důvodů (zakřivení hranic parcel jednotlivých kategorií, svažitosti, změny vlastníka apod.), tak na těchto plochách vznikala postupně nová divočina (Lipský, 2009). Ta je vítaná z hlediska ochrany přírody, odmítaná zemědělci, nicméně v terénu se její výskyt zvětšuje, byť jde jen o malé plochy. Právě tyto popsané jevy mohly sehrát v povodí VN Švihov na Želivce docela významnou roli, bylo by vhodné na tyto jevy zaměřit hlubší pozornost jak terénními metodami, tak metodami DPZ.

Z možných desítek obrázků byly zařazeny především ty, které za určité období vykazovaly nejvýraznější změny, ať již sledovaných dílčích kategorií nebo celkových změn struktury ploch. Jsou v nich rozlišeny jednotlivé vodní útvary s úrovní změn ve vybraných kategoriích podle SÚJ, což v daném území jsou převážně jednotlivé katastry (tabulka 33).

Tabulka 33: Hlavní procesy krajinné přeměny v jednotlivých vodních útvarech a sledovaných periodách (hodnocení podle rámečku 21)

		1845–1948					1948–1990					1990–2000					2000–2010				
ID vodního útvaru	Počet SÚJ	Intenzifikace zemědělství	Zatravňování	Urbanizace	Zalesňování	Zavodnění	Intenzifikace zemědělství	Zatravňování	Urbanizace	Zalesňování	Zavodnění	Intenzifikace zemědělství	Zatravňování	Urbanizace	Zalesňování	Zavodnění	Intenzifikace zemědělství	Zatravňování	Urbanizace	Zalesňování	Zavodnění
DVL_0330	10	M		S	MS				S	M	MS		M	S	M	M			V		
DVL_0340	9			S	M				MS	M	S			V	M				V	M	
DVL_0350	30	M		S	M				S	M	MS		S	MS	M				V	M	
DVL_0360	30	M		S	M				V	M	M		M	S	M				V	M	
DVL_0370	15	S		MS	MS				S	M	MS			S	M	MS			V		
DVL_0380	33	M		S	M				S	M	MS		V	M					V	M	
DVL_0390	26	M		V	M				S	M	MS			V	M				V	M	
DVL_0400	4	M		M	MS				MS	M	S	M		V	M				V		
DVL_0430	13	M		S	M				MS	M	MS			M	M				V		
DVL_0440	19	M		S	MS				S	M	MS		MS	S	M				V	M	
DVL_0450	6	M		S	S				V	M	M	M			M	V			V		
DVL_0460	9	M		S	M				MS	M	S	M		V			M		V		
DVL_0470	2	M		MS	M				MS	M	S		V						V		
DVL_0480	3			M	V				M	M	V			V					V		
DVL_0495_J	39	M		S	MS				M	M	V			V	M	M			V	M	
DVL_0500	12	M		V					V	M	M		M			S		M	V		

Legenda

Trendy: M = mírná intenzita (daný nejvýznamnější proces nárůstu v rozsahu 25–49,9 % všech pět přírůstků kategorií ploch), S = střední intenzita v rozsahu 50–74,9 %, V = vysoká intenzita v rozsahu nad 75 %, MS = v daném vodním útvaru jsou v úrovni SÚJ zastoupeny oba procesy M i S.
Zdroj: LUCC Czechia

Foto 33: Domácí zvířata s využitím pro tah.
Zdroj: Katedra pícninářství a trávníkářství, FAPPZ ČZU v Praze

1.10

Jaromír Šantrůček
Josef Hakl
Pavel Fuksa
Zuzana Hrevušová
Miluše Svobodová
Jitka Skalická
Jaroslava Čechová

Vývoj zemědělského obhospodařování půdy v zájmovém území

Sedlák bez půdy je jako literát bez knih.

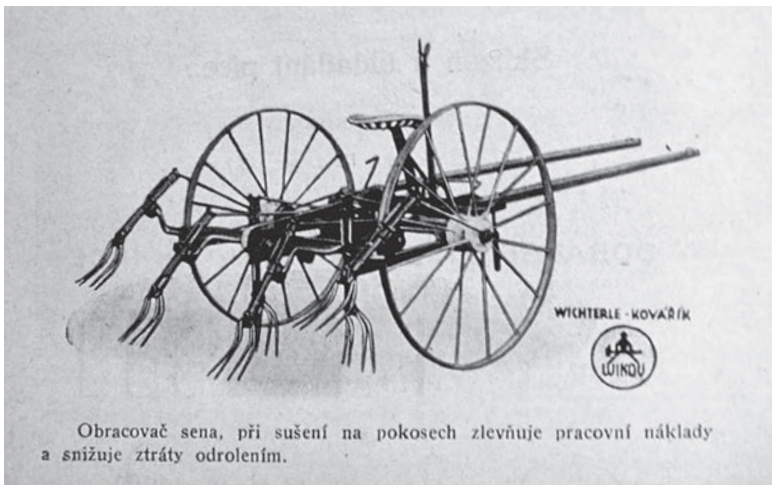
Čínská moudrost

Zemědělství svým plošným charakterem a intenzitou zasahování do krajinných vazeb patří jednoznačně k faktorům, které výrazně ovlivňují utváření a fungování celé krajiny, včetně hospodaření s vodou. Přitom právě vhodný vodní režim je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících efektivitu zemědělské produkce v krajině. Proto by udržování dobrého stavu vodního režimu v krajině ve spojení s péčí o kvalitu půdy mělo být jednou ze zásadních podmínek trvalé udržitelnosti hospodaření na půdě, a to ve vlastním zájmu samotných zemědělců či vlastníků zemědělské půdy.

Zemědělství během středověku aplikovalo přes 1000 let úhorový systém hospodaření, avšak za posledních 100–150 let prošlo, stejně jako všechna odvětví lidské činnosti, rychlým vývojem, a to jak ve vztahu k technologickému pokroku, tak i s ohledem na změny ve společnosti (foto 33–37 a foto 41–44). Tyto změny však měly a mají dopad i na hospodaření s vodou a půdou v krajině vzhledem k výše popsaným vazbám mezi zemědělstvím a krajinou. Při popisu těchto změn může být zemědělství charakterizováno z mnoha hledisek od statistické struktury výroby, přes popisy technologií a pěstovaných plodin, chovaných zvířat až po socioekonomické vazby. Cílem této kapitoly je formou významných společenských milníků přiblížit historii zemědělského hospodaření v českých zemích v průběhu 20. a začátku 21. století se zřetelem k zájmovému území. Řadu národních statistik však nelze přesně zacílit na vybrané území, a proto jsou prezentovány za celé území ČR. Lze však říci, že vývoj na zájmovém území obecně kopíruje trendy na celonárodní úrovni. Zvláštní pozornost si v tomto ohledu zasluhují trvalé travní porosty. Tyto plochy představují velice specifickou část zemědělské půdy v ČR, která zaujímá výraznou část zemědělského půdního fondu. Tvoří zároveň významný prvek v ochraně vod před znečišťováním, a proto je popisu historie jejich využívání věnována samostatná část v rámci každé podkapitoly.

Zemědělství obecně vždy nějakým způsobem narušuje přirozené stanoviště rostlin a živočichů, ale vhodné udržitelné pěstování rostlin pro získávání potravin a krmiv nám rovněž umožňuje zachovávat biodiverzitu. Při větších zásazích člověka do ekosystému (zpracování půdy, hnojení aj.) následují často velmi podstatné změny stanovištních podmínek, které ovlivní mnoho ekologických činitelů a jejich vlivem se mění celá biocenóza, i půdní mikroedafon a makroedafon. Ale zároveň platí, že ustálená diverzita druhů se může, bez vhodného způsobu obhospodařování, vyvíjet nežádoucím směrem až degradovat. Vztah zemědělství a životního prostředí je tak neoddělitelně provázán. Z jednoho úhlu pohledu zajišťuje zemědělství produkční funkci v závislosti na přírodních zdrojích a jejich kvalitě. Z druhého pohledu zemědělství historicky utvářelo krajinu, přispívá

Foto 34: Senoseč s vysokým podílem ruční práce. Přestože počátek 20. století byl předznamenán nástupem motorů a traktorů, naprostá většina prací byla dále vykonávána ručně.
Zdroj: Katedra pícninářství a trávníkářství, FAPPZ ČZU v Praze



Obracovač sena, při sušení na pokosech zlevňuje pracovní náklady a snižuje ztráty odrolením.

Foto 35: Obraceč sena.
Zdroj: Katedra pícninářství a trávníkářství, FAPPZ ČZU v Praze

k vytváření biodiverzity, proto bývají zemědělská hospodářství označována jako „semi-natural ecosystems". V některých případech lze konstatovat, že kultivovaná krajina, jakožto stanoviště určitých druhů, může být udržena pouze tehdy, jestliže bude zajištěno pokračování environmentálně příznivého způsobu obhospodařování zemědělské půdy. Z těchto důvodů je v každé podkapitole věnována zmínka i vývoji ochrany životního prostředí.

Zemědělství do roku 1948 (1950)

Zemědělská výroba byla v této době na našem území obecně roztříštěná a malovýrobního charakteru. Až do 50. let minulého století se krajina vyznačovala maloplošným střídáním jednotlivých kultur, velkým množstvím mezí, cest a remízků. Přirozeně se vyskytovaly mokřadní a rašelinné louky. V roce 1947 bylo v na území ČR evidováno přes 730 tisíc zemědělských závodů a z toho přes 236 tisíc hospodářství s velikostí do dvou hektarů. Pouze sedm tisíc zemědělských závodů mělo větší výměru než 50 hektarů a tyto podniky obhospodařovaly přibližně 35 % výměry zemědělské půdy (Statistická ročenka, 1948).

V zemědělské výrobě převládaly malovýrobní technologie s vysokým podílem ruční práce (foto 34 a 35).

První světová válka znamenala pokles celé zemědělské výroby, ale již v roce 1924 je překročen předválečný stav a nastává další rozkvět zemědělské produkce spojený s modernizací výrobních technologií (foto 36 a 37). Mnichovská dohoda a následná okupace opět přerušila tento slibný vývoj zemědělství. Po válce bylo významným úkolem vyřešit mechanizaci zemědělství, což však byl problém vzhledem k nedostatku materiálu a zničeným výrobním zařízením. Přesto již v roce 1946 představila firma Zetor svůj první prototyp Zetor 25, který poté následoval menší typ Zetor 15. Zároveň však brzy dochází ke znárodnění průmyslu, který se koncentruje do specializovaných závodů a záhy se začíná orientovat na velkovýrobní technologie.

Stavy skotu se udržovaly na vysoké úrovni kolem tří milionů kusů skotu (graf 21), neboť

Graf 21: Celkové stavy skotu (kusů) a průměrná roční dojivost jedné krávy (l/rok) v České republice v letech 1947–2015.

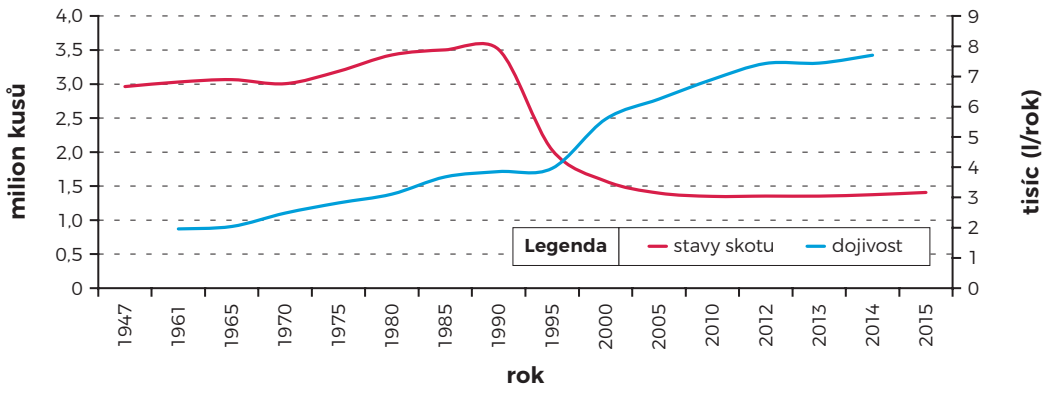


Foto 36: Instruktáž pro výrobu dobré siláže.
Zdroj: Katedra pícninářství a trávníkářství, FAPPZ ČZU v Praze

Foto 37: Zetor s kombinovaným obracečem a shrnovačem píce.
Zdroj: Katedra pícninářství a trávníkářství, FAPPZ ČZU v Praze

Tabulka 34: Zastoupení zemědělských plodin (%) pěstovaných na orné půdě v letech 1947, 1987 a 2014 (údaje za Českou republiku)

Plodina	1947	1987	2014
Pšenice	13,0	24,6	33,6
Žito	15,7	3,0	1,0
Ječmen	8,3	19,2	14,1
Oves a směs ovsa s ječmenem	13,2	2,9	1,7
Triticale	-	-	1,9
Kukuřice na zrno	0,5	1,6	4,0
Hrách	0,2	1,3	0,6
Ostatní obiloviny, luskoviny a směsky	1,8	0,6	0,6
Brambory	11,1	3,7	1,0
Cukrovka	4,2	4,2	2,5
Krmná řepa	3,1	0,5	0,0
Ostatní okopaniny	0,4	0,0	0,0
Řepka	0,4	3,0	15,6
Slunečnice	-	0,0	0,7
Soja	-	-	0,3
Mák	0,6	0,2	1,1
Hořčice	0,5	0,2	0,7
Len	0,4	0,6	0,1
Kukuřice na siláž a na zeleno	-	10,1	9,5
Ostatní jednoleté pícniny a zelené krmení	4,0	5,3	1,9
Vojtěška	3,8	5,2	2,3
Jetel luční	-	6,7	1,7
Jetel luční a jetelotravní směsi	11,5	-	-
Ostatní víceleté pícniny	4,0	5,1	2,7
Zelenina, kořeninové a léčivé rostliny	0,6	1,3	0,6
Ostatní plodiny a plochy	0,7	0,6	0,8
Neoseté a neosázené plochy	2,1	0,1	0,9
Celkem	**100,0**	**100,0**	**100,0**

rozvinutá živočišná produkce v té době výrazně podmiňovala intenzifikaci rostlinné výroby díky produkci statkových hnojiv jako zdroje živin (hlavně dusíku) a organické hmoty.

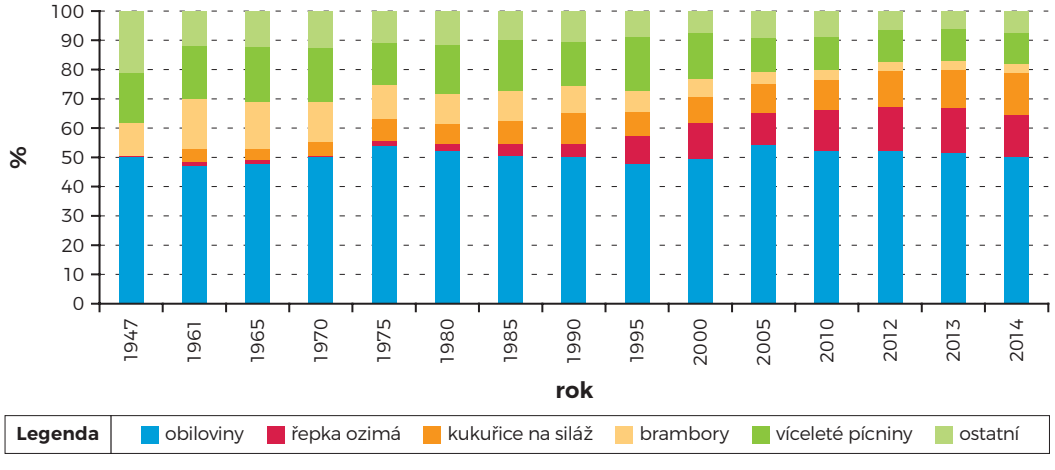
Pěstovalo se široké spektrum plodin, např. čekanka, tuřín, vodnice, krmná mrkev. Plodiny byly poměrně rovnoměrně a vyrovnaně zastoupeny. V Česku krmná řepa spolu s cukrovkou zaujímala přes 250 tisíc hektarů, brambory téměř 400 tisíc, polní pícniny přes 650 tisíc hektarů. Plochy žita a ovsa byly 500 a 400 tisíc hektarů. Z dnes dominantních plodin byla např. pšenice pěstována jen na 450 tisících hektarech, kukuřice (pouze jako obilnina) na 16 tisících hektarech. Ozimá řepka spolu s řepicí představovala pouze kolem 30 tisíc ha. Uvedené změny v zastoupení skupin či jednotlivých plodin na orné půdě jsou od roku 1947 až do současnosti uvedeny v grafu 22 a tabulce 34.

Foto 38: Obiloviny mají stabilně nejvyšší zastoupení v povodí. Zdroj: Kvítek T.

Foto 39: Orientace na kukuřici na siláž zvýšila erozi půdy. Zdroj: Kvítek T.

Foto 40: Orientace na řepku ozimou po roce 1995 se projevila žlutou „záplavou“. Zdroj: Kvítek T.

Graf 22: Zastoupení plodin na orné půdě (%) v letech 1947–2014.



Legenda

Obiloviny (celkem) a řepka ozimá
1947 – údaje za Českou republiku
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2014 – údaje za Kraj Vysočina

Kukuřice na siláž
1961–1990 – údaje za Východočeský kraj
1995–2014 – údaje za Kraj Vysočina

Brambory
1947 – údaje za Českou republiku
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2014 – údaje za Kraj Vysočina

Víceleté pícniny
1947 – údaje za Českou republiku
1961–1990 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
1995–2014 – údaje za Kraj Vysočina

Intenzita výroby byla obecně nižší, i když zde byly rozdíly u různě úrodných regionů. Spotřeba hnojiv i prostředků na ochranu rostlin zůstávala celkově na nízké úrovni. U dusíkatých průmyslových hnojiv dosahovala průměrná celorepubliková spotřeba pouhých 5 kg N na hektar, u fosforečných 9 kg P_2O_5 a u draselných 11 kg K_2O na hektar (graf 23). I přes jejich propagovaný význam zůstávala spotřeba hnojiv nízká, čemuž přispěla i 2. světová válka.

Stejně tak nízká byla i úroveň používání přípravků na ochranu rostlin. Počátek fytofarmacie jako vědy o pesticidech je historiky datován do druhé poloviny 19. století, ale až ve 30. letech 20. století se začalo s výrobou syntetických organických pesticidů. Za zmínku určitě stojí insekticidy na bázi alkylthiokyanátů, dithiokarbamátové fungicidy, dinocap a chloramil.

Do tohoto časového období patří i zmínka o Paulovi Müllerovi, který objevil insekticidní vlastnosti DDT (dichlordifenyl-trichlorethan). DDT se stal nejrozšířenějším insekticidem na světě. DDT pomohl v boji proti tyfu, který přenášely vši, proti moskytům přenášejícím malárii i při válečných operacích v tropech (Cremlyn, 1985). Ovšem ekologická rizika používání DDT se začala objevovat až po delší době. Po objevu DDT následoval vývoj dalších chlorovaných uhlovodíků, jako byl lindan, endrin, dieldrin a další.

Z historie legislativy ochrany rostlin je možné uvést zákon č. 165/1924 Sb., o ochraně výroby rostlinné, ve kterém již byly zakotveny obecné principy rostlinolékařské péče. Dále je nutné se zmínit i o vládním nařízení č. 89/1941 Sb., kterým byly stanoveny podmínky pro „vyzkoušení" povolování k uvádění „ochranných prostředků" do oběhu a vyhláška ministerstva zemědělství č. 192/1944 Sb., která upravovala používání jedovatých a zdraví škodlivých prostředků na ochranu rostlin.

Trvalé travní porosty historicky vždy sloužily jako hlavní zdroj píce pro hospodářská zvířata. Dobytek se pásl po co nejdelší období roku, využívaly se i lesní porosty. Jako pastviny sloužily jak trvalé porosty, tak pole ponechaná ladem. Jednoleté ponechání ladem zajišťovalo v trojpolním hospodaření dlouhodobé udržení půdní úrodnosti. Na konci 18. a v průběhu 19. století se začaly omezovat plochy pastvin a zvířata byla zavírána do chlévů. Důvodem byla snaha o získání co největšího množství statkových hnojiv, která byla potřebná k intenzivnějšímu hospodaření na polích. Na konci 19. století bylo již mnoho ploch sklízeno pouze sekáním a ke krmení dobytka se často používalo seno. Dostatek píce také zajistilo pěstování víceletých pícnin na polích. Tradiční systém pastvy ve větší míře přetrval pouze v horských oblastech. Travní porosty byly většinou ponechány svému přirozenému vývoji a kromě pravidelného využívání jim nebyla věnována zvláštní pozornost.

Výraznější snahy o systematické zlepšování kvality luk a pastvin se objevují až na začátku 20. století. Začal se upravovat vodní a výživný režim, plochy se odkameňovaly, vyvíjela se nová specializovaná technika. Chyběl však dostatek zkušeností a snahy o intenzifikaci nebyly na našem území vždy úspěšné. Ve 20. letech tehdejší Zemská výzkumná pícninářská a travinářská stanice v Rožnově zjistila, že výnosy valašských luk se pohybují okolo 2 t/ha, avšak jen 16 % píce je tvořeno kvalitními druhy. Tento stav, nebo i horší, byl typický pro většinu našich porostů (graf 30). Po první světové válce, kdy stouply nároky na produkci potravin, se rozšířilo rozorávání původních porostů a zakládání nových, s kvalitnějším druhovým složením a vyššími výnosy. Zpočátku se používalo osivo dovážené ze zahraničí, které se v řadě případů neosvědčilo. V dalších desetiletích se začaly intenzivně šlechtit nové české odrůdy, které byly vhodné do našich podmínek. Některé odrůdy ze 40. let jsou na seznamu povolených odrůd dodnes.

Ve 30. letech 20. století obnovování a zkvalitňování travních porostů postoupilo natolik, že v některých případech výnos dosahoval i 15 t/ha kvalitní píce. To umožnilo nebývalý rozvoj živočišné výroby. Postupem času se ovšem projevilo, že přibližně po deseti letech uměle založené porosty svoji kvalitu a výnosovou schopnost ztrácejí. Proto se začal rozšiřovat názor, že všechny trvalé louky je nutné zorat a nahradit dočasnými porosty, které se zařadí do běžných osevních postupů na orné půdě. Výnosový potenciál umělých luk v tzv. travopolní soustavě se stal vyšším než u jakékoliv jiné krmné plodiny. Trvalé porosty měly podle představ zůstat pouze na neoratelných stanovištích a považovaly se za prakticky zemědělsky nevyužitelné. Na konci 40. let 20. století travní porosty tvořily asi pětinu zemědělské půdy, přičemž jednoznačně převažovaly louky (graf 24). Pastviny byly evidovány jen na 6 % zemědělské půdy. Po odsunu německého obyvatelstva z příhraničních oblastí zůstala řada travních porostů neudržována. Na těchto pozemcích byl často vysázen les.

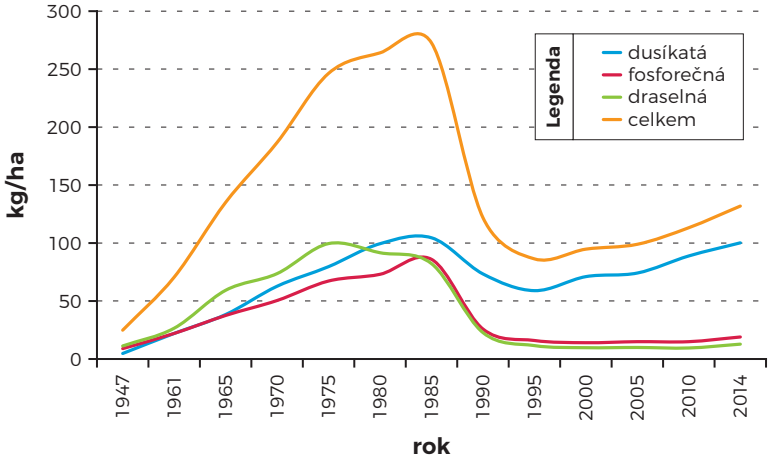
Zemědělství v letech 1950–1989

Zemědělská výroba v tomto období prošla výraznými změnami, ale vlastní rozloha obhospodařované půdy se měnila jen minimálně (grafy 25 až 27).

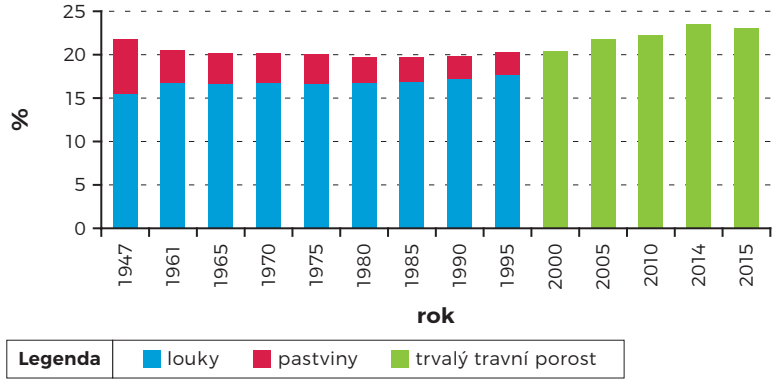
Ekologicky příznivý a relativně vyvážený stav zemědělské soustavy ukončila poválečná násilná kolektivizace zemědělství spojená s rušením mezí, remízků a jiných krajinných prvků spolu s vytvářením rozsáhlých půdních celků umožňujících nastupující zemědělskou velkovýrobu. Stranou nezůstaly ani trvalé travní porosty, kde se uplatňovalo rozsáhlé odvodňování vlhkých luk a prováděly se plošné rekultivace travních porostů. Všechny tyto zásahy způsobily výrazné změny ve vodním režimu krajiny i ve struktuře zemědělské výroby.

Kolektivizace zemědělství výrazně snížila počet zemědělských závodů vytvářením Jednotných zemědělských družstev (JZD) a státních statků. Budování socialistického zemědělství se také neobešlo bez dostatečné materiálně-technické základny. Zde významnou roli plnily strojní a traktorové stanice, zakládané od roku 1949. Prudce se zvyšuje užívání mechanizace, vznikají zcela nová konstrukční řešení strojů i celých technologických linek a dochází k výraznému zprůmyslnění zemědělství. Na druhé straně je však řada kvalitních nápadů na konstrukční

Graf 23: Spotřeba průmyslových hnojiv (kg/ha) v ČR v letech 1947–2013; hnojiva dusíkatá (N), fosforečná (P_2O_5) a draselná (K_2O).

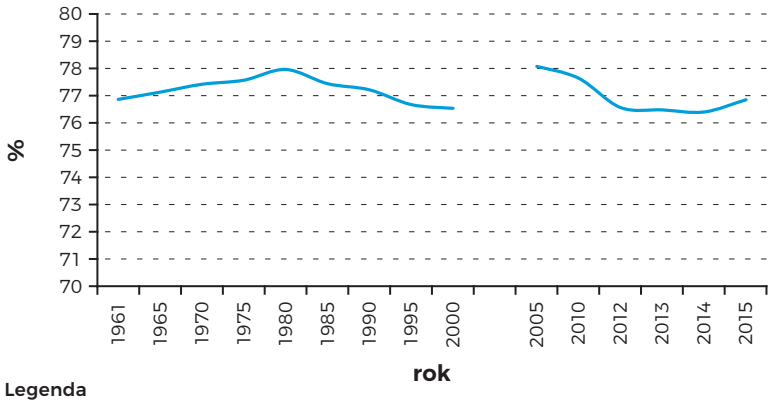


Graf 24: Podíl luk, pastvin a trvalých travních porostů (%) ze zemědělské půdy v letech 1947–2015.



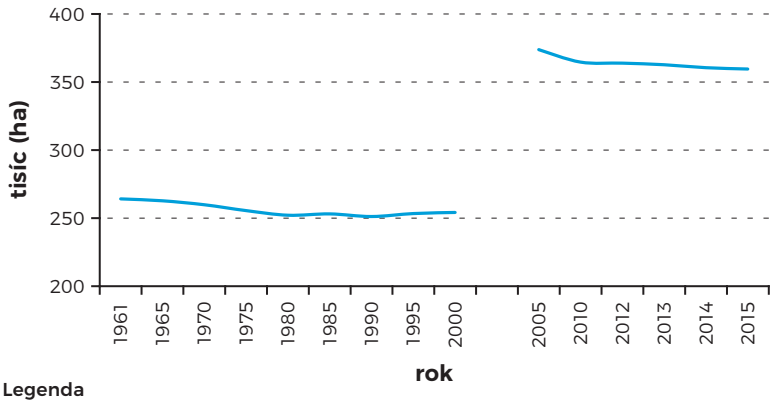
1947 – údaje za Českou republiku
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2015 – údaje za Kraj Vysočina

Graf 25: Zornění (%) – podíl orné půdy ze zemědělské půdy v letech 1961–2015.



Legenda
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2015 – údaje za Kraj Vysočina

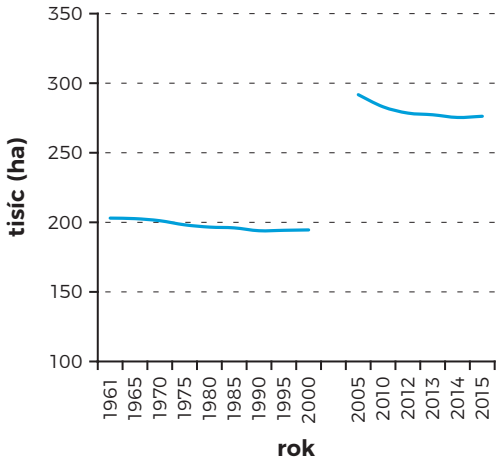
Graf 26: Výměra zemědělské půdy (ha) v letech 1961–2015.



Legenda
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2015 – údaje za Kraj Vysočina

návrhy strojů likvidována, případně je výrobní program v rámci RVHP přesunut do jiné země. Masivní využívání těžké mechanizace rovněž vede k nárůstu zhutnění půdy, což se projevuje její sníženou úrodností i přes intenzivní hnojení.

Graf 27: Výměra orné půdy (ha) v letech 1961–2015.



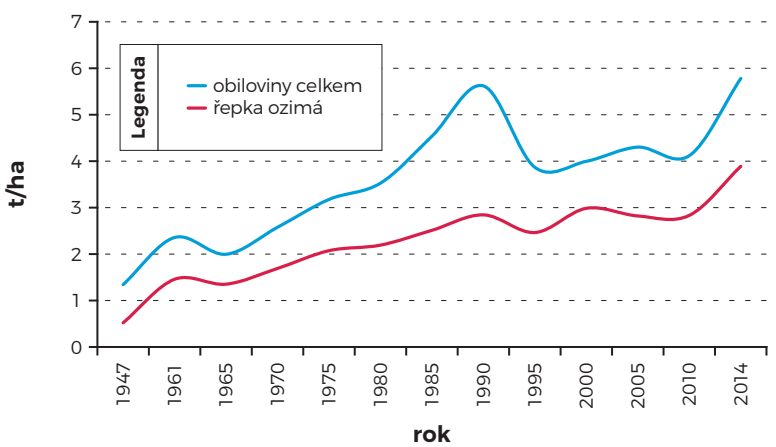
Legenda
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2015 – údaje za Kraj Vysočina

Po 2. světové válce s rozvojem mechanizace nastal i rozvoj vývoje a výroby pesticidů. K chlorovaným uhlovodíkům přibyly velmi toxické organofosforové sloučeniny (schradan, parathion), které musely být v krátké době nahrazeny insekticidy s nižší toxicitou a širokým spektrem účinnosti (metathion, menazon, thiomethon aj.) (Cremlyn, 1985). Významnou předností organofosforových insekticidů bylo jejich rychlé odbourávání na netoxické látky, které se nehromadily v ekosystému.

V zemědělství se v 50. letech v rámci ochrany rostlin využívaly prakticky insekticidy a fungicidy požívané prioritně k ochraně trvalých kultur především chmele, sadů, vinic a silniční stromořadí a k řešení občasných kalamit škůdců cukrovky. Klíčovým problémem z environmentálního hlediska se stal totální chemický boj proti mandelince bramborové. Používaly se vysoké a opakované dávky DDT a technického HCH (hexachlorcyklohexan) aplikované ve formě poprachu, či letecky olejovým aerosolem. Tyto aplikace zasahovaly necílové pozemky včetně povrchové vody a měly negativní vliv na životní prostředí, vodní organismy nevyjímaje.

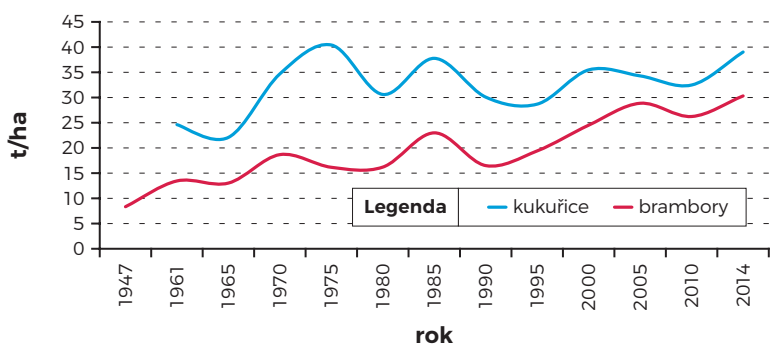
Dochází rovněž ke změnám v dosud pestré skladbě plodin pěstovaných na orné půdě (graf 22 a tabulka 34). Snižuje se výměra extenzivnějších plodin, jako je např. žito či oves. U ovsa pokles souvisí i s výrazně sníženým stavem koní (ze stovek tisíc na desítky tisíc) v důsledku nástupu mechanizace zemědělství, která poměrně rychle nahradí potažní práci. Začíná se naopak rozšiřovat pěstování náročných, ale intenzivních a výnosných plodin. V Česku se prakticky zdvojnásobí plochy pšenice až na hodnoty přes 800 tisíc hektarů, a to často i v méně příznivých oblastech pro pěstování této obilniny (foto 38). Od 60. let dochází k postupnému nástupu pěstování kukuřice jako hlavní glycidové pícniny stabilizující zimní krmnou dávku skotu, čímž postupně vytlačuje krmnou řepu a polocukrovku. Plochy kukuřice překročily 200 tisíc hektarů, což sebou přineslo i narůstající problémy s výběrem vhodných pozemků a s erozí půdy na svažitých pozemcích (foto 39). Šlechtění řepky postupně vyřešilo problémy související s obsahem antinutričních látek v semeni (kyselina eruková, glukosinoláty), což vedlo k jejímu pozvolnému rozšíření až na asi 100 tisíc ha (foto 40). I přes technologické nedostatky výroby a stagnující inovace je především rostlinná produkce na poměrně slušné úrovni

Graf 28: Výnos obilovin (celkem) a řepky ozimé (t/ha) v letech 1947–2014.



Legenda
1947 – údaje za Českou republiku
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2014 – údaje za Kraj Vysočina

Graf 29: Výnos kukuřice na siláž a brambor (t/ha) v letech 1947–2014.



Legenda
Kukuřice na siláž
1961–1990 – údaje za Východočeský kraj
1995–2014 – údaje za Kraj Vysočina
Brambory
1947 – údaje za Českou republiku
1961–2000 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2014 – údaje za Kraj Vysočina

a průměrné výnosy jsou na tehdejší evropské úrovni (graf 28 a 29).

Výrazně se rozvíjí i živočišná výroba, kde stavy skotu na konci tohoto období překročí hranici 3,5 milionu kusů (graf 21). Nárůst výroby je však během tohoto období spíše extenzivního charakteru cestou zvyšováním stavů. Užitkovost chovaných zvířat stagnuje na nízké úrovni, např. průměrná dojivost za laktaci za 40 let tohoto období pouze mírně překročí hranici 3 500 litrů. Důvodem jsou v počátku především nepříznivé důsledky náhle zvýšené koncentrace chovaných zvířat, dále pak nevyhovující technologie nerespektující požadavky zvířat na podmínky prostředí, nízká úroveň kvality vyráběných objemných krmiv a v neposlední řadě často i nevhodný přístup ke zvířatům ze strany ošetřovatelů. Toto všechno vede až k tzv. „negativní selekci", kdy v nevhodných stájích při nedostatečné výživě často přežívají především odolná, nízkoužitková zvířata, schopná přestát i nevyhovující podmínky prostředí. Efektivita živočišné výroby proto obecně stagnuje a zůstává podprůměrná.

Mimo výrazné změny ve struktuře výroby a používaných technologiích se výrazným rysem zemědělství v této době stává nevhodně celoplošně uplatňovaná intenzifikace zemědělské výroby. Kvůli intenzivní výrobě obilnin a dalších plodin na orné půdě dochází k rozorávání travních porostů a v 80. letech dosahovalo zornění až 78 % (graf 24). Ve snaze o dosažení maximálních výnosů, často neodpovídajících klimatickým ani půdním podmínkám, byly aplikovány neúměrně vysoké dávky živin a chemických přípravků. Celková spotřeba čistých živin se tak postupně dostala až na více než 270 kg na ha. U dusíkatých průmyslových hnojiv dosáhla průměrná celorepubliková spotřeba hodnot přes 100 kg N na hektar, u fosforečných 80 kg P_2O_5 a u draselných 80 kg K_2O na hektar (graf 23). Důsledky všech těchto k přírodě nešetrných postupů se neprojevily pouze ve zvýšené erozi, utužením půdy, zatížením půdy a spodních vod živinami, ale mj. také odtržením člověka od půdy a chápáním krajiny jen jako výrobního prostředku.

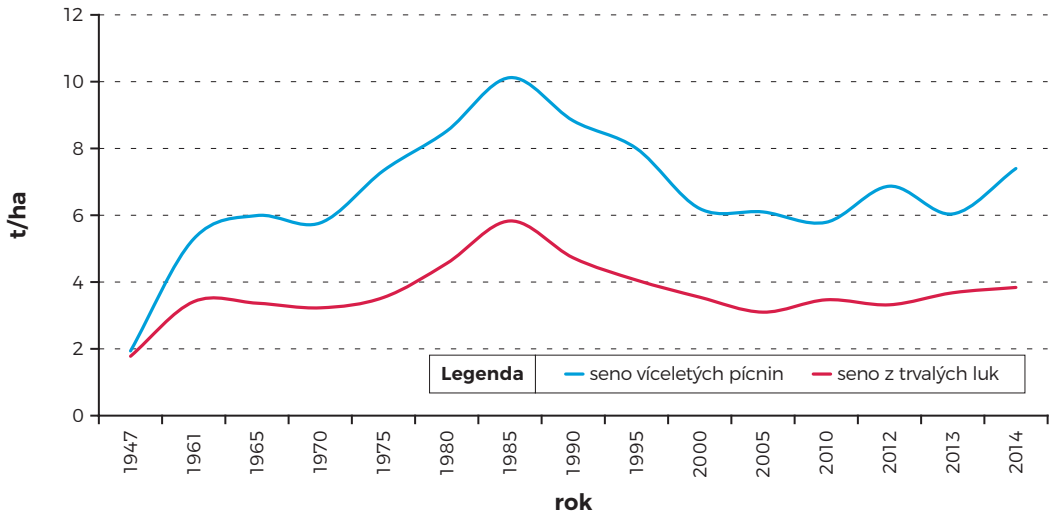
S intenzivní výrobou obilnin souvisí i další rozvoj chemizace v ochraně rostlin. Především se jednalo o široké uplatnění herbicidů v obilninách na bázi fenoxykyselin (MCPA, 2,4,D), zavedení regulátorů růstu (CCC) a desikantů (dikvát). Rychle vzrůstal rozsah plošné aplikace a s tím spojené případy bodového znečištění zdrojů povrchově i podzemní vody v důsledku nedostatků technologické kázně i nedostatků samotného strojového parku aplikačního zařízení a letecké aplikace. V 60. letech se zavedlo hodnocení rizik přípravků na ochranu rostlin pro vodní zdroje a byla zavedena klasifikace z hlediska jejich přípustného použití v pásmech hygienické ochrany (PHO) vodních zdrojů pitné vody.

V tomto období se začínají projevovat i ekologická rizika aplikace DDT a postupně dochází k omezení jeho používání. Jako náhrada za DDT se začaly používat estery karbamátů (především carbaryl), které jsou biologicky odbouratelné a tudíž nezatěžují životní prostředí. DDT bylo v Československu zakázáno používat od roku 1974.

V návaznosti na stupňující se koncentraci a specializaci v rostlinné výrobě se i zvyšuje plocha kukuřice v systému monokulturního několikaletého pěstování na stejném pozemku při opakované vysoké dávce triazinových herbicidů (atrazinu) – graf 31, s negativními důsledky pro vodní zdroje v důsledku nedostatečně zhodnocené perzistence a bioakumulace této látky. Nutno poznamenat, že se také zvyšuje rozsah chemických zásahů k usnadnění mechanizované sklizně či pěstební technologie s úsporou ruční práce v zájmu produktivity a rentability.

Nejpoužívanější účinné látky herbicidů MCPA a 2,4D byly objeveny ve 40. letech v Anglii. Jejich i pozdější objev triazinových herbicidů (simazin, atrazin) znamenal převrat v boji proti plevelům. Před objevem triazinových herbicidů se používala na likvidaci plevelů průmyslová hnojiva, jako byl kainit nebo dusíkaté vápno, později zelená a modrá skalice. Pak se začaly používat pro herbicidní účely i nitrované fenoly (DNBP aj.) a organické sloučeniny na bázi karbamátů (CIPC, IPC) a močovin. Sulfonylmočoviny používané ve velmi nízkých dávkách se začaly využívat od počátku 80. let. Právě sulfonylmočoviny se nejvíce podílely na poklesu spotřeb přípravků na ochranu rostlin v průběhu 80. let, přestože rozsah ošetřených ploch vzrostl. Nelze opomenout ani organické fungicidy a zejména skupinu systémových fungicidů (benzimidazoly, thiofanáty, morfoliny), které v 70. letech našly širší uplatnění v souvislosti s rozšířením rzi plevové a s vývojem rezistence houbových chorob u speciálních dřevin (ovocné sady, chmel a vinice) a doplnily tak sortiment klasických fungicidů. Z insekticidů pak nelze vynechat zmínku o pyretroidech (cypermethrin, permethrin deltamethrin aj.), které byly netoxické proti teplokrevným organismům a jejichž předností byla aplikace v nízkých dávkách.

Graf 30: Výnos víceletých pícnin a trvalých luk (seno, t/ha) v letech 1947–2014.

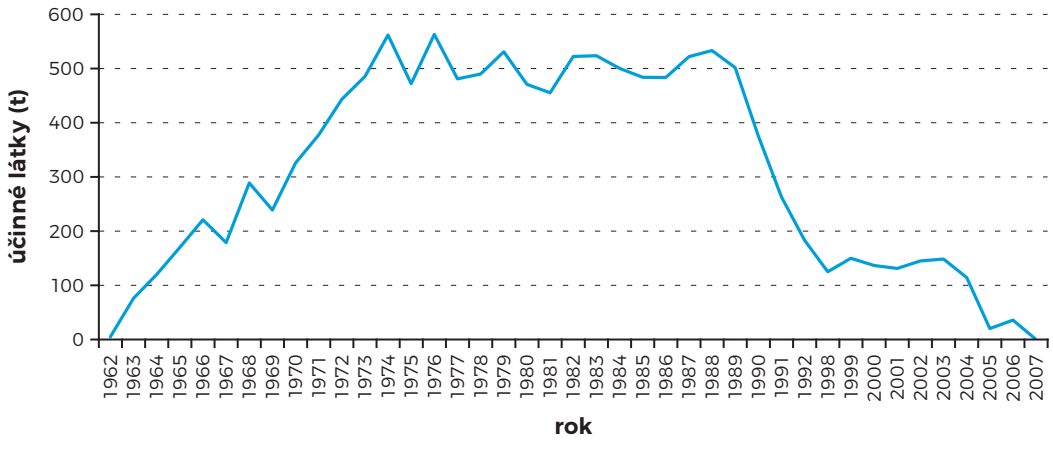


Legenda

Víceleté pícniny
1947 – údaje za Českou republiku
1961–1990 – průměr za okresy Benešov, Havlíčkův Brod a Pelhřimov
1995–2014 – údaje za Kraj Vysočina

Trvalé louky
1947 – údaje za Českou republiku
1961–2000 – průměr za okresy Havlíčkův Brod a Pelhřimov
2005–2014 – údaje za Kraj Vysočina (výnosy včetně pastvin)

Graf 31: Spotřeba atrazinu v ČR v tunách účinných látek.



Zvyšující se rozsah používání pesticidů si vyžádal vyšší koncentraci poskytovaných služeb a vedl k postupnému zakládání agrochemických podniků, popřípadě středisek ochrany rostlin u specializovaných podniků. Vyšší koncentrace skladování a manipulace s pesticidy vedla k nárůstu počtu případů bodového a lokálního znečištění nejen zemědělské krajiny, ale i sídelních obcí včetně zdrojů podzemních vod.

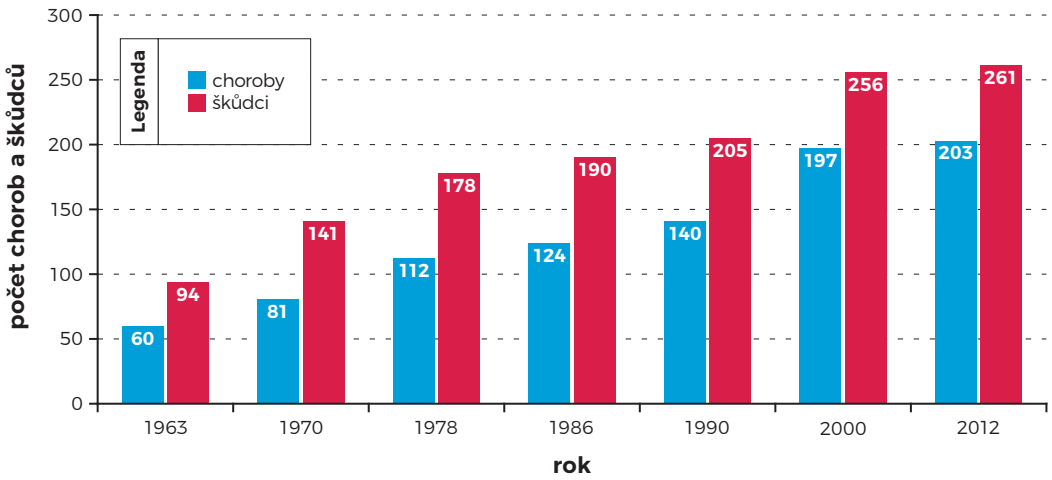
S rozvojem vědy a výzkumu je neustálý pokrok zaznamenáván i ve vývoji nových účinných látek a přípravků na ochranu rostlin. Tento fakt souvisí i s neustále se zvyšujícím počtem škodlivých organismů, proti kterým musí být prováděna ochrana rostlin (graf 32).

Se zvyšujícím se spektrem přípravků na ochranu rostlin a s větším počtem zásahů proti škodlivým organismům vznikla i větší potřeba sledování spotřeb přípravků na ochranu rostlin (graf 34). Z historického pohledu má sledování spotřeb přípravků a rozsahu ošetření zemědělských plodin přípravky na ochranu rostlin v České republice dlouhou tradici. Výkony (plošný rozsah ošetření) v ochraně rostlin jsou v ČR sledovány od roku 1950 (graf 33).

Statistické údaje o spotřebách přípravků na ochranu rostlin v základních ukazatelích jsou na Ústředním kontrolním zkušebním ústavu zemědělském (ÚKZÚZ), dříve Státní rostlinolékařské správě k dispozici od roku 1980, ale u starších údajů se jedná pouze o sumáře dat za celou republiku (tabulka 35). Dlouholeté sledování spotřeby přípravků na ochranu rostlin viditelně kopíruje trendy rozvoje či stagnace českého zemědělství.

Kulturní plodiny, půda a voda tvoří z pohledu zemědělství jeden celek. Pohyb pesticidů v půdě na rozdíl od pohybu vody v půdě se nedá předvídat ani jednoznačně stanovit. Stálost některých pesticidů v půdě přináší s sebou nebezpečí přechodu těchto sloučenin do rostlin a dále do potravního řetězce. Vysokou perzistenci v půdě mají např. chlorované uhlovodíky a cyklodiénové deriváty (heptachlór). Kromě vzduchu a půdy je možné nalézt zbytky pesticidů i ve vodě. Některé pesticidy mohou být ve vodě stálejší než v půdě, ale ve většině případů koncentrace pesticidů ve vodě nepřekračuje 1µg/l (Nikonorow, 1983). Cesty znečištění vody mohou být různé, nejčastější je cesta účinných látek přípravků či jejich

Graf 32: Růst počtu chorob a škůdců, proti nimž se uskutečňuje chemická ochrana (u polních plodin, zeleniny a ovocných dřevin) v ČR.



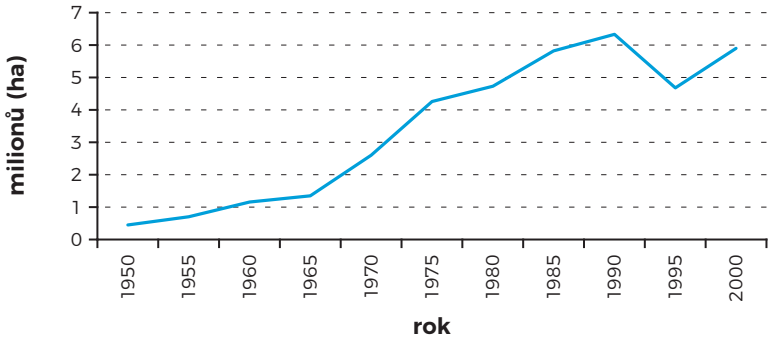
rozložených produktů z půdy smyvem deštěm či vsakem do podzemních vod. Snaha zajistit omezení kontaminace vodních zdrojů je zřejmá. Důležité jsou informace o hraničních pásmech s přítoky pitné vody, znalost možností zemědělské výroby v pásmech ochrany vodních zdrojů a samozřejmě i potřeba srozumitelných návodů na přípravcích. Ochrana pitné vody v souvislosti s používáním pesticidů je nutností, je ale třeba, aby rezidua přípravků na ochranu rostlin v pitné vodě byla podrobena důkladnému rozboru užitek – riziko.

Pozitivně lze v této době hodnotit alespoň to, že zůstává poměrně rozmanitá zemědělská výroba, pěstuje se řada plodin v pestrých a pevných osevních postupech. Je pravidelně vápněno a je rovněž aplikováno vyrovnané NPK hnojení. Rozvinutý chov přežvýkavců udržuje vyšší zastoupení víceletých pícnin na orné půdě. Řada podniků provozuje i tzv. „přidruženou výrobu“, což umožňuje částečně řešit i sezonnost v rostlinné produkci. To společně s celoroční prací v živočišné výrobě udržuje vyšší zaměstnanost na venkově.

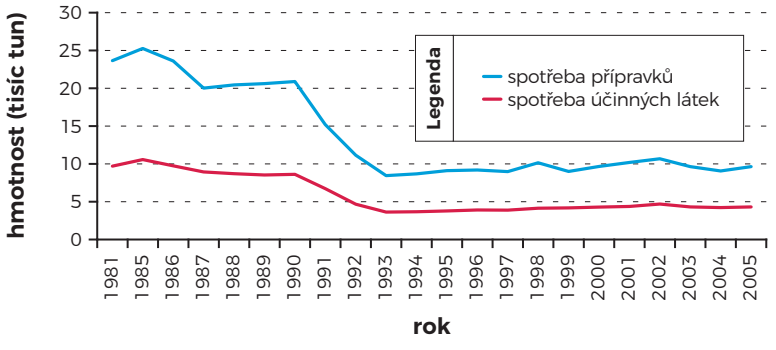
I vývoj ve využívání trvalých travních porostů byl poznamenán kolektivizací a intenzifikací zemědělské výroby. V 50. letech bylo oficiálním stanoviskem vládnoucí strany, že „v zájmu vyšší životní úrovně lidu nesmí zůstat ani píď půdy neobdělána“ (Demela, 1955). Jedním z hlavních úkolů zemědělců bylo mimo jiné i zajistit dostatek píce pro rozvíjející se živočišnou výrobu. Oficiálním cílem se stalo soustavné zvyšování výroby krmiv tak, „aby se proti roku 1953 zvýšila v roce 1957 celkem o 32 %, v tom seno z luk a víceletých pícnin o 90 %“. Výnosy luk a pastvin se měly zvýšit o 50 %. Tohoto cíle mělo být dosaženo prostřednictvím lepšího využívání močůvky, chlévské mrvy, kompostů, vápna, Thomasovy strusky a úpravou vodních poměrů. Nedostatky byly také spatřovány ve špatné kvalitě píce, což bylo často způsobeno příliš pozdním termínem sklizní a špatnými konzervačními postupy.

Potenciál ke zvyšování produkce krmiv byl viděn ve zlepšení stavu stále ještě rozsáhlých ploch trvalých travních porostů. Pro splnění cíle bylo relativně málo času a doporučená radikální obnova orbou je náročná a trvá dlouho. Vědecká činnost se proto mimo jiné zaměřovala na možnosti rychlého zlepšení výnosové schopnosti a kvality luk. K odstraňování plevelů se zkoušely různé herbicidy a experimentovalo se s různými způsoby hnojení. Např. na porost byly aplikovány vysoké dávky kainitu (draselné hnojivo) nebo dusíkatého vápna. Došlo k celkovému popálení porostu, který musel znovu obrůstat. Ukázalo se, že kvalitní druhy trav a jetelovin regenerují lépe a rychleji než plevele. V praxi se také provádělo ruční pletí luk v mimovegetačním období, kdy je v zemědělství práce nejméně. Snahy byly svým způsobem úspěšné, protože produkce sena se v průběhu 50. let zvýšila téměř na dvojnásobek (graf 30).

Graf 33: Rozsah použití přípravků na ochranu rostlin v ČR v letech 1950–2000.



Graf 34: Vývoj spotřeby přípravků na ochranu rostlin v letech 1980–2005.



V 60. letech postupné rozorávání travních porostů pokračovalo. Na vhodných lokalitách vznikaly rozsáhlé pastevní areály, většina porostů však byla využívána sečně. Při zakládání dočasných luk se doporučovalo vysévat směs, která obsahovala 35 % jetelovin a 65 % trav. Jako převažující jetelovina se v závislosti na podmínkách používal jetel luční, jetel zvrhlý a vojtěška. Ty dávaly vysoké výnosy už ve druhém roce po založení. Celkově se do směsí používal poměrně široký sortiment druhů jak jetelovin, tak i trav. V 70. letech se začaly objevovat výnosnější a kvalitnější tetraploidní odrůdy jílků a jetele lučního a v Šlechtitelské stanici Hladké Životice se rozvíjí i mezirodová hybridizace jílků s kostřavami a vzniká tzv. „Festulolium". To se stalo základem mnoha lučních i pastevních směsí. V průběhu 80. let 20. století plochy travních porostů dosáhly svého minima za celou historii moderního zemědělství. Ve sledované oblasti okolo vodárenské nádrže Švihov na Želivce klesl jejich podíl pod 20 % celkové rozlohy zemědělské půdy (graf 25), přičemž rozdíl mezi rozlohou luk a pastvin se ještě navýšil. Ačkoliv došlo k poklesu, tak z objektivního hlediska se představy o rozsáhlém rozorávání trvalých porostů a jejich převádění na dočasné neuskutečnily. Jen velmi málo ploch bylo oratelných. K velkému posunu však došlo ve výši výnosů sena, které se od konce 40. let zvýšily více než trojnásobně (graf 30).

Právní úprava ochrany přírody v moderním slova smyslu se datuje na území dnešní ČR teprve začátkem 20. století se vznikem samostatné Československé republiky. O samostatný zákon o ochraně přírody usilovali čeští odborníci a politici již od počátku 20. století, do roku 1956 byla předložena řada návrhů, které však nebyly schváleny. Až v roce 1956 bych schválen první zákon o státní ochraně přírody na území dnešní ČR, zákon č. 40/1956 Sb., o státní ochraně přírody. Konzervační přístup k ochraně přírody, panující na území ČR od 19. století, nebyl schopen zabránit rozsáhlé degradaci přírody a krajiny. Nezohledňoval také dynamický vývoj přírodních stanovišť a ekosystémů. Jednou z příčin špatného stavu přírody a krajiny byla i skutečnost, že socialistický stát dával často přednost hospodářským zájmům, neboť v 50. letech bylo prioritou zvyšování zemědělské produktivity. Počátkem 70. let 20. století však již bylo zřejmé, že ochrana přírody založená na představě vyjádřené zákonem č. 40/1956 Sb. je naprosto nedostačující. Neutěšený stav přírody i ve zvláště chráněných územích dokazoval, že nestačí chránit přírodu jen na vybraných územích, ale že je nezbytné chránit ji na celém území státu. V roce 1972 se ve Stockholmu konala první světová konference o životním prostředí na mezinárodní úrovni. Následně byl přijat politický dokument, stanovující principy a cíle v oblasti životního prostředí – I. environmentální akční program. V sektoru zemědělství se tento akt odrazil v roce 1975 přijetím směrnice o méně příznivých oblastech – SR č. 268/75 EES. Později, v roce 1987 nabyl účinnosti tzv. Single European Act, který vytvořil právní základ pro environmentální politiku. Byla přijata některá důležitá legislativní opatření: nařízení 797/85 o zlepšování výkonnosti zemědělských struktur (zohledňovalo pomoc pro environmentálně citlivé oblasti), nařízení 1760/87 (ohled pro zvyšování pomocí pro environmentálně citlivé oblasti, přírodní zdroje a krajinu) a dále nařízení 2328/91 ke zlepšování efektivnosti zemědělských struktur (zohledňovalo zemědělství slučitelné se životním prostředím v environmentálně citlivých oblastech a v méně příznivých oblastech). Při vytváření Společné zemědělské politiky, jakožto trhu pro zemědělské produkty, bylo nahrazení národních zemědělských politik prezentováno jako snaha zajištění dostupnosti zemědělských produktů pro spotřebitele a vyšší životní úrovně pro venkovskou komunitu.

Zemědělství v letech 1990–2004

Po roce 1989 nastoupily rozsáhlé celospolečenské i organizační změny. Postupně docházelo k částečné nápravě nepříznivého stavu plošně intenzivní socialistické velkovýroby. Rozmachem soukromého zemědělského sektoru došlo k výraznému zvýšení počtu hospodařících subjektů a rozdělování velkých půdních celků. Téměř 40 let kolektivizovaného zemědělství však způsobilo příliš dlouhé přerušení zemědělské tradice v řadě rodin, a tak je tato tradice obnovována jen částečně. Navíc nastupuje působení volného trhu a zemědělství začíná tvrdě doplácet na odtržení od zpracování a výroby potravin během uplynulých 40 let, kdy rostoucí dovozy zahraničních potravin postupně začínají likvidovat nepružný potravinářský průmysl, který problémy následně přenáší na své dodavatele surovin v podobě nízkých výkupních cen obilí, masa i mléka či špatné platební morálky. Do toho přichází současné zvyšování cen vstupů. Rozevírající se cenové nůžky a tím dlouhodobě nepříznivá ekonomická situace rovněž odrazuje začínající soukromé zemědělce, a proto i přes příznivý trend v počátku 90. let tak zůstává po většinou zachována zemědělská velkovýroba, založená na velkých podnicích, které o něco lépe absorbují tyto změny. Procento zemědělské půdy obhospodařované soukromými zemědělci vystoupá v tomto období z 1% v roce 1989 na asi 27 % v roce 2004, ale přibližně 73 % půdy stále obhospodařují zemědělská družstva a obchodní společnosti (vzniklé po privatizaci JZD a státních statků) s průměrnou rozlohou nad 500 ha. Na druhou stranu zhoršující se rentabilita zemědělské produkce také přinutila hospodařící subjekty podstatně snižovat množství aplikovaných živin i používaných chemických přípravků, což vedlo k omezení často nadměrné intenzity výroby. Spotřeba průmyslových hnojiv se propadla až na asi 90 kg čistých živin na hektar, což je pouze necelý čtyřnásobek spotřeby roku 1947 (graf 23). To se však negativně promítá do poklesu výnosu prakticky u všech pěstovaných plodin (grafy 28 a 30). Od roku 1990 se během tří let snížila o více než polovinu i spotřeba přípravků na ochranu rostlin (tabulka 35).

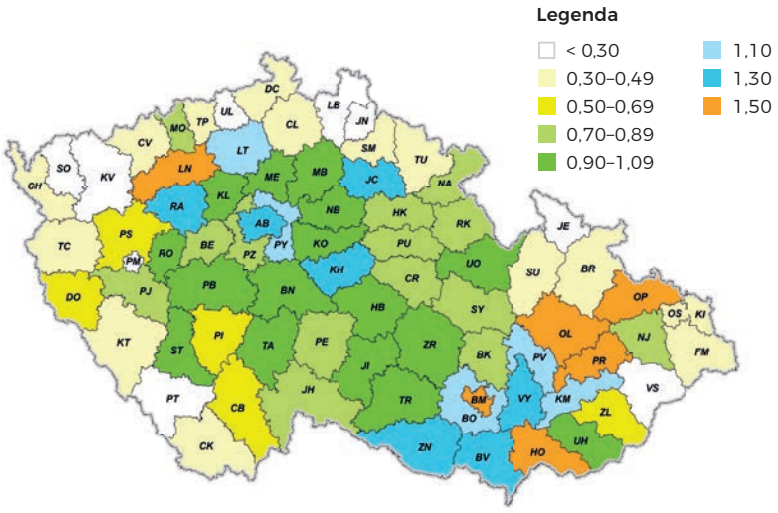
Od roku 1994 dochází k opětovnému pozvolnému nárůstu spotřeby přípravků na ochranu rostlin a od roku 2000 je už spotřeba přípravků prakticky stabilizovaná (graf 34).

Tabulka 35: Vývoj spotřeby přípravků na ochranu rostlin v ČR v letech 1980–2005

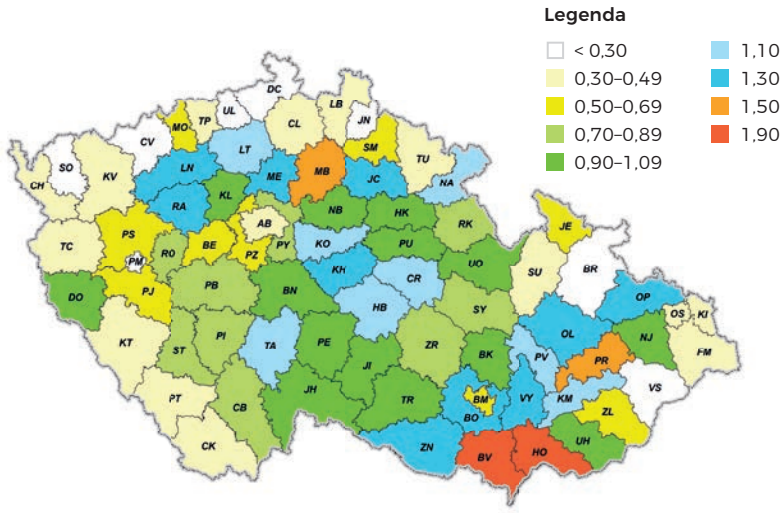
Srovnáv. kritérium	1981	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Spotřeba přípravků (t)	23 650	25 267	23 610	20 027	20 445	20 620	20 888	15 200	11 150	8 451	8 692	9 103	9 196	8 978	10 152	9 009	9 675	10 196	10 684	9 635	9 062	9 645
Spotřeba úč. látek (t)	9 700	10 575	9 740	8 953	8 710	8 550	8 620	6 730	4 682	3 645	3 680	3 782	3 908	3 889	4 136	4 197	4 303	4 388	4 689	4 308	4 236	4 325
Spotřeba přípravků (kg/ha)	5,41	5,81	5,45	4,63	4,73	4,78	4,86	3,54	2,60	2,04	2,08	2,13	2,15	2,10	2,37	2,10	2,26	2,38	2,93	2,25	2,12	2,25
Spotřeba úč. látek (kg/ha)	2,22	2,42	2,25	2,07	2,01	1,98	2,01	1,57	1,09	0,88	0,88	0,88	0,91	0,91	0,97	0,98	1,01	1,03	1,28	1,01	0,99	1,00
Index úč. látek (ha) 1990 –100	110,45	120,40	111,94	102,99	100,00	98,51	100,00	78,11	45,04	43,78	43,78	43,78	45,27	45,27	48,26	48,76	50,00	51,00	63,88	50,25	49,25	49,75

Zdroj: Státní rostlinolékařská správa

Obrázek 49: Zatížení okresů ČR účinnými látkami přípravků (kg) na ochranu rostlin na 1 ha – rok 1994.



Obrázek 50: Zatížení okresů ČR účinnými látkami přípravků (kg) na ochranu rostlin na 1 ha – rok 2000.



S poklesem spotřeby přípravků souvisí i pokles hektarového zatížení zemědělské půdy přípravky na ochranu rostlin. Vývoj hektarového zatížení v ČR je v tabulce 35.

Zatížení účinnými látkami přípravků na ochranu rostlin v jednotlivých okresech ČR v letech 1994 a 2000 znázorňují obrázky 49 a 50. A z uvedených podkladů vyplývá, že ve sledované oblasti okolo vodárenské nádrže Švihov na Želivce (okr. Benešov, Kutná Hora, Havlíčkův Brod a Pelhřimov) se průměrná zatížení okresů účinnými látkami přípravků na hektar pohybují v rozmezí korespondujícím s celorepublikovým průměrem a aktuální situací daného ročníku. Nejvyšší zatížení z uvedených okresů ve sledovaných letech 1994 a 2000 vykazuje okres Kutná Hora, ale zde je vyšší hektarové zatížení způsobeno velkou plochou ovocných sadů, kde je vykazována i vysoká spotřeba pesticidů.

Mezi léty 1993 a 2008 došlo v EU k revizi všech používaných účinných látek přípravků na ochranu rostlin. Z 1000 schválených jich zůstalo povoleno méně než 300 a všechny účinné látky, které na trhu zůstaly, byly odborně posouzeny a splnily kritéria bezpečnosti platná ve své době.

Po roce 2000 v souvislosti s novými předpisy EU o hodnocení a povolování pesticidů dochází k postupné obměně skupin přípravků za méně rizikové a ekologicky přijatelnější účinné látky zejména z hlediska jejich rizikových vlastností pro vodní prostředí (perzistence mobilita, bioakumulace a toxicta).

Výše a druh rizik pro vodní organismy, kvalitu a zdravotní nezávadnost pitné vody jsou vyjádřeny v návodu na použití (etiketě) přiřazenými SPe-větami podle nařízení EU č. 547/2011. SPe věty uvádějí příslušná omezení, jako je zákaz použití v OPVZ/PHO druhého stupně nebo stanovují ochranné vzdálenosti k ochraně vodních organismů od břehové čáry povrchové vody, popřípadě zdroje podzemní vody, případně definují maximální četnost použití přípravku.

Problémem však zůstává nepříznivá struktura rostlinné výroby s vysokým zastoupením ploch kukuřice a ozimé řepky, jejichž pěstování se dosud neobejde bez preemergentních herbicidů.

Přehled v ČR nejčastěji detekovaných účinných látek přípravků v povrchových vodách, který je spojený s informací jejich oblasti použití a celkové spotřeby za období 1999–2015, uvádí tabulka 36.

Tabulka 36: Přehled v ČR nejčastěji detekovaných účinných látek přípravků (t) v povrchových vodách spojený s informací jejich oblasti použití a celkové spotřebě za období 1999–2015

Účinná látka přípravku (skupina biolog. funkce)	Hlavní oblast použití (plodina)	Spotřeba účinných látek přípravků (t)																
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2,4 D (H)	obiloviny	29	72	89	83	90	76	93	95	77	91	63	71	75	78	66	60	58
Acetochlor (H)	kukuřice, olejniny	170	218	233	241	276	253	284	265	280	367	292	233	209	174	101	-	-
Alachlor (H)	řepka	324	340	278	255	206	149	127	145	127	-	-	-	-	-	-	-	-
Atrazin (H)	kukuřice	150	137	131	145	148	114	20	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bentazon (H)	obiloviny, kukuřice, luskoviny	19	15	17	16	14	16	15	14	13	65	13	22	20	16	16	16	20
Dimethoate (I)	brambory	-	1	1	1	1	1	1	1	4	8	6	6	6	1	0	6	8
Chlortorulon (H)	obiloviny	114	117	107	72	120	102	111	98	110	147	148	132	-	91	107	105	118
Isoproturon (H)	obiloviny	224	178	158	130	119	115	141	129	143	216	133	156	153	141	94	73	54
MCPA (H)	obiloviny	319	254	189	177	152	124	102	101	94	103	89	68	63	57	49	45	37
Metazachlor (H)	řepka	73	72	98	89	90	75	93	110	112	191	89	178	196	187	170	152	153
S-metolachlor (H)	kukuřice	3	15	16	27	17	28	45	53	47	51	49	75	94	77	69	60	55
Terbutylazin(H)	kukuřice, brambory	15	14	18	23	16	17	25	91	119	104	109	107	126	112	113	113	117
Terbutryn (H)	brambory, obiloviny	17	14	10	9	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiophanate-metyl (F)	obiloviny	3	3	20	27	25	25	37	22	22	30	25	30	33	39	38	35	42

Legenda

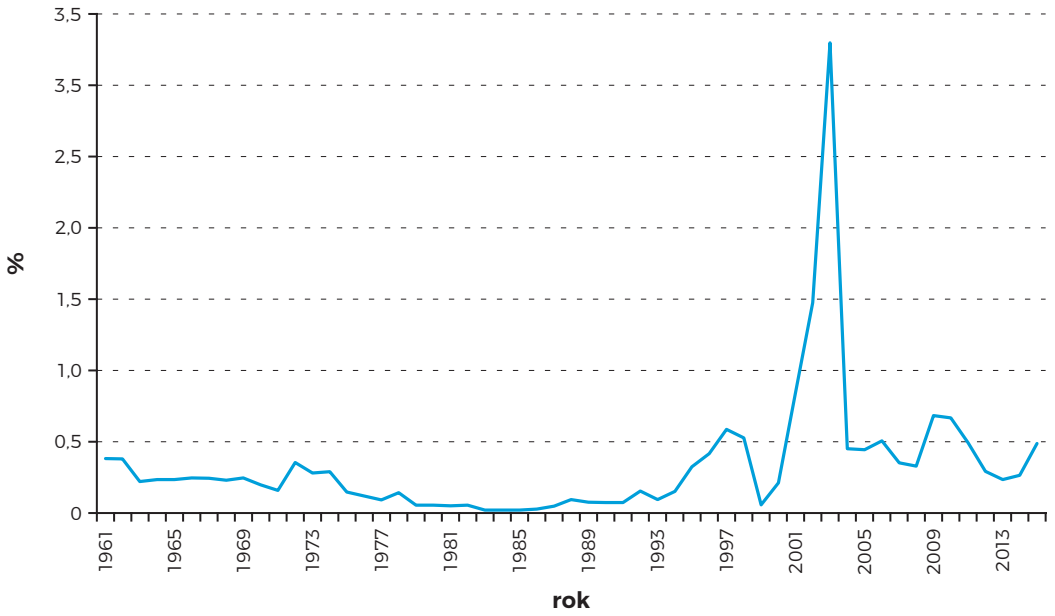
(H – herbicid, I – insekticid, F – fungicid)
Zdroj: Evidence ÚKZÚZ

Ze srovnání vývoje spotřeb nejčastěji detekovaných účinných látek přípravků v povrchových vodách pro okresy v okolí VN Švihov na Želivce v letech 2004 a 2014 (tabulka 37) je patrné, že spotřeby sledovaných účinných látek nevybočují z trendů poklesu či nárůstu spotřeby v celé ČR.

Kromě klasického produkčního využívání orné půdy se v historii vždy vyskytovaly i pozemky z různých důvodů nevyužívané nebo ponechané ladem. Do roku 1990 byly tyto plochy v rámci ČR i jednotlivých jejích částí nepatrné (v ČR do 4 tis. ha = 0,12% o. p.). Nastupující útlum zemědělské produkce na orné půdě si vynutil hledání vhodných metod dočasného alternativního využití nebo uložení do klidu (set-aside) určitého podílu orné půdy tak, aby byl možný pozdější návrat k původnímu hospodaření bez větších problémů a nákladů. Část orné půdy byla při restrukturalizaci převedena do trvalých travních porostů. Dotační tituly vedly ke zvýšení ploch orné půdy uložené do klidu v ČR až na téměř 6 % v roce 2003, ve Východočeském kraji (Kraj Vysočina) bylo v roce 2003 uloženo do klidu 3,3 % orné půdy. Od roku 2004 se plochy uložené do klidu či jiné formy neobdělávané půdy pohybovaly v Kraji Vysočina (graf 35) již jen od 0,3 do 0,7 % orné půdy (v ČR kolem 1,3 % o. p.).

Cílem uložení orné půdy do klidu pomocí „zelených úhorů" bylo zejména zachování nebo zvyšování půdní úrodnosti, minimalizace vodní i větrné eroze, ochrana vodních zdrojů, minimalizace jejich znečištění proplavenými živinami, zabránění zaplevelení pozemku i pozemků sousedních, ochrana okolních a následné kultury před zvýšeným infekčním tlakem chorob a výskytem škůdců, podpora druhové pestrosti, snížení zátěže životního prostředí chemickými prostředky za podmínek minimalizace nákladů na pěstování a ošetřování porostů.

Graf 35: Podíl neobhospodařované orné půdy nebo půdy uložené do klidu (%) z celkové výměry orné půdy v letech 1961–2015.



Poznámka: Údaje jsou za Východočeský kraj a Kraj Vysočina.

Na základě pokusů byly jako nejvhodnější pro dočasné uložení do klidu doporučovány trávy a jetelovinotravní směsi. Jejich výhodou je především dostatečná pokryvnost porostů během celého roku, dobrý protierozní i odplevelující účinek, minimální proplavování živin, možnost mulčování porostů a zúrodňující účinek pro následné plodiny.

Se změnou politické situace se zemědělství otevírá celému světu a kooperuje s nejnovějšími poznatky, plemeny, odrůdami, technikou i technologiemi. Velmi výrazně se diverzifikuje intenzita výroby, kde na jedné straně, především v příznivějších podmínkách, vznikají progresivní farmy uplatňující nejnovější poznatky a technologie, na druhé straně řada subjektů stagnuje a obtížně přežívá či krachuje. Celková produkce rostlinné výroby klesá, ale především nastupující moderní technika výrazně zvyšuje produktivitu práce (foto 41–44).

Dynamicky se mění i živočišná výroba – opouští se nevyhovující technologie, masivně se nakupují vysokobřezí jalovice produktivních plemen (často s dotační podporou), zvyšuje se kvalita vyráběných krmiv. To vše během 10 let zvýšilo užitkovost o asi 3000 litrů na laktaci, což je přibližně 2× větší nárůst než za 40 let socialistického zemědělství. Změnila se i celková struktura živočišné produkce, kdy se v krajině začíná objevovat pasoucí se skot bez tržní produkce mléka a masná plemena ovcí. Díky dotačním podporám došlo i k zatravňování některých erozně ohrožených ploch – pozemků na svazích a v nivách.

Bohužel docházelo i k nežádoucím změnám ve struktuře a rozsahu zemědělské

Tabulka 37: Přehled v ČR nejčastěji detekovaných účinných látek přípravků (kg) v povrchových vodách spojený s informací jejich oblasti použití a celkové spotřebě v letech 2004 a 2014 v okresech VN Švihov na Želivce

	2004	2014	2004	2014	2004	2014	2004	2014	2004	2014
Účinná látka	**Benešov**		**Havlíčkův Brod**		**Kutná Hora**		**Pelhřimov**		**Celkem ČR**	
2,4-D	664,77	773,52	1 413,03	584,93	1 934,36	834,73	589,86	684,36	76 403,66	60 141,03
Acetochlor	2 793,69	0,00	2 096,25	0,00	3 948,86	0,00	1 940,40	0,00	253 028,07	0,00
Alachlor	9 011,54	0,00	2 592,24	0,00	2 135,86	0,00	5 873,28	0,00	149 294,44	0,00
Atrazine	3 482,61	0,00	2 815,37	0,00	1 935,81	0,00	45,00	0,00	114 256,89	0,00
Dimethoate	0,80	**32,00**	0,00	**166,00**	34,40	**710,78**	9,20	**158,03**	961,84	**6 109,78**
Chlorotoluron	8 265,51	3 810,03	2 566,65	974,58	839,25	3 737,84	824,55	1 863,13	102 345,27	104 533,70
Isoproturon	3 466,09	2 145,32	2 230,75	2 253,52	2 884,23	1 223,39	3 648,63	1 331,80	114 627,22	73 389,77
MCPA	2 450,46	921,78	2 003,27	483,08	2 032,74	512,02	1 972,23	750,99	124 379,85	45 410,40
Metazachlor	2 479,36	3 589,99	1 699,28	2 283,00	2 031,96	3 310,62	1 580,54	2 864,80	75 067,43	152 394,41
S-metolachlor	1 315,63	1 892,70	825,63	1 181,03	835,94	1 937,50	632,81	1 194,03	27 804,17	59 552,25
Terbuthylazine	844,89	**2 286,93**	623,63	**1 986,76**	501,56	**1 307,31**	379,69	**2 140,35**	16 652,54	**113 121,08**
Terbutryn	129,54	0,00	299,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2 117,02	0,00
Thiophanate-methyl	2 515,81	41,45	655,13	90,45	1 425,76	603,82	266,00	305,36	25 141,75	35 136,45

Zdroj: Evidence ÚKZÚZ

Foto 41: Současná technika při podmítce. Zdroj: Kvítek T.

Foto 42: Současná technika při setí a výživě. Zdroj: Kvítek T.

Foto 43: Třídílná disková rotační sekačka píce se záběrem 9 m. Zdroj: Kvítek T.

Foto 44: Současný shrnovač sena. Zdroj: Kvítek T.

výroby. Stavební činnost, rozvoj podnikání a infrastruktury mimo jiné vedly a vedou k nejrozsáhlejšímu úbytku zemědělské půdy v historii (graf 26), což lze vnímat jako výrazně negativní trend. Tvrdé tržní podmínky dále přinutily všechny zemědělské subjekty k jednoznačné orientaci na tržní plodiny. Dochází postupně k významnému snížení výměry prakticky u všech pěstovaných polních plodin, při zachování či zvýšení výměr většiny pouze u ozimé pšenice, jarního ječmene a rychle se rozšiřující ozimé řepky. Výrazně se omezuje především pěstování lnu, luskovin, brambor, cukrovky i dalších tradičních plodin. Řada podniků kvůli ekonomice a problémům s odbytem opouští i živočišnou produkci, což vede k prudkému poklesu stavu chovaných přežvýkavců – během 10 let z 3,5 na 1,5 milionu kusů skotu (graf 21). Tím začínají chybět konzumenti objemné píce, a tak z polí mizí i pěstované jednoleté i víceleté pícniny na orné půdě a dále se tak výrazně zužuje sortiment pěstovaných plodin. Prakticky tak mizí osevní postupy a nahrazují je jen krátké osevní sledy tržních plodin. To v konečném důsledku vedlo k nárůstu extenzity hospodaření a v méně příznivých oblastech i k upouštění od obhospodařování některých pozemků. To se v ekologii krajiny projevuje příznivě.

Plocha trvalých travních porostů začala v tomto období opět narůstat. Nové porosty byly zakládány především v oblastech, kde se ekonomicky nevyplácelo pěstovat polní plodiny. Jednalo se především o horské oblasti, pozemky na svazích, v záplavových oblastech, s mělkými kamenitými půdami, zamokřené pozemky apod. Agrární program předpokládal, že trvalé travní porosty se postupně rozšíří až na 35 % zemědělské půdy, což by odpovídalo evropskému průměru. Tato předpověď se nevyplnila, přesto se plochy travních porostů rychle zvýšily na úroveň počátku 60. let (grafy 24 a 25), tzn. do stavu před rozsáhlejším zorňováním. V oblasti vodárenské nádrže Švihov na Želivce však v 90. letech k rozsáhlejšímu zatravňování nedošlo. Podíl travních porostů ze zemědělské půdy se zvýšil pouze o necelé 1 %. Oblast se nalézá na okraji Českomoravské vrchoviny s poměrně příznivými podmínkami, a proto zde hospodaření pokračovalo bez větších změn.

V této době došlo k velké změně v přístupu k hospodaření na loukách a pastvinách. Příčinou byl odlišný politický náhled na zemědělství a celkový útlum živočišné výroby, čímž začínají vyvstávat problémy s uplatněním nadprodukce píce, která při klesající živočišné produkci nenachází uplatnění. Podporovat produkci a kvalitu travních porostů hnojením, odplevelováním apod. se tak stalo zbytečně drahé a neefektivní. Důsledky extenzifikace se projevily poklesem výnosů (graf 30). V prvních letech rozdíl ve výnosech nebyl tak vysoký, protože si travní porosty částečně zachovávaly úrodnost, které bylo dosaženo v předchozím období intenzivním hnojením. Produkční schopnost porostů je však velmi závislá na dostupnosti dusíku a ten se v půdě dlouhodoběji neuchovává. Buď je rychle zkonzumován rostlinami, nebo se vyplaví. Výnosy proto zřetelně poklesly již během 3 let.

Po roce 1989 bylo v ČR přistoupeno, v souvislosti s rozsáhlými politickými, hospodářskými a společenskými změnami k přijetí nové právní úpravy ochrany přírody a krajiny a v roce 1992 byl přijat dosud platný zákon České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Tato úprava již vychází ze zásad prevence, předběžné opatrnosti, udržitelného využívání přírodních zdrojů, integrované ochrany atd. a doplňuje stávající konzervační přístup k ochraně dochovaného přírodního

prostředí aktivním přístupem za účasti jak státu, tak soukromých osob, často vlastníků pozemků či nevládních ekologických sdružení. Výrazným mezníkem pro zemědělský sektor byla konference v Rio de Janeiru v roce 1992, kde byl formulován princip trvalé udržitelnosti, který následně převzala i Maastrichtská smlouva. Významným momentem reformy Společné zemědělské politiky (SZP) v roce 1992 bylo podpoření farmářů k méně intenzivním produkčním metodám a tedy snížení přebytků produkce a zohlednění vlivu na životní prostředí, kdy výsledkem byla tzv. agroenvironmentální opatření. Společně s touto reformou byla přeformulována strategie strukturálních fondů a aspekt životního prostředí byl takto zařazen do politiky rozvoje venkova v rámci EU.

Česká republika se sousedními státy uzavřela mnoho bilaterálních a regionální kooperačních úmluv týkajících se životního prostředí, které se zaměřují na vodní zdroje a znečištění – Dohoda o mezinárodní komisi pro ochranu Labe, Dunaje a Odry a jejich povodí. Jejich význam spočívá ve snižování znečištění vod způsobeného zemědělskou činností. Každý typ ovlivnění jakosti vody však vyžaduje určitý typ opatření. Některá opatření jsou specifická, jiná současně řeší řadu typů ovlivnění jakosti vody. Mezi nejčastější opatření je řazeno zatravnění (drah soustředného odtoku, nejzranitelnějších míst – vyloučení orné půdy, zatravnění zasakovacích pásů), zalesnění, výsadby větrolamů a zatravnění inundačních území (Kvítek a kol., 2005). Především na základě terénních průzkumů jsou zpracovány projekty, na jejichž podkladě jsou vytvořeny návrhy na ochranná pásma vodních zdrojů (OPVZ).

V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce v té době bylo výrazné zastoupení ploch orné půdy (z části odvodněných), jejichž intenzivní obhospodařování spolu s hustým osídlením negativně ovlivňuje jakost vody ve vodní nádrži. Na základě výsledků dosažených z pilotního projektu na návrh PHO pásem hygienické ochrany I. a II. v letech 1995–1998 a aktualizace terénního průzkumu došlo k navýšení zastoupení zatravněných ploch v rámci OPVZ ochranného pásma vodního zdroje II. stupně (Kvítek a kol., 2004).

Zemědělství po roce 2004

Po vstupu Česka do Evropské unie začíná další významný milník ve vývoji zemědělství. Nastupující dotační systém založený na platbách na hektar stabilizoval zemědělskou produkci a zvýšil zájem o obdělávání půdy. Systém dotací na jednu stranu umožnil i větší investice do výroby, na druhou stranu ale zakonzervoval i mnohdy neefektivní pokračující způsob výroby. V této době souběžně dochází i k výraznému stimulu pro intenzivní výrobu, a to je nárůst poptávky a tím i cen u většiny zemědělských komodit. Tento trend vede opět k velkoplošnému, intenzivnímu zemědělství, zaměřenému na maximální produkci. Výnosy pěstovaných plodin v tomto období opět stoupají (graf 28–30). Roste znovu spotřeba hnojiv, ale bohužel nevyrovnaně jen u dusíkatých, zatímco spotřeba fosforečných i draselných hnojiv zůstává velmi nízká (graf 23). Ohledně sledování spotřeby přípravků na ochrany rostlin došlo ke změnám podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1185/2009 ze dne 25. listopadu 2009 o statistice pesticidů. Od roku 2010 je výběr subjektů za účelem sběru a zpracování údajů o spotřebě účinných látek obsažených v přípravcích na ochranu rostlin realizován ve spolupráci s Českým statistickým úřadem (ČSÚ). Porovnávání časových řad z tohoto období tedy není statisticky průkazné. Přehled dostupných dat spotřeby přípravků na ochranu rostlin za posledních 10 let uvádí graf 36.

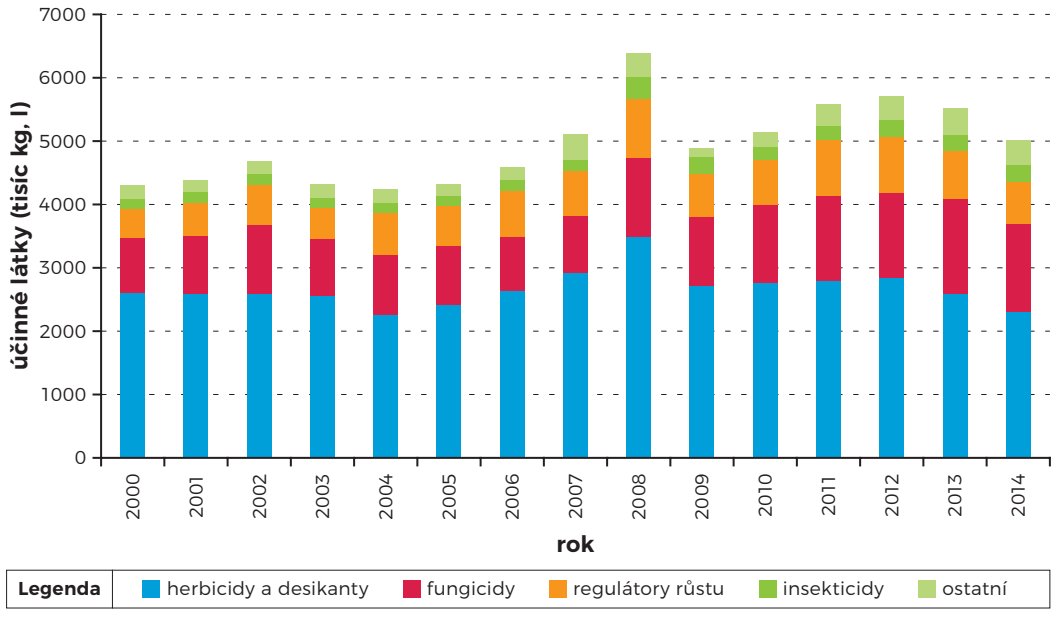
Další důležitou změnou pro používání pesticidů je Národní akční plán ke snížení používání pesticidů v České republice (dále NAP). NAP připravila Česká republika v roce 2012 podle čl. 4 směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů. NAP je soubor opatření, kterým je ve členských státech EU realizován program snížení nepříznivého vlivu přípravků na ochranu rostlin na zdraví lidí a životní prostředí od 1. 1. 2013. Každoročně probíhá hodnocení plnění stanovených 69 opatření v gesci různých ministerstev. Samostatně se hodnotí plnění obecných opatření NAP, dále opatření v oblasti ochrany zdraví lidí, oblasti ochrany vod, v oblasti snížení rizik spojených s používáním přípravků na ochranu rostlin z hlediska necílových organismů a v oblastech významných pro ochranu přírody a krajiny a konečně i v oblasti optimalizace využívání přípravků bez omezení rozsahu zemědělské produkce a kvality rostlinných produktů.

Mezi nejvýznamnější opatření směřující ke snížení používání pesticidů v ČR kromě neustále se zpřísňujících podmínek pro hodnocení a povolování jejich účinných látek patří zavedení integrované ochrany rostlin. Dále je to zavedení systému pravidelného kontrolního testování mechanizačních prostředků na ochranu rostlin s postupnou obměnou a modernizací aplikační techniky, vzdělávání odborné veřejnosti s uplatňováním požadavku odborné způsobilosti pro osoby, které s přípravky pracují nebo poskytují poradenství, a rovněž cílený státní dozor zaměřený na oblast nakládání s přípravky aj.

Trend velkoplošného pěstování však jen dále podporuje negativní trendy v omezení sortimentu pěstovaných plodin pouze na ekonomicky efektivní tržní plodiny. Vysoká rentabilita rostlinné produkce spolu s plošně vyplácenými dotacemi na hektar zemědělské půdy vede k enormnímu zájmu o obdělávání půdy, což vede i k velkému nárůstu nájemného (pachtovného), a to především u velkých půdních celků v úrodných oblastech. Vymezení méně příznivých oblastí pro zemědělskou výrobu (LFA) a jejich dotační podpora na jedné straně zabránily upouštění od obdělávání zemědělské půdy i potenciálnímu příliš intenzivnímu hospodaření v některých částech těchto území. Na druhou stranu je zde tendence vytvářet systém, který pouze zakonzervuje udržování krajiny, ale bez další přidané ekonomické hodnoty v podobě výroby mléka, masa či dalších komodit.

Otevření evropského trhu v rámci EU však způsobilo i odbytové problémy, zejména u navazujícího zpracovatelského a potravinářského průmyslu, což se projevilo především

Graf 36: Spotřeba účinných látek (tisíc kg, l) v České republice v letech 2000–2014.



Kategorie ostatní zahrnuje:
adheziva, aditiva, adjuvanty, antitranspiranty, deficienční kompenzace a komoitní substance, dezinfektanty, mořidla insekticidní a fungucidní, mykobakteriální přípravky, oleje, pasivní pomocné prostředky, repelenty a rodenticidy

v segmentu živočišné výroby. Kolísavý zájem o produkty živočišné výroby, její nízké výkupní ceny a drahé krmné obilí vedly k dlouhodobé negativní ekonomické bilanci v tomto sektoru zemědělství spojené s rušením nerentabilních chovů. Pokles stavů monogastrů vedl k rostoucí nadprodukci obilí, kterou bylo třeba exportovat. Pokles stavu přežvýkavců zase vedl k další nadprodukci píce z travních porostů a dalšímu snižování výměry víceletých pícnin na orné půdě až na historicky nejnižší hodnoty (tabulka 34). Nastupuje tak nepříznivá tendence vyvážet suroviny (obilí, případně mléko) a dovážet výrobky s vyšší přidanou hodnotou (maso, mléčné výrobky). V této době také začíná nastupovat nový fenomén, a to je výroba tepla a elektrické energie v zemědělských podnicích, která je navázána na dotované ceny elektřiny. Na konci prvního desetiletí se tak začínají ve větší míře objevovat zemědělské bioplynové stanice, které však místo nadbytečné píce z trvalých travních porostů zpracovávají především kukuřičné siláže a kejdu, což vede k rozšiřování ploch s kukuřicí a její nadměrné koncentraci v určitých lokalitách. To jen prohlubuje negativní důsledky jejího pěstování v krajině.

V důsledku výše popsaných negativních ekologických trendů došlo od roku 2015 ke změně systému zemědělských dotací z EU a mnohem větší důraz je kladen na ekologické aspekty zemědělství v krajině, tzv. „greening“. Jedná se o speciální platbu pro zemědělce, dodržující zemědělské postupy příznivé pro klima a životní prostředí. Je třeba dodržet určitou diverzitu pěstovaných plodin a vyčlenit minimálně 5 % z orné půdy jako plochu využívanou v ekologickém zájmu (EFA). I přes určité kontroverze a nedostatky tohoto opatření lze v zatím jen velmi krátkém období jeho účinky na zemědělskou praxi na obhospodařování orné půdy hodnotit spíše pozitivně.

V roce 2005 byly plochy travních porostů výrazně větší než v předcházejícím období (graf 24). Tento nárůst však není jednoznačný, protože došlo ke změně metodického postupu ve vyhodnocování dat. Příčinou byl přechod správních jednotek z okresů na kraje. Od roku 2002 ČSÚ uveřejňuje pouze data za celý Kraj Vysočina a data pro okresy v oblasti vodárenské nádrže Švihov na Želivce nejsou nadále dostupná. Celkově v Kraji Vysočina došlo k rozsáhlejší extenzifikaci, jež se projevila v jeho okrajové oblasti. Příčinou jsou horší klimatické, půdní a socioekonomické podmínky. Zatravňování bylo navíc podporováno různými dotačními tituly, které byly zaměřeny na zlepšení environmentálního přístupu v zemědělství. Zakládání a udržování travních porostů ve stavu, který ochraňuje a zlepšuje životní prostředí, se stalo společným tématem všech členských států EU. Na mnoha plochách jsou upřednostňovány neprodukční funkce travních porostů. Původní produkční využívání se zachovalo jen tam, kde je nadále chován skot. Preferována jsou masná plemena, která je možné pást po celé vegetační období. Mléčná plemena byla vyšlechtěna k tak vysoké produkci, že se stala velmi náročná na kvalitu krmení, a proto se v našich podmínkách pastevní chov dojnic využívá jen výjimečně.

Největší podíl zemědělské půdy v Kraji Vysočina zaujímaly travní porosty v roce 2014 a to 23,5 %, což znamená téměř 85 tisíc hektarů. Většina z nich je vedena v rámci ekologického zemědělství a jsou na ně pobírány dotace. To umožňuje alespoň základní údržbu porostů. Většinou se jedná o seč jednou až dvakrát ročně, která někdy bývá nahrazena mulčováním. Na špatně dostupných lokalitách a především na lokalitách, které jsou ceněny pro své jedinečné druhové složení, se doporučuje extenzivní pastva nenáročných plemen skotu nebo ovcí. Navzdory státní i evropské podpoře však řada ploch zůstává ladem a pomalu degradují. Často jsou zarůstány náletovými dřevinami nebo se na nich šíří některé invazivní druhy, které vytlačují původní druhy našeho ekosystému.

Vstup a členství v EU přineslo od roku 2004 mnoho změn jak v oblasti rozvoje venkova a zemědělství, tak i ochrany životního prostředí. Vstupem se otevřela možnost využívání prostředků Společné zemědělské politiky z podpůrných programů zaměřených na rozvoj venkova. Do roku 2006 bylo možné pro zemědělství i na ochranu životního prostředí čerpat ze tří tzv. předvstupních fondů: SAPARD – nejdůležitější fond pro zemědělství, co se týče podpory zavedení institucionálního systému a systému implementace nových politik; PHARE podporoval založení institucí a ISPA byla zaměřena na rozvoj infrastruktury v souladu s ochranou životního prostředí.

Období po vstupu do EU vyžadovalo převzetí agroenvironmentální politiky, politiky životního prostředí a harmonizovaných technických standardů EU. Horizontální plán rozvoje venkova (HRDP) stanovil hranice a cíle hlavních agroenvironmentálních opatření a zahrnul i podporu k omezení degradace půd (ochrana před půdní erozí a vysycháním) a znečištění vody – zvýšení ochrany kvality vod, k ochraně biodiverzity, péče o krajinu jako kulturní dědictví a k podpoře činností spojených s ochranou životního prostředí. Státní politika životního prostředí pro období 2004–2010 usilovala o dosažení dalších cílů, jakým je i omezení znečištění vod včetně znečištění způsobeného zemědělskou činností. Lze konstatovat, že některé cíle se nedaří naplňovat dlouhodobě. Jedná se především o degradační procesy půdy, ochranu a množství jakosti povrchových a podzemních vod a zvyšování retence vody v zemědělské krajině.

1.11

Jaroslava Nietscheová
Michal Krátký
Tomáš Kvítek
Dana Goldsteinová

Ochranná pásma vodního zdroje

Příroda má ve zvyku vymáhat velmi lichvářské úroky.

Michel Eyquem de Montaigne
Francouzský renesanční myslitel, humanista, skeptik

Atmosférické srážky se na našem území vyskytují nerovnoměrně jak co do místa, tak co do množství. S tím úzce souvisí i nutnost harmonizace ochrany vod a hospodářského využití nemovitostí, zejména zemědělských pozemků. Původní právní úprava ochrany vodních zdrojů vznikala v jiných společenských podmínkách, prakticky pro socialistickou zemědělskou velkovýrobu. Pozemky byly užívány jednotnými zemědělskými družstvy a jinými socialistickými organizacemi zejména státními statky. Vlastníci pozemků neměli na jejich způsob užívání žádný vliv a tím prakticky ani žádný zájem.

Ochrana vodních zdrojů musí být především veřejnoprávní. Proto byl vytvořen institut pásem hygienické ochrany, později ochranných pásem vodních zdrojů. Původně byla ochrana vodních zdrojů zaměřena především na jejich zdravotní nezávadnost, a proto byla v kompetenci hygienických orgánů. Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 45/1966 Sb., o vytváření a ochraně zdravých životních podmínek na základě zákona č. 20/1966 Sb., o péči o zdraví lidu byl zaveden institut pásem hygienické ochrany vodních zdrojů. Následně byl tento princip hygienickými orgány dále rozpracován. Podrobné ustanovení o tom, jak mají být tato ochranná pásma stanovena, jak mají být umístěna a jaká omezení v nich mají být uplatněna, vycházela z tzv. směrnice ministerstva zdravotnictví ČSR č. 51/1979 hygienických předpisů o základních hygienických zásadách pro stanovení, vymezení a využívání ochranných pásem vodních zdrojů určených k hromadnému zásobování pitnou a užitkovou vodou a pro zřizování vodárenských nádrží. Směrnice č. 51/1979 byla registrována ve Sbírce zákonů, a proto byla obecně závazným právním předpisem. Tato právní úprava byla velmi detailní a k ochraně vodních zdrojů určovala celá rozsáhlá území bez ohledu na to, zda reálnou činností mohlo či nemohlo dojít k ovlivnění vodních zdrojů. Ochrana vodních zdrojů byla později upravena zákonem o vodách (vodní zákon) č. 138/1973 Sb., který nabyl účinnosti 1. 4. 1975.

Jednotná zemědělská družstva a jiné socialistické organizace, především státní statky obhospodařující zemědělské pozemky už z politických důvodů zpravidla trpěly různá omezení v jejich obhospodařování a užívání uložená rozhodnutími tehdy příslušných správních orgánů zejména v situaci, kdy vodní zdroj sloužil k zásobování jejich vlastních členů a pracovníků. Později byl zákonem č. 102/1976 Sb., o odstraňování ekonomické újmy socialistických zemědělských organizací zaveden institut tzv. ekonomické újmy v době od 1. 10. 1976 do 1. 7. 1992, který upravoval náhradu za omezení v zemědělském obhospodařování pozemků z důvodu ochrany vodních zdrojů.

Tento právní předpis stanovil, že „organizace“, v jejímž zájmu se omezuje hospodaření na zemědělských pozemcích, je povinna poskytnout finanční prostředky na opatření kompenzující snížení zemědělské produkce nebo zhoršení hospodářského výsledku zemědělskému družstvu nebo jiné organizaci obhospodařující zemědělské pozemky ve stanovených ochranných pásmech. Tato kompenzace mohla být provedena i výstavbou nových objektů – tedy nebyla nijak zaměřena na ochranu vodního zdroje – a nemohla překročit 100 000 Kč na 1 ha zemědělské půdy. Žádným způsobem se netýkala vlastníků zemědělských pozemků a fakticky byla skrytou formou podpory tehdejšího hospodaření na zemědělských pozemcích socialistickými organizacemi. V současné době právní úprava ochrany vodních zdrojů předpokládá nárok vlastníků nemovitostí, jejichž užívání bylo omezeno z důvodu ochrany vodního zdroje, na náhradu za prokázané omezení užívání jejich nemovitostí. Tento institut má problém ve skutečnosti, že naprostou většinu zemědělské půdy v našem státě obhospodařují jiné osoby, než jsou jejich vlastníci, tj. nájemci a pachtýři. Při rozdrobení pozemkové držby v našem státě – v průměru vlastní každý vlastník jen 0,66 ha zemědělské půdy – je problém, aby byla tato náhrada realizována. Uživatelé zemědělských pozemků proto dlouhodobě požadují změnu právní úpravy tak, aby omezení užívání určitých pozemků z důvodu ochrany vodního zdroje nehradil jejich vlastník – např. snížením dohodnutého nájemného – ale přímo ten, v jehož zájmu je vodní zdroj chráněn – u vodárenských nádrží příslušný státní podnik Povodí a u ostatních vodních zdrojů oprávněný k odběru vody z takového vodního zdroje a to tomu, kdo takové zemědělské pozemky přímo obhospodařuje. Tím by měli být uživatelé zemědělských pozemků přímo motivováni k dodržování stanovených omezení.

Stanovení ochranných pásem bylo v kompetenci tehdejších vodohospodářských orgánů vydáním správního rozhodnutí. Protože tato správní rozhodnutí byla vydávána zpravidla bez časového omezení, je nutno předpokládat, že pokud nebyla jiným správním rozhodnutím zrušena, platí stále. Problém je, že takové správní řízení bylo vedeno s tehdejšími jeho účastníky – tehdejšími vlastníky nemovitostí ve stanovovaných ochranných pásmech. To znamená, že stanovené povinnosti, zejména omezení užívání nemovitostí, byly závazné pro tyto konkrétní osoby. Prakticky by však byly zřejmě nevymahatelné od nynějších vlastníků těchto nemovitostí, pokud se z jakéhokoliv důvodu změnili. To ovšem neplatí, pokud k jejich činnosti je třeba povolení nějakého správního úřadu – např. v případě stavební uzávěry v některých zastavěných územích. Správní úřady jsou tímto „letitým“ rozhodnutím vázány a stavba v takovém území nemůže být příslušným stavebním úřadem povolena.

Už zmíněná směrnice č. 51/1979 hygienických předpisů konstatovala, že dosavadní pásma hygienické ochrany se považují za ochranná pásma stanovená příslušnými vodohospodářskými orgány. To znamená, že i stanovená pásma hygienické ochrany určitých vodních zdrojů existují a platí. Jejich vymahatelnost však má výše uvedené problémy. S tímto faktem se následující právní úprava ochrany vodních zdrojů snažila vyrovnat už v zákoně č. 138/1973 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů. V ustanovení § 19 bylo dáno do kompetence tehdejších příslušných vodohospodářských orgánů stanovení ochranných pásem vodních zdrojů k ochraně jejich vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti jak pro zásobování vodou pitnou, tak i užitkovou. V jejich kompetenci bylo i zakázat nebo omezit dosavadní – fakticky zcela legální a jinde nezávadné – užívání nemovitosti v těchto ochranných pásmech nebo i v nich zakázat určité činnosti. Tento zákon řešil i otázku náhrady pro vlastníky nemovitostí v ochranných pásmech. Ukládal povinnost hradit náklady spojené s uloženými technickými úpravami v ochranných pásmech „organizacím, kterým ochrana vodního zdroje slouží“ – tedy zpravidla oprávněným k odběru vody z těchto vodních zdrojů. Problémem zůstávalo zajištění plnění povinností omezení užívání nemovitostí – i dalšími jejich uživateli, kteří případně ani nebyli účastníky původního vodoprávního území. V určité době bylo zákonem č. 14/1998 Sb., který významně novelizoval

zákon č. 138/1973 Sb., o vodách, zavedeno věcné břemeno ze zákona spočívající v omezení nebo zákazu užívání nemovitostí v stanovených ochranných pásmech vodních zdrojů a mělo být jako závazné pro právní zástupce účastníků řízení zapsáno v katastru nemovitostí. Tento institut se však neosvědčil. Jednak podle tehdejších předpisů nebylo možno zřídit věcné břemeno na vlastních nemovitostech navrhovatele a dále, takto sepsané věcné břemeno významně snižovalo cenu nemovitosti a bylo administrativně náročné. To vedlo k značnému odporu vlastníků nemovitostí proti zřizování ochranných pásem vodních zdrojů.

Nový pohled na ochranu vodních zdrojů přinesl nový dnes platný vodní zákon – zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Především nově byl definován vodní zdroj (§ 2 odst. 8 vodního zákona) jako povrchové nebo podzemní vody, které jsou využívány, nebo které mohou být využívány pro uspokojování potřeb člověka, zejména pro pitné účely. Ochranná pásma vodních zdrojů se podle vodního zákona stanoví jen pro vodní zdroje využívané nebo využitelné pro účely zásobování pitnou vodou.

Současná právní úprava zahrnuje **obecnou ochranu vod**, která vyplývá jako povinnost přímo z vodního zákona – např. ustanovení § 5, 6, 27, 38, 39, 46, 51, 52, 58 a další – i z dalších právních předpisů – např. zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů a další.

Dále zná platná právní úprava takzvanou **zpřísněnou ochranu vod**, která je stanovena v některých významných územích vymezených podle vodního zákona. Jde především o chráněné oblasti přirozené akumulace vod vymezené nařízeními vlády, protože v nich jsou přírodní podmínky umožňující významnou přirozenou akumulaci vod (nař. vl. č. 40/1978 Sb., o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Beskydy, Jeseníky, Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory, Šumava a Žďárské vrchy, nař. vl. č. 10/1979 Sb., o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Brdy, Jablůnkovsko, Krušné hory, Novohradské hory, Vsetínské vrchy a Žamberk – Králíky a nař. vl. č. 85/1981 Sb., o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvarter řeky Moravy). V nich je těmito obecně závaznými předpisy zakázáno zmenšovat rozsah lesních pozemků, odvodňovat je, odvodňovat zemědělské pozemky, těžit rašelinu, těžit nerosty povrchovým způsobem, provádět zemní práce, které by vedly k odkrytí souvislé hladiny podzemních vod, těžit a zpracovávat radioaktivní suroviny, ukládat radioaktivní odpady nebo ukládat oxid uhličitý do hydrogeologických struktur s využitelnými nebo využívanými zásobami podzemních vod v rozsahu, který je stanoven příslušným nařízením vlády. Výjimky z této zpřísněné ochrany vod jsou přípustné jen ve zcela mimořádných případech a mohou být uděleny jen rozhodnutím Ministerstva životního prostředí po předchozím souhlasu vlády.

Obecná ochrana vod i zpřísněná ochrana vod vyplývá z obecně závazných právních předpisů, a proto je povinností všech právnických i fyzických osob to uskutečňovat na jejich vlastní náklady.

Speciální ochrana vod je podle vodního zákona stanovována na místech, v rozsahu a s konkrétními úpravami a opatřeními obecné povahy příslušného vodoprávního úřadu (§ 30 vodního zákona). Dosavadní ochranná pásma povrchových vodních zdrojů byla zaměřena z hlediska ochrany jakosti vod a plošného znečištění na znečištění dusičnany. Původní ochranná pásma podle směrnice 51/1979 hygienických předpisů předpokládala, že budou zahrnovat rozsáhlá území, u vodních zdrojů souvisejících s vodními toky nebo u vodárenských nádrží to byla prakticky celá povodí až k místu povoleného odběru povrchové vody.

Následně se dospělo k závěru, že tak rozsáhlá ochrana se míjí účinku a zároveň bezdůvodně omezuje vlastníky nemovitostí, zejména v souvislosti s obhospodařováním zemědělských pozemků.

Na mnoha místech byla ochrana vodních zdrojů znásobena tím, že bylo v konkrétním místě stanoveno několik ochranných pásem na sobě s různou mírou a způsobem omezení užívání nemovitostí, různými uloženými opatřeními a ve prospěch různých subjektů. Logicky se tedy dospělo k nutnosti ochranu vod diferencovat tak, že budou stanovována ochranná pásma vodních zdrojů jen na místech, v nichž může skutečně dojít ke znečištění vodního zdroje. Začal se využívat model zón diferencované ochrany vodních zdrojů (ZDOVZ). Stále se však vycházelo z ochrany před znečištěním vodního zdroje dusičnany (současné vědecké poznatky prokázaly vhodnost zatravnění v ZDOVZ při ochraně vod před pesticidy). V souvislosti s dotační politikou Evropských společenství a požadavky na dodržování evropských předpisů při obhospodařování pozemků jako podmínky pro získání dotace nastal v ochraně vodních zdrojů významný posun. Plošné znečištění dusičnany se stalo méně významným. Jejich množství ve vodě určené k úpravě na vodu pitnou pro zásobování obyvatel je stanoveno na 50 NO_3^- mg/l. Nad tento limit by neměla být taková voda použita na úpravu na vodu pitnou. V souvislosti s intenzifikací zemědělské výroby a obhospodařováním pozemků a samozřejmě s rozvojem monitoringu jakosti vody ve vodních zdrojích a také analytických metod se stalo velmi významným ohrožení vodních zdrojů látkami, které jsou součástí prostředků na ochranu rostlin. V souvislosti s tím se jeví jako nezbytné stanovovat ochranná pásma vodních zdrojů tak, aby byla maximálně snížena možnost ohrožení jakosti vody ve vodních zdrojích pesticidy a jejich metaboliky použitými při ošetřování zemědělských plodin. Z toho plyne, že výrazné zmenšování ochranných pásem vodních zdrojů je nevhodné a nebezpečné bez velmi podrobného průzkumu, pasportizace existujících (i nefunkčních) melioračních staveb a zjištění preferenčních vodních cest v podpovrchové zóně zemědělských pozemků. Navrhování ochranných pásem vodních zdrojů je velmi odborná komplexní činnost vyžadující zcela podrobná terénní šetření.

Ochranná pásma vodního zdroje VN Švihov na Želivce

VN Švihov na Želivce je vodárenskou nádrží podle vyhlášky č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů. Ochranná pásma pro ochranu vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti vodního zdroje ve VN Švihov na Želivce byla stanovena:

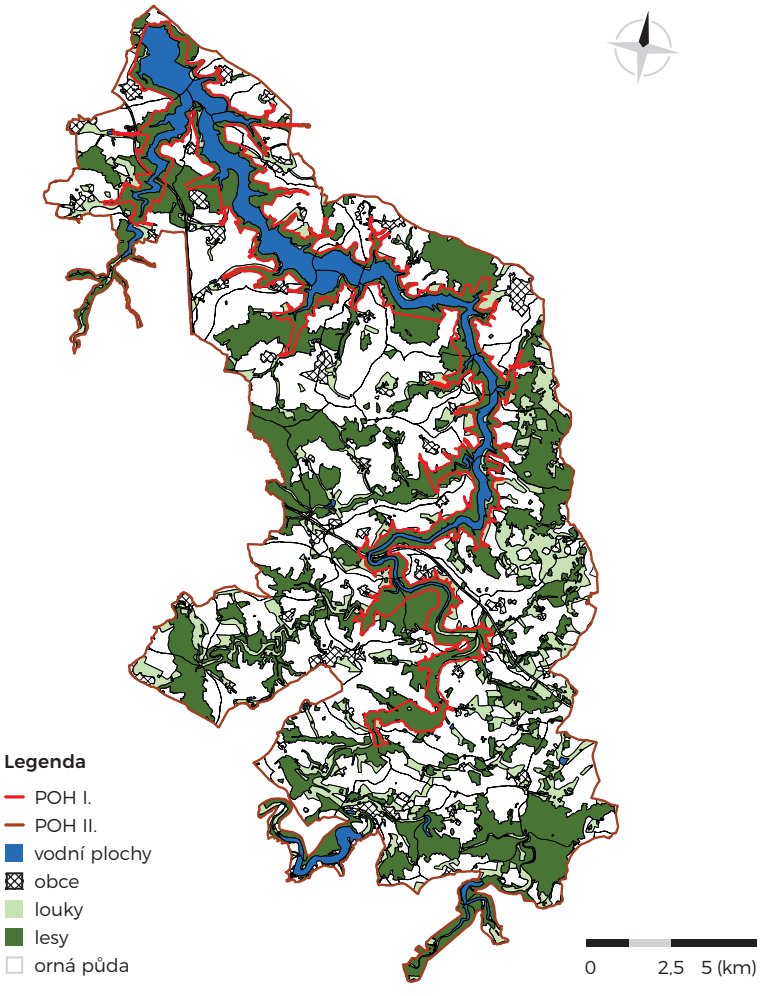
- rozhodnutím odboru vodního a lesního hospodářství a zemědělství Stč. KNV Praha č. j. VLHZ 3350/88 – 235 ze dne 30. 11. 1988, kterým se v souladu s § 19 zákona č. 138/1973 Sb., o vodách, revidují pásma hygienické ochrany vodního díla Želivka a schvalují „Zásady pro zajištění hygienické ochrany vodárenské nádrže a povodí VD Želivka“.
- rozhodnutím referátu životního prostředí Okresního úřadu Kutná Hora č. j.: ŽP/vl. č. 1179/ev. č. 6801/95/Mü ze dne 20. 12. 1995, kterým se stanovuje podle § 19 odst. 1 ochrany vodního zdroje vodárenské nádrže Švihov (Želivka).
- rozhodnutím Územního odboru pro středočeskou oblast Ministerstva životního prostředí č. j.: 800/1211/801 11/96 ze dne 19. 2. 1997, kterým se mění výše uvedené rozhodnutí referátu životního prostředí Okresního úřadu Kutná Hora č. j.: ŽP/vl. č. 1176/ ev. č. 6801/95/Mü ze dne 20. 12. 1995. Podle výše uvedených rozhodnutí byla stanovena ochranná pásma PHO III. stupně v ploše hydrologického povodí Želivky a dále PHO II. stupně – vnitřní a vnější část a PHO I. stupně. Celková rozloha ochranných pásem dosahovala 117 830 ha, z toho 2 650 ha PHO I. stupně, 24 000 ha PHO II. stupně (vnitřní i vnější část) a 91 180 ha PHO III. stupně.

Návrh na změnu ochranných pásem vodárenské nádrže Švihov na Želivce stanovených podle výše uvedených rozhodnutí se žádostí o projednání byl podán v roce 2003 na tehdy kompetentní vodoprávní úřady. V roce 2004 se stal kompetentním vodoprávním úřadem Krajský úřad Středočeského kraje. V květnu 2004 bylo vodoprávní řízení přerušeno z důvodu požadavku doplnění dokumentace, mimo jiné o geometrické plány pro části pozemků zasahujících do ochranného pásma vodního zdroje pro vyznačení věcného břemene do katastru nemovitostí a o seznamy a adresy účastníků řízení. V lednu 2010 Krajský úřad Středočeského kraje rozhodnutím nestanovil

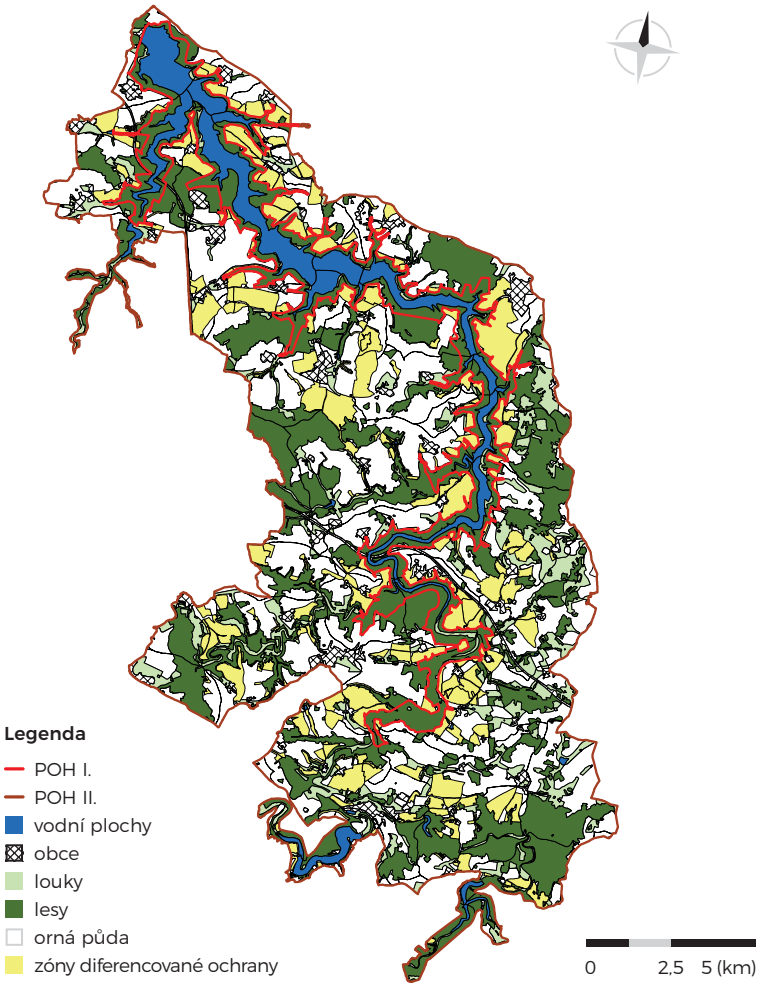
změnu ochranných pásem VN Švihov na Želivce, a proto v březnu 2010 Povodí Vltavy, státní podnik předložil znovu Krajskému úřadu Středočeského kraje žádost o stanovení změny ochranných pásem VN Švihov na Želivce, včetně aktualizované dokumentace a aktualizované databáze účastníků řízení (vlastníků nemovitostí). V listopadu 2010 Krajský úřad Středočeského kraje oznámil veřejnou vyhláškou koncept rozhodnutí v této věci. Účastníci řízení a zejména pak hospodařící zemědělské subjekty podali k návrhu změny ochranných pásem a ke zveřejněné dokumentaci rozsáhlé připomínky. K jejich řešení byla správní lhůta pro rozhodnutí ve věci prodloužena nejprve do konce února 2011, následně do konce září 2011 a pak do konce ledna 2012. V březnu 2013 byla Povodím Vltavy, státní podnik podána žádost o změnu obsahu podání a na základě tohoto návrhu byl v únoru 2014 Krajským úřadem Středočeského kraje zveřejněn koncept výrokové části a odůvodnění rozhodnutí a následně bylo dne 15. 9. 2014 vydáno Krajským úřadem Středočeského kraje rozhodnutí č. j. 125926/2014/KUSK. Proti tomuto rozhodnutí byla podána odvolání, která byla rozhodnutím č. j. 294/500/158748/ENV/15 Ministerstva životního prostředí, odboru výkonu státní správy, dne 15. 7. 2015 zamítnuta a rozhodnutí Krajského úřadu Středočeského kraje č. j. 125926/2014/KUSK nabylo právní moci. Uvedeným rozhodnutím bylo v souladu s ustanovením § 30 odst. 8 vodního zákona změněno stávající ochranné pásmo vodního zdroje (OPVZ) I. stupně. Hranice OPVZ I. je tvořena návodní hranou hráze vodárenské nádrže Švihov a dále pokračuje po hranici maximálního vzdutí vodárenské nádrže. Ochranné pásmo vodního zdroje II. stupně vnitřní část (PHO 2a) bylo změněno tak, že bezprostředně navazuje na nově stanovené OPVZ I. V ochranném pásmu vodního zdroje II. stupně – vnitřní část (PHO 2a) a v ochranném pásmu vodního zdroje II. stupně – vnější část (PHO 2b) bylo dále stanoveno OPVZ II. stupně – zóna souvislé ochrany vodního zdroje (ZSOVZ) a v ochranném pásmu vodního zdroje II. stupně – vnitřní a vnější část (PHO 2a a 2b) a v části ochranného pásma III. stupně bylo stanoveno OPVZ II. stupně skládající se z jednotlivých od sebe oddělených, lokálně vymezených území – zón (ZDOVZ). Rozloha nově stanovené ZDOVZ je 2026,53 ha, rozloha ZDOVZ je 3765,13 ha (obrázek 51 a 52). V ZDOVZ je uloženo na zemědělské půdě převážně realizovat zatravnění – opatření A, a to na pozemcích erozně ohrožených, na odvodněných plochách, které bezprostředně komunikují s přítoky vodárenské nádrže – jako ochrana dolních částí svahů vytvořením sedimentačních pásů a ochrana bezprostředního okolí přítoků vodárenské nádrže. Dále bylo v ZDOVZ uloženo opatření B, které bude uplatňováno na méně ohrožených pozemcích a pozemcích vzdálenějších od vodárenské nádrže z důvodů ochrany před možným vyplavováním nutrientů do podzemních a povrchových vod. Zde se zavádí přednostní pěstování vybraných plodin, jako jsou ozimé obiloviny, ozimé směsky (leguminózy a obiloviny), ozimá řepka. Hnojení zde lze provádět pouze v závislosti na množství živin v půdě a reálně stanoveném výnosu. Aplikaci hnojiv lze provádět podle potřeby plodin v povoleném množství a jen v určitém období a zastoupení víceletých pícnin v osevním postupu nesmí klesnout pod 18 %.

Při zpracování II. etapy změny ochranných pásem vodního zdroje Želivka bylo postupováno metodicky odlišným způsobem od přípravy I. etapy. V rámci II. etapy byla v územní oblasti stávajícího ochranného pásma III. stupně na základě monitoringu v povrchových vodách, probíhajícího od roku 1993, provedena úvodní analýza, na jejíchž základech byly vybrány tři nejdůležitější části – sever, střed a jih – část v povodí vodních toků – potoků Sedlického, Čechtického, Blažejovického a Martinického, části povodí Trnavy a Bělé a malá část povodí Jankovského potoka (Kopaninský potok) s potřebou vymezení zón diferencované ochrany vodního zdroje. Pro jednotlivá povodí IV. řádu bylo stanoveno potřebné procento zatravnění. Tato stanovení byla transformována následně na úroveň jednotlivých řešených katastrálních území. To znamená, že rozsah ZDOVZ byl dán pro jednotlivá katastrální území (k. ú.) dlouhodobým trendem vývoje jakosti vod a zastoupením jednotlivých druhů pozemků. Rozhodující poměr zastoupení trvalých travních porostů (TTP) a orné půdy s limitujícím rozsahem pro ornou půdu je předpokládán 1 : 1. Následně byly ZDOVZ navrhovány pro jednotlivá k. ú. Především bylo zohledňováno riziko urychleného odtoku vody z povodí v místech

Obrázek 51: Bývalé hranice PHO I. a PHO II. stupně.



Obrázek 52: Současný stav OPVZ – I. etapa (v rozsahu bývalého PHO II. stupně).



Obrázek 53: Druhá etapa návrhu OPVZ pro povodí VN Švihov na Želivce.

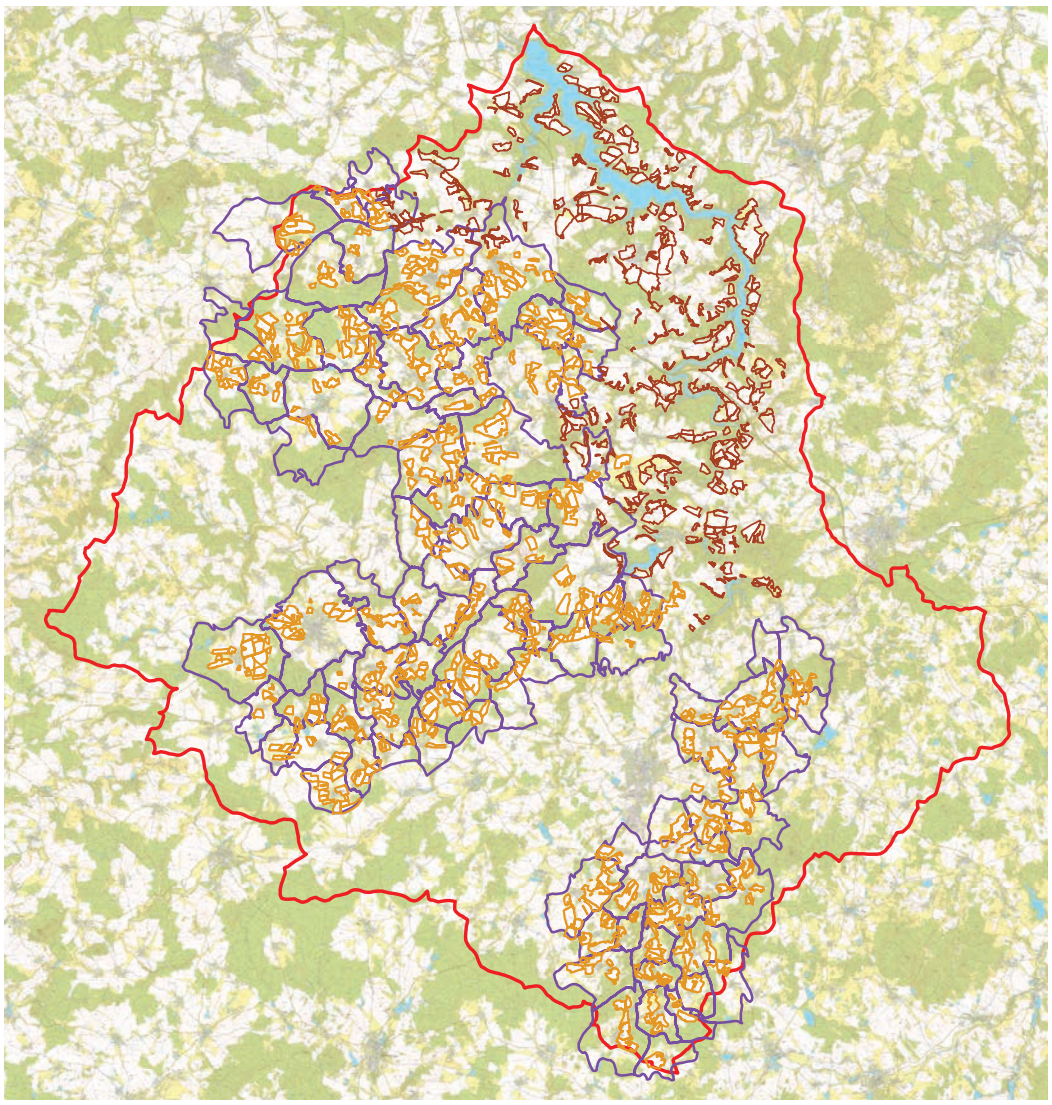


Foto 45: Označení pásma hygienické ochrany II. stupně. Zdroj: Kvítek T.

Foto 46: Označení pásma hygienické ochrany I. stupně. Zdroj: Kvítek T.

Foto 47: Označení ochranných pásem. Zdroj: Kvítek T.

zvýšené infiltrace následkem existujících odvodňovacích staveb. Dále bylo řešeno okolí vodních toků, kde byla snaha stabilizovat vodní poměry prostřednictvím TTP v podobě přímé ochrany vodních toků.

V ZDOVZ navržených v infiltračních lokalitách je doporučeno hospodaření na zemědělské půdě – A – zatravnění a B – způsob hospodaření – se zřetelem na potenciál vyplavování rizikových látek do povrchových a podzemních vod. V ZDOVZ vymezených z hlediska přímé ochrany je navrhováno výhradně zatravnění. Celková výměra v II. etapě navržených ZDOVZ (obrázek 53) ve stávajícím ochranném pásmu III. stupně je 9 682 ha (část sever 2 573 ha, část střed 4 108 ha a část jih 3 001 ha), z toho je opatření A – zatravnění navrženo na 774,5 ha zemědělské půdy.

Na základě zpracované dokumentace podalo Povodí Vltavy, státní podnik v prosinci 2012 Krajskému úřadu Středočeského kraje žádost o II. etapu změny stanovených ochranných pásem vodního zdroje Švihov na Želivce v územní oblasti stávajícího ochranného pásma III. stupně. V květnu 2013 vyzval Krajský úřad Středočeského kraje Povodí Vltavy, státní podnik k doplnění dokumentace o návrh opatření

Foto 48: Označení II. ochranného pásma vodárenské nádrže. Zdroj: Kvítek T.

obecné povahy, lhůta doplnění podkladů byla stanovena až po povolení změny ochranných pásem tohoto vodního zdroje v rámci I. etapy. Po nabytí právní moci rozhodnutí Krajského úřadu Středočeského kraje č. j. 125926/2014/KUSK ze dne 15. 9. 2014 o změně ochranných pásem vodárenské nádrže Švihov na Želivce v rámci I. etapy byly doplněny požadované podklady a v březnu 2016 oznámil Krajský úřad Středočeského kraje projednávání návrhu opatření obecné povahy o změně stanovení rozsahu ochranného pásma III. stupně vodárenské nádrže Švihov na Želivce – opatření obecné povahy nebylo dosud vydáno.

Foto 49: Označení pásma hygienické ochrany podzemních vod – přímá ochrana pomocí I. stupně (oplocené území). Zdroj: Kvítek T.

Foto 50: Ochranné pásmo II. stupně je tvořeno i lesními porosty. Zdroj: Kvítek T.

Rámeček 22

Souvislosti vzniku termínu „zóny diferencované ochrany“

První snahy o změnu pásem hygienické ochrany na ochranná pásma vodního zdroje na VN Švihov na Želivce po roce 1989 lze spatřovat ve spolupráci Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy v. v. i. (VÚMOP) Praha a Povodí Vltavy, státní podnik v roce 1994. Povodí Vltavy, státní podnik, útvar povrchových a podzemních vod generálního ředitelství v roce 1994 zadal VÚMOP Praha zpracovat změnu koncepce ochranných pásem. Kvítek a kol. (1994) poprvé formuloval princip diferencované ochrany vody vodních zdrojů pomocí zón, založený na rozdílnosti půdy v povodí (půdních druhů, typů, hloubky půdního profilu), na potenciální retenci vody v povodí, na vodním režimu půd v oblasti krystalinika a především na využívání půdního fondu. Tento postup se orientoval v ochraně jakosti vody před plošnými zemědělskými zdroji znečištění na trvalé travní porosty. Ochrana pomocí trvalých travních porostů byla vnímána nejen jako princip ochrany jakosti a retence vody, ale zároveň i jako princip snížení rozsahu ochranných pásem. Byla zpracována koncepce ochranných pásem (Kvítek a kol., 1995–1997) a následně bylo přistoupeno k návrhu ochranných pásem I. a II. etapy (Kvítek a kol., 1997, 1998). Princip řešení ochranných pásem se zaměřoval na potenciální kritické lokality (plochy) v povodí – zóny diferencované ochrany (ZDO), později přejmenované na ZDOVZ, kde může docházet k rozhodujícímu znečištění vody z plošných zemědělských zdrojů. Pro zařazení do ZDOVZ byly jako rozhodující vybírány: a) infiltrační plochy v subpovodích, b) erozně ohrožené dráhy soustředěného odtoku a c) pásy podél vodních toků. Dalším faktorem pro zařazení do ZDOVZ byl nesoulad kultur (druhů pozemků) – skutečnost vs. katastr nemovitostí.

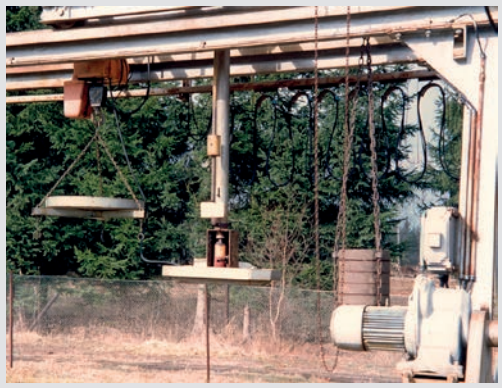


Foto 51: Experimentální lyzimetrická stanice Borkovice (jeřábový portál na vážení lyzimetrů). Zdroj: Kvítek T.

Foto 52: Experimentální lyzimetrická stanice Borkovice s lyzimetry zapuštěnými do úrovně terénu. Zdroj: Kvítek T.

Tyto principy ochrany jakosti vody by nemohly být formulovány bez dvaceti pět let výzkumné činnosti oddělení Využití půdního fondu, později oddělení Hydrologie a jakosti vody VÚMOP, v. v. i., na mnoha experimentálních „lučních“ stanovištích v bývalém 3. stupni PHO vodárenské nádrže Švihov na Želivce – experimentální lokality Vadčice, Onšovice, Velký Rybník, na subpovodí Dehtáře, na povodí Kopaninského toku, a i mimo povodí VN Švihov na Želivce na lyzimetrických stanicích Borkovice, Klečaty a Uhřiněves.

Výzkum probíhal i ve spolupráci s Katedrou pícninářství a trávníkářství Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze. Výzkumné poznatky z problematiky trvalých travních porostů umožnily provést souhrn a syntézu poznatků o vlivu využívání zemědělského půdního fondu na jakost vody a potvrdit význam trvalých kultur v zemědělské krajině pro snižování koncentrací dusičnanů ve vodách, ochraně půdy proti erozi a i ve snížení obsahu pesticidů v podpovrchových vodách (nejsou k dispozici informace o plošném používání pesticidů na trvalých travních porostech v ČR). Výzkum na experimentálních lokalitách byl zaměřen na výnosy trvalých travních porostů ve vztahu k dávkám živin, evapotranspiraci porostů v rozdílných stanovištních podmínkách, sledování vodního režimu půdy, jakosti vody z drenážovaných ploch a jakosti podpovrchové vody, především na přítomnost dusičnanů na mnoha měrných místech Kopaninského toku, včetně sledování trendů z povodí IV. řádu v působnosti Povodí Vltavy, státní podnik, sezonních kolísání a z toho vyplývajících poznatků. Ty pak byly podkladem pro návrhy na změnu nejen systému ochranných pásem vodních zdrojů (OPVZ) v České republice, ale i legislativy. Tuto koncepci navrhl do legislativy zapracovat útvar povrchových a podzemních vod generálního ředitelství, státního podniku Povodí Vltavy (M. Krátký a J. Nietscheová). Koncepce zónové ochrany byla zapracována do zákona č. 138/1973 Sb., o vodách a do jeho novel (zákony č. 14/1998 Sb. a nového zákona č. 254/2001 Sb.).

Foto 53: Experimentální lokalita Velký Rybník. Zdroj: Kvítek T.

2. KAPITOLA

Vodní režim krystalinika

Udržuj hráze v pořádku, jako by to byly sýpky obilí.
Šetři vodu, jako by to bylo zrno.

Čínská moudrost

Tomáš Kvítek

Popis vodního režimu krystalinika nelze jednoduše zobecňovat na celé území vodárenské nádrže, ale principy, příčiny, cesty toku, odtoku a výtoku vody po terénu a pod povrchem jsou stejné. Pro každé jednotlivé subpovodí je však nutno poznat příčiny a zdroje zamokření. Popis vodního režimu bylo tedy třeba uchopit a popsat v detailu, v subpovodích, v povodích IV. řádu. Následně se v povodích III. a II. řádu informace o jednotlivých srážkoodtokových událostech lokálního významu mohou stírat, ztrácet v důsledku překrytí větší plochou povodí, kde nedošlo k těmto událostem, popř. vlivem dalších okolností (přečerpávání vody, čerpání vody pro závlahu, průmysl, navyšování minimálních průtoku apod.). Proto je hlavní část popisu vodního režimu krystalinika zaměřena na vybraná výzkumná experimentální subpovodí, která jsou dlouhodobě monitorována a současně jsou umístěna v povodí VN Švihov na Želivce.

Srovnání základních složek hydrologické bilance ukazuje, že hlavní výzkumná povodí VÚMOP se mezi sebou liší poměrně málo (Doležal a kol., 2003). Všechna totiž leží v podobných klimatických a orografických podmínkách. Odtok vody závěrovým profilem je poměrně malou složkou výdajové strany bilance. Větší část vody spadlé v povodí se vypaří. Kvantifikace extrémně vysokých průtoků a pravděpodobnosti jejich výskytu jsou obtížně předvídatelné, vzhledem ke stále ještě poměrně krátkému období pozorování a výpadkům záznamových přístrojů, k nimž bohužel nejčastěji dochází právě za extrémních průtoků.

Z hydrogramů závěrových profilů hlavních experimentálních povodí a drenážních systémů v těchto povodích byl separován přímý, hypodermický a základní odtok pomocí kombinace dvou separačních technik (digitálního filtru a jednoduchého koncepčního modelu GROUND, popsaného Kulhavým a kol., 2001). V průměru představuje přímý odtok, tj. velmi rychlá složka odtoku (povrchového i podpovrchového), tvořená špičkami průtokových vln, asi 30 %, hypodermický odtok, tj. středně rychlá složka, tvořená déletrvajícími odtokovými vlnami po odečtení špiček, asi 40 % a základní, pomalu proměnlivý odtok asi 30 % celkového odtoku (Doležal a kol., 2003).

Z tohoto základního přehledu hydrologické bilance vyplývá i další pojetí celé práce. Velká část vodního režimu krystalinika je zaměřena na popis hypodermického odtoku, cest a doby zdržení. Až v kapitole 3.2 je pozornost soustředěna na povrchový odtok ve vztahu k odnosu látek. Není to podcenění této složky odtoku, ale vzhledem k zachycení vazby povrchový odtok ve vztahu k odnosu látek je tato část problematiky logicky uvedena až zde.

Výsledky výzkumu v experimentálních subpovodích a povodích přispěly k soustředění pozornosti na identifikaci zdrojových (infiltračních) oblastí. Této problematice se věnovali nejvíce hydrogeologové (např. Hejnák, 2004) ve vztahu k půdě a k podzemnímu odtoku. Janeček definoval čtyři kategorie infiltrace pro model CN, pro podpovrchový odtok nejdříve tuto problematiku řešil Šefrna a Kvítek (Kvítek, 1995) a následně i Janglová a kol. (2003). Na základě tohoto výzkumu se v roce 2005 realizovalo zatravnění infiltrační oblasti subpovodí Dehtáře a přímo se potvrdil význam této oblasti pro koncentrace dusičnanů ve vodách (viz kapitola 3.3). Je obecně vnímáno, že srážky vsakují do půdy v celé ploše povodí (vyjma nepropustných ploch), ale nejpříhodnější podmínky pro vsakování (jak z hlediska rychlosti infiltrace, tak i z hlediska infiltrační kapacity) mají v tzv. infiltrační oblasti. ČSN 73 6532 „Názvosloví Hydrogeologie“, pojem č. 94 definuje infiltrační oblast jako území hydrogeologické struktury, kde nastává infiltrace. Terminologie hydrologická řeší problematiku zdrojových oblastí, což jsou oblasti od rozvodnice až po výtok, většinou hladiny mělké podzemní vody na povrchu terénu. Teoretická a praktická shoda mezi infiltračními a zdrojovými oblastmi je omezená. Voda ze srážek po průchodu půdou sestupuje dále puklinami a póry v hornině. Současně vyluhuje z půdy a z horninového prostředí některé rozpustnější složky. Pokud se tato voda dostane až k patě svahu nebo k místu, kde má snadnou cestu na povrch, vyvěrá jako pramen prosté vody. Vzhledem k morfologii krajiny bývá vzdálenost mezi infiltrační oblastí a pramenné oblasti mělkých podzemních vod poměrně krátká (stovky metrů až kilometry). Voda pramenů má tedy původ ve srážkách. Již Kettner (1954) uvádí, že každý pramen má svou infiltrační oblast, tj. oblast, v níž srážky vsakující do půdy napájejí pramen. Vydatnost pramene závisí na velikosti plochy této infiltrační oblasti. Svou infiltrační oblast mají tedy i studny, vrty, zářezy jímání podzemních vod, a tedy i drenážní systémy.

S rozvojem výstavby drenážních systémů v 60.–90. letech minulého století ve vrchovinných oblastech státu došlo k významným změnám ve vodním režimu půd těchto oblastí. Drenážní systémy ve svažitých lokalitách vytvořily v odvodněné půdě retenční a akumulační prostor pro zasakování srážkové vody, která by jinak odtékala po povrchu nasyceným půdním prostředím. Pro oblast krystalinika (více jak polovina výměry území ČR) ještě v roce 1990 převládala v Čechách představa, že drenážní odtok vzniká ze zasakujících srážek na odvodněných plochách, a proto riziko znečištění drenážních a podzemních vod je omezeno pouze na drenážované plochy. Tvorba podpovrchového odtoku na svahu (často je podchycen i drenážními systémy umístěnými ve svahu), nebyla v devadesátých letech dobře popsána a pochopena. Teprve vyznačení mikropovodí drenážních systémů a zkoumání podmínek vzniku odtoku a jakosti vody přispělo k pochopení významu infiltračních oblastí v povodí.

Vzhledem k tomu, že se v těchto infiltračních oblastech většinou nevyskytuje eroze, viditelný a proto i široce diskutovaný negativní prvek vodního a živinného režimu krajiny, byly tyto oblasti dlouho chápány jako bezproblémové. Proto ve zkoumání vodního režimu krajiny, území krystalinika ČR, zůstávala dlouho neřešena otázka vlivu infiltračních oblastí povodí na odtok vody, odnos látek, koncentraci látek ve vodách, délku doby zdržení vody v systému půda–hornina. Tyto odborné otázky budou diskutovány dále.

Foto 54: Preferenční cesty – praskliny v půdě v době sucha. Zdroj: Kvítek T.

2.1

Pavel Tachecí
Tomáš Kvítek
František Doležal

Cesty a velikost odtoku povrchových a podpovrchových vod

Měkké je mocnější než tvrdé. Voda je mocnější než skála. Láska je mocnější než síla.

Hermann Hesse
Německý spisovatel, nositel Nobelovy ceny za literaturu

2.1.1

Faktory a mechanismy ovlivňující povrchový a podpovrchový odtok

Odtoková odezva (např. povodňová vlna) na příčinnou srážku, pozorovaná v určitém místě na vodním toku, je výslednicí dvou hlavních procesů – tvorby odtoku v ploše povodí a změn tvaru odtokové vlny tím, jak vlna postupuje dolů korytem toku. Pokud chceme sledovat způsob, jakým se ze srážkové vody tvoří odtok z plochy určitého území (tvorbu odtoku), musíme se zaměřit především na měřítko malých povodí (hektary až jednotky km^2). Základní funkční prostorové jednotky malých subpovodí jsou svahy a dno údolí s vodním tokem. Výsledná odtoková vlna (hydrogram odtoku) ve středních a větších povodích (od desítek km^2 výše) je pak poskládána z odtokové odezvy z řady dílčích malých subpovodí, které přispívají ke zvyšování průtoku od pramenních oblastí k ústí toku. Podmínky v každém z těchto subpovodí se poněkud liší.

Podrobná znalost mechanismů, kterými se srážky mění na odtok, není důležitá jen z hlediska množství odtékající vody (povodňových průtoků, minimálních průtoků v době sucha a dlouhodobé bilance), ale je zásadní pro správný popis změn koncentrací látek (např. živin či znečišťujících látek) v povrchových vodních tocích i podzemní vodě a také pro určení zdrojů těchto látek. Detailní analýza způsobů tvorby odtoku v konkrétním území naráží na základní problém, podstatná část tvorby odtoku probíhá pod povrchem a není tedy snadno pozorovatelná. Lze provádět nepřímá měření, která je nutno interpretovat, což je dalším zdrojem nejistot. Většinou jde také o měření bodová, která je nutno převést na plošnou informaci. Měření jednorázová, okamžitá se musí interpretovat s ohledem na časovou dynamiku sledované veličiny. V této oblasti probíhá v současnosti intenzivní výzkum a jsou rozvíjeny a využívány nové techniky měření a způsoby popisu.

Foto 55: Proudění vody ve svrchním propustném A horizontu půdy nad méně propustným a utuženým B horizontem. Zdroj: Kvítek T.

Faktory

Za nejvýznamnější faktory, které ovlivňují tvorbu odtoku ze srážky v podmínkách Českomoravské vrchoviny je možno označit mocnost a složení půdního profilu a fyzikální vlastnosti půd. Je zřejmé ze zkušenosti, že hrubozrnné materiály umožňují rychlé proudění směrem dolů (foto 54), zatímco jemnozrnné proudění zpomalují, nebo mu brání. Podstatná je struktura půdy, především velikost a propojenost půdních pórů. Významným faktorem je celková mocnost půdního profilu (mělké půdy mají menší objem pórů, v nichž se může voda zachytit nebo jimi proudit) a mocnost jednotlivých půdních horizontů (vrstev s rozdílnými vlastnostmi). Vegetace přímo ovlivňuje vsakování vody do půdy (zakrytím povrchu a také kořeny), nepřímo strukturu půdy, její hustotu a pórovitost. Dalším faktorem je způsob využití půdy, zvláště zemědělskou činností, kdy dochází k cyklickým zásahům (zhutnění půdy mechanismy, rozrušení povrchu orbou, růst plodin).

Infiltrace – vsakování vody do půdy

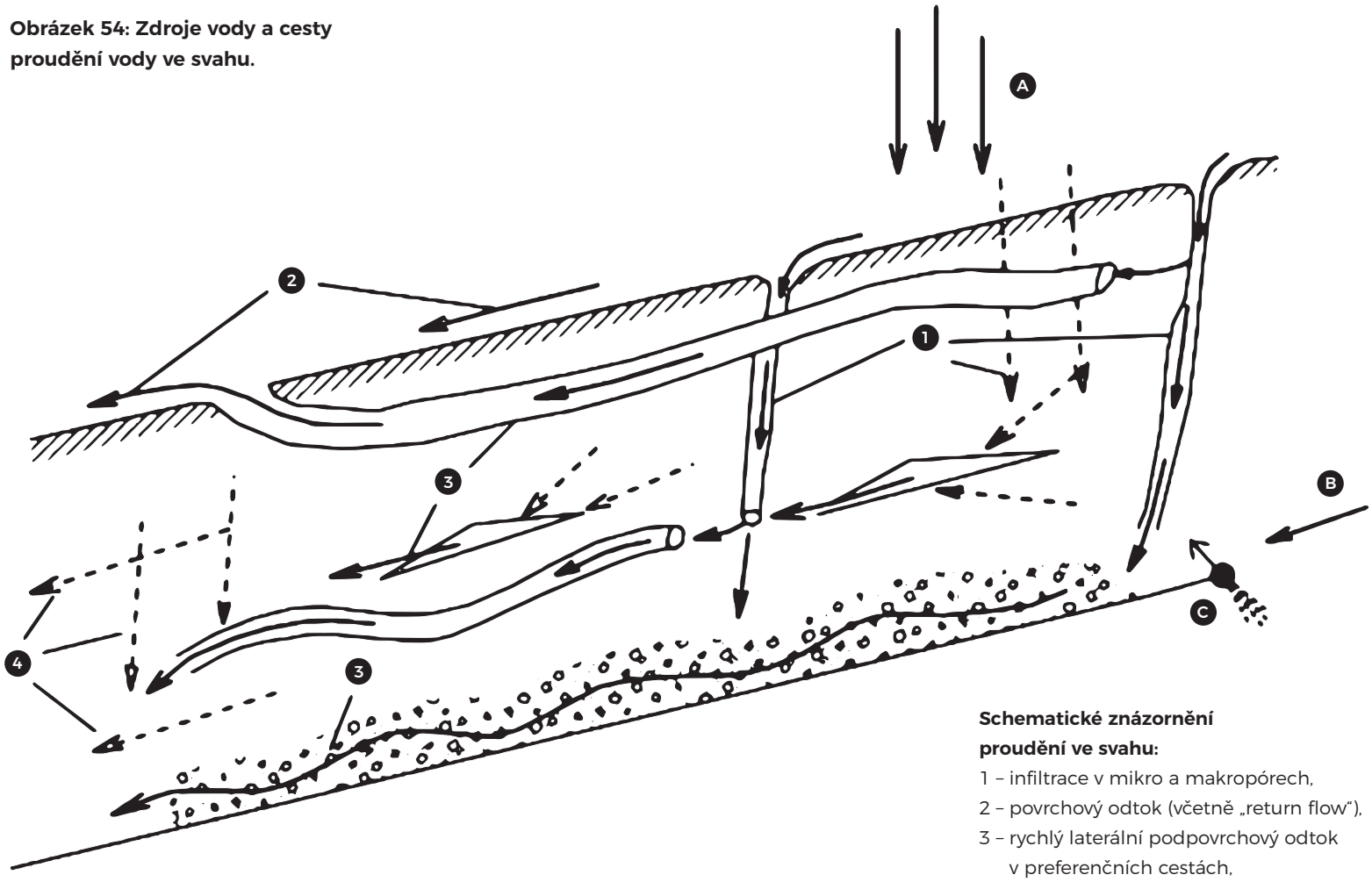
Při dopadu srážky se její část zachytí na povrchu vegetace (intercepce), část stéká koncentrovaně po kmenech a v případě nízké teploty se může akumulovat na povrchu (ve formě sněhu). Zbylá srážková voda dopadne na povrch terénu, kde se vsakuje do půdy nebo stéká podle místního sklonu po povrchu dolů. Rychlost vsakování (infiltrace) závisí na výskytu překážek, hydraulických charakteristikách povrchových a podpovrchových vrstev a také na okamžitém nasycení půdy (množství volných pórů). Je-li intenzita srážky vyšší než vsakovací schopnost půdy, část srážky, která se nestihne vsáknout, odtéká po povrchu do nejbližší prohlubně, dráhy soustředěného odtoku (stružky, rýhy apod.) nebo se vsákne v jiném místě, kde to podmínky umožňují.

Přírodní prostředí (půda, skelet, podloží) je velmi heterogenní a jeho vlastnosti značně variabilní v prostoru. Často nalézáme lokální diskontinuity v půdním profilu: krustu na povrchu, méně propustný horizont (foto 55), zasolení, tvorbu ortštejnu (foto 56 a 57), praskliny (foto 54), makropóry a jiné preferenční cesty. Překážkou infiltrace vody do půdy může být také vzduch zachycený v půdních pórech, pokud nemůže volně unikat, brání vsakování (např. Sněhota et al., 2015). Diskontinuity lze sledovat také v měřítku celého povodí, např. výchozy a lavice méně propustného podloží, vývěry a prameny. V měřítku jednotlivého svahu i v ploše malého povodí se často vyskytují místa, která jsou náchylnější k vytváření rychlého povrchového odtoku. Jde nejčastěji o lokální deprese, plochy kolem vodních toků, paty svahů a místa, kde je voda méně propustnými vrstvami nucena vystupovat na povrch.

Foto 56: Ortštejn (stmelenec) je půdní novotvar vyznačující se větším množství železa, které se projevuje zabarvením. Zdroj: Kvítek T.

Foto 57: Nepropustná stmelená vrstva (ortštejn) v hloubce 1 m vytváří podmínky pro rychlý podpovrchový odtok z lesních porostů. Zdroj: Kvítek T.

Obrázek 54: Zdroje vody a cesty proudění vody ve svahu.



Schematické znázornění proudění ve svahu:
1 – infiltrace v mikro a makropórech,
2 – povrchový odtok (včetně „return flow“),
3 – rychlý laterální podpovrchový odtok v preferenčních cestách,
4 – odtok v mikropórech,
A – srážky,
B – cizí voda,
C – pramen.

Zdroj: Kvítek T. – upraveno podle Baugartner a Liebscher, 1996

Mechanismy povrchového a podpovrchového odtoku

Během srážky se může půdní profil vodou zcela nasytit. Vsakování další srážkové vody není dále možné, voda je nucena odtékat po povrchu nasycené půdy (saturation excess flow). Na povrch může ale také vystupovat i mělká podzemní voda (obrázek 54), která před tím proudila pod povrchem a vzniká tak vratný odtok (return flow). Plochy, na kterých se vytváří rychlý povrchový odtok, se během srážky dynamicky rozšiřují, obvykle dál od stálých vodotečí (vznikají dynamické zdrojové plochy).

Odtoková odezva z plochy povodí je tedy souhrnně tvořena vodou proudící po povrchu, mělkým podpovrchovým prouděním (hypodermický odtok) a i podzemní vodou, která buď přímo přitéká boky a dnem koryta do vodoteče nebo vystupuje na povrch jako vratný odtok.

Beven (2001) popisuje tři hlavní procesy tvorby odtoku v měřítku svahu malého povodí:

- Povrchový odtok způsobený překročením infiltrační schopnosti (kapacity) vrstvy půdy (nazývaný Hortonovský odtok). Intenzita příčinné srážky je vyšší než vsakovací schopnost půdního profilu.
- Povrchový odtok způsobený překročením retenční kapacity (tedy plným nasycením) půdního profilu. Srážka dopadá na plně nasycený půdní profil, část srážkové vody se nedokáže do půdy dále vsakovat a odtéká (nebo zůstává) na povrchu.
- Podpovrchový odtok mělce pod povrchem (hypodermický) vzniká především díky vyšší hydraulické vodivosti a většímu množství pórů ve svrchních horizontech půdy. Převažující směr proudění je daný sklonem svahu (voda proudí paralelně s povrchem terénu). Rychlost proudění může být obdobná jako u povrchového odtoku. Může mít složku nenasyceného proudění i nasyceného proudění mělké podzemní vody (obrázek 54).

V současnosti (Beven, 2001) se předpokládá, že různé typy srážkoodtokových procesů se mohou vyskytovat i v rámci jednoho subpovodí. Ukazuje se také, že určitý proces tvorby odtoku nemusí být vždy dominantní pro konkrétní povodí, ale že se může měnit v čase s proměnnou intenzitou a objemem srážky a s ohledem na různé další faktory (využití půdy, roční období, vlhkostní poměry, agrotechnické operace).

Pro určení mechanismu odtoku je důležité sledování cest vody, která vytváří odtokový hydrogram. Díky sledování stáří vody izotopovými stopovači se ukazuje, že v případě mnoha subpovodí je podstatný objem odtokové odezvy tvořený vodou, která se v povodí nacházela již před vypadnutím příčinné srážky a jen menší část tvoří voda „nová“, původem z aktuální srážky. Lze tedy usuzovat, že přestože odtoková reakce povodí na srážku může být velmi rychlá, voda, která z povodí skutečně odtéká, se zdržovala významnou dobu v půdě, puklinách a zvodních již před počátkem srážky. Beven (2001) uvádí, že rychlost šíření impulzu způsobeného přísunem další (nové) srážkové vody v podpovrchovém prostředí je mnohem vyšší než vlastní proudění vody půdními póry a závisí na aktuální vlhkosti půdy (přesněji kapacitě volných pórů). Podpovrchové procesy tvorby odtoku mohou zahrnovat další jednotlivé mechanismy popsané z pozorování v konkrétních povodích (rámeček 23):

- Pístové proudění, kdy nová voda z aktuální srážky se posouvá půdním profilem a vytlačuje z pórového prostoru vodu z předchozích srážek.
- Proudění mělké podzemní vody puklinami, které může dotovat lokální vodoteč jak v průběhu srážkoodtokové události, tak i v bezdeštném období.
- Oscilační výtok (fill and spill). K uvolnění významného objemu dříve infiltrované vody z půdního profilu může dojít i náhle, zejména u půd, které jsou dlouhodobě blízko nasycení. Pak i relativně malý objem přidané vody z nové srážky způsobuje výraznou odtokovou odezvu. Tímto mechanismem je vysvětlována výrazná odtoková odezva ve zkoumaných horských povodích Šumavy a Krkonoš (Tesař et al., 2003 a 2004, Šír and Tesař, 2013).

Rámeček 23

Příklady popisu mechanismů tvorby odtoku

Zde uvádíme souhrn poznatků z několika vybraných studií popisujících mechanismy tvorby odtoku z pozorování na svazích konkrétních povodí.

Wilson et al. (1990) uvádějí, že na jimi sledovaném lesním povodí za velmi vlhkých i za suchých podmínek převažuje preferenční proudění půdním profilem mimo půdní matrici. Z rozboru jednotlivých srážkových událostí vyvozují, že pokles vertikální propustnosti v půdním profilu vytváří nasycenou vrstvu se zachyceným vzduchem, ale nevede k laterálnímu odtoku. Autoři syntetizují následující koncept tvorby podpovrchového odtoku: na počátku srážky infiltruje voda vrchními horizonty skrze makro a mesopóry do druhého horizontu, kde se vytváří podmínky blízko nasycení či lokálně nasycené. Tím později dochází k laterálnímu nasycenému proudění po svahu dolů (nejdříve makropóry a později i mesopóry menších průměrů), které je dále urychlováno přítokem z vyšších částí svahu a růstem nasycené oblasti k povrchu půdního profilu.

Šanda and Císlerová (2000 a 2009) sledovali malé horské povodí Uhlířská v Jizerských horách. Autoři uvádí, že po delším srážkově bohatém období je půdní profil velmi blízko nasycení a v této situaci postačuje i malý srážkový úhrn k okamžitému rychlému a intenzivnímu odtoku. Dominantní je rychlý podpovrchový odtok preferenčními cestami. Voda rychle vertikálně infiltruje půdním profilem preferenčními cestami ke zvětralému podloží, zároveň zvolna infiltruje do půdní matrice. Nad nepropustným podložím se vytváří nasycená vrstva a nastává rychlý podpovrchový odtok. Vzhledem k vysoké hydraulické vodivosti povrchových vrstev se na svazích povrchový odtok neobjevuje. Mezi aktuální hloubkou mělké hladiny podzemní vody na svahu, aktuálním obsahem vody v půdě a velikostí odtoku z povodí je poměrně zřejmý vztah.

Hrnčíř et al. (2010) ukazují, že nejdůležitější proměnnou, určující proces formování odtoku na tomto povodí, je počáteční vlhkost půdy.

Tesař et al. (2003) ukazují, že proces odtoku z malého horského povodí v krystaliniku s mělkými půdami lze rozdělit na dvě části: a) transformace srážky na výtok z půdy a b) transformace výtoku z půdy na odtok z povodí. Podíl obou částí na formování celkového odtoku se mění podle aktuálně probíhající fáze vodního režimu půd. Při perkolační fázi dešťová voda prosakuje půdou do transportní vrstvy, kterou protéká až do vodního toku a zároveň doplňuje zásobu v transportním kolektoru. Při akumulační fázi se dešťová voda hromadí v půdě. Základní odtok je v této fázi vytvářen pomalu vytékající vodou z transportního kolektoru.

Zumr et al. (2015) pomocí rozboru několika indikátorů sledovali změny odtokových mechanismů na zemědělském povodí Nučice během čtyř let. Mělký podpovrchový odtok svrchní vrstvou půdy zde převládá. Dvakrát, v případě vysoké intenzity srážky kombinované s vysokým nasycením půdního profilu již před srážkou, se vyskytl i povrchový odtok způsobený nasycením půdního profilu. Na zemědělsky obdělávané půdě byly zjištěny výrazné změny půdních charakteristik během sezony díky agrotechnickým operacím (např. zhutnění), přesto během 16 sledovaných událostí nebyl pozorován povrchový odtok způsobený nedostatečnou infiltrační kapacitou půdy.

Strouhal a kol. (2014) popisují výsledky experimentů s využitím dešťového simulátoru na zemědělském povodí Býkovického potoka. Uvádějí, že na části svahu bez vegetace se vytvářel zanedbatelný povrchový odtok při dlouhodobé intenzitě srážky 23 mm/h. Dále ukazují, že hypodermický odtok na rozhraní zhutněné vrstvy vzniká krátce po začátku srážky a makropóry ve svrchní vrstvě mohou provést velké množství vody. To vysvětluje rychlou odtokovou odezvu pocházející z mělkého hypodermického odtoku.

Infiltrační, transportní a akumulační zóna na svahu

Doležal and Kvítek (2004), podobně také Zheng et al. (2004) vymezují na svahu malého povodí tři oblasti s odlišným převládajícím režimem proudění:

- Infiltrační zóna v horní části svahu (zde převažuje svislé proudění dolů a infiltrace do hlubších vrstev).
- Transportní zóna ve střední části svahu (převažuje proudění více či méně paralelně s povrchem terénu).
- Akumulační zóna v dolní části svahu (obvykle je vlhčí, s mělkou hladinou podzemní vody. Může zde docházet i k vratnému odtoku nebo k přímému napojení podpovrchového odtoku do vodoteče).

Každá z těchto částí svahu malého povodí má poněkud odlišný režim proudění a vlhkostní podmínky, což má přímý dopad nejen na tvorbu odtoku, ale zároveň na odnos látek. Rozdělení do tří zón je důležité při určování dopadu změn využití území či různých opatření na odtok a odnos látek z celého povodí.

Tvorba odtoku v podmínkách Českomoravské vrchoviny

Doležal and Kvítek (2004) dále uvádějí, že v podmínkách Českomoravské vrchoviny převládají kambizemě, které jsou často mělké, a dále lesní půdy (s hrabankou na povrchu). Preferenční proudění je zde podstatnou složkou při formování odtoku ze zdrojových malých subpovodí. Povrchový odtok překročením infiltrační kapacity půd se zde vyskytuje jen vzácně po srážkách extrémních intenzit, nebo při dopadu významné srážky na zmrzlou půdu. Výsledkem pak bývá eroze půdy a velmi rychlá povodňová odezva, často spojená s odnosem velkého objemu ornice. Daleko častějším a významnějším než odtok povrchový je odtok podpovrchový (hypodermický), často jen v ornici a podorničí, resp. těsně pod drnovými a humusovými horizonty. Zdrojem hypodermického odtoku mohou být i pramenné vývěry (samostatné nebo v prameništích). V případě nasycení půdního profilu může být přes tento mělký podpovrchový odtok superponován ještě povrchový odtok nasyceného typu. Výsledky separace odtoku v povodích Českomoravské vrchoviny prokázaly, že podíl hypodermického odtoku na celkovém odtoku je v průměru 40%; v obdobích beze srážek je odtok tvořen podpovrchovou a podzemní částí odtoku.

Příklad:

Odtok z malého zemědělského subpovodí v podmínkách Českomoravské vrchoviny

Experimentální subpovodí P52, P53 a P6 v povodí Kopaninského potoka (přítok Jankovského potoka) je možno považovat za typické představitele podmínek zemědělských povodí v povodí Želivky (Kvítek a kol., 2012). Povodí leží v krystaliniku, v území s mělkým oběhem podzemních vod. Převažují zde kambizemě, kambizemě oglejené a glejové (foto 58 a 59), významná část zemědělsky využívané plochy byla v 80. letech minulého století odvodněna trubní drenáží. Průtoky měřené v profilech P6 a P53 lze považovat za drenážní odtok z těchto ploch. Subpovodí P52 je z velké části zalesněno, odtokovou odezvu ovlivňuje rybník, který je v dolní části povodí. V profilu P51 je pozorován odtok z lesního pramene (obrázek 55). Typické hodnoty odtokového koeficientu jsou nízké (tabulka 38).

Můžeme porovnat průběh typické odtokové odezvy na čtyřech subpovodích Kopaninského potoka (graf 37). Zatímco v šachtici drenážní skupiny P53 nebyla pozorována skoro žádná odezva, na výtoku z drenáže na méně sklonitém subpovodí P6 je zřejmá dynamická, okamžitá reakce na oba srážkové pulzy.

Foto 58: Půdní profil v horní části subpovodí P53. Zdroj: Tachecí P.
0–30 cm: nakypřená ornice, zbytky plodin.
30–60 cm: ulehlá písčitohlinitá půda.

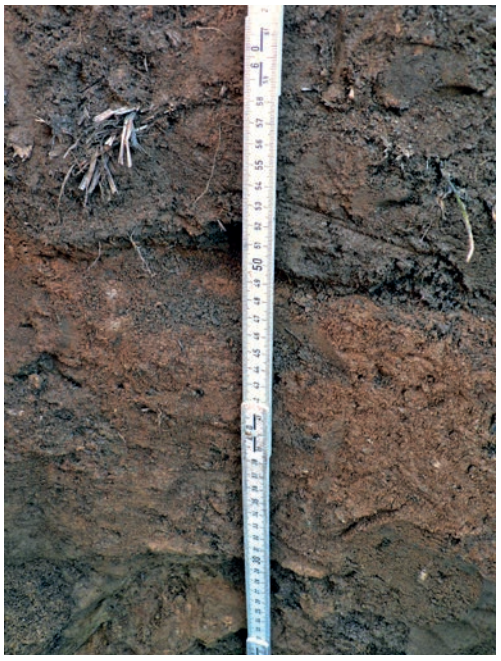
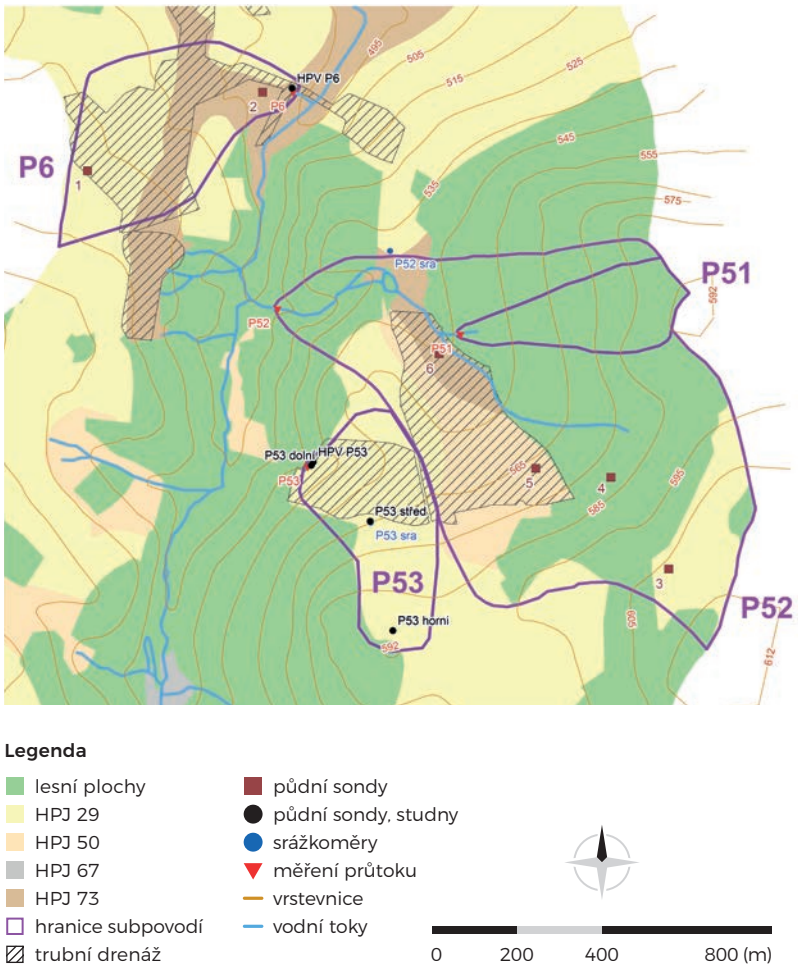


Foto 59: Půdní profil v dolní části subpovodí P6. Zdroj: Tachecí P.
0–30 cm: nakypřená ornice, zbytky plodin.
30–60 cm: světlejší ulehlá hlinitopísčitá půda, viditelné preferenční cesty (chodbičky, kořeny a hrubé částice).

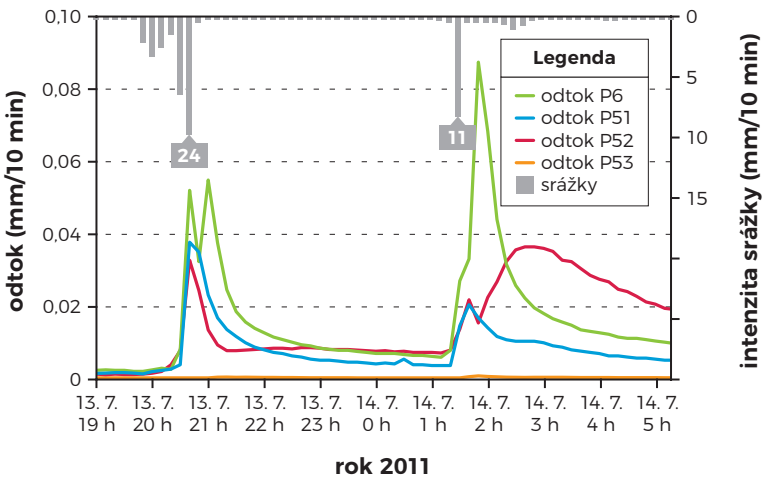
Obrázek 55: Mapa subpovodí Kopaninského potoka.



Tabulka 38: Základní charakteristiky vybraných subpovodí Kopaninského potoka

Subpovodí/Parametry subpovodí	P52	P53	P6	P51
Plocha (km²)	0,649	0,0712	0,157	0,0712
Orná plocha (%)	31	98	96	0
Les (%)	64	2	0	100
Trubní drenáž (%)	16	98	61	0
Sklon svahů (%)	8,8	11,1	5,3	
Rychlý odtok (% sráž. výšky)	5–8	3–6	4–7	1–2

Graf 37: Pozorovaná odtoková odezva (odtok) ze čtyř subpovodí Kopaninského potoka na dva srážkové pulsy.



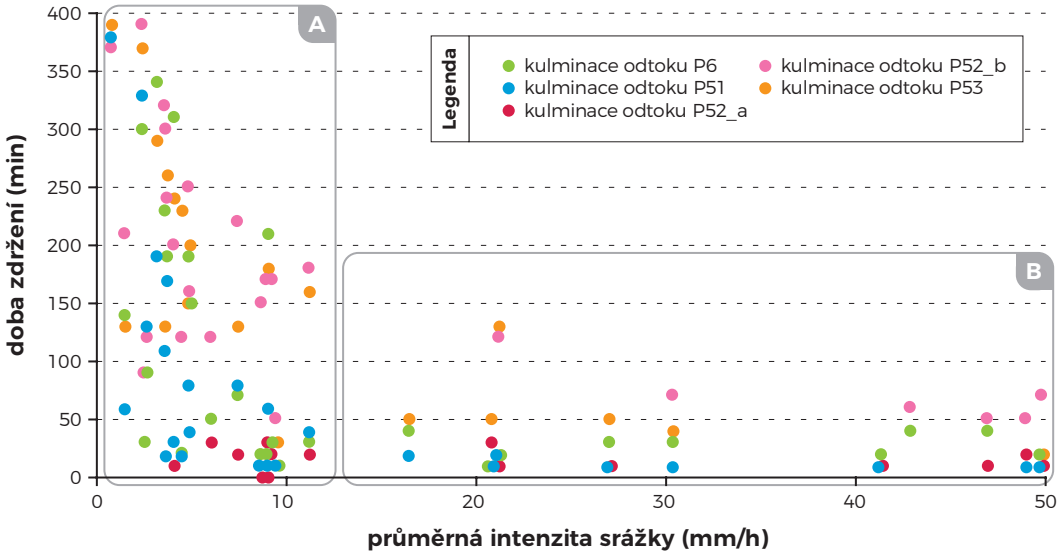
Rychlost odtokové odezvy

Typická doba zpoždění odtokové odezvy (čas kulminace odtoku vůči času odpovídajícímu těžišti srážky, graf 38) tří subpovodí Kopaninského potoka se liší podle střední intenzity příčinné srážky: až 20 hodin v případě velmi nízkých intenzit, pro střední intenzity srážek (5–12 mm/h) činí asi 55 min (P6), resp. 125 min (P53). Hydrogram subpovodí P52 má často dva vrcholy odtokové odezvy (odpovídá zpoždění od těžiště srážky 15 a 150 min, označeno P52_a a P52_b). Pro srážky vyšší intenzity (asi 12–50 mm/h) byla pro všechna subpovodí zjištěna doba zpoždění odezvy asi poloviční vůči výše uvedeným hodnotám. Lze usuzovat, že pro nižší a střední intenzity srážky (méně než 12 mm/h) ve všech třech subpovodích převládá pomalejší mechanismus formování odtoku (A), zatímco pro vyšší intenzity srážky je odtoková reakce všech tří subpovodí poměrně rychlá (B).

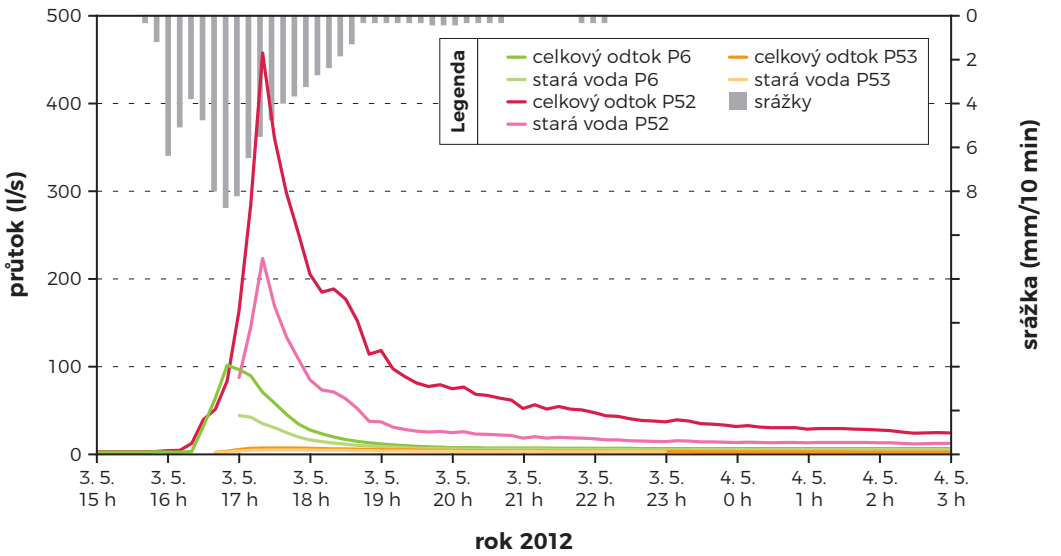
Mechanismy tvorby odtoku určené na základě pozorování

Porovnání typické doby zpoždění reakce odtoku na příčinnou srážku s rychlostí výtopové infiltrace z povrchu půdy (měřené v subpovodích P53 a P6) ukazuje, že půdní matrice neumožňuje srážkové vodě z aktuální události infiltrovat k trubní drenáži dostatečně rychle, aby formovala odtokový hydrogram. Srážková voda tedy musí stékat po povrchu nebo infiltrovat preferenčními cestami, aby se mohla účastnit rychlé odtokové reakce povodí. Vzhledem k tomu, že povrchový odtok na těchto subpovodích je pozorován výjimečně, zaměříme se na druhou možnost. Analýza složení vody (okamžitých koncentrací izotopů ^{2}H a ^{18}O ve srážkách a odtékající vodě) ukazuje, že odtokový hydrogram je tvořen z velké části (65–89 %) starší vodou, přítomnou v povodí ještě před příčinnou srážkou (grafy 39 a 40). Na základě dat z období 2010–2012 lze odhadovat, že střední doba zdržení vody odtékající z povodí P52, P53 a P6 bude delší než 0,5–3,5 měsíce. Pro zlepšení odhadu je nutná delší doba měření a podrobnější bilanční analýza. Podstatná část odtokového hydrogramu je formována podpovrchovým odtokem, zřejmě kombinací mělkého hypodermického proudění a nasyceného proudění mělké podzemní vody. Na základě pozorování je možno stanovit hypotézu, že na drenážní odtok na subpovodích P52, P53 a P6 Kopaninského potoka je formován směsí, ve které převažuje starší podzemní voda, která je do drenáže vytlačena při infiltraci nové srážky. Menší podíl má voda z aktuální srážky, která k drenáži proudí preferenčními cestami. Při extrémních srážkách se může vyskytnout i rychlý povrchový odtok způsobený nasycením půdního profilu.

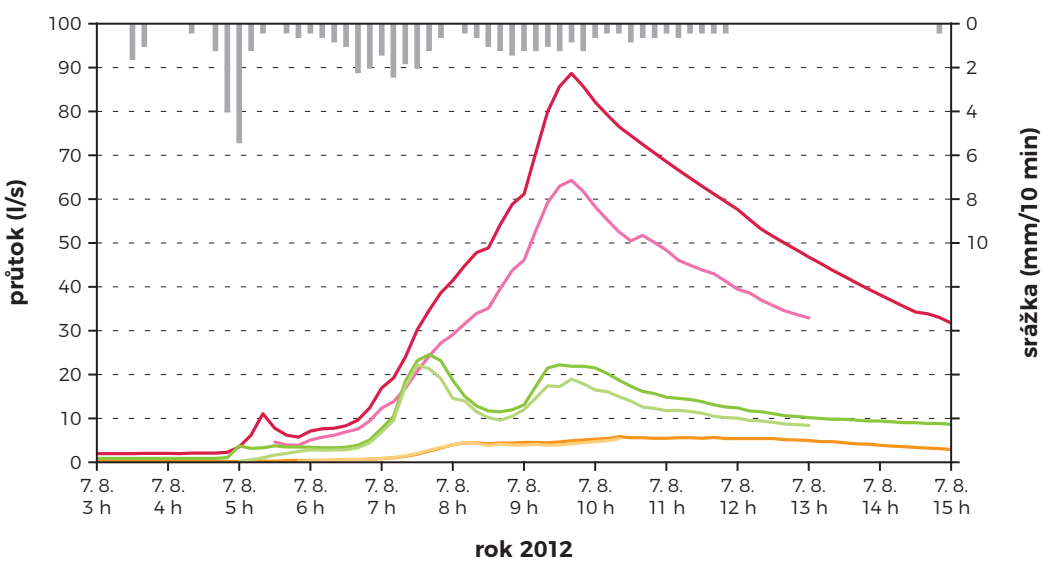
Graf 38: Doba zpoždění mezi těžištěm srážky a maximem odtokové odezvy v závislosti na intenzitě srážky. Dílčí subpovodí Kopaninského potoka, 40 událostí 2005–2012. Skupina **A** značí pomalou odezvu při nízkých intenzitách, **B** značí rychlou odezvu při vyšších intenzitách.



Graf 39: Podíl předsrážkové vody v odtoku, událost s vysokou intenzitou srážky. Desetiminutový srážkový úhrn označují šedé sloupce. Pozorovaný odtok subpovodí P52, P53 a P6 je vyznačen čárou syté barvy, vypočtený odtok předsrážkové (staré) vody světlým odstínem stejné barvy.



Graf 40: Podíl předsrážkové vody v odtoku, událost s nízkou intenzitou srážky. Desetiminutový srážkový úhrn označují šedé sloupce. Pozorovaný odtok subpovodí P52, P53 a P6 je vyznačen čárou syté barvy, vypočtený odtok předsrážkové (staré) vody světlým odstínem stejné barvy. Legenda viz graf 39.



2.1.2

Velikost retence vody v půdním profilu

Retence vody je definována v ČSN 75 0101 jako dočasné přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v půdě, v korytě vodního toku, vodní nádrži apod.; taktéž je tak nazýván objem vody takto dočasně zadržené. Obecně jde o rozdíl přítoku do uvažovaného prostoru a odtoku z něho za časovou jednotku.

Celková přirozená retence vody v určitém povodí se skládá ze složky povrchové (voda zachycená na povrchu terénu a v korytě vodního toku), půdní (voda zadržená v půdních pórech a infiltrující do hlubších vrstev), podzemní (voda zvyšující zásobu podzemní vody) a evapotranspirační (intercepce, transpirace z povrchu vegetace a výpar z povrchu půdy).

Retence vody v půdním profilu je velmi významným činitelem ovlivňujícím přímo hydrologický režim území. Závisí na:

- fyzikálních a chemických charakteristikách jednotlivých půdních horizontů (textuře a struktuře půdních částic, na objemu, tvaru a propojenosti půdních pórů, mineralogickém složení), stabilitě půdních agregátů, obsahu organické hmoty a biodiverzitě půdních organismů,
- prostorových charakteristikách (topografie a sklon svahu, mocnost jednotlivých půdních horizontů i celého půdního profilu),
- možnosti odtoku vody (propustnost a sklon hlubších vrstev, konfigurace terénu, existence přírodních či umělých struktur – preferenční cesty, kanály, trhliny, aktuální hloubka hladiny podzemní vody).

Retence vody v půdním profilu může být významně ovlivněna řadou specifických faktorů, např. výskytem umělého odvodnění, typem využití území, druhem vegetace na povrchu nebo agrotechnickými postupy (ty mohou vést k utužení, erozi či jinému druhu degradace půdy), také je ovlivněna klimatickými podmínkami.

Retenční kapacita půdy

V literatuře lze nalézt různé přístupy a definice pojmu **retenční kapacita půdy** – podle kontextu oblasti lidské činnosti, ve které je pojem používán. Může znamenat schopnost půdy udržet určitý objem vody (ve smyslu hydrolimitů používaných v hydropedologii a agrotechnice). Může také znamenat maximální objem vody v půdě při plném nasycení (plná vodní kapacita). Nakonec může také popisovat celkové množství vody, které infiltruje do půdy před tím, než začne odtok vody z daného půdního profilu.

Tesař et al. (2001) např. popisují retenční kapacitu půdy z hlediska odtokového režimu v daném povodí jako rozdíl mezi jistou horní a dolní hodnotou obsahu vody v půdě. Během srážky voda zaplňuje půdní póry až do okamžiku, kdy objem nashromážděné vody překročí určitou horní hranici. Pak dojde k náhlému odtoku velkého množství vody do podloží. Tím se nastartuje promyvná (perkolační) fáze, v níž většina srážkové vody protéká půdou do podloží, aniž by byla v půdě zdržena. Tato fáze ustane v okamžiku poklesu objemu vody v půdě pod dolní hranicí a voda začne být opět zadržována.

Velikost retenční kapacity půdy (tedy schopnosti půdy zachytit, zadržovat a uvolňovat vodu v průběhu času) lze kvantifikovat na základě měřitelných veličin. Ty zahrnují infiltraci vody do půdy (maximální infiltrační rychlost, kumulativní objem infiltrace), změny obsahu vody v půdě při různém stupni zaplnění pórů (hydrolimity, retenční křivka) a nakonec hydraulickou vodivost, která určuje rychlost proudění vody.

Pro kvantifikaci retenční kapacity půdy lze využít různé metody v závislosti na měřítku a kontextu použití: laboratorní měření na půdních vzorcích, terénní infiltrační pokusy, průběžný monitoring vodního režimu půd, analýzu záznamů měřených srážek a odtoků z plochy nebo simulaci infiltrace vody do půdy.

Retenční vodní kapacita

V rámci Komplexního průzkumu zemědělských půd na území ČSSR byly stanovovány na půdních vzorcích hodnoty ukazatele (hydrolimitu) nazvaného Retenční vodní kapacita (RVK). Ten má charakterizovat množství vody, které zůstane zachyceno v půdních pórech poté, co z plně nasyceného půdního profilu odteče voda působením gravitace. Používá se při stanovování množství vody dostupné pro zemědělské plodiny. Nejnižší hodnoty zemědělských půd jsou nižší než 100 l/m^2, nejvyšší mají půdy hlinité a jílovitohlinité (hluboké černozemě a hnědozemě až 340 l/m^2). Lichner a kol. (2004) uvádějí typické hodnoty na svazích s kambizeměmi horského nebo vysočinného typu 60 až 90 l/m^2.

Pro zemědělsky obhospodařované plochy lze využít mapové hodnoty RVK a další hydrolimity. Pro přesnější určení v konkrétní lokalitě je však vždy nutno vycházet z místních podmínek, tedy nejlépe využít měření a vzorků zajištěných na místě. Novák a kol. (2007) vytvořili mapu hodnot retenční vodní kapacity půd ve čtvercích 1 × 1 km pokrývajících zemědělské půdy na území ČR. Vycházeli přitom z databáze údajů VÚMOP a půdního mapování. Půdy jsou podle kategorizace hlavní půdní jednotky (HPJ) v rámci systému Bonitačních půdně ekologických jednotek (BPEJ) rozděleny do pěti hydrologických skupin a jim přiřazeny odhadované hodnoty RVK pro 1 m mocnosti půdního profilu. Hodnoty jsou dále přepočítány koeficienty podle místních podmínek. Střední hodnoty RVK pro mocnost 1 m autoři odhadují v rozmezí od 35 l/m^2 (písčitá, hlinitopísčitá půda se skeletem a lesní půdy) do 320 l/m^2 (hlinitá půda). Pokud se však chceme zaměřit na retenční kapacitu půd při sledování procesů tvorby odtoku, je třeba vždy vzít v úvahu způsob stanovení a velikost použitého vzorku půdy.

Měřítkový problém a omezení současných metod

Vzhledem k velké variabilitě přírodních podmínek a heterogenitě půdního prostředí je poměrně obtížné stanovit půdní charakteristiky, které by dobře reprezentovaly celé povodí nebo i jeho významnou část. Jde o problém měřítka. Současné běžně používané metody zjišťování půdních hydraulických charakteristik (hydraulické vodivosti a retenčních čar) jsou založeny nejčastěji na odebraných půdních vzorcích o objemu 100 cm^3. To je řádově méně, než je měřítko svahů a subpovodí (jednotky, desítky i stovky metrů). Z hlediska technického ani finančního není v současnosti v běžných případech reálné rutinní použití dostatečné velikosti ani dostatečně velkého počtu půdních vzorků. V této oblasti nyní probíhá intenzivní výzkum při hledání nových metod, zejména s využitím metod dálkového průzkumu Země. Reálné půdní hydraulické charakteristiky v konkrétním místě se navíc mění v čase – např. vlivem růstu vegetace, obhospodařování či měnících se meteorologických a klimatických podmínek (rámeček 24). Jednorázově zjištěné charakteristiky v letním období nemusí být platné v jiných částech roku. Dalším úskalím je interpretace takto zjištěných hydraulických charakteristik půd ve vztahu k mechanismům tvorby odtoku. Je zřejmé, že výsledkem měření na půdních vzorcích jsou obvykle charakteristiky půdní matrice, zatímco pro tvorbu odtoku mohou být určující mechanismy, které s půdní matricí souvisejí jen okrajově (proudění makropóry, proudění mělké podzemní vody). Další komplikací je hystereze vztahu mezi sacím tlakem a obsahem vody v půdě. V běžných případech se při měření určuje pouze jedna větev (drenážní).

Rámeček 24

Proměnlivost hydraulických charakteristik půd v čase

Hydraulické charakteristiky půd jsou proměnné v čase. Jejich kvantifikace je obtížná a nákladná. Klípa a kol. (2014) provedli porovnání sezonních změn nenasycené hydraulické vodivosti na dvou zemědělských povodích. V Nučicích bylo zjištěno, že nenasycená hydraulická vodivost je nižší na jaře a vyšší v létě a na podzim. V povodí Kopaninského potoka se trend zdá být spíše opačný, což je ale vzhledem k nízkému počtu měření zatím obtížně potvrditelné. Zjištěné změny se do značné míry odvíjí od zemědělské činnosti, tj. od termínů a typů agrotechnických zásahů, jsou spojeny s postupným zhutňováním půdy v průběhu roku a zvyšující se kontaktní plochou mezi agregáty. Snížení nenasycené hydraulické vodivosti půdy v jarních měsících je nejspíše způsobeno působením mrazu přes zimu a následným nakypřením půdy, dále k ovlivnění vodivosti může přispívat také oživení půdy řasami a plísněmi. Změny jsou dost veliké na to, aby významně měnily rychlost a objem odtokové odezvy ze zemědělských povodí na srážku během roku. Okamžité charakteristiky půd jsou těsně svázány s druhem plodiny a způsobem obhospodařování.

Zumr et al. (2015) na stejném povodí Nučice analyzovali změny objemové hmotnosti a obsahu vody při nasycení na neporušených půdních vzorcích povrchové vrstvy během roku. Střední hodnoty objemové hmotnosti se spíše zvyšovaly na jaře a klesaly koncem léta, střední hodnoty obsahu vody při nasycení klesaly na jaře a zvyšovaly se na podzim. Obě veličiny však vykazovaly prakticky ve všech měsících velkou variabilitu (objemová hmotnost v rozsahu asi 1,15–1,7 g/cm^3, obsah vody při nasycení asi 0,37–0,71 cm^3/cm^3). Autoři ji přisuzují prostorové heterogenitě půd, růstu plodin, obsahu organického materiálu a agrotechnickým operacím.

Jirků et al. (2013) zkoumali změny půdních charakteristik v jednotlivých měsících na třech typických půdách v ČR. Struktura půdy, stabilita půdních agregátů a hydraulické charakteristiky byly závislé na růstových stadiích plodin a zhutnění deštěm i pojezdem mechanismů. Pro rozdíly mezi zkoumanými půdami byly určující klimatické podmínky, zejména v zimě a na jaře. Autoři uvádějí, že závěry nelze jednoduše generalizovat.

Dynamika obsahu vody v půdě

Pro určení okamžitých hodnot obsahu vody v půdě (a tedy „zbývající“ retenční kapacity) je nutné znát vlhkostní poměry v půdním profilu a také efektivní pórovitost půdních horizontů. Jinými slovy je nutné zjistit aktuální obsah vody a zbývající prostor pórů, který může být využit pro retenci další srážkové vody. Kromě obecných charakteristik půdy závisí okamžitý obsah vody v půdě na historii změn (tedy na množství srážek a velikosti evapotranspirace v předchozím období). Okamžitý obsah vody v půdě lze stanovit laboratorně z odebraných půdních vzorků. Vzhledem k nezbytné době měření takto můžeme určovat pouze hodnoty dosažené v minulosti, tj. v době odběru, nikoliv operativně. Navíc jde o metodu destruktivní (půdní profil je porušen, další vzorek nelze odebrat z přesně stejného místa). Proto se často používají metody nepřímé, kdy je obsah vody v půdě přepočten z měření jiné veličiny (např. změn vodivosti půdního prostředí, změn sacího tlaku v půdních pórech nebo množství pohlcených částic vyzářených přístrojem do půdního prostředí). Ve všech případech jde z hlediska měřítka povodí o bodové, lokální hodnoty. Obvykle se měření provádí ve více hloubkách půdního profilu a na více místech v povodí. Z odebraných vzorků při instalaci měření je nutno stanovit hydraulické charakteristiky půd v místě měření a pomocí nich pak lze přepočítat okamžitý obsah vody v půdě a dále retenční kapacitu.

Příklad:

Odhad retenční vodní kapacity půd

Podle mapy BPEJ na zkoumaných subpovodích Kopaninského potoka převládají kambizemě (HPJ 29), kambizemě oglejené a oglejené půdy (HPJ 50) a dále oglejené půdy až glejové půdy (HPJ 73). Tyto kategorie HPJ bohužel zahrnují poměrně velký rozsah možných hydraulických charakteristik. Pro tyto půdy Novák a kol. (2007) uvádějí následující hodnoty retenční vodní kapacity (tabulka 39).

Podle obecně dostupných map a tabulek je tedy možno odhadovat retenční vodní kapacitu např. na subpovodí P6 (kambizem, HPJ 29) na 140 mm srážkové výšky při odhadu hloubky půdního profilu 80 cm. Pokud použijeme interpretaci měřených hydraulických charakteristik ze 100 cm^3 vzorků odebraných na místě ve dvou sondách v horní a dolní části subpovodí P6 (tabulka 40), získáme následující odhad: pro 80 cm půdního profilu v horní části subpovodí je retenční vodní kapacita 288 mm vodního sloupce, v dolní části pak 260 mm. Obsah vody byl odečten pro sací tlakovou výšku 200 cm (pF = 2,3) při odhadu mocnosti půdních horizontů 25, 30 a 25 cm. Pro srovnání byl stejným způsobem vypočten odhad retenční vodní kapacity i pro sondy na svahu P53. Pro 60 cm půdního profilu v horní části činí 113 mm, pro 80 cm ve střední části 201 mm, v dolní části 229 mm vodního sloupce.

Pokud přepočteme rozdíly před významnou srážkou a po ní v měřených vlhkostech půdy na třech místech subpovodí P53, získáme odhad retenční kapacity v intervalu 81–126 mm srážkové výšky.

Tabulka 39: Retenční vodní kapacita pro půdy na povodí Kopaninského potoka podle Nováka a kol. (2007)

HPJ	Rámcová zrnitost	RVK pro hloubku 1 m (l/m)	Uvažovaná hloubka profilu (m)	RVK pro uvažovanou hloubku (l/m)	Redukce na vodu (%)	RVK výsledná pro uvažovanou hloubku (l/m)	Skupina zeměděl. půd
29	h–ph	180	0,8	144	-	140	2
50	h	200	0,8	160	–25	120	2
73	h–jv	150	0,5	75	–75	20	1

Tabulka 40: Obsah vody v půdě (cm^3/cm^3), odpovídající pF = 2,3 na retenčních křivkách pro tři horizonty půdy na subpovodí P6

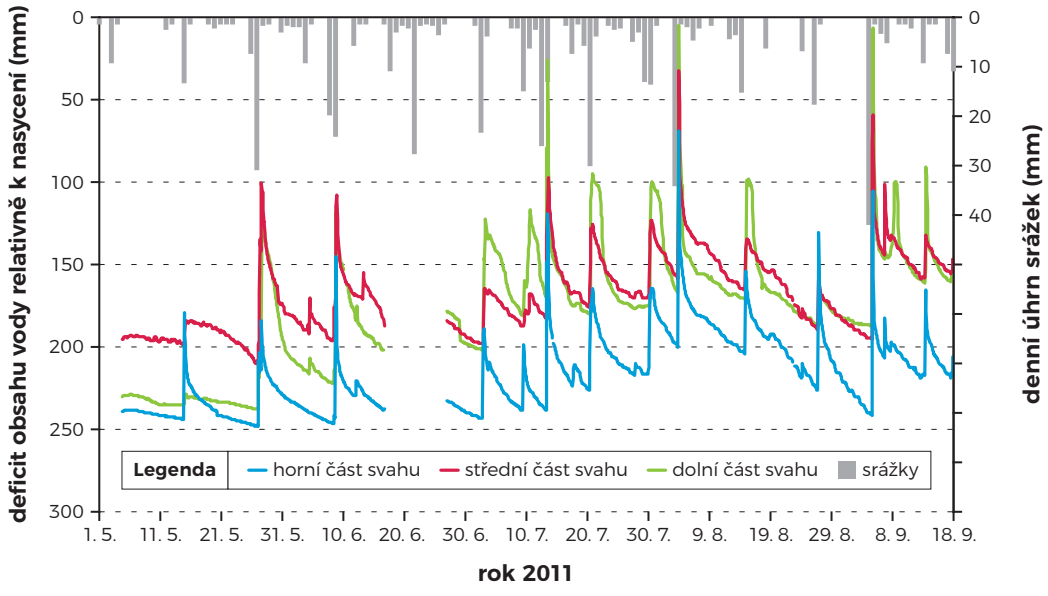
Parametry půdního profilu/ Číslo sondy	Sonda 1, horní část subpovodí			Sonda 2, dolní část subpovodí		
Hloubka	20 cm	40 cm	75 cm	20 cm	40 cm	75 cm
pF = 2,30	0,39	0,30	0,41	0,34	0,27	0,38

Příklad:

Dynamika obsahu vody v půdě v subpovodí Kopaninského potoka

Kontinuální nepřímé měření obsahu vody v půdě bylo provedeno ve třech částech svahu (horní, střední, dolní) subpovodí P53, ve třech hloubkách půdního profilu. Nepřímá metoda time domain transmission (TDT) je založená na transformaci přenášeného pulzu prostředím. Relativní hodnoty měřidla byly převedeny na obsah vody v půdním profilu (o mocnosti 80 cm) pomocí kalibračních křivek a měřených hydraulických charakteristik půd. Z nich byl vypočten deficit obsahu vody (tj. zbývajícího objemu pórů do nasycení, graf 41). Tyto hodnoty lze přibližně interpretovat jako okamžitou retenční kapacitu půdní matrice v místě měření. Nejsušší jsou půdy v horní části svahu, nejvlhčí v dolní části svahu, kde také v případě významnějších srážkových událostí (dále jen událost) dochází k takřka úplnému nasycení. Při výskytu srážky dostatečné intenzity se vlhkost ve všech třech měřených hloubkách půdního profilu zvyšuje takřka okamžitě.

Graf 41: Deficit obsahu vody v půdě ve třech místech subpovodí P53. Průběh je odvozený pro půdní profil o mocnosti 80 cm na základě nepřímého měření vlhkosti ve třech hloubkách půdního profilu. Nula znamená plné nasycení.



2.1.3

Cesty odtoku vody před a po odvodnění

Podle ČSN 75 4200 Hydromeliorace, Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním *„Stavba k odvodnění zemědělských půd slouží k odvádění nadbytku povrchové a podzemní vody z pozemku, k provzdušňování pozemku a k ochraně pozemku před zaplavením vnějšími vodami. Stavba se skládá z hlavního a podrobného odvodňovacího zařízení“*.

Hlavním účelem odvodnění je úprava vodního a vzdušného režimu zemědělských půd, tj. optimalizace z hlediska potřeb rostlin, zpracovatelnosti půdy a únosnosti pro zemědělské mechanismy (foto 60).

Před 2. světovou válkou bylo odvodnění půdy v Čechách prováděno jen výjimečně (v povodí VN Švihov na Želivce méně než 2 tis. ha odvodněných ploch oproti 149,45 km^2 v roce 1990), nejčastěji otevřenými příkopy či stružkami k zachycení povrchové vody (foto 61 a 62), méně často rozptýlenou trubní drenáží. Odtok z horních částí subpovodí zamokřoval i níže položené části subpovodí, kde se vyvinuly půdy méně propustné a zamokřené, oglejené a glejové. Zamokřené lokality ve svahových polohách

Foto 60: Příklad liniového i lokálního zamokření. Zdroj: Kvítek T.

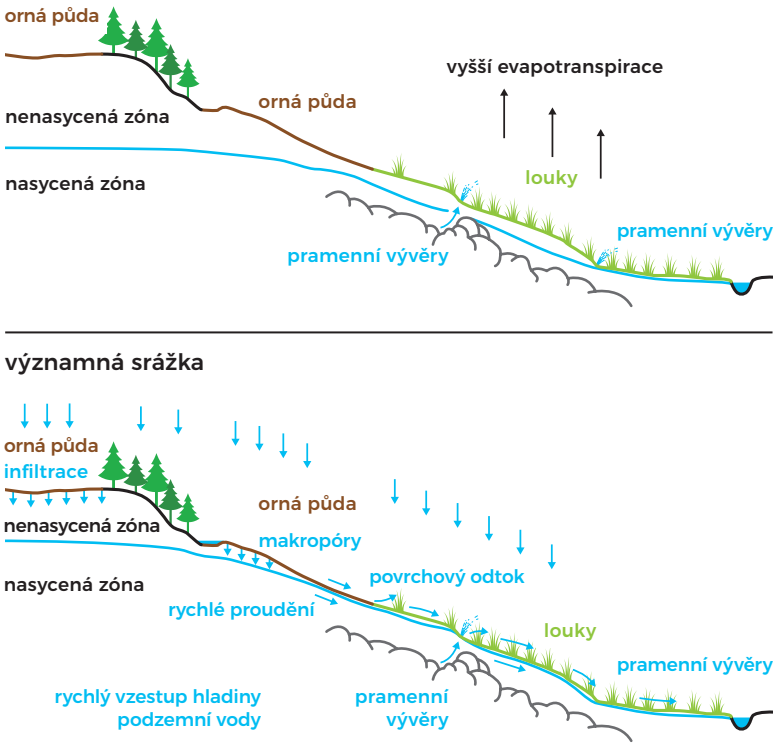
Foto 61: Příklad mělkého odvodnění stružkami na trvalém travním porostu. Zdroj: Kvítek T.

Foto 62: Odvodnění pomocí příkopů. Zdroj: Kvítek T.

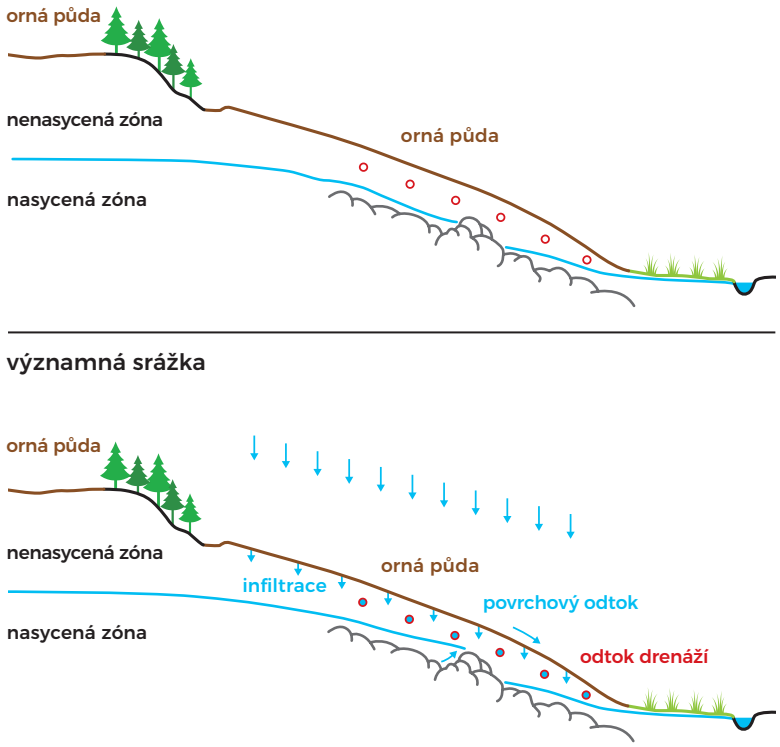
byly jen obtížně obdělávatelné, často proto byly zalučněny. Travní porosty zde omezovaly povrchový odtok, snižovaly erozní ohrožení (obrázek 56).

Travní porosty plnily i funkci ochranných (buffer) zón na pozemcích při vodních tocích. Voda z výše položených zorněných ploch zde vytvářela anaerobní prostředí vhodné pro denitrifikaci. Mohly zde být redukovány dusičnany, až na vzdušný dusík, a bakteriemi žijícími na kořenech rostlin a v půdě.

Obrázek 56: Vodní režim před odvodněním půdy (před instalací drenáže). Zdroj: Tachecí, upraveno podle Kvítek, 2005



Obrázek 57: Vodní režim po odvodnění půdy (po instalaci drenáže). Zdroj: Tachecí, upraveno podle Kvítek, 2005



Při zkoumání hydrologického režimu před a po odvodnění je tedy třeba vzít v úvahu tři různé stavy:

- srážkoodtokový režim území před vybudováním drenáže,
- režim se zohledněním účinku funkční drenáže,
- režim při poruše, tedy disfunkci části nebo celé drenážní skupiny.

Účinek odvodňovací stavby na obsah vody v půdě

Funkční drenáž má obvykle předpokládaný účinek: snížení hladiny mělké hladiny podzemní vody, snížení obsahu vody v půdě (odvedením gravitačně pohyblivé vody z pórů). To vede k zvýšení infiltrační schopnosti půdního profilu, k lepšímu provzdušnění půdy, zvýšení biologické aktivity a zlepšení teplotního režimu. Zároveň se zvyšuje a urychluje odtok z půdního profilu, což může mít naopak negativní dopad na celkovou bilanci, může vést k vysušení a nedostatku dostupné vody pro vegetaci, snížení evapotranspirace a také ke snížení zásob podzemní vody v území. Drenáží odtéká nejen větší podíl srážkové vody dopadlé na drénovanou plochu, ale často také dochází k odvodnění mělké podzemní vody ze sousedních ploch (obrázek 56 a 57).

Předpokládaný dopad odvodnění na mechanismy tvorby odtoku

V podmínkách Českomoravské vrchoviny lze předpokládat vlivem odvodnění změnu v místech, kde dochází k povrchovému odtoku překročením retenční kapacity půdy (na nasycených plochách) na odtok mělký podpovrchový, urychlený drenáží. Zda zrychlení odtoku z jednotlivých ploch může mít přímý účinek i na frekvenci a velikost povodňového odtoku není jednoznačné. Při extrémních srážkách lze očekávat, že drenážní odtok bude tvořit jen poměrně malou část celkového objemu odtokové vlny, což je dáno hydraulickými parametry drenáže. Sušší půdní profil na počátku srážky naopak může zadržet větší objem vypadlé srážky, což vede ke snížení objemu rychlého odtoku.

Švihla a kol. (1992) z pozorování na výzkumném povodí Ovesná Lhota uvádějí, že po realizaci odvodnění dochází k vyrovnání odtoků ve vodotečích krystalinika Českého masivu: Nízké průtoky jsou po odvodnění vyšší než před odvodněním, střední průtoky jsou po odvodnění nižší, zatímco velké a povodňové průtoky nejsou srovnatelné, neboť se tvoří za složitých hydraulických a odtokových podmínek.

Předpokládaný dopad odvodnění na odnos živin

S vybudovaným odvodněním dochází k přímému propojení horních částí subpovodí (infiltrační oblasti) s oblastmi v dolních částech subpovodí. Dochází tak k výrazné změně nejen vodního, ale i živinného režimu subpovodí. S urychlením části odtoku je zrychlen i odnos živin (především dusičnany, fosfor) a dalších látek, které byly promyty z povrchu terénu do hlubších vrstev, především v zorněných horních částech subpovodí. Místo využití a redukce těchto látek na travních porostech jsou odváděny drenážními systémy přímo do vodního toku.

Při studiu jakosti vody z plošných zemědělských zdrojů znečištění se prokázalo, že právě podpovrchový odtok je výrazným znečišťovatelem povrchových vod a změna srážkoodtokových vztahů drenáží tak významně ovlivňuje i odnos látek ze subpovodí (množství, koncentrace i časovou dynamiku). Kvantifikace velikosti a dynamiky této změny je však závislá na řadě podmínek. Lexa a kol. (2006) uvádějí, že plošné zastoupení odvodňovacích staveb bylo v povodí VN Švihov na Želivce shledáno jako významný faktor z hlediska zatížení vod nitráty.

Kulhavý a kol. (2011) shrnuje současné poznatky o vlivu drenážních systémů na jakost vod: Dynamika koncentrací většiny látek je v drenážních vodách velmi proměnlivá; drenážní vody mohou mít pro jednotlivé složky odtoku značnou časovou variabilitu ve vazbě na průběh počasí, půdní a hydrogeologické podmínky povodí, nasycenost půdního profilu, dobu a intenzitu aplikace hnojiv, biochemické reakce v půdním prostředí, způsob využití území a jeho morfologii. Klíčový je tedy původ vody a cesty jejího odtoku do odvodňovacího systému.

Příspěvek drenážních vod na vnos dusičnanového dusíku, pesticidů a reaktivní formy fosforu do drobných vodních toků může být značný, zejména v případě vysokého podílu zornění v mikropovodích drenážních systémů. Pro vyplavování minerálního dusíku a fosforu do drenážních vod jsou podstatné zejména nedávné agrotechnické zásahy a dále charakter srážky (intenzita, doba trvání) a půdní poměry (textura, struktura). Koncentrace živin jsou během základního odtoku obvykle nízké jak ve vodním toku, tak i v drenáži, pokud nejsou odvodňovací soustava nebo vodní tok napojeny na jiný zdroj znečištění nebo se nejedná o odvodněné půdy s nižší sorpční kapacitou. K významnému zvyšování koncentrací amoniakálního dusíku a fosforu dochází zpravidla během srážkoodtokových událostí i v případě, že nejde o extrémní události.

2.1.4

Velikost povrchového a podpovrchového odtoku ve vazbě na vývoj a změnu struktury krajiny

Vliv změn využití území a další lidské zásahy do hydrologického režimu se odborníci snaží kvantifikovat již řadu let různými metodami – statistickými analýzami měřených dat (nejen srážek a odtoků), detailním porovnáním podobných subpovodí a povodí s různým využitím nebo řízeným pokusem na dlouhodobě sledovaných plochách. Tyto metody jsou pracné a finančně náročné. Konkrétní dopad změn využití území na odtok z tohoto území je velmi závislý na kombinaci lokálních podmínek (klimatických, pedologických, geologických, vegetačních, obhospodařování, existenci a funkčnosti plošných odvodňovacích staveb apod.). Dále je závislý na typu a rozsahu změny (změna zemědělského managementu, odlesnění), její dynamice (náhlé změny jako lesní polomy, rozorání mezí a luk nebo změny pozvolné jako degradace drenážního systému) a také na rozsahu či měřítku zkoumané změny v krajině.

Je zřejmé, že se jedná o komplexní problém. Možné změny ve tvorbě odtoku jsou často překryty jinými vlivy (trendy a variabilita v meteorologických charakteristikách, klimatické změny). Často se týkají jen některých hydrologických charakteristik (např. nízkých nebo vysokých průtoků) a velmi obtížně se výsledky získané v určitých podmínkách zobecňují. Pro sledování změn tvorby odtoku je vhodné využít měřítko malých subpovodí, kde lze rozlišit jednotlivé mechanismy a příčinné vazby (FAO, 2000). Získané poznatky je pak nutno přenést do měřítka větších povodí, což představuje další problém a zdroj nejistot.

Změny půdních charakteristik při změně využití území

Pro odhad ovlivnění velikosti povrchového a podpovrchového odtoku vlivem změn ve využití území je zásadní analyzovat dopad těchto změn na půdní hydraulické charakteristiky. Ty určují infiltrační schopnost půd a retenční kapacitu půd, a tedy rozdělení dopadající srážky na povrchovou a podpovrchovou složku odtoku. Dalším významným faktorem je pak rozložení jednotlivých druhů využití území v ploše (krajinná mozaika) a klimatické poměry. BIO Intelligence Service (2014) zpracovali a syntetizovali řadu údajů dostupných na území Evropské unie. Vybrané poznatky zde uvádíme v souhrnu (tabulka 41 a 42).

Z hlediska celkové bilance, infiltrační schopnosti a retenční kapacity půd lze porovnat hlavní kategorie vegetace takto:

- Lesní porosty zadržují nejvíce srážkové vody (listnaté více než jehličnaté) a díky vysoké evapotranspiraci je dlouhodobý odtok nižší než pro jiné druhy vegetace. Lesní půdy obvykle mají vysokou infiltrační schopnost, ale nízkou retenční kapacitu (mělké půdy). To vede k redukci odtoků pro malé a střední povodňové události, nikoliv pro velké a extrémní (kdy je retenční kapacita překročena). Podle klimatických podmínek mohou významně dotovat rezervoáry podzemních vod.
- Trvalé zatravnění umožňuje vyšší intercepci a infiltrační kapacitu než zemědělská půda. Nižší evapotranspirace oproti lesu znamená pomalejší vysušování půdního profilu, což snižuje schopnost zadržet další srážku, ale pozitivně ovlivňuje celkovou bilanci a schopnost krajiny odolávat suchu.
- Zemědělsky využívané pozemky mají skoro vždy nižší schopnost zachytit a udržet vodu v půdě ve srovnání s lesními porosty a trvalým zatravněním. Významným faktorem je délka období, kdy půda není pokryta vegetací (riziko rychlého odtoku a degradace půdy erozí). Evapotranspirace je značně proměnná podle stadia růstu plodin, což vede často k nedostatku vody ve vegetačním období. Konkrétní dopad na půdní charakteristiky a odtokový režim jsou závislé na způsobu obhospodařování, zejména na orebných technologiích, rotaci plodin, využití těžké techniky a vstupu organické hmoty na povrch půdy (ponechání zbytků po sklizni, hnojení).

Tabulka 41: Dopad změn využití území na půdní charakteristiky (BIO Intelligence Service, 2014)

Druh pozemku/ Změna parametrů půdy	Odhad změny objemové hmotnosti půdy	Odhad změny obsahu organické hmoty	Odhad změny obsahu vody při nasycení
Les na travní porost	+10 %	–15 %	–5 %
Les na pole	+17 %	–35 %	–10 %
Les na zastavěné území	+40 až 50 %	–40 až 45 %	–20 až 25 %
Louky na les	–9 %	+10 %	+9 %
Louky na pole	+7 %	–20 %	–4%
Louky na zastavěné území	+30 až 40 %	–20 až 25 %	–10 až 15 %
Pole na les	–15 %	+15 %	+5 %
Pole na louky	–6 %	+5 %	+4 %
Pole na zastavěné území	+20 až 25 %	–15 až 20 %	–1 až 5 %
Jiné plochy na zastavěné území	> 50 %	> –45 %	> –25 %

Tabulka 42: Dopad agrotechnických operací na půdní charakteristiky (BIO Intelligence Service, 2014)

Agrotechnické operace/ Změna parametrů půdy	Vegetace/Intenzita	Odhad změny objemové hmotnost půdy	Odhad změny obsahu organické hmoty
Kompostování	orná půda/mírná	–10 %	+85 %
Pastva	louky/extenzivní	+8 %	+20 %
Pastva	louky/intenzivní	+17 %	+35 %
Orba	orná půda/intenzivní	–10 %	–12 %
Ponechání zbytků	orná půda/extenzivní	–15 %	+20 %

• Zastavěné území je obvykle charakterizováno výraznou redukcí infiltrační schopnosti i retenční kapacity půdy kvůli vysokému podílu nepropustných ploch, což vede až k nevratné degradaci celé rozlohy půd a jejích funkcí v těchto hustě zastavěných územích.

Tyto obecné údaje je nutné vždy interpretovat podle lokálních podmínek. Podstatné je také rozsah a měřítko změny – pokud se budeme snažit kvantifikovat dopady stejné změny využití území na jednotlivém honu zemědělské půdy a na velkém povodí, dojdeme nejspíše k dosti rozdílným závěrům. Vybrané příklady studií (rámeček 25) ukazují, že i poměrně významné změny se nemusí projevit razantní změnou odtokového režimu. Podrobněji je popsán příklad modelové studie v povodí VN Švihov na Želivce.

Rámeček 25

Příklady zjištěných dopadů změn v území na odtok

O´Connell et al. (2004) uvádějí, že v jimi studovaných případech jsou dopady změn využití území na odtok druhořadé a nevýznamné v porovnání s dopady změn klimatu. Studie Bevena et al. (2008) na základě statistické analýzy devíti povodí ve Velké Británii ukazuje, že meziroční variabilita je vyšší než sledovatelný dopad změn. Hess et al. (2010) vyhodnocoval dopad zlepšení půdních podmínek na denní průtoky na 518 administrativních jednotkách ve Walesu. Relativně nejvyšší redukce odtoku byla dosažena na degradovaných propustných půdách s travním porostem v sušších podmínkách. Dopad byl patrný spíše pro povodně s vyšší četností (Q_5), zatímco u stoleté povodně zřídka dosáhl 5 % redukce průtoku.

Marshall et al. (2013) provedli na glejových půdách ve Walesu polní pokus. Ukázalo se, že při změně využití území z pastviny (intenzivně spásané ovcemi) na travní porost a les došlo k celkové redukci odtoku o 48 a 78 %, i když výsledky byly velmi proměnné na všech plochách. O´Connell et al. (2007) uvádějí několik studií, kdy bylo dosaženo redukce odtoku ze zemědělské půdy v rozsahu 17–90 % pomocí cílených úprav (travní pásy, úprava hospodaření) v závislosti na typu topografie, půdy a klimatických podmínek. Jako hlavní faktory, které určují odtok ze zemědělských území, jsou uvedeny: míra zhutnění půdy, účinek drenáže, propojenost cest odtoku a výskyt krusty na povrchu půdy.

Zajíček a kol. (2013) na dvou drenážních skupinách na výzkumném subpovodí Dehtáře zkoumali vliv změny využití území na odtok. Při zatravnění horní části subpovodí byly změny mizivé, avšak při zařazení jetele do rotace plodin se snížil celkový odtok (ve vegetační sezoně asi o 8 %) a došlo k redukci vysokých odtoků. Na stejném subpovodí Duffková et al. (2011) zkoumali rozdíly v aktuální evapotranspiraci plodin podle umístění na subpovodí. Za podmínek dostatečné zásoby vody jsou rozdíly malé, ale v sušších obdobích je patrné, že v horních částech subpovodí na hrubozrnných mělkých půdách porosty transpirují méně než na jemnozrnných hlubších půdách v dolní části svahu.

Niehoff et al. (2002) modelovali dopad zvýšení urbanizované plochy (ze 7,4 na 11,1 %) na odtok v povodí řeky Leiny (115 km², převládají luvizemě a kambizemě) v jihozápadním Německu. Z výsledků vyplývá, že zvýšení kulminačních průtoků a objemů povodňových vln činí méně než 6 %. Autoři uvádějí závěry: Vliv změny je vyšší na odtok z lokálních prudkých konvektivních srážek. Ty však nevyvolávají významnou odezvu celého povodí. Základními faktory, které ovlivňují dopad změny využití území, jsou: srážkový úhrn a předchozí nasycení povodí.

K podobným závěrům dochází také Tachecí a kol. (2014a) při simulaci dopadů rozšíření urbanizovaných ploch v povodí potoka Botiče na povodňový hydrogram pomocí distribuovaného modelu MIKE SHE. Na subpovodích o velikosti jednotek km² vedlo rozšíření urbanizovaných ploch o 4–20 % rozlohy k simulovanému zvýšení kulminačního průtoku o 12–14 % (stejně jako objemu odtoku) při užití suchých počátečních podmínek. Pokud byly použity reálné (velmi nasycené) počáteční podmínky povodňové události 6/2013, vliv změn využití území na odtokový hydrogram byl zcela nevýznamný.

Příklad:

Modelová studie: simulace dopadů změn využití zemědělského subpovodí P6 pomocí matematického modelu MIKE SHE – porovnání roku 1953 a 2010

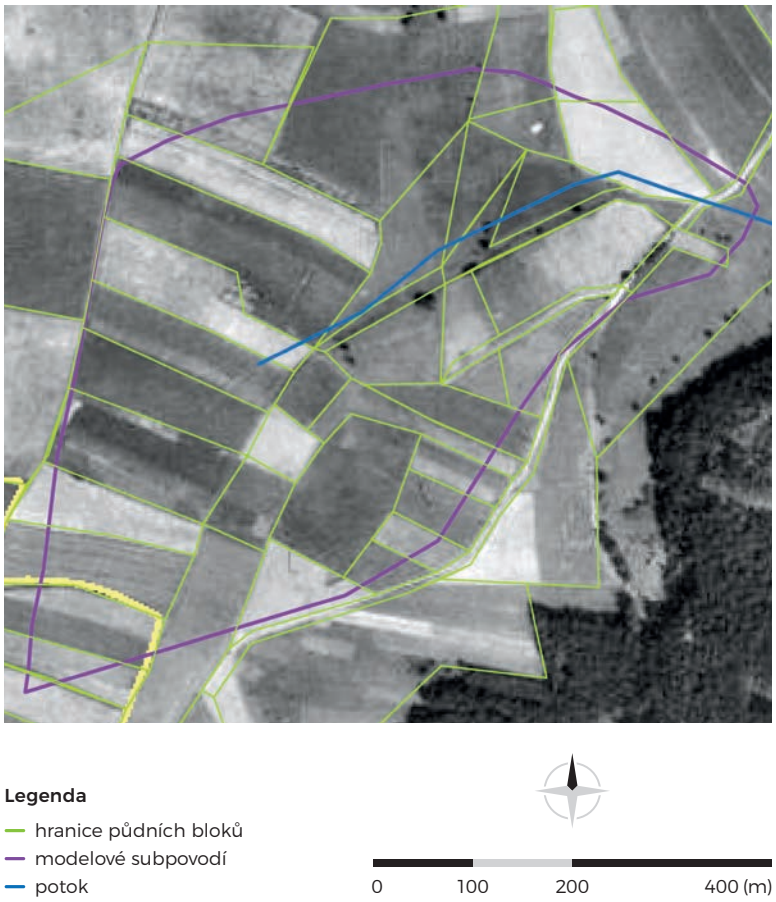
Vzhledem k obtížnosti a nákladnosti zjišťování dopadu změn ve využití území na mechanismy tvorby odtoku v reálných povodích se jako vhodná metoda k jejich odhadu jeví využití distribuovaných srážkoodtokových matematických modelů. Jedním z nich je model MIKE SHE (Graham and Butts, 2005), pomocí kterého byl simulován předpokládaný dopad dvou změn ve vyžití území (změna způsobu obhospodařování a výstavba systematické trubní drenáže) na vybraném subpovodí P6 Kopaninského potoka (Tachecí a kol., 2014b).

Popis modelu, použitá data

Pro popis mechanismů tvorby odtoku byly v modelu použity následující aproximace obecných rovnic proudění:

- plošný povrchový odtok 2D difusní vlnou,
- proudění v korytech vodních toků: 1D plně dynamická vlna,
- proudění v nenasycené zóně: 1D (vertikální) aproximace Richardsovy rovnice se zahrnutím vlivu makropórů,
- proudění v nasycené zóně: 3D aproximace metodou konečných rozdílů.

Obrázek 58: Mapa využití území subpovodí P6, 1953.



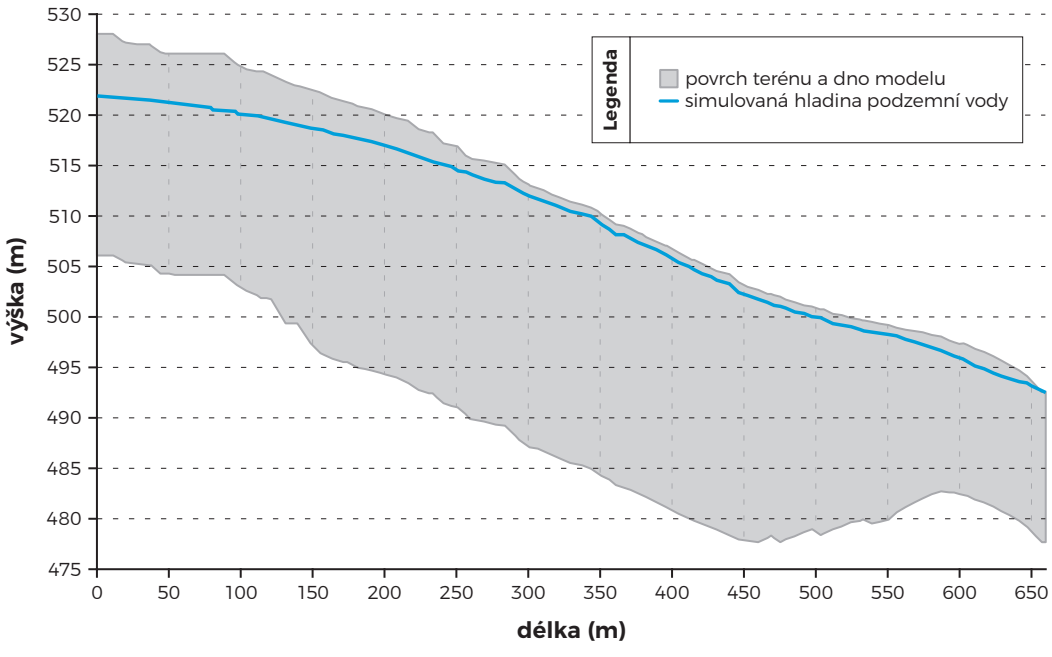
Obrázek 59: Mapa využití území, subpovodí P6, 2010.

Aktuální evapotranspirace je počítána pro jednotlivé plochy pomocí metody Kristensena a Jensena (1975). Pro tání sněhu je použita degree-day metoda.

Do modelu byly zadány dva stavy využití území – pro rok 1953 a pro rok 2010 (současnost). V roce 1953 je území rozdrobeno na řadu individuálně obhospodařovaných honů půdy, zatímco v současnosti jsou zemědělsky využívané plochy sceleny a vybudována trubní drenáž (obrázek 59). Jako podklad byly použity letecké snímky dostupné na serveru http://kontaminace.cenia.cz

Model využívá jako vstupy především měřená data VÚMOP Praha (srážky, odtoky) a data získaná v rámci předchozích projektů (příklad vertikálního profilu – graf 42). Časové řady potenciální evapotranspirace a vegetační parametry byly vypočteny na základě výzkumu na blízkém subpovodí Dehtáře (Duffková et al., 2011). Rotace plodin, data setí a sklizně pro model současného stavu vycházely ze skutečně zjištěných hodnot na subpovodí P6. Průtoky jsou měřeny na výusti trubní drenáže.

Graf 42: Vertikální podélný řez modelem subpovodí (převýšený).



Simulace dopadu změn využití území

Model byl kalibrován pro období 2004–2012 (podmínky současného stavu) tak, aby dostatečně vystihoval měřené průtoky a mělké hladiny podzemní vody a pro celé období udržoval celkovou bilanci vyrovnanou. Posléze byly provedeny úpravy v modelu tak, aby vystihovaly podmínky roku 1953:

- Mapa využití území byla změněna podle interpretace leteckého snímku z roku 1953 (obrázek 58). Rotace plodin byla zjednodušena. Hlavní plodiny v současnosti: řepka, pšenice, kukuřice, ječmen, řepka, pšenice, ječmen a pšenice byly zaměněny za rotaci čtyř plodin (jetel, pšenice, brambory, ječmen) rozdílně na jednotlivých honech půdy.
- Schematizovaná trubní drenáž byla z modelu odstraněna.
- Nasycená hydraulická vodivost pro hloubku 0–15 cm a 15–30 cm půdního profilu byla zvýšena o 25 %. Tato změna má simulovat efekt zhutnění půdního profilu používáním mechanizace v současnosti oproti roku 1953.

Z výsledků modelu pro obě varianty byly vyhodnoceny rozdíly v celkové bilanci, odtokové odezvě při událostech, dynamice hladiny podzemní vody a v režimu vlhkosti půdy.

Z porovnání výsledků simulované bilance pro celé subpovodí za osmileté období lze zjistit:

- Celková dlouhodobá bilance zůstává vyrovnaná pro obě simulace.

- Ve variantě roku 1953 se zvýšila evapotranspirace asi o 8 % vůči současnému stavu (graf 43).
- Celkový odtok je asi 28 % srážkového úhrnu (současný stav). Pro podmínky roku 1953 je nižší o 8 %, tedy asi 78 mm za rok (tabulka 43).

Lze usuzovat, že (z bilančního pohledu) asi 10 % srážkové vody, která je v současných podmínkách odváděna trubní drenáží do recipientu, je za podmínek roku 1953 z poloviny využita pro evapotranspiraci porostu, čtvrtina tvoří povrchový odtok a čtvrtina proudí pod povrchem dále po svahu dolů k hlavnímu recipientu – Kopaninskému potoku. Lze očekávat dlouhodobě vyšší hladinu podzemní vody a tedy zamokření terénních depresí a ploch kolem toků. Tomu by odpovídala interpretace porostů na leteckém snímku z roku 1953 – výskyt luk a ploch ponechaných ladem podél místní vodoteče.

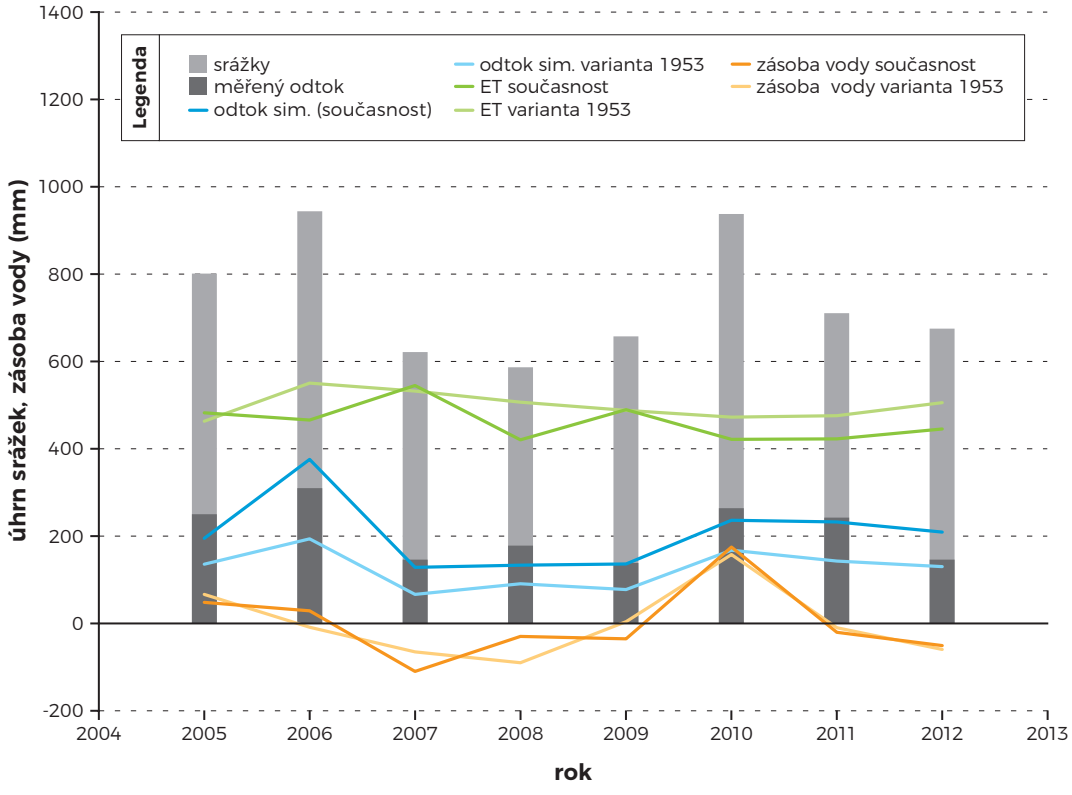
Z rozboru srážkoodtokových událostí (graf 44 a 45) je zřejmé, že pro podmínky roku 1953 simulované průtoky jsou srovnatelné se současnými podmínkami jen pro nejnižší intenzity srážek, pro středně intenzivní jsou průtoky výrazně vyšší, pro nejvyšší intenzity srážek model simuluje odtoky během události v hodnotách násobků průtoků pro současný stav.

Možné změny v mechanismu tvorby odtoku lze analyzovat pomocí dalších simulovaných

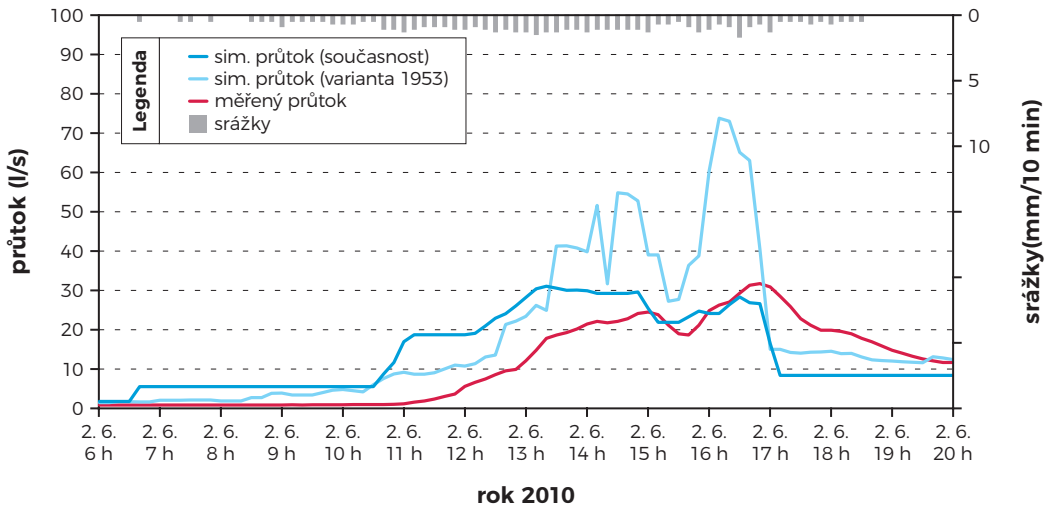
Tabulka 43: Porovnání hydrologické bilance za období 1. 11. 2004–30. 9. 2012 simulované modelem subpovodí P6 pro současný stav a pro podmínky roku 1953 (úhrny v mm)

Složky hydrologické bilance	Historické varianty využití subpovodí P6	
	Současný stav	Varianta 1953
Srážky	5 949	5 949
Aktuální evapotranspirace	3 692	3 994
Podpovrchový (drenážní) odtok	1 650	1 030
Povrchový odtok	2	154
Změna zásoby vody	6	–5
Podzemní odtok přes hranice území	592	738

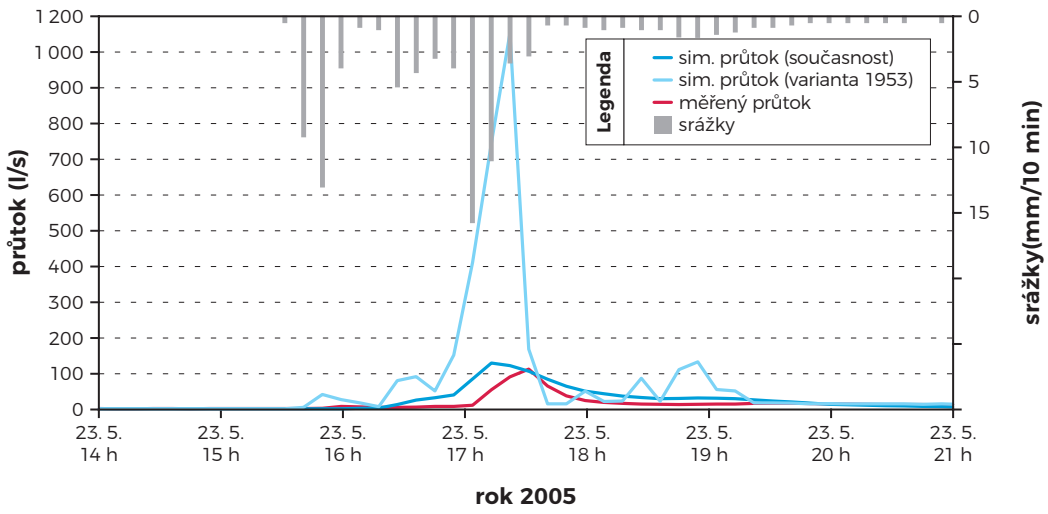
Graf 43: Hlavní složky simulované bilance subpovodí P6 v jednotlivých letech, porovnání současného stavu a podmínek pro rok 1953 (úhrny v mm).



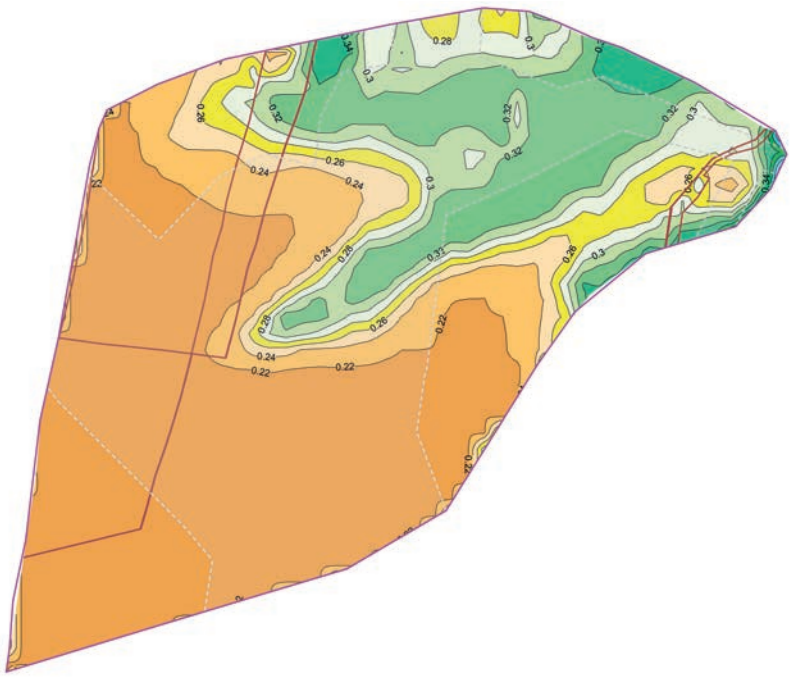
Graf 44: Srážka s nízkou intenzitou (2. 6. 2010: celkový úhrn 38,6 mm, střední intenzita 3,7 mm/h), subpovodí P6.



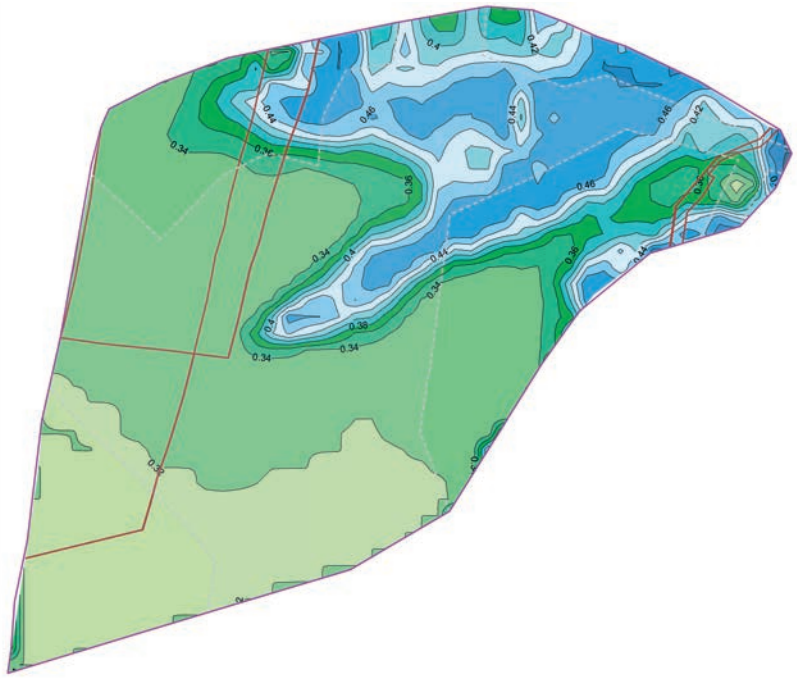
Graf 45: Srážka s vysokou intenzitou (23. 5. 2005: celkový úhrn 54,8 mm, střední intenzita 47 mm/h), subpovodí P6.



Obrázek 60: Simulovaný obsah vody (cm³/cm³) v hloubce 15 cm před srážkovou událostí vysoké intenzity (23. 5. 2005, 15.40 h), model současného stavu subpovodí P6.



Obrázek 61: Simulovaný obsah vody (cm³/cm³) v hloubce 15 cm během srážkové události vysoké intenzity (23. 5. 2005, 16.30 h), model současného stavu subpovodí P6.



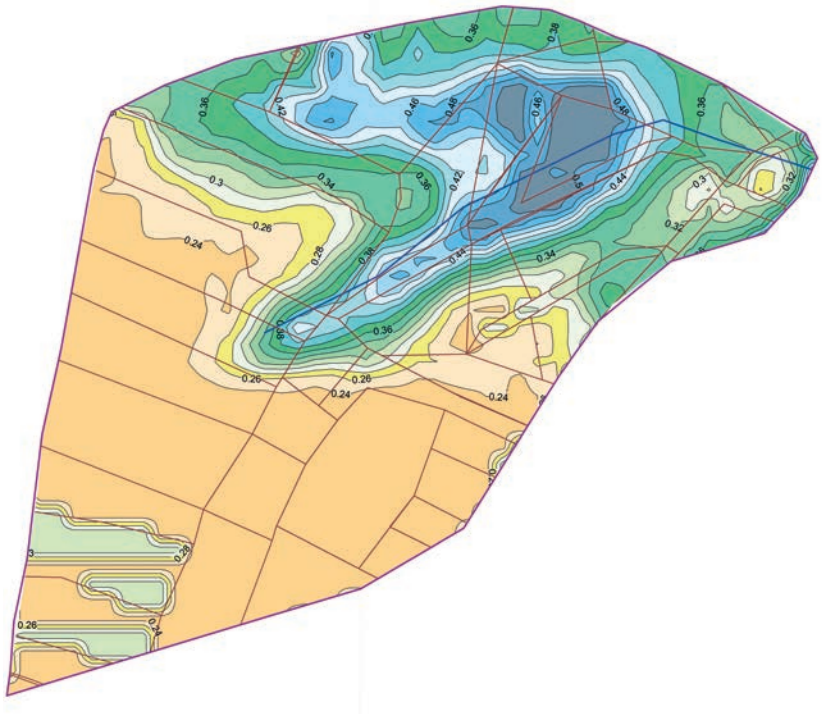
veličin v ploše subpovodí, např. obsahu vody v půdě (obrázek 60).

V případě události 23. 5. 2005 model současného stavu v horní (sušší) části subpovodí simuluje rychlou infiltraci srážkové vody do svrchního horizontu (až 62 mm během 140 min trvání srážky) a zbylý úhrn se zdržuje na povrchu. Vzhledem k malému sklonu nenastává intenzivní plošný povrchový odtok a voda je postupně infiltrována do půdy. Naopak ve vlhčích podmínkách dolní části subpovodí se celý půdní profil rychle přiblíží nasycení (obrázek 61), voda z povrchu je odvedena makropóry přímo k hladině podzemní vody a při dosažení hloubky dna drénů je generován drenážní odtok.

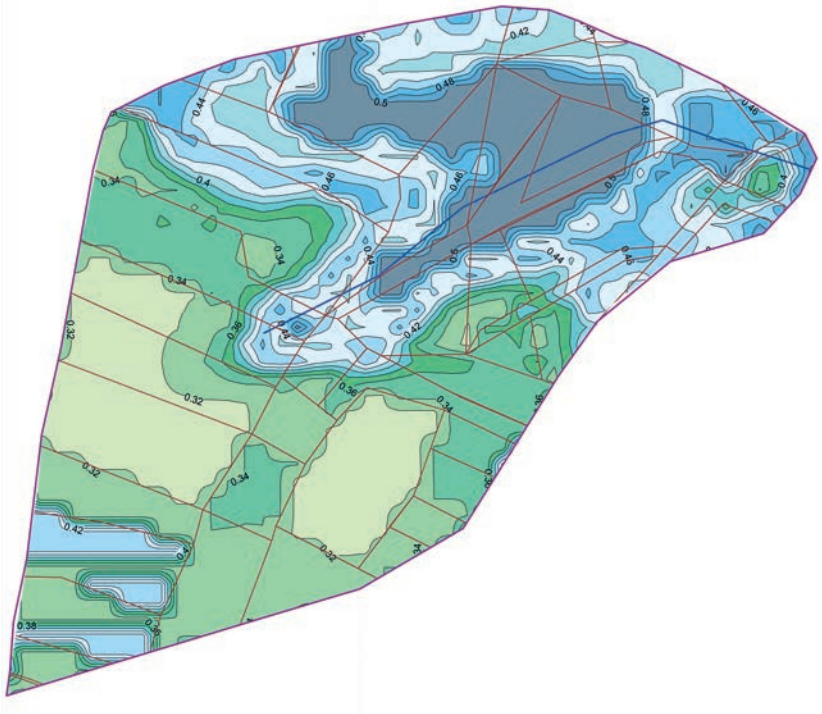
Pro podmínky roku 1953 se výsledky simulací liší. V dolní části subpovodí model simuluje výrazně vlhčí podmínky už před srážkou; v okolí lokální vodoteče blízko nasycení (obrázek 62). Během srážky dochází rychle k plnému nasycení, další srážková voda zůstává na povrchu a vytváří povrchový odtok. Tato oblast se rychle rozšiřuje, v závěrečné fázi srážky zabírá více než třetinu plochy subpovodí (obrázek 63). Vytváří se nasycené proudění dolů po svahu (hypodermický odtok).

Analýzou změn obsahu vody ve svrchních 30 cm půdního profilu (obrázek 64) během srážkové události bylo zjištěno, že plně nasycené podmínky se propagují do hloubky 30 cm asi 3,5 hodiny (střední rychlost asi

Obrázek 62: Simulovaný obsah vody (cm³/cm³) v hloubce 15 cm před srážkovou událostí vysoké intenzity (23. 5. 2005 15.40 h), model podmínek roku 1953, subpovodí P6.



Obrázek 63: Simulovaný obsah vody (cm³/cm³) v hloubce 15 cm během srážkové události vysoké intenzity (23. 5. 2005, 16.30 h), model podmínek roku 1953, subpovodí P6.



1,2 mm/min), což odpovídá střední intenzitě obou srážkových pulsů události 23. 5. 2005 (asi 0,82–0,92 mm/min).

Porovnáním výsledků obou simulací můžeme usuzovat na změny tvorby odtoku na subpovodí P6. Pro podmínky roku 1953 model simuluje asi na 20 % plochy subpovodí (kolem lokální vodoteče) prakticky nasycené podmínky již před srážkou. Simulovaný odtok je pro podmínky roku 1953 tvořen především povrchovým odtokem (12 % srážkového úhrnu), zatímco podpovrchový odtok je stejný jako v případě simulace současného stavu (6 % srážky). Ten je však v současných podmínkách veden především systematickou drenáží, zatímco ve variantě roku 1953 jde o proudění mělké podzemní vody nasyceným profilem. Nižší podíl srážky je také v případě varianty simulace 1953 akumulován v podpovrchové zóně subpovodí, což je dáno vyšší vlhkostí na počátku srážky (obrázek 65).

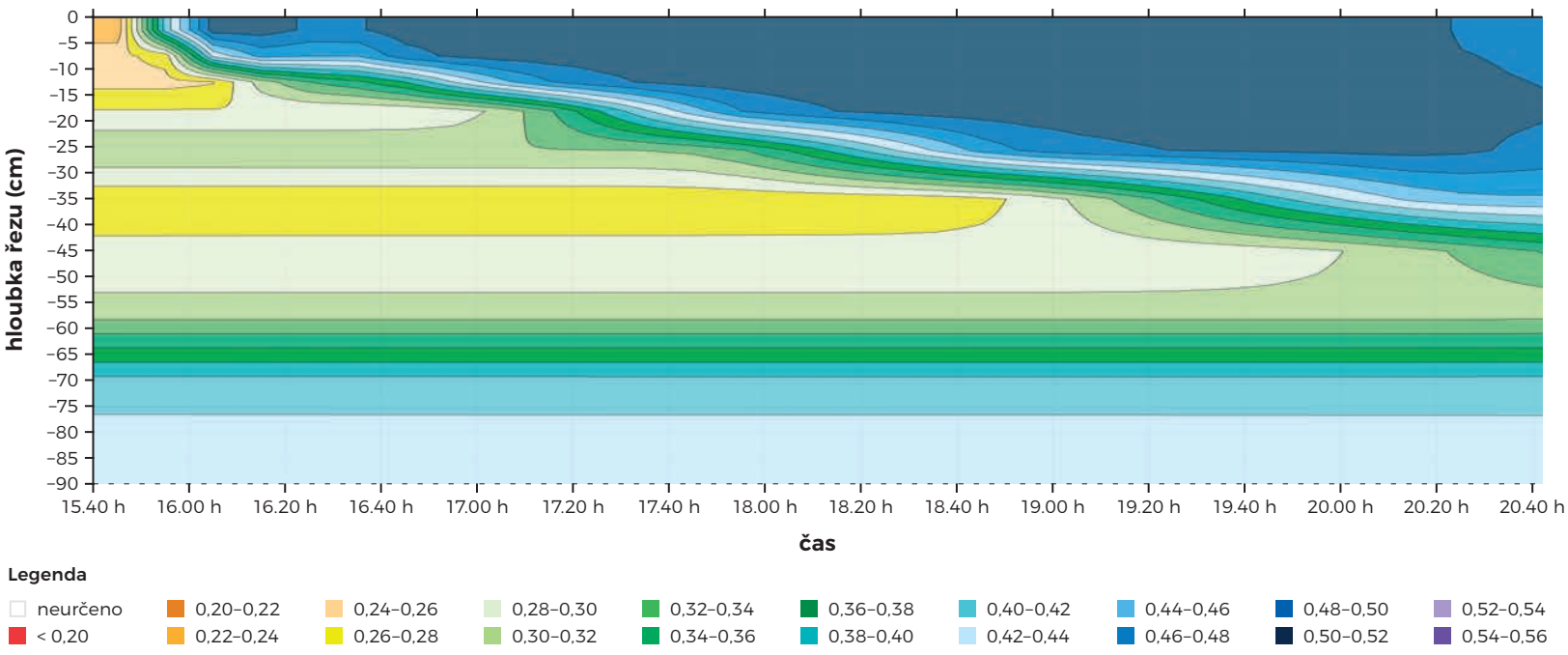
Interpretace výsledků simulací

Souhrnně lze na základě výsledků simulací formulovat hypotézu, že zavedením trubní drenáže na subpovodí P6 se změnil mechanismus tvorby odtoku. Původní mechanismus byl kombinací mělkého podpovrchového (hypodermického) proudění s povrchovým prouděním na plochách nasycených díky mělké hladině podzemní vody blízko povrchu (podél lokální vodoteče a v severní části subpovodí). Po vybudování drenážního systému a scelení pozemků došlo k zaklesnutí hladiny podzemní vody, praktické eliminaci zamokřených ploch a také povrchového odtoku. Výsledky modelu současných podmínek ukazují, že odtokový mechanismus je výhradně podpovrchový, odtok je určován prouděním preferenčními cestami v půdě, částečně hypodermickým prouděním a přítokem mělké podzemní vody do trubní drenáže, jakmile dojde k zvýšení hladiny díky příspěvku z aktuální srážky. Subpovodí má poměrně malý sklon, takže i při intenzivní srážkové události v květnu 2005 model simuluje povrchový odtok ve zcela zanedbatelném objemu.

Přestože v dlouhodobé bilanci odtéká podle výsledků modelu v současných podmínkách asi o 8 % srážkového úhrnu více (než pro podmínky roku 1953), během událostí s intenzivními srážkami jsou maximální simulované průtoky díky drenáži výrazně redukovány.

Dopad změn v mapě pozemků (tj. scelení do velkých, jednotně obhospodařovaných bloků) je méně významný než dopad drenáže, ale není zanedbatelný – především je významný rozdíl obsahu vody v půdě na počátku srážky. V případě většího sklonu subpovodí by zřejmě měla vliv i mozaika využití pozemků na povrchový odtok.

Obrázek 64: Simulovaný průběh změn obsahu vody v půdě (cm³/cm³) ve vertikálním řezu do hloubky 0,9 m během srážkové události vysoké intenzity (23. 5. 2005), model současného stavu, vybraný bod v horní (sušší) části subpovodí P6. Na svislé ose je hloubka pod povrchem (v centimetrech), na vodorovné ose je čas (23. 5. 2005 15.40 až 20.40 h).



Obrázek 65: Simulovaný průběh obsahu vody v půdě (cm³/cm³) ve vertikálním řezu do hloubky 0,9 m během srážkové události vysoké intenzity (23. 5. 2005), model podmínek roku 1953, vybraný bod v horní (sušší) části subpovodí P6.

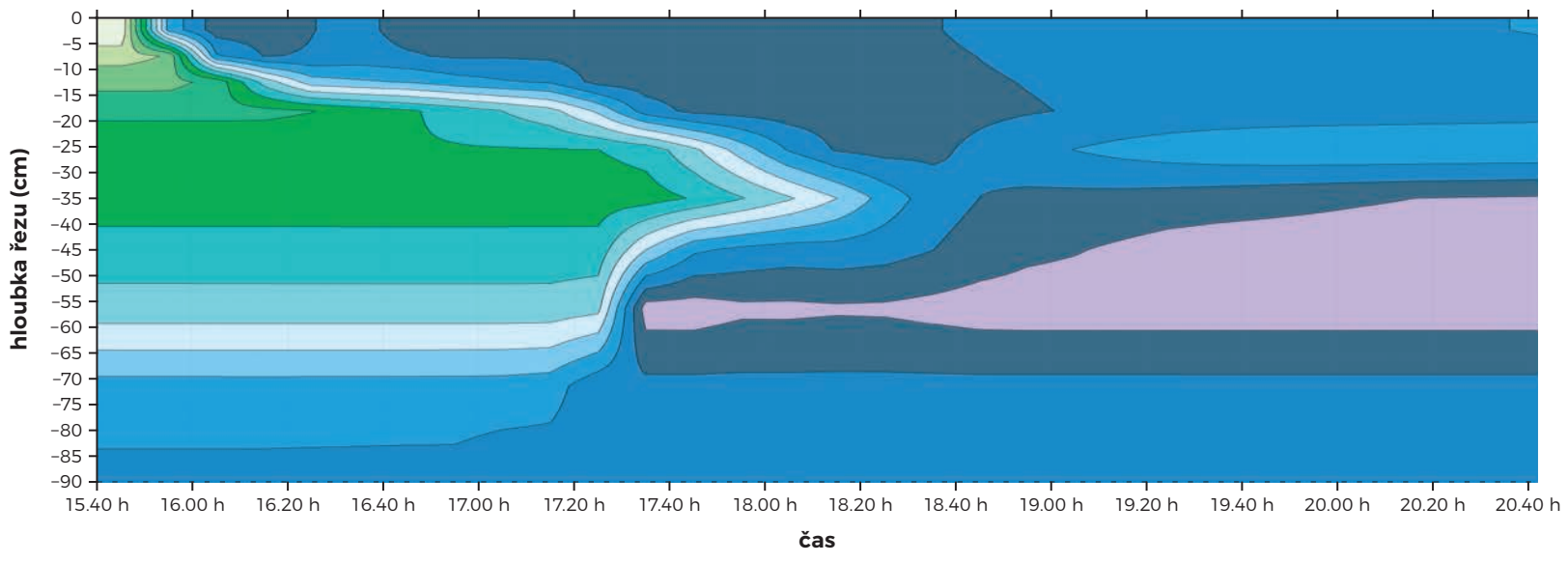


Foto 63: Ploché, obdělávatelné infiltrační oblasti na rozvodnici jsou využívány jako orná půda. Zdroj: Kvítek T.

2.2

Tomáš Kvítek
Luděk Šefrna
Karel Břetislav Březina
Jakub Brom
Renata Duffková

Infiltrační oblasti a jejich vliv na vodní režim malých povodí

Pole jakkoliv úrodné, přece bez obdělání úrodu přinášet nemůže.

Marcus Tullius Cicero
Římský řečník, republikánský politik, filozof a spisovatel

Infiltrační neboli zdrojové oblasti představují z hydrogeologického a z hydrologického pohledu části povodí, na kterých dochází k infiltraci srážek, které mohou být využity pro doplnění hladiny podzemní vody. Infiltrační oblast má přirozenou návaznost na další svahové zóny v povodí, tj. na transportní a výtokovou oblast. Rozmístění jednotlivých svahových zón (infiltrační, transportní, výtokové) v krajině souvisí s rozložením půdních typů a druhů, resp. zásob vody v půdě. V přirozených povodích teče voda podpovrchovým (hypodermickým) odtokem z infiltračních oblastí do výtokových oblastí. Infiltrační oblasti zaujímají nejčastěji nejvyšší oblasti povodí poblíž rozvodnice, vrcholky a hřbety, nicméně se v souladu s místními podmínkami mohou nacházet i v nižších polohách. Jsou zde předpokládány mělčí, kamenité půdy s vyšším obsahem písku a s velkou schopností infiltrace vody. V infiltračních oblastech dochází k formování množství a jakosti zdrojů podzemních vod v závislosti na fyzikálních a chemických vlastnostech půd, obhospodařování a vegetačním pokryvu půdy. Porosty zvyšují retenční schopnost půd, zpomalují povrchový odtok vody a zároveň zlepšují kvalitu vody. Retenční schopnost porostů a jejich vliv na kvalitu vsakované a odtékající vody závisí na druhu pěstované plodiny nebo kultury. Nositeli účinných tzv. mimoprodukčních funkcí jsou trvalé travní porosty (ochrana jakosti vody, protierozní ochrana půdy, podpora biodiverzity a retence vody v krajině), které efektivně využívají dodané živiny a omezují jejich proplavování i povrchový odtok v důsledku morfologického utváření trav (hustá nadzemní i podzemní biomasa) a jejich celoroční pokryvnosti. Propustné půdy infiltračních oblastí jsou z hlediska tvorby zdrojů podzemní vody vhodné k zatravnění, což kromě zlepšení jakosti vody zvyšuje retenci vody v půdě, umožňuje plynulý odtok i zasakování srážkových (povrchových) vod včetně přívalových. Pokud není možné zatravnění infiltračních oblastí provést, měl by výběr plodin a agrotechnických operací (včetně dávek hnojení) být ve shodě s možným výskytem vodního stresu.

Transportní zóna zaujímá především střední části svahů, srážky se transformují převážně na povrchový odtok, podzemní voda teče svahem dolů, hladina podzemní vody se dostává blíže k povrchu. Představuje spojnici mezi infiltrační a výtokovou oblastí.

Výtokové oblasti jsou části povodí, kde podzemní voda vytéká na povrch terénu nebo do povrchového vodního útvaru. Nacházejí se v nejníže položených částech svahů a podél povrchových toků, mají sklon k povrchovému zamokření. Předpokládají se zde půdy hlubší, s vyšším podílem jílu a nižší možností infiltrace srážek.

Přesné rozložení těchto oblastí závisí na místních geologických a geomorfologických

poměrech. Hranicemi mezi nimi mohou být náhlé změny podloží, půdních vlastností a také morfometrie georeliéfu. Důležité morfometrické charakteristiky jsou zejména křivost reliéfu a jeho sklon.

Rozložení svahových zón ovlivňuje vodní režim povodí. Stav vodního režimu povodí souvisí s koloběhem vody v krajině, jehož významnou složkou je evapotranspirace. Evapotranspiraci je možné vyložit jako souhrnný výpar z povrchu rostlin (transpirace) a z povrchu oceánů, vodních nádrží a vodních toků a zemského povrchu (evaporace) do přilehlé vrstvy atmosféry. Ačkoliv je to děj neviditelný, o to větší význam má v krajině. Evapotranspirace je součástí koloběhu vody v přírodě, který díky cirkulaci vzduchu a zemské gravitaci uvádí do pohybu vodu povrchovou i podzemní. Evapotranspirace představuje jeho „ztrátovou složku“, neboť se jedná o tu část vody spadlé v podobě srážek, která je v rámci změn skupenství (výpar, sublimace) přeměněna ve vodní páru. Tato ztráta však nemůže být v žádném případě vnímána negativně. V procesu evapotranspirace se spotřebovává sluneční energie a vzduch se stává chladnějším a vlhčím. To je důvod, proč se např. v lese cítíme v létě příjemněji než ve městě, kde je vzduch přehřátý a není ochlazován výparem vody. Výpar vody evapotranspirací je nezbytným předpokladem pro správný fyziologický stav rostlinstva a pro fungování krajiny. Srážková voda, která není spotřebovaná výparem, se stává součástí povrchových vod nebo zvyšuje půdní vlhkost a zásobu podzemních vod. Vodní páry se v atmosféře díky kondenzaci srážejí (zpětné uvolňování energie, oteplování) a v podobě srážek nebo rosy se opět dostávají na zemský povrch. Koloběh vody se tak uzavírá. Ideálním koloběhem vody je tzv. uzavřený (krátký) koloběh vody, který je vázán na krajinu s rozsáhlými plochami vegetace (mokřady, lesy, louky), kde většina vypařené vody se často a v malých množstvích vrací na zem v podobě srážek na

Foto 64: Zemědělsky neobdělávatelné půdy infiltrační oblasti na rozvodnici jsou tvořeny lesními porosty. Zdroj: Kvítek T.

relativně malém území a doplňuje hladiny podzemní vody. Odtok povrchové vody nezadržené vegetací je minimalizován a působí jen nízké nevratné ztráty látek. Výparem a kondenzací vody se také přenáší – přerozděluje – sluneční energie (tzv. proces disipace). Tímto způsobem se udržuje voda v krajině a také jsou tlumeny rozdíly mezi maximální a minimální denní teplotou. Horší je situace, kdy je v krajině nedostatek těchto ochlazovacích ploch (např. narušená krajina, orná půda, města) a pára se může dostávat atmosférou až nad vzdálené oceány či pásma hor a teprve zde kondenzuje a vrací se nad pevninu, kde opět srážkami padá na zemský povrch. Tím je krajina o vodu ochuzována, je vysušována, srážky mohou být méně časté, v množství nevyrovnané (např. přívalové srážky, z nichž značná část odteče po povrchu půdy bez užitku pro rostliny). Tento koloběh se nazývá otevřený (dlouhý). Lokální nedostatek kolující vody snižuje evapotranspiraci a tím i ochlazování vzduchu. V takové krajině dochází k abnormálním teplotním výkyvům (tokům tepelné energie). Hladina podzemní vody je zpravidla nízká.

Intenzita evapotranspirace je zásadním způsobem ovlivňována především rostlinstvem. Kolik se celkově z jednotky plochy vypaří, nezávisí však jenom na tom, kolik aktivní listové plochy se vyskytuje na plošné jednotce. Záleží také na tom, jaká je intenzita slunečního záření, vlhkost a teplota vzduchu, rychlost větru a na půdních a vlhkostních podmínkách stanoviště, které jsou ovlivněny nejen množstvím srážek, ale i jejich distribucí.

Proč vlastně prochází voda rostlinami od kořenů až na povrch? Roznáší se tak živiny v rostlinném organismu a voda se dostává k povrchu listů, aby se zde vypařila a tím udržovala povrch na optimální teplotě, a tudíž ochránila rostlinu před přehřátím. Transpirace má tedy zcela zřejmou pozitivní vazbu na zdravotní stav a rychlost růstu rostlin a zvyšování výnosů v rostlinné výrobě. Rychlost pohybu vody v rostlině je určována gradientem vody mezi půdou a vzduchem přiléhajícím k vegetačnímu povrchu. Obecně, čím je tento gradient větší (tj. půda je dostatečně vlhká a vzduch relativně suchý), tím je pohyb vody v rostlině rychlejší. Rostlina sama aktivně výdej vody (páry) reguluje pomocí průduchů (stomat) – otvorů v pokožce listu – a v případě vývoje půdního sucha efektivně hospodaří s vodou tím, že průduchy uzavírá. Suchem sužované rostliny mají vyšší teplotu povrchu, která je odrazem jejich fyziologického stavu a porost zároveň snižuje produkci fytomasy.

Evapotranspiraci lze rozlišovat na aktuální (skutečnou) a potenciální. Aktuální evapotranspirace závisí na momentálních meteorologických podmínkách, vegetační době a stavu vegetace obecně a především pak na obsahu vody v půdě a její dostupnosti pro rostliny. Potenciální evapotranspirace představuje evapotranspiraci v daných atmosférických a půdních podmínkách za předpokladu stálého dostatku půdní vláhy a optimálních podmínek pro vývoj rostlin.

2.2.1

Metody určení infiltračních (zdrojových) oblastí hypodermických vod

Metody plošného vymezení infiltračních oblastí, které jsou dále uvedeny, používají kombinaci dostupných fyzikálních vlastností ovlivňujících infiltraci. Tyto metody vycházejí z hodnocení rizik zranitelnosti podzemních vod (či souvisejících hydrogeologických struktur), pro která byla vyvinuta řada koncepcí, z nichž nejvíce používaný (a ověřovaný) je tzv. model DRASTIC. Tento název je akronym složený z anglických termínů vstupních parametrů modelu – Depth to water table, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography (slope), Impact of vadose zone media, (aquifer hydraulic) Conductivity, které plošně vystihují variabilitu prostředí. Vstupní parametry jsou ukládány do vrstev a každé vrstvě je pak přidána váha, která proporcionálně ovlivňuje výslednou zranitelnost podzemních vod. Pro tento přístup jsou využívány technologie geografického informačního systému (GIS), které poskytují možnost práce s prostorovými daty.

V České republice byly prozatím vyvinuty tři metody k určování infiltračních oblastí.

1. Metody využití map komplexního průzkumu zemědělských půd (KPZP) a bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ)

V České republice bylo vymezení infiltračních oblastí a souvisejícího rizika zranitelnosti podzemních vod provedeno na základě podkladových materiálů Komplexního průzkumu zemědělských půd a současně i BPEJ (Janglová a kol., 2003). Byla použita různá kritéria, která byla rozdělena do kategorií podle vlivu na infiltrační kapacitu půd. Následně byla v GIS provedena syntéza těchto kritérií. Hodnocenými kritérii z dat BPEJ byly jednotlivé informace z kódu BPEJ, tedy hlavní půdní jednotka, sklonitost, expozice, skeletovitost a hloubka půdy. Těmto atributům byl na základě dotazníku určeného pedologům přiřazen kód, který představoval míru vlivu kategorie na infiltrační kapacitu půd. Každému z atributů byla dále přiřazena váha hovořící o důležitosti jednotlivých kritérií. Výsledkem byly syntetické mapy půdní zranitelnosti obsahující pět kategorií infiltrační kapacity půd, přičemž kategorie I. zahrnuje plochy s maximální infiltrační kapacitou. Tyto výsledky byly dále rozvinuty metodikou pro identifikaci kritických zdrojových lokalit plošného zemědělského znečištění a dále do podoby syntetické mapy zranitelnosti podzemních vod. Jedná se o celorepublikové mapové dílo v měřítku 1 : 50 000 chráněné užitným vzorem. Tato metoda byla na subpovodí Dehtáře i ověřena (viz kapitola 3.3) provozním pokusem se zatravněním a sledováním změny odtoku a koncentrací dusičnanů.

2. Analýza půdních mapových podkladů konfrontací s parametry reliéfu z přesného modelu reliéfu a obohacením o detailnější texturu z původního půdního mapování KPZP

V této metodě je navrženo zpřesnění běžně dostupných pedologických podkladů ve formě bonitovaných půdně ekologických jednotek konfrontací s parametry reliéfu z přesného modelu reliéfu a obohacením o detailnější texturu z původního půdního mapování KPZP.

Obecně platí, že podrobné půdní mapy jsou zatíženy subjektivní chybou pedologů při mapování nejenom při popisu půdních profilů v reprezentativních bodech území a jejich správném zařazení k půdnímu typu, ale především zakreslením areálů mapovacích jednotek do topografické mapy. U map KPZP je při průměrné velikosti plochy 11 ha na jednu půdní sondu pravděpodobnost chyby vedení hranic půdních jednotek velká a záleží na zkušenosti a pečlivosti mapujícího pedologa, jak respektuje úzkou korelaci mezi geomorfologickými a půdními hranicemi, např. podle úpatí svahů, podle konkávních a konvexních částí svahů, přechodů plošin do svahů, jejich sklonu apod. Mapování KPZP je poplatné technickým možnostem šedesátých a sedmdesátých let minulého století, a proto také lokalizace sond v mapách byla subjektivní a nemůžeme se proto zcela spolehnout na jejich přesnost.

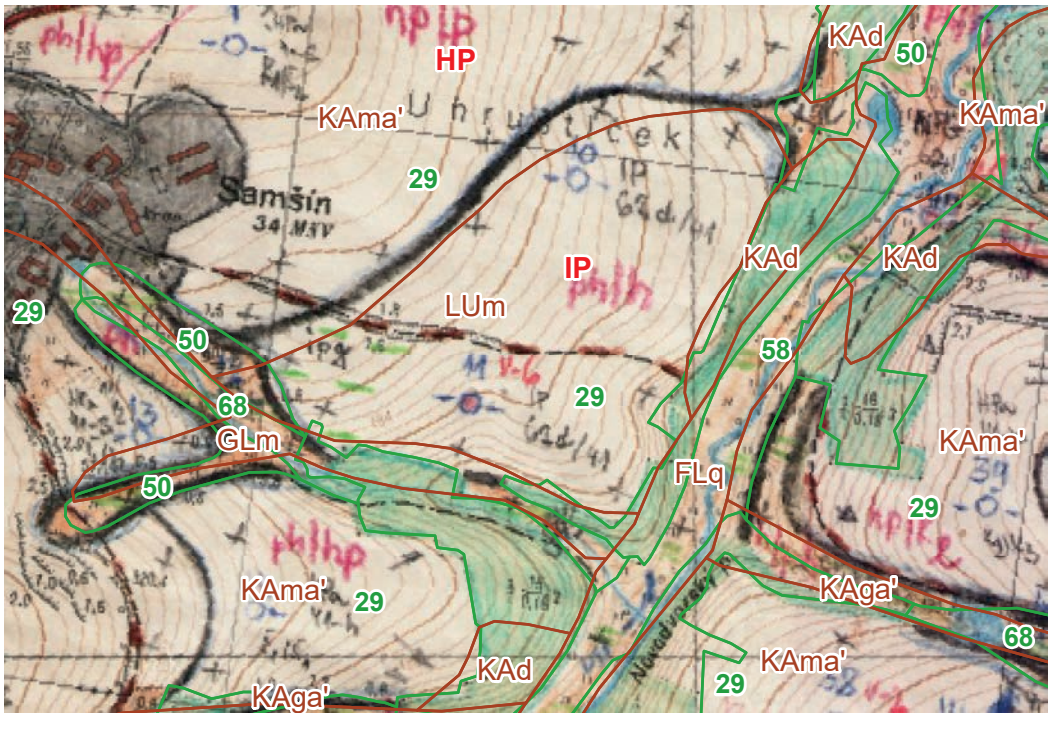
Pro otestování vhodnosti a přesnosti půdních map použijeme přehledovou půdní mapu 1 : 50 000, mapu KPZP a mapu BPEJ (obrázek 66). Na příkladu vodního útvaru Kejtovského potoka porovnáme půdní mapovací jednotky, které jsou převážně na úrovni subtypů.

Specifikem jednotek BPEJ je jejich nejednotná shoda s čistě půdními subtypy ostatních map. Na této mapě můžeme pomocí překryvu tří zmíněných mapových podkladů ve výřezu subpovodí přibližně v měřítku 1 : 5 000 (Samšín) vidět značné rozdíly. Největší mezi mapami BPEJ a ostatními.

- Bonitační mapy nemají jednotky texturně homogenní, nerespektují texturní rozdíly, např. na mapě 18, nejrozšířenější HPJ 29 je v texturním rozpětí hp/p až ph/h, tedy lehká až střední. To znemožňuje přesnější odvození např. infiltrace, kde hlavní určující vlastností je právě zrnitost.
- HPJ 29 zahrnuje kambizemě a luvizemě, které jsou jednak rozdílné geneticky i substrátově, ale hlavně mají jiný vodní režim (propustnost i vodní retenci) díky zrnitostně těžšímu diagnostickému horizontu Bt a nebo Bvt v podorničí. V mapě 1 : 50 000 jsou zachyceny správně, jejich přenesení do podrobné mapy 1 : 5 000 je však zatíženo nepřesností.
- Ani jedna mapa nemá logickou vazbu areálů mapovacích jednotek k průběhu vrstevnic ve svahových údolích a jejich pramenních mís, kde jsou často semihydromorfní subtypy okolních půd, jako např. kambizemě a luvizemě oglejené (KAg a LUg) nebo pseudogleje (PGm), anebo jejich akumulační fáze, které zatím nebyly mapované.

Další velkou neznámou je vývoj půdního krytu po mapování KPZP před čtyřiceti až padesáti lety. Za tuto dobu došlo v našem zemědělském půdním fondu díky intenzifikaci velkovýroby k urychlení degradace. V oblasti moldanubika se v našem případě půdní kryt z původních lesních kambizemí transformoval na zemědělské půdy s mozaikou kontrastnějších kambizemních subtypů. Kontrastnost se stále prohlubuje díky zrychlené erozi a můžeme ji doložit rozdílem mezi kambizeměmi rankerovými, písčitými nebo již typově regozeměmi na konvexních částech reliéfu a akumulovanými kambizeměmi nebo již vlastními koluvizeměmi konkávních částí. Rozdíl mezi akumulovanými půdními subtypy a koluvizeměmi spočívá v mocnosti přemístěného orničního horizontu, přičemž více jak 50 cm akumulace je diagnostickým znakem koluvizemí. Vodní eroze je považována za nejvážnější degradační jev, ale méně se však již věnuje pozornost orebné erozi (tillage erosion), která v některých územích znamená ještě větší přesun půdního materiálu po svahu než vodní erozí. V každém případě i způsobu orby by se měla věnovat zvýšená pozornost, protože efektivita sebelepších protierozních opatření může být tímto způsobem eliminována nebo alespoň snížena. Problém eroze se v poslední době nevyhýbá ani lesním půdám, kde je zaznamenávána především tzv. eroze technicko-dopravní po těžbě a vnitroskeletová

Obrázek 66: Porovnání půdních mapovacích jednotek tří typů: přehledová půdní mapa, 1 : 50 000, mapa KPZP a mapa BPEJ (výřez části vodního útvaru Kejtovského potoka)



Srovnání půdních subtypů podle KPZP

IP – Ilimerizovaná půda = luvizem modální LUm
HPa – hnědá půda kyselá = kambizem modální kyselá KAma'
HPJ 29 – hlavní půdní jednotka kambizemí
LUm – luvizem modální
KAma' – kambizem modální kyselá

eroze. Tyto degradace lesních půd jsou prozatím nedostatečně v území zdokumentovány, a tím je jejich význam s největší pravděpodobností podceněný.

Metodický postup

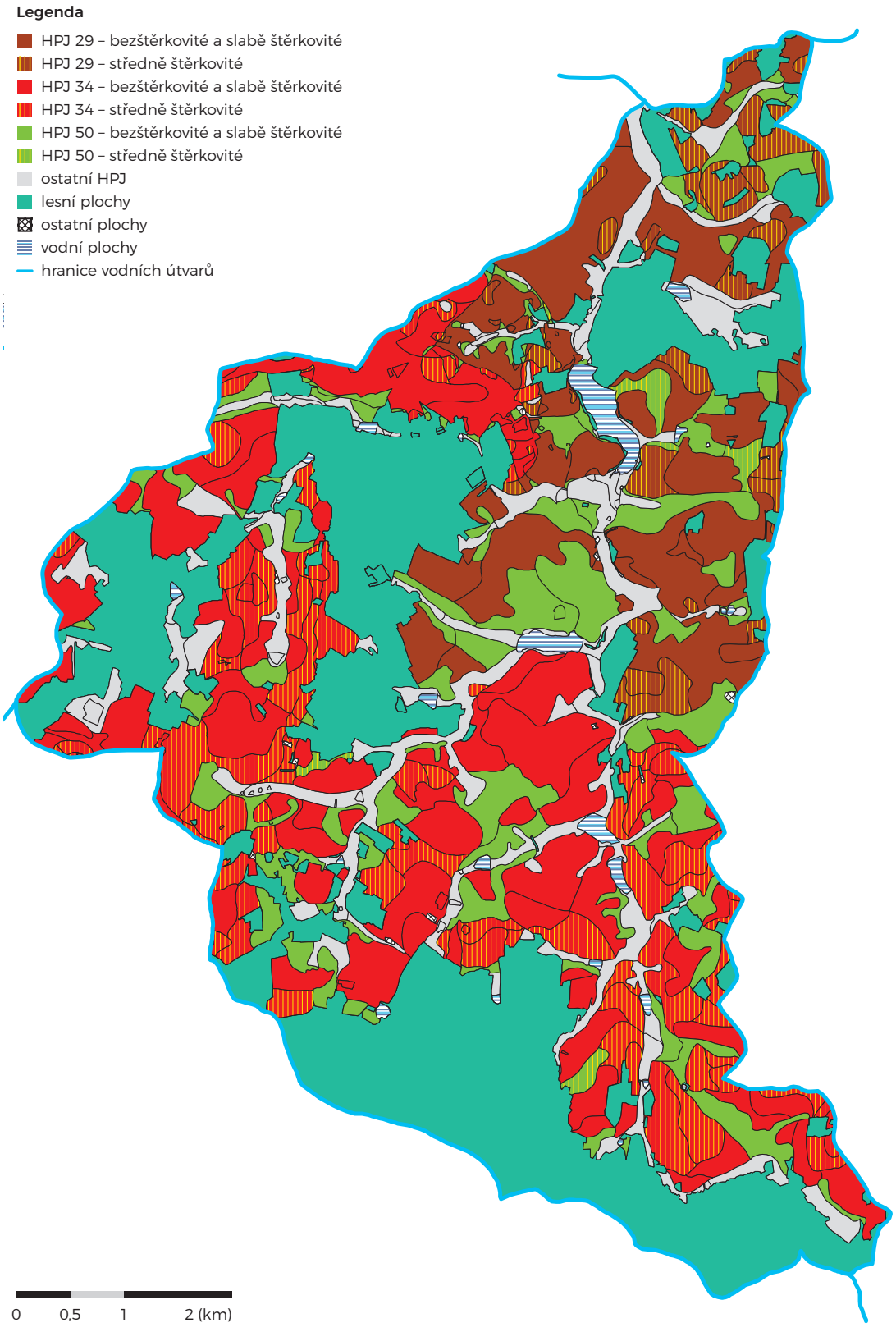
Současné možnosti zpracování a data o reliéfu a dalších půdotvorných faktorech umožňují stále více uplatňovat postupy digitálního mapování půd. Starší mapová díla, která jsou archivována ve formě polygonových papírových map, jsou takto převedena do rastrové podoby a poté konfrontována s vlastnostmi prostředí, které tvoří půdotvorné faktory. Historická půdní data se tak mohou stát daleko hodnověrnějším podkladem pro potřebné interpretace. V této kapitole se snažíme zpřesnit běžně dostupné pedologické podklady ve formě bonitačních jednotek konfrontací s parametry reliéfu z přesného modelu reliéfu a obohacením o detailnější texturu z původního půdního mapování KPZP.

Největší nevýhodou použití bonitačních jednotek získaných z map BPEJ je ve většině případů jejich texturní heterogenita. Najdeme ji především u kambizemních HPJ 29 a 34, které dominují v půdním krytu povodí Želivky a jejich oglejených variantách a pseudoglejů HPJ 50. To neplatí pro ty HPJ, které obsahují texturou určené půdní typy nebo subtypy, jako jsou např. pelozemě, kambizemě arenické a psefitické. Podle tohoto principu je v našem povodí vymezena HPJ 32 s jedním procentem zastoupení v ZPF, která zahrnuje kambizemě lehké s vysokým podílem hrubého písku až jemného štěrku (grusu) z matečných granitických a metamorfických hornin. U této HPJ je texturní homogenita více pravděpodobná. Nejrozšířenější HPJ 29, tvořená kambizeměmi modálními a jejich kyselými varietami, má možné zrnitostní rozpětí středně těžké až lehčí středně těžké. To znamená, že množství jílnatých částic s velikostí ≤ 0,01 mm (fyzikální jíl a jemný prach) se může v těchto půdách pohybovat v rozpětí 10–45 %. Jedná se o maximální teoretické rozpětí zrnitosti v rámci jedné lokality zahrnuté do jednotky BPEJ, přičemž štěrkovitost indikovaná posledním číslem 0 a 4 bonitačního kódu se může pohybovat v rozmezí od 0–50 %, a to znamená ještě větší rozptyl hodnot obsahu jílnatých částic v jednotném objemu půdy díky snížení podílu jemnozemě (frakce ≤ 2 mm). Na jednotný objem půdy zahrnující horizonty Ap a Bv se kombinací texturní heterogenity a štěrkovitosti můžeme teoreticky dostat k většímu rozpětí podílu jílnatých částic, a to od 5 do 45 % v rámci HPJ 29. Středně štěrkovité zemědělské půdy, obsahující 25–50 % štěrku, zaujímají ve vodním útvaru DVL_0330 27 % plochy (obrázek 67). Silně štěrkovitých půd (nad 50 %) a mělkých půd s mocností do 30 cm je ve vodním útvaru minimum.

Tato variabilita důležité půdní vlastnosti nám neumožňuje přesnější výpočet hydropedologických parametrů odvozených z fyzikálních charakteristik a jejich přesnější lokalizaci v povodí. Možným řešením je konfrontace jednotek BPEJ s půdními druhy, které byly převzaty z mapy zrnitosti 1 : 50 000 KPZP. Uvedená mapa zrnitosti je pouze rastrová a vektorovou podobu pro gisové užití použijeme jenom jako modelovou ukázku pro sedm dílčích vodních útvarů, které pokrývají dva listy mapy půdních druhů 1 : 50 000 (list M-33-91-A a M-33-91-C). Analyzujeme-li zastoupení lehkých (p a hp) a středních (ph a h) půd v rámci areálů jednotlivých výše uvedených HPJ v těchto modelových povodích, tak zjišťujeme (tabulka 44), že lehké půdy mají zastoupení v HPJ 29 od 14 do 46 %, u HPJ 34 od 14 do 25 % a HPJ 50 od 7 do 13 %. HPJ 32, která je podle metodiky vymezování jednotek BPEJ zrnitostně jednotnější, má skutečně zastoupení těžších (středních) půd jenom do deseti procent, což může být chyba spojená s převodem měřítek map a nepřesností mapových podkladů.

Metodicky je proto vhodné bonitační jednotky propojit se zrnitostními výstupy KPZP a vnitřně rozdělit dnes platné jednotky BPEJ podobně, jako se provedla úprava bonitačního systému na Slovensku, tzn. podle podrobnějšího

Obrázek 67: Zastoupení štěrkovitých půd ve vodním útvaru DVL_0330.



zrnitostního principu. Třeba v rámci HPJ 29 pracovně označit lehké varianty a střední, např. 6.29.14l (lehké) a 6.29.14s (střední). Takto upravený mapový podklad zlepšuje možnosti výpočtu infiltračního a retenčního potenciálu půd povodí.

Další inovací půdních podkladů je analýza reliéfu. Protože není možné provádět nový půdní průzkum, byly použity některé moderní metody, které nebyly k dispozici v době mapování, a byl vylepšen mapový podklad. Byl použit především model reliéfu, pro lepší korelaci půdy s reliéfem terénu, s cílem vymezit půdy erodované a koluviované. Jako vodítko nám poslouží dostupné ortofotomapy, z nichž lze některé vlastnosti půd v prostoru lépe vymezit. Jedná se především o semihydromorfní půdy, které se na snímcích projevují tmavším odstínem díky většímu pohlcení světla anebo nakupením humózních horizontů u koluvizemí či světlým odstínem erodovaných půd.

Základní inovační metodou pro dosavadní mapy je vymezení zakřivení svahů z modelu reliéfu. Pro expeditivnost postupu navrhujeme vytvořit mapovou vrstvu ve třech kategoriích: plošiny (zbytky paroviny), konkávní tvary podle horizontálního a vertikálního zakřivení a konvexní tvary. Těmito kategoriemi budou modifikovány půdní jednotky na erodované a koluviované, případně hydromorfně ovlivněné. Ukázka (obrázek 68) je na kontrolním výřezu v okolí Samšína ve vodním útvaru DVL_0390 Kejtovského potoka, který je pro celé povodí zachycen na obrázku 69.

Podle výše uváděných půdních charakteristik jsou konkávní tvary reliéfu s větší mírou pravděpodobnosti obohaceny o jemnější půdní frakce a mají větší mocnost ve srovnání s konvexními tvary. To je sice teoretické východisko, které nebylo v terénu studováno systematicky a na velkém statistickém souboru, ale v povodí VN Švihov na Želivce jsme je testovali na několika lokalitách. V každém případě by si tento jev zasloužil podrobnější studii. Podle tohoto principu byly upraveny charakteristiky infiltrace a retence půd v závěrečné syntetické mapě.

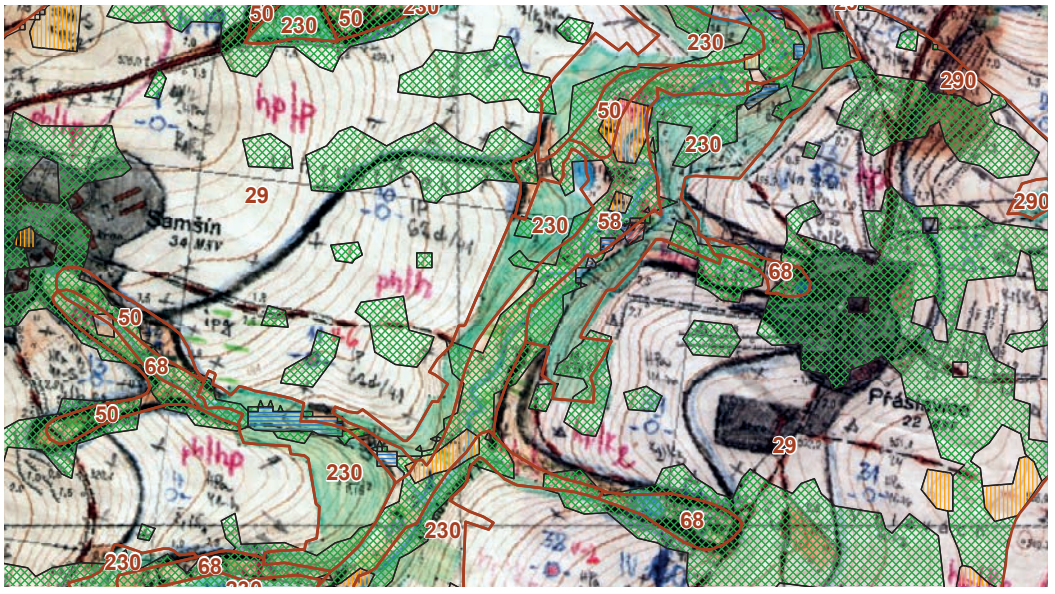
K odvození vodního režimu půd pro syntetickou půdní mapu byl použit postup Komplexního hodnocení zemědělských půd (Janderková a kol., 1999), kde jsou v kapitole Vodní režim klasifikovány půdy podle klasifikačních jednotek i bonitovaných jednotek. Jedná se o upravené hodnoty půd publikované Janečkem (Janeček a kol., 2005).

Vstup vody do půdy (infiltrace) a pohyb vody v půdě (propustnost, hydraulická vodivost) závisí na řadě půdních vlastností a charakteristik, které jsou navzájem v interakci. Mezi charakteristiky, které infiltraci do půdy a propustnost půdy (resp. pohyb vody v půdním prostředí) zásadním způsobem ovlivňují, patří zejména:

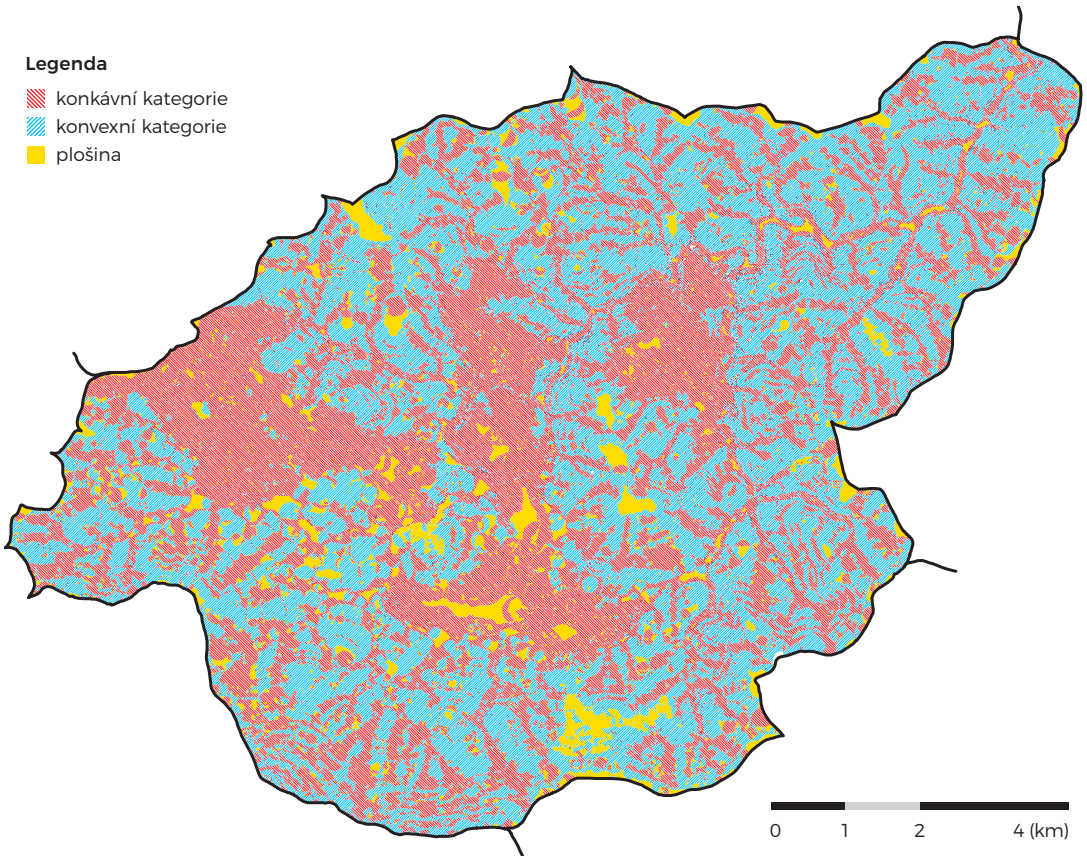
- zrnitostní složení půdního profilu,
- výskyt horizontů nebo vrstev v půdním profilu, které mají odlišné zrnitostní složení nebo odlišné fyzikální vlastnosti (utužené vrstvy),
- strukturní stav půdy (profilu),
- hloubka půdy (k podložní hornině, k hladině podzemní vody),
- mineralogické složení jílové frakce ovlivňující objemové změny půdy při bobtnání a smršťování (montmorillonit – silně bobtná; illit, kaolinit – nebobtná nebo slabě bobtnají) a tím tvorbu trhlin,
- charakter pórů – jejich velikost a rozmístění,
- obsah humusu a jeho vlastnosti (surový humus a dobře kondenzované humusové látky).

Zrnitostní složení je zásadní půdní vlastností a k jejímu zpřesnění náš postup směřuje především. Musíme ale zdůraznit, že infiltrace půdy zásadním způsobem závisí na obsahu vody v půdě, tj. zda infiltrace a pohyb vody probíhá v prostředí nenasyceném vodou nebo nasyceném vodou. Infiltrace a pohyb vody v prostředí nasyceném vodou je obvykle mnohem pomalejší v důsledku objemových změn v půdě (bobtnání); parametry infiltrace jsou v nasyceném prostředí dobře stanovitelné. Pohyb vody v prostředí

Obrázek 68: Syntetická mapa KPZP, HPJ a zakřivení terénu (výřez části vodního útvaru Kejtovského potoka).



Obrázek 69: Vymezení zakřivení svahů z modelu reliéfu ve vodním útvaru DVL_0390 Kejtovský potok po ústí do vodního toku Trnava.



nenasyceném je mnohem komplikovanější a hodnoty jsou obtížněji určitelné. Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti celého půdního profilu při nasycení vodou je uvedena v následující tabulce 45 a 46.

Vyjádření infiltrační schopnosti podle tabulky 45 a 46 je zobecněné a lze je brát jenom jako posouzení relativního rozdílu mezi půdami s poměrně širokou škálou vlastností, které podmiňují rychlost zasakování srážkové vody do půd. Nemohou se podle těchto kategorií počítat přesné hodnoty hydropedologických parametrů konkrétních stanovišť. Hlavním přínosem je:

- Nejistota přesnější zrnitosti pro HPJ je částečně zmenšena použitím detailnějšího zrnitostního členění podle map zrnitosti 1 : 50 000 z podkladů KPZP a podle vyhodnocení zakřivení svahů. Detailnější zrnitostní členění nebylo v bonitaci zcela využito, protože se neprokázal jeho vliv na úrodnost.
- Zabudování zakřivení svahů v kategoriích konkávní a konvexní do hodnocení infiltrace je sice orientační, ale lépe vystihuje realitu půdního krytu v krajině, kde převládá orná půda a tedy i dynamika erozně-akumulačních procesů je podstatná. Konkávní svahy považujeme za akumulační, obohacené o jílnaté částice a konvexní za místa zvětšeného

Tabulka 44: Zastoupení lehkých půd v rámci areálů HPJ ve vybraných vodních útvarech

ID vodního útvaru	HPJ	Plocha HPJ	Plocha lehkých půd	Plocha středně těžkých půd	Lehké půdy	Středně těžké půdy
		ha	ha	ha	%	%
DVL_0340	29	761,09	242,60	518,49	31,88	68,12
	34	1475,76	376,37	1099,39	25,50	74,50
	50	583,49	77,71	505,78	13,32	86,68
	64	57,42	3,06	54,37	5,32	94,68
	67	305,13	26,15	278,98	8,57	91,43
	68	73,19	12,86	60,33	17,57	82,43
DVL_0350	29	838,44	154,88	683,56	18,47	81,53
	34	1911,28	347,99	1563,29	18,21	81,79
	50	319,88	27,20	292,68	8,50	91,50
	64	50,69	0,00	50,69	0,00	100,00
	67	406,03	15,35	390,67	3,78	96,22
	68	126,74	2,04	124,70	1,61	98,39
DVL_0380	29	4009,00	1437,95	2571,05	35,87	64,13
	34	248,11	34,31	213,80	13,83	86,17
	50	436,72	33,10	403,62	7,58	92,42
	58	124,27	0,36	123,91	0,29	99,71
	68	289,95	7,73	282,22	2,67	97,33
	71	81,98	0,06	81,92	0,07	99,93
DVL_0390	29	1230,43	573,47	656,96	46,61	53,39
	37	31,67	31,43	0,23	99,26	0,74
	47	64,70	0,00	64,70	0,00	100,00
	58	60,77	0,40	60,37	0,66	99,34
	67	24,75	0,00	24,75	0,00	100,00
	68	101,80	18,30	83,50	17,98	82,02
DVL_0400	29	59,64	24,44	35,20	40,98	59,02
	50	2,09	2,09	0,00	100,00	0,00
	58	7,44	0,00	7,44	0,00	100,00
DVL_0450	15	23,08	0,00	23,08	0,00	100,00
	29	1306,14	179,42	1126,73	13,74	86,26
	32	59,51	54,53	4,97	91,64	8,36
	47	59,27	1,27	58,00	2,14	97,86
	50	257,55	31,13	226,42	12,09	87,91
	68	141,24	31,39	109,85	22,22	77,78
DVL_0480	29	1747,09	802,50	944,59	45,93	54,07
	32	117,20	107,86	9,34	92,03	7,97
	37	51,93	22,13	29,80	42,61	57,39
	40	36,41	24,72	11,69	67,89	32,11
	47	157,91	0,36	157,55	0,23	99,77
	50	272,17	19,26	252,91	7,08	92,92
	64	53,68	1,94	51,73	3,62	96,38
	67	38,36	1,71	36,65	4,46	95,54
	68	95,52	4,29	91,22	4,50	95,50

Tabulka 45: Skupiny půd podle infiltrační rychlosti

Skupina	Rychlost infiltrace	Charakteristika půdy
A	velmi vysoká	vysoká rychlost infiltrace i při úplném nasycení; převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a štěrky
	více jak 0,25 mm/min	
B	vysoká	dobrá rychlost infiltrace i při úplném nasycení; hlinitopísčité profily nebo např. spraš na písku; hluboké půdy
	0,12–0,25 mm/min	
C	střední	půdy hlinité v celém profilu nebo středně těžké v povrchové vrstvě a těžší (jílovitohlinitou) spodinou;
	0,05–0,12 mm/min	
D	nízká	nízká rychlost infiltrace při úplném nasycení: půdy v celém profilu jílovitohlinité nebo s vylehčenou ornicí a těžší (málo propustnou) spodinou; půdy se silně utuženým podorničím;
	0,025–0,05 mm/min	
E	velmi nízká	velmi nízká rychlost infiltrace při úplném nasycení; převážně jílovité půdy nebo jíly s vysokou bobtnavostí; půdy s vysokou hladinou podzemní vody při povrchu; některé mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.
	0,025 mm/min	

Tabulka 46: Kategorizace infiltrační schopnosti skupin půd při nasycení vodou (skupiny půd – tabulka 45)

Kategorie	Skupina půd
I.	A, A (B)
II.	B, B (A), A–B
III.	B (C), B–C
IV.	C, C (D)
V.	D, C–D

odnosu těchto částic. Proto je v těchto místech ovlivněna infiltrace a jejich původní kategorie podle zrnitosti jsou upravené o jeden stupeň výše (konkávní) nebo níže (konvexní) ve stupnici použité v posledním sloupci tabulky 47 a v legendě obrázku 71.

Následující tabulka 47 shrnuje všechny výše uvedené skutečnosti a kategorizace půd v povodí je mapově vyjádřena v obrázku 70 a 71, přičemž první mapa zachycuje stav podle původních znalostí parametrů infiltrace podle HPJ, které jsou mechanicky převzaty z map BPEJ, a druhá promítá do vymezení kategorií výše popsané inovativní postupy. Číselný vzestupný kód (1–8) v posledním sloupci (tabulka 47) použitý v legendě mapy koreluje se snižováním infiltrační schopnosti půd. S jistou mírou zjednodušení lze odvodit z této kategorizace i retenční schopnost půd, která by byla vyjádřena opačným pořadím, tedy půdy s největší infiltrací vody by měly nízkou retenci vody.

Uvedeny jsou pro HPJ, které se v povodí Želivky nacházejí (tabulka 47). Barevně jsou označeny původní kategorie HPJ tak, jak jsou zachyceny v mapách BPEJ. Ostatní jsou syntézou vlivu zakřivení svahů a detailního zrnitostního složení.

Příklad

nového označení HPJ:

(29l) HPJ 29 lehká
(29l–) HPJ 29 lehká v konvexní poloze
(29l+) HPJ 29 lehká v konkávní poloze
(29s) HPJ 29 střední
(29s–) HPJ 29 střední v konvexní poloze
(29s+) HPJ 29 střední v konkávní poloze

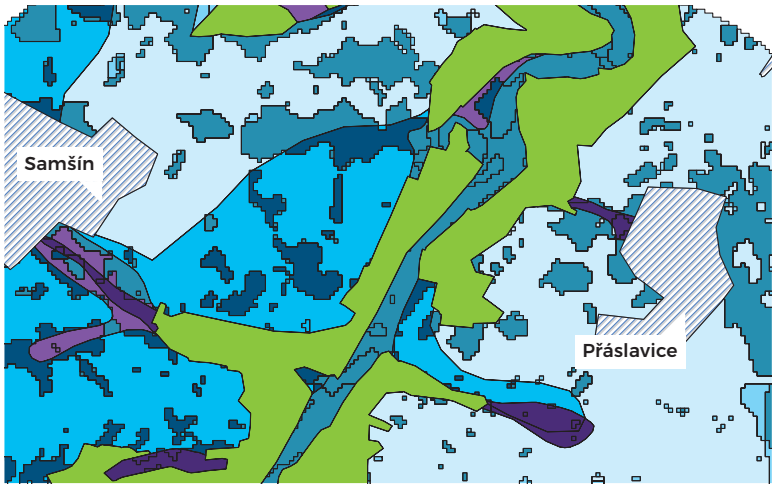
Tabulka 47: Syntéza kategorií infiltrační schopnosti

HPJ	Zrnitost podle HPJ	Původní kategorie infiltrace a propustnosti v tabulce 46	Nové kategorie podle detailní zrnitosti (z)	Nové kategorie podle zakřivení svahu (s)	Výsledné kategorie podle kombinace (z) a (s)	Číselný vzestupný kód použitý v mapách
29	**ph–ph (hp, h)**	**II.–III.**			**II.–III.**	**4**
29l			I.–II.		I.–II.	2
29l–				I.	I.	1
29l+				II.–III.	II.–III.	4
29s			III.		III.	5
29s–				II.	II.	3
29s+				III.–IV.	III.–IV.	6
32	**hp–p**	**II.**			**II.**	**3**
34	**hp–ph**	**III.**			**III.**	**5**
34l			I.–II.		I.–II.	2
34l–				I.	I.	1
34l+				II.–III.	II.–III.	4
34s			III.		III.	5
34s–				II.	II.	3
34s+				III.–IV.	III.–IV.	6
37	**ph–hp**	**II.–III.**			**II.–III.**	**4**
47	**h–jh**	**IV.**			**IV.**	**7**
50	**ph–h**	**IV. (III.)**			**III.–VI.**	**6**
50l			II.		II.	3
50l–					I.–II.	2
50l+					II.–III.	4
50s			III.		III.–IV.	6
50s–					III.	5
50s+					IV.	7
58	**h–h (jh)**	**III. (IV.)**			**III.**	**5**
64	**h–jv**	**IV.**			**IV.**	**7**
67	**jh–jv**	**V. (IV.)**			**IV.–V.**	**8**
68	**h–jv**	**IV.–V.**			**IV.–V.**	**8**
73	**h–jv**	**IV.–V.**			**IV.–V.**	**8**

Legenda
ph = písčitohlinitá, hp = hlinitopísčitá, h = hlinitá, jh = jílovitohlinitá, jv = jílovitá

Obrázek 70: Kategorizace půd podle původních znalostí parametrů infiltrace podle HPJ (výřez části povodí Kejtovského potoka).

Obrázek 71: Syntéza kategorií infiltrační schopnosti s využitím výsledné kategorie podle kombinace zrnitosti a zakřivení svahu (výřez části povodí Kejtovského potoka).



3. Třetí metodou využitelnou v praxi je metoda dálkového průzkumu Země. Dálkový průzkum Země představuje celý komplex metod a přístupů bezkontaktního sledování zemského povrchu, které jsou zpravidla založené na analýze odraženého nebo povrchem emitovaného elektromagnetického záření. Zjednodušeně se dá říci, že metody dálkového průzkumu Země jsou vázány na projevy sledovaného povrchu. Výjimkou může být sledování v mikrovlnném oboru spektra pomocí radarů, kdy vyslaný signál může pronikat do určité hloubky pod povrch a odráží tak jeho vlastnosti. Mohou tak být analyzovány vlastnosti např. půdního profilu. Problematika určení infiltračních oblastí je z pohledu dálkového průzkumu Země značně komplexní, kdy je potřeba využít různých nepřímých indikátorů propustnosti půdního profilu pro vodu a jeho podloží. Takovými indikátory mohou být ukazatele vodního režimu půd, jako jsou:

- vlhkost povrchu půdy a porostů,
- odlišný spektrální projev různých společenstev, která se vyvíjejí v závislosti na vlhkostních charakteristikách stanoviště,
- rozdílná schopnost udržení tepla v půdě a ohřevu půdního povrchu v závislosti na obsahu vody v půdě,
- změna vodního stresu porostu, kdy dochází k omezení výparu vody transpirací a ke změnám teplotního projevu vegetace v závislosti na změně tepelné bilance povrchu.

Nepřímo lze infiltrační oblasti identifikovat prostřednictvím řízené klasifikace dat dálkového průzkumu Země. Přístup spočívá v analýze podobnosti dat k dané předloze, tzn. že pokud použité metodě ukážeme, jak vypadá infiltrační oblast, snaží se v datech vyhledat všechny plochy, které mají podobný spektrální projev. Metody řízené klasifikace ve své podstatě nevyžadují znalost a pochopení daného problému a jeho podstaty, nicméně vlastní interpretace výsledku klasifikace musí být podložena určitou znalostí studované problematiky.

Oproti řízené klasifikaci dat stojí na opačné straně přístupy zpracování radarových dat, které mohou být v podstatě přímým ukazatelem infiltračních vlastností půd. Zde je velká pozornost věnována možnosti stanovení vlhkosti půd, nicméně problematika infiltračních oblastí byla s využitím radarových dat zkoumána pouze okrajově.

Výše uvedené přístupy založené na odhadu nepřímých charakteristik determinujících vodní režim půd mají své klady a omezení a lze je využít za různých situací:

- Vlhkost půdy a porostů: zpracování dat je zpravidla založeno na principu analýzy spektrálních indexů, případně tzv. ortogonálních spektrálních indexů korespondujících s vlhkostí povrchu. Jedná se většinou o normalizované poměry spektrálních pásem v blízké a střední infračervené oblasti, případně jde o lineární kombinaci pásem ve viditelné a infračervené oblasti spektra. Výhodou je tedy jednoduchost výpočtu. Nevýhodami jsou: potřeba snímkování zájmové oblasti v oboru středního infračerveného pásma, závislost na poměru plochy povrchu půdy a vegetačního krytu ve snímku (tzv. mixely) s různou citlivostí a maskování projevu různými typy vegetačního krytu, tzn. že různé typy vegetačního krytu vykazují za shodných podmínek odlišnou povrchovou vlhkost vzhledem ke svým morfologickým a fyziologickým vlastnostem. Použití spektrálních indexů může být dále problematické z hlediska charakteru získané informace, ve které se projevuje např. obsah rostlinných barviv, potažmo stav fotosyntetického aparátu porostů. Je potřeba dodat, že informace o vlhkosti povrchu vegetačního krytu ne vždy dobře koresponduje s vlhkostí půdy.
- Různá společenstva, případně různé kultury plodin mají různý spektrální projev. Vznik jednotlivých společenstev rostlin je do značné míry dán vlhkostními podmínkami stanovišť, která jsou osidlována specifickými druhy, jež vyhledávají optimální podmínky prostředí. Jednoduše řečeno, vlhkomilné druhy vyhledávají vlhká stanoviště, suchomilné suchá. Do jisté míry je možné identifikovat infiltrační oblasti pouze na základě znalosti ekologických požadavků indikačních druhů jednotlivých společenstev (např. pomocí Ellengergových tabulek). Nevýhodou tohoto přístupu je hodnocení porostů v různém sukcesním stadiu vývoje v kombinaci s kulturními porosty, které v tomto pohledu nemají indikační význam. Problematický je též značný objem terénní práce a potřeba hluboké znalosti jednotlivých syntaxonů a ekologických nároků indikačních druhů společenstev. Z výše uvedeného vyplývá, že je v tomto případě značně komplikovaná interpretace dat.
- Obsah vody v půdě významně ovlivňuje tepelnou setrvačnost půd a zároveň schopnost ohřevu půd. Zde je možné pro stanovení objemové vlhkosti půd, která je nepřímým ukazatelem infiltračních vlastností půd, použít metodu stanovení termální inercie dat. Mezi hodnotou termální inercie a objemovou vlhkostí půd je velmi úzký vztah. Metoda je založena na hodnocení rozdílu teplotního projevu půd v průběhu dne. Nevýhodou metody je značná komplikovanost získávání dat, kdy je potřeba provádět snímkování dva až třikrát denně (minimálně brzy ráno a v poledne), nelze tedy použít satelitní data. Letecká data představují velké finanční náklady. Vlastní metoda je pak poměrně výpočetně náročná, nicméně výpočetní proceduru lze do značné míry automatizovat.
- Vodní stres porostu je dalším z nepřímých ukazatelů vodního režimu půd a tedy i infiltračních vlastností půd. Možnost identifikace infiltračních oblastí vychází z jednoduché představy, že zde dochází k rychlejšímu vsakování vody a vodní stres se tedy u porostů projeví rychleji než na plochách, kde se voda vsakuje pomaleji. Tento přístup je vhodný pro hodnocení monokultur zemědělských plodin v období plně zapojeného porostu, kdy dojde vlivem sucha ke snížení půdní vlhkosti, zejména na plochách s rychlým vsakem vody (obrázek 72). Nevýhodou přístupu je potřeba kombinace různých dat, jako jsou teplotní mapy, data ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra a meteorologická data, včetně informací o porostu, jako je jeho výška. Metoda je výpočetně poměrně náročná, nicméně je možné ji do značné míry automatizovat. Uvedený přístup je v detailu přiblížen v rámečku 26. Jak je vidět z uvedeného přehledu, metody dálkového průzkumu Země umožňují odhadnout infiltrační oblasti v určitém území a jejich prostorové charakteristiky, nicméně každá metoda má své možnosti a limity.

Rámeček 26

Identifikace infiltračních oblastí hypodermických vod na základě hodnocení vodního stresu porostu

Možnosti identifikace infiltračních oblastí hypodermických vod mohou vyplývat z možnosti hodnocení vodního stresu porostu pomocí metod dálkového průzkumu Země. Vodní stres porostu nastává ve chvíli, kdy dojde k poklesu obsahu půdní vody v kořenové zóně porostu pod úroveň, kdy je rostlina schopna přijímat vodu. Hovoříme o tzv. bodu vadnutí. Rostlina na nedostatek vody reaguje přivřením nebo úplným uzavřením průduchů, čímž omezuje výpar

ze svého povrchu, tedy transpiraci. Rostliny mohou na nedostatek vody reagovat omezením transpirace v řádu několika minut; k omezení fotosyntézy, případně ke strukturálním změnám fotosyntetického aparátu a zastoupení jednotlivých barviv dochází až po delším čase.

Omezení transpirace se projevuje změnou teploty povrchu porostu v důsledku změny tepelné bilance povrchu. V principu jde o změnu v množství energie spotřebované na výpar, který umožňuje ochlazování povrchu porostu. Při výparu dochází ke spotřebě značného množství energie; při teplotě 20 °C se na výpar jednoho gramu vody spotřebuje přibližně 2 500 J energie (označujeme termínem latentní teplo výparné). Jedná se o spotřebu energie přibližně 0,7 kWh na jeden litr vody. Jen pro představu, během jednoho letního dne se může z jednoho metru čtverečního porostu dobře zásobeného vodou vypařit šest i více litrů vody. To odpovídá spotřebě energie 4,2 kWh na jeden metr čtvereční. Při omezení intenzity výparu se energie, která se nespotřebuje na výpar vody, transformuje do tzv. toku zjevného (pocitového) tepla. Jedná se o energii spotřebovanou na ohřev prostředí. Důsledkem je tedy i ohřev vlastního porostu.

Teplota povrchu porostu je veličinou, kterou dokážeme poměrně jednoduše měřit pomocí termovizních kamer nebo termálních senzorů družic (např. Landsat). Na druhou stranu, přestože je teplota ukazatelem změny evapotranspirace, je pro hodnocení vodního stresu porostu vhodnější využít dalších ukazatelů, které lze z teploty povrchu odvodit, a které eliminují některé další vlivy ovlivňující informaci o teplotě povrchu, jako je drsnost povrchu, proudění větru apod. Jedná se především o vlastní složky tepelné bilance stanoviště (tok latentního tepla výparu, tok zjevného tepla a tok tepla do půdy) a další ukazatele, jako jsou evaporativní frakce a plodinový stresový index (CWSI). Zvláště evaporativní frakce a CWSI se jeví jako vhodné parametry pro hodnocení vodního stresu porostu a vlhkostních charakteristik půd. V dalším textu si přiblížíme, co uvedené charakteristiky znamenají, a nastíníme, jak je možné je odvodit.

Abychom pochopili energetickou, potažmo tepelnou bilanci povrchu, musíme začít u zdroje energie a tím je Slunce. Sluneční energie je v podstatě nejvýznamnějším zdrojem energie pro přírodní procesy. Jenom na území České republiky každý rok přichází přibližně 1 000 kWh energie na jeden metr čtvereční plochy. Sluneční energie přichází ve formě krátkovlnného elektromagnetického záření (přibližně 0,4–2,5 μm), které je po dopadu na povrch z části odraženo. Poměrnou část odrazu nazýváme albedo, jehož hodnoty se pohybují u přírodních povrchů na úrovni 10 až 30 %. Vedle krátkovlnného záření na povrch Země přichází též složka dlouhovlnného (tepelného) záření (> 2,5 μm), které je emitováno atmosférou. Poslední složkou tzv. radiační bilance je dlouhovlnné záření emitované povrchem Země. Množství dlouhovlnného záření emitovaného povrchem Země je zpravidla větší než množství dlouhovlnného záření emitovaného atmosférou, dlouhovlnná bilance je tedy zpravidla záporná. Radiační bilanci můžeme vyjádřit jednoduchou rovnicí:

$$Rn = Rs_{\downarrow} - Rs_{\uparrow} + Rl_{\downarrow} - Rl_{\uparrow}, \qquad (4)$$

kde *Rs* je tok krátkovlnné radiace a *Rl* je tok dlouhovlnné radiace. Šipky označují směr. *Rn* je zbytek energie, která se dále využije na tzv. tepelné toky. Označujeme ji termínem celková čistá radiace. Mezi tepelné toky lze zařadit tok tepla spotřebovaného na výpar (tok latentního tepla výparu, *LE*), tok tepla spotřebovaného na ohřev prostředí (tok zjevného tepla, *H*), tok tepla do půdy *(G)*, tok tepla na ohřev povrchů *(J)* a tok tepla spotřebovaného při fotosyntéze *(P)*. Celou bilanci můžeme vyjádřit rovnicí:

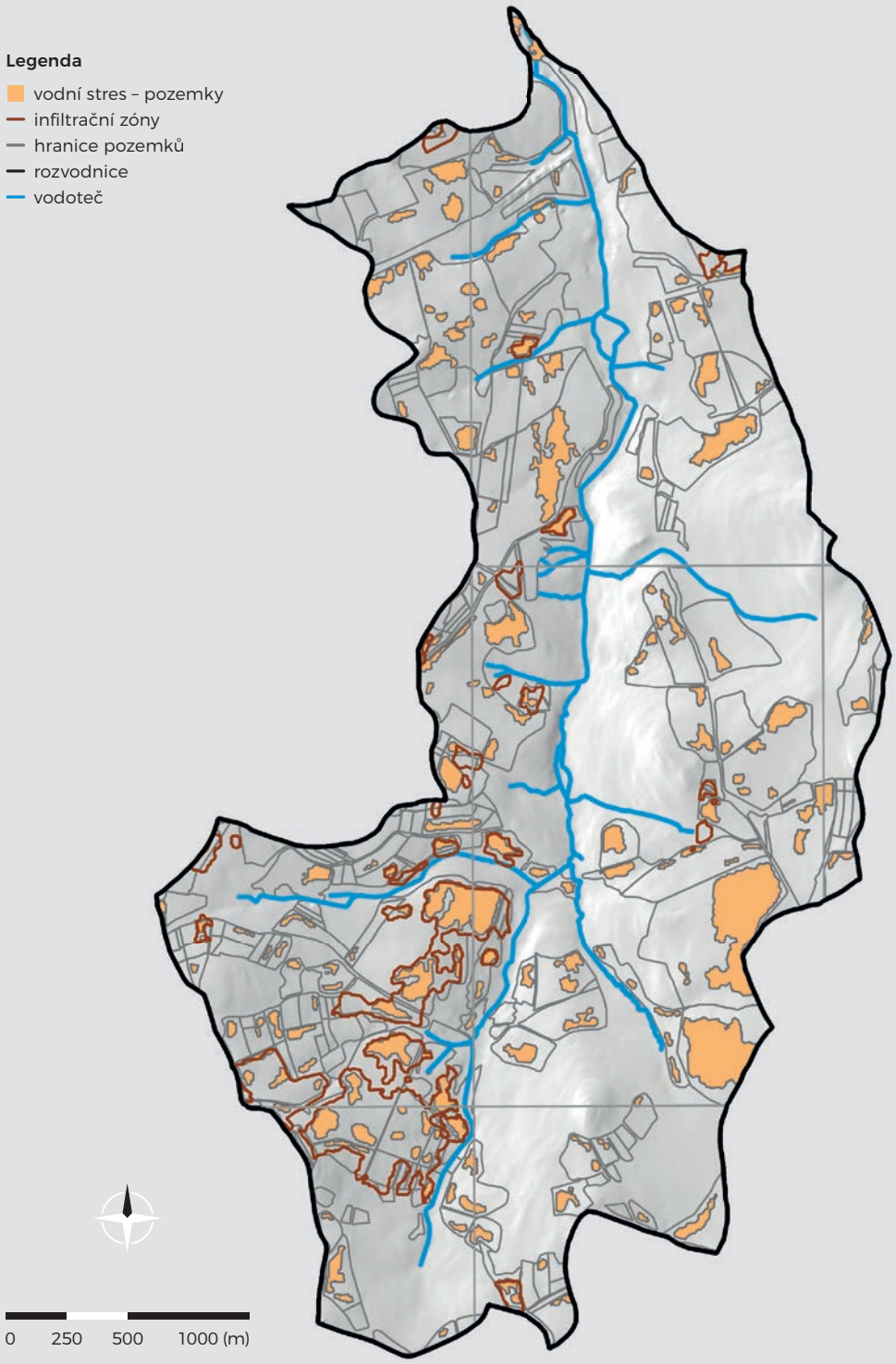
$$Rn = LE + H + G + J + P \qquad (5)$$

Vzhledem k zanedbatelnému množství energie spotřebované na ohřev povrchů a ve fotosyntéze (zpravidla méně než 1 %) se tyto dva toky při výpočtech tepelné bilance zpravidla zanedbávají.

Stanovení intenzity výparu, tedy toku latentního tepla výparu, je z pohledu dálkového průzkumu Země značně komplikované s ohledem na potřebu znalosti gradientu teploty a zejména vlhkosti vzduchu nad povrchem a dalších ukazatelů. Využívá se proto přístupu výpočtu toku zjevného tepla a toku tepla do půdy. Tok latentního tepla výparu se následně vypočte bilančně podle rovnice 6.

Tok tepla do půdy je možné odhadnout na základě znalosti albeda, teploty povrchu a množství vegetačního krytu (na základě

Obrázek 72: Vymezení infiltračních oblastí metodou hodnocení vodního stresu vegetace, Českomoravská vrchovina, povodí Kopaninského vodního toku.



vegetačního spektrálního indexu NDVI – Normalizovaný vegetační rozdílový index). Tok zjevného tepla lze vypočítat na základě znalosti teplotního profilu atmosféry a charakteristik proudění vzduchu nad povrchem. Tyto údaje lze měřit pomocí meteorologické stanice. Velikost celkové čisté radiace lze stanovit z množství dopadající energie na povrch pomocí meteorologického měření (pomocí pyranometru), albeda vypočteného na základě optických vlastností povrchu z dat DPZ v optické části spektra a toků dlouhovlnného záření stanoveného buď z meteorologického měření (pomocí pyrgeometru), anebo výpočtem podle Stefan-Boltzmannova zákona z teploty povrchu a atmosféry. Podrobnosti k výpočtům lze nalézt ve specializované literatuře. Ve výsledku můžeme na základě zjištěných toků stanovit tok latentního tepla výparu podle rovnice:

$$LE = Rn - H - G \qquad (6)$$

Jak již bylo uvedeno výše, je vhodným parametrem pro hodnocení vlhkostních charakteristik půdy evaporativní frakce (EF). Evaporativní frakce úzce koreluje s vodním půdním potenciálem. Evaporativní frakce představuje relativní množství energie spotřebované na výpar z množství energie, která je pro výpar k dispozici, a můžeme ji vyjádřit pomocí jednoduché rovnice:

$$EF = \frac{LE}{Rn - G} \qquad (7)$$

Výhodou stanovení evaporativní frakce je její relativnost, tedy nezávislost na množství dostupné energie a velikosti výparu. Další výhodou je jednoduchost výpočtu, známe-li jednotlivé tepelné toky, a v důsledku je výhodou i jednoduchá interpretace výsledků. Poslední výhodou evaporativní frakce, kterou zmíníme, je zachování stabilního průběhu během dne (tzv. self preservation of EF).

Dalším vhodným ukazatelem vodního stresu porostu, který vyplývá ze změny energetické bilance stanoviště vlivem vodního stresu porostu, je plodinový stresový vegetační index, CWSI. Použití CWSI je výhodné s ohledem na přímou korelaci s vodním stresem porostu a vlhkostními charakteristikami půd. Z pohledu využití v dálkovém průzkumu Země je možné využít několik různých modifikací výpočtu indexu CWSI. Teoretické odvození indexu na základě rovnice energetické bilance je do značné míry komplikované a zahrnuje řadu mezivýpočtů různých charakteristik. Pro zjednodušení výpočtu byl teoreticky odvozen způsob výpočtu CWSI založený na teplotních rozdílech v rámci porostu. Výpočet vychází z představy, že porosty s maximální intenzitou výparu vykazují nejnižší teplotu, naopak porosty, které vodu nevypařují, vykazují teplotu maximální. Změna teploty povrchu porostu je pak lineární ve vztahu ke změně výparu, resp. ke změně vodivosti průduchů. Vztah můžeme vyjádřit jednoduchou rovnicí:

$$CWSI = \frac{T_{\min} - T}{T_{\min} - T_{\max}}, \qquad (8)$$

kde T je teplota povrchu, T_{min} je minimální teplota a T_{max} je maximální teplota povrchu porostu. Výhodou uvedeného přístupu je tedy jeho jednoduchost, nevýhodou je potřeba, aby se jednalo o pokud možno jednodruhový porost s maximálním zápojem a hodnoty minimálních a maximálních hodnot se blížily teoretickým hodnotám.

2.2.2

Evapotranspirace jednotlivých geomorfologických oblastí

Různé půdní druhy a typy mají rozdílnou retenční vodní kapacitu, tj. schopnost půdy zadržovat vodu ve svém profilu, a tudíž také rozdílnou schopnost zásobovat rostliny vodou. Retence vody v půdě je závislá na půdní pórovitosti, která souvisí s půdní strukturou a se zrnitostí půdy, tj. se zastoupením jílu, prachu a písku. Půdní struktura (a tím i pórovitost) je podporována půdními komponenty, jako jsou např. koloidní jíl, organická hmota, kationty vápníku a koloidní oxidy železa a hliníku. Podle půdní zrnitosti rozeznáváme půdy lehké (písčité až hlinitopísčité), střední (písčitohlinité a hlinité) a těžké (hlinitojílovité a jílovité). Jílovité (jemně zrnité) půdy mají spíše vyšší pórovitost, půdní vodní zásobu a evapotranspiraci, naopak nižší hydraulickou vodivost a podpovrchový odtok než písčité (hrubě zrnité) půdy. Nejvyšší podíl retenční vodní kapacity využitelné rostlinami mají hlinité půdy, které sice mají nižší retenční kapacitu než jílovité půdy, ale voda v těchto půdách je rostlinami lépe využitelná. Pohyb vody v půdě však může zásadně změnit výskyt tzv. preferenčních cest (různých trhlin a makropórů), které 100–400krát urychlují proudění vody v půdě ve srovnání s půdami bez preferenčních cest.

Odlišné fyzikální vlastnosti jednotlivých půdních typů a druhů ovlivňují výběr vhodných zemědělských plodin z hlediska jejich nároků na spotřebu vody a tím i produktivitu. Půdní typy s větší vododržností jsou vhodnější pro plodiny více citlivé na sucho (např. brambory, řepka, kukuřice) než plodiny, které jsou k účinkům sucha méně citlivé (pšenice).

Z uvedeného vyplývá, že infiltrační oblasti s propustnými půdami, vyšším obsahem písku, nižší retenční vodní kapacitou a rychlým odtokem vody mají sníženou aktuální evapotranspiraci ve srovnání s jinými částmi subpovodí, neboť kořenová zóna rychleji vysychá a nemůže docházet k výparu vody v takovém rozsahu a intenzitě jako z půd s nižším zastoupením písku a adekvátně vyšším obsahem prachu či jílu. Naopak půdy výtokových oblastí s vyšší retenční kapacitou mohou rostliny zásobovat vodou více a po delší dobu, a to např. i v období, kdy v infiltrační oblasti je porost stresován suchem.

Avšak nejen zrnitostní složení má přímý dopad na aktuální evapotranspiraci; o její intenzitě rozhoduje i přítomnost odvodňovacích systémů, které urychlují odtok vody z kořenové zóny a snižují dostupnost půdní vody pro evapotranspiraci. Rovněž agrotechnické zásahy na zemědělské půdě (zpracování půdy, aplikace hnojiv, pesticidů, sklizně apod.) mají pro tento proces nezanedbatelný význam.

Obecný princip změny evapotranspirace v souladu s retenční půdní vodní kapacitou je podřízen množství a distribuci srážek. V obdobích s nižšími srážkovými úhrny je aktuální evapotranspirace z půdně heterogenního prostředí více variabilní, neboť porosty na propustných půdách s rychlejším odtokem vody jsou postiženy vodním stresem dříve a více než porosty rostoucí na půdách propustných méně. Obdobný jev nastává v období, kdy porosty začínají dozrávat a kdy přijímají a transpirují méně vody než v předchozích obdobích plného růstu. Voda nevyužitá transpirací prochází

Foto 65: Speciální automatická meteorologická stanice pro měření aktuální evapotranspirace metodou energetické bilance a Bowenova poměru. Zdroj: Duffková R.

Foto 66: Infiltrační oblast (bližší) a výtoková oblast malého zemědělského subpovodí Dehtáře. Zdroj: Duffková R.

půdou s vysokou propustností do hlubších vrstev, resp. zásobuje hladinu podzemní vody. Naopak v půdách s vyšší retenční kapacitou se voda v horních vrstvách půdy udržuje déle a může se vypařovat.

Půdně odlišné části pozemků mohou mít různou evapotranspiraci i za předpokladu pěstování stejné plodiny. Jako příklad lze uvést průměrné denní hodnoty aktuální evapotranspirace zjišťované měřením ze speciální meteorologické stanice (foto 65) metodou energetické bilance a Bowenova poměru (rámeček 27) pšenice ozimé (graf 46). Ta byla pěstována v malém, převážně zemědělském a částečně odvodněném subpovodí Dehtáře, které se od května do půlky července pohybovalo v rozmezí od 2,68 mm (infiltrační oblast) do 3,52 mm (výtoková oblast) a od půlky července do půlky srpna mezi 1,75 mm (infiltrační oblast) a 2,38 mm (výtoková oblast – graf 46). Za celé vegetační období byla evapotranspirace pšenice ozimé v infiltrační oblasti o 20 % nižší (321 mm) než v oblasti výtokové (402 mm). Ve stejném roce se z trvalého travního porostu ve výtokové oblasti v období květen až červenec vypařilo průměrně 2,97 mm denně (obsahuje období po seči, kdy je snížená evapotranspirace), v období červenec až srpen 3,46 mm.

Odlišná situace však nastává, když porost intenzívně roste, je plně zapojený a má kontinuální dostatek vláhy pro transpiraci. Rostliny výpar fyziologicky neomezují a stejně jako výpar z půdy je i transpirace ovlivňována pouze meteorologickými podmínkami. Odčerpávání půdní vody transpirací rostlin je však výrazně vyšší a účinnější než pohyb vody v půdě kapilárním vzlínáním. Z toho vyplývá, že srážková voda, která se dostala do půdy, je využita především transpirací a retenční schopnost půdy má na aktuální evapotranspiraci (resp. evaporaci) jenom omezený vliv. Intenzívní transpirace plně zapojeného porostu představuje faktor, který vyrovnává – homogenizuje – evapotranspiraci z půd s odlišnou retencí pro vodu a efekt fyzikálních půdních vlastností je v tomto případě do značné míry potlačen. Evapotranspirace z půdně heterogenních lokalit se výrazně nelišila, i když byly na pozemku odlišné druhy porostů.

Jako příklad lze opět uvést denní průměrné hodnoty aktuální evapotranspirace od května do půlky července řepky ozimé pohybující se v rozmezí 3,20 mm (infiltrační oblast) a 3,37 mm (výtoková oblast). Ve stejném období byl průměrný denní výpar travního porostu ve výtokové oblasti 3,43 mm. Obdobně evapotranspirace jarního ječmene s podsevem jetele lučního byla od května do půlky července v rozmezí 2,67 mm (infiltrační oblast) a 3,09 mm (výtoková oblast). Ve stejném

Graf 46: Denní evapotranspirace (ET) trvalého travního porostu ve výtokové oblasti (VO) a denní ET pšenice ozimé ve VO a infiltrační oblasti s propustnou půdou (IO) a velmi propustnou půdou (IO*) na experimentálním subpovodí Dehtáře v roce 2004.

období se z travního porostu výtokové oblasti vypařilo průměrně za den 3,06 mm. Za celou vegetační sezonu od poloviny dubna do konce srpna byla evapotranspirace infiltrační oblasti pro řepku ozimou pouze o 9 % nižší (407 mm) než ve výtokové oblasti (448 mm) a pro ječmen jarní s podsevem jetele o 10 % nižší (328 mm) než ve výtokové oblasti (365 mm). Porovnání průměrných sumárních hodnot aktuální evapotranspirace trvalého travního porostu za čtyři roky mezi infiltrační a výtokovou oblastí v období květen – září ukázalo, že aktuální evapotranspirace v infiltrační oblasti je o 18 % nižší (376 mm) než v oblasti výtokové (462 mm).

Vodní režim infiltračních oblastí při různém využití půdy

Vodní režim infiltračních oblastí se však může zásadně lišit, pokud jsou zde pěstovány výrazně odlišné plodiny/typy porostů, a to i v případě, že se jedná o rok s dostatečnou zásobou vody v půdě. Např. zařazení jetele lučního s relativně hlubokým kořenovým systémem do osevního postupu infiltrační oblasti malého, převážně zemědělského, částečně odvodněného subpovodí způsobilo výrazné zvýšení čerpání půdní vody evapotranspirací ve srovnání s travním porostem s mělčím kořenovým systémem. Aktuální evapotranspirace jetele lučního byla ve vlhkém roce o 23 % vyšší ve srovnání s evapotranspirací trvalého travního porostu, což představovalo 80 mm vypařené vody, o kterou byla snížena infiltrace do půdy. Celkový sumární výpar v období konec dubna – konec srpna byl v případě jetele lučního v infiltrační oblasti 400 mm, což se rovnalo evapotranspiraci vodou dobře zásobeného travního porostu ve výtokové oblasti. Zvýšená evapotranspirace porostu jetele lučního se adekvátně odrazila na snížené infiltraci vody, její zásobě v půdě i nižším drenážním odtoku. Rozdíl v evapotranspiraci mezi méně odlišnými typy porostů (travní porost a pšenice ozimá) byl v infiltrační oblasti výrazně nižší; v období začátek května – začátek září byla ztráta vody evapotranspirací z porostu ozimé pšenice (resp. evaporací po její sklizni) o 14 % nižší (291 mm) než u travního porostu (340 mm).

Aktuální evapotranspirace různých plodin se tedy může výrazně lišit nejen ve stejné svahové zóně, ale v případě zařazení jetele lučního může být aktuální evapotranspirace shodná ve zdrojové a výtokové oblasti, jak bylo ukázáno na příkladu vlhkého roku s porostem jetele lučního v infiltrační oblasti a trvalým travním porostem v oblasti výtokové.

Tyto poznatky jsou nesmírně důležité pro pochopení hospodaření s vodou v české krajině. Je nutno je intenzivně propagovat a vysvětlovat. Plodiny náročné na vodu by se měly pěstovat v těch geomorfologických zónách a hlavně zemědělských oblastech, kde je dostatek vody. Kde není dostatek vody v půdě, nelze pěstovat to, co běžně pěstuje zemědělec v oblastech příznivějších na srážky. Hospodaření s „virtuální vodou“ prozatím nikoho nezajímá, protože zemědělský trh je deformován dotační politikou státu a EU.

Rámeček 27

Výpočet aktuální evapotranspirace (ETA) metodou energetické bilance a Bowenova poměru

Metoda energetické bilance a Bowenova poměru (BREB) je jednou z metod často užívaných k měření evapotranspirace a vychází z měření gradientů teploty vzduchu a tlaku vodních par ve dvou výškových úrovních (např. těsně nad porostem a ve výšce 2 m). Dále je měřena radiační bilance *(Rn)* bilancoměrem nebo intenzita globálního slunečního záření pyranometrem, z které je *Rn* vypočítána, a rychlost větru anemometrem. Pro zjišťování ohřevu půdy je nutné měřit tok tepla do/z půdy *(G)* nebo teplotu půdy ve dvou hloubkách půdního profilu. Výpočtu intenzity evapotranspirace předchází zjištění tzv. latentního toku tepla spotřebovaného na evapotranspiraci *(LE)*, a to z upravené rovnice (6) uvedené v rámečku 26 *(LE = R − H − G)*. Hodnotu zjevného toku tepla *H* lze zjistit z tzv. Bowenova poměru *β*. *β* vychází z teorie turbulentní difúze a při splnění určitých předpokladů jej lze vypočítat z vertikálního gradientu teploty a koncentrace vodní páry:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma.\frac{(T_{0,5} - T_2)}{(e_{0,5} - e_2)}, \qquad (9)$$

kde $T_2 - T_1$ – rozdíl teplot vzduchu ve dvou různých výškách (0,5 a 2,0 m), $e_2 - e_1$ – rozdíl tlaku vodní páry ve dvou různých výškách, γ – psychrometrická konstanta, L – skupenské teplo výparu.

Jednoduchou úpravou získaná rovnice pro výpočet evapotranspirace *(Rn − G = β.LE + LE)* má po další úpravě konečný tvar:

$$ETA = \frac{Rn - G}{L.(1 + \beta)}\ (\mathrm{mm.s^{-1}}) \qquad (10)$$

Úskalí této metody však spočívá v tzv. možné izotermii (hlavně ráno či večer a ve dnech s oblačností), tj. tehdy, kdy rozdíly mezi teplotou vzduchu i tlakem vodních par v obou sledovaných úrovních se blíží nule. V této situaci se zjištěné rozdíly obou úrovní blíží možné chybě měření přístrojů a celá metoda je zatížena velkou chybou.

2.3

Antonín Zajíček
Martin Šanda
Pavel Tachecí
Tomáš Kvítek

Doba zdržení vody v systému půda–hornina

Příroda se podřizuje jen tomu, kdo se cítí být podřízen jí.

Francis Bacon
Anglický filosof, vědec, historik a politik

Porozumění mechanismu tvorby odtoku a určení místa vzniku jeho jednotlivých složek jsou nutné předpoklady pro návrh opatření směřujících ke zlepšení jakosti vod a snížení odnosu živin z povodí. K důkladnějšímu porozumění vzniku odtoku v krajině je nutné poznat způsoby reakce povodí na prostorově a časově různé typy srážek, a to včetně procesů pod povrchem. Důležitým a dlouho nedoceněným údajem je odhad doby zdržení vody v povodí (Mean Residence Time), tzn. odhad doby, která uplyne, než se jednotlivé složky odtoku od okamžiku infiltrace vody do půdy dostanou do místa odběru, nebo než opustí povodí.

Stopovače – izotopy

Významnou pomoc pro objasnění způsobu vzniku odtoku ve svahu a pro správné rozlišení jeho složek představují stopovače, jejichž využití se stalo v hydrologii v současné době běžnou metodou. Stopovače jsou definovány jako hmota či energie unášená vodou, která je schopna podat informaci o směru a rychlosti toku vody stejně jako o toku látek, které mohou být vodou unášeny. Ideální stopovač je látka, která se ve zkoumaném systému chová stejně jako stopovaný materiál (s ohledem na zkoumané parametry) a zároveň má vlastnost, která ji odlišuje od stopovaného materiálu. V hydrologii lze využít stopovače uměle zaváděné a přirozené. Nevýhodou využití umělých stopovačů je možnost sledovat proudění vody pouze v malém měřítku. Nejčastěji se aplikují iontové soli, převážně bromidy, chloridy a organická barviva (rhodamin B, rhodamin WT, fluorescin). Pro sledování hydrologických procesů v měřítku povodí jsou vhodné přirozené stopovače, které se do zkoumaného prostředí dostávají přírodní cestou rozptýleně přes celý povrch sledovaného území spolu s vodou ze srážek. To však nevylučuje jejich částečný nebo i plně umělý původ (například freony nebo tritium). Výhodou jejich použití je, že umožňují studovat prostředí s výrazně delší střední dobou zdržení, než je možné za využití stopovacích zkoušek. Jejich pomocí lze odhadnout střední dobu zdržení vody přitékající z celého povrchu pokusné plochy. Z přirozených stopovačů je možné použít různé koncentrace rozpuštěných iontů, elektrickou vodivost vody, teplotu vodu a stabilní i radioaktivní izotopy. Pro studium průměrné doby zdržení se nejčastěji používají stabilní izotopy ^{18}O, ^{2}H pro krátké střední doby zdržení a Tritium, freony, SF^6 a ^{85}Kr pro dobu zdržení v řádech měsíců až jednotek let.

Stopovače – teplota vody

Teplotu vody lze považovat za jeden z přirozených stopovačů. Její měření patří k nejstarším v hydrologii sledovaným charakteristikám. Kontinuálním měřením teploty vody lze získat celou řadu znalostí o hydrologii zkoumaného povodí, zejména o původu sledované vody a hloubce jejího oběhu. Časté je využití měření teploty vody pro sledování reakce vodního recipientu na srážky (změny průtoku a složení odtoku), např. za účelem identifikace preferenčních cest, kterými se voda ze srážek rychle dostává do odtoku. Z měření rozdílů v teplotě vody v různých úsecích vodního toku lze lokalizovat přítoky podzemních vod. Kontinuálním měřením teploty vody ve vrtech lze rozlišit vodu rychle infiltrovanou ze srážek od hlubší teplotně stabilní podzemní vody. Změny v teplotě vody lze úspěšně využít k prokázání rychlého průniku vody z příčinné srážky do drenážního odtoku v průběhu srážkoodtokové události pomocí kontinuálního záznamu teploty drenážní a srážkové vody.

Výhodou této metody je její dostupnost cenová i technická. Nevýhodou je skutečnost, že patří k tzv. nekonzervativním stopovačům, které své vlastnosti mohou měnit stykem s prostředím, kterým procházejí. Protože však voda má velkou tepelnou kapacitu a v porovnání s většinou přírodních materiálů mění svoji teplotu pomaleji, je použití teploty vody jako stopovače možné, zejména pro kvalitativní účely.

2.3.1

Teplotní režim drenážních vod a pramenních vývěrů

Dlouhodobý kontinuální monitoring teploty drenážní vody na experimentálním subpovodí Dehtáře (rámeček 9, obrázek 73) i dalších sledovaných subpovodích prokázal sezonní, přibližně sinusoidní průběh teplot drenážní vody, která s malým zpožděním kopíruje teplotu vzduchu. V grafu 47 je znázorněn dlouhodobý průběh teploty vzduchu a vody v různých sledovaných profilech drenážního systému v průběhu čtyř let sledování (2004–2008). Období nejvyšších teplot nastává mezi 3. dekádou června až koncem srpna, kdy teplota kolísá okolo 13 °C. Poté

následuje pozvolný pokles teploty až do počátku ledna, kdy nastává období minimálních teplot, ve kterém teploty vody kolísají okolo 4 °C. Toto období trvá zpravidla do konce února a poté nastává pozvolný nárůst teploty až k dalšímu období vysokých teplot. Obdobný průběh teploty drenážní vody byl zaznamenán i na dalších experimetálních subpovodích v podmínkách krystalinika Českomoravské vrchoviny a jiných oblastí. Dlouhodobý průběh teploty drenážní vody velmi dobře koreluje s průběhem teploty vzduchu (hodnota korelačního koeficientu r = 0,9), přičemž trend teploty vody lze podle statistické analýzy vysvětlit ze 79 % průběhem teploty vzduchu s jednoměsíčním zpožděním. Z této závislosti průběhu teplot drenážní vody na teplotě vzduchu a její poměrně velké variability v průběhu roku (přibližně 7 °C) vyplývá, že drenážní odtok pochází z převážně mělkého oběhu podzemní vody.

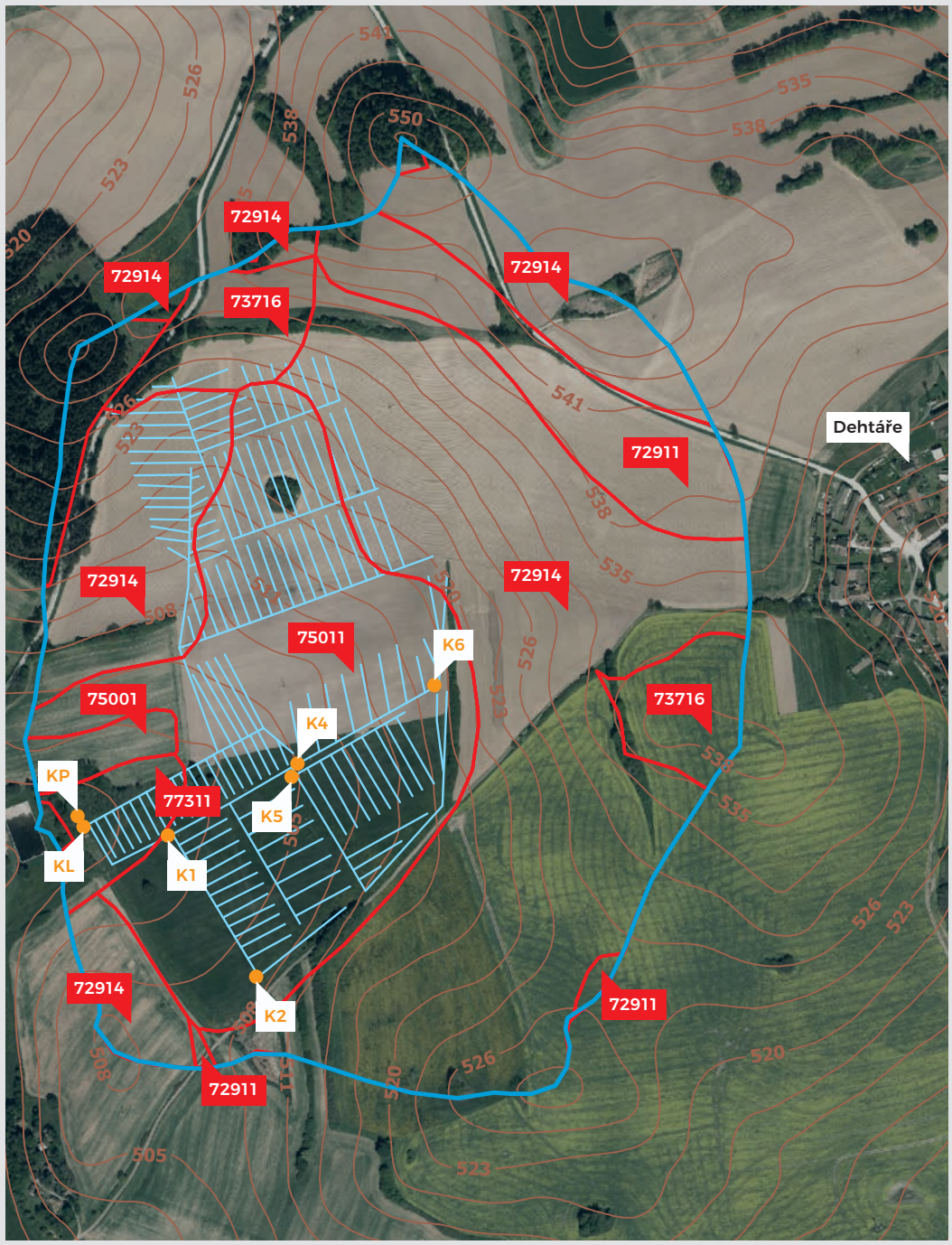
Dlouhodobý vývoj teplot drenážní vody bývá v průběhu srážkoodtokových událostí často narušen náhlou a rychlou změnou. Podle výsledků měření na experimentálním subpovodí Dehtáře a dalších subpovodích s plošnou systematickou drenáží, záchytnými drény a také v některých pramenních vývěrech existuje v jejich průběhu jasná statisticky prokázaná závislost mezi změnou ve velikosti drenážního průtoku a průběhem teploty drenážní vody, když hodnoty korelačního koeficientu r se pohybují od 0,6 do 0,97. Jinými slovy náhlý vzrůst drenážního průtoku v průběhu srážkové události bývá obvykle doprovázen podobně náhlou změnou

Rámeček 28

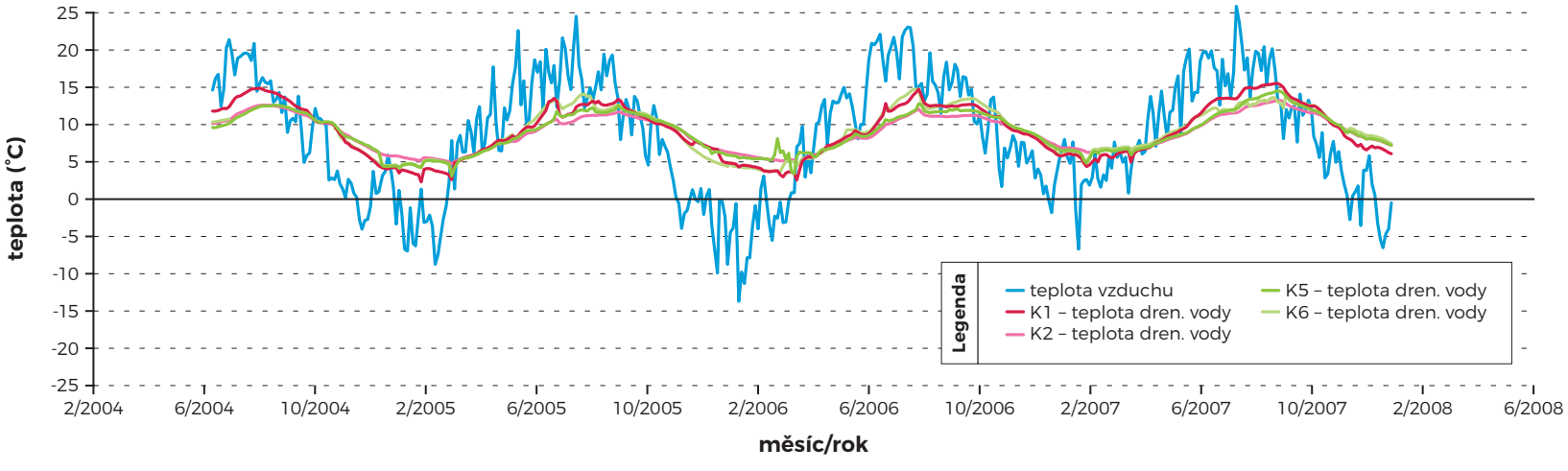
Experimentální subpovodí Dehtáře

Případová studie o teplotním režimu a využití izotopů byla provedena na dlouhodobě sledovaném subpovodí Dehtáře. Jedná se o malé zemědělské subpovodí typické pro oblast krystalinika Českomoravské vrchoviny. Lokalita leží poblíž města Pelhřimov. Má nadmořskou výšku od 497,0 do 549,8 m a plochu 57,9 ha. Pokryta je převážně zemědělskou půdou s malým zastoupením lesa. Zemědělská půda je většinou využita jako orná, nejnižší část subpovodí jako trvalý travní porost. Srážkový úhrn se pohybuje ve vegetačním období od 350 do 450 mm, v zimních měsících od 250 do 300 mm, průměrný roční úhrn je 666 mm. Substrátem jsou částečně migmatizované pararuly v různém stádiu rozpadu. Kvarterní sedimenty jsou zastoupeny svahovými písky a hlínami, které dosahují mocnosti 1–2 m. Půdní složení je značně variabilní, v akumulační oblasti se vyskytují kambizemě oglejené, pseudogleje, gleje i náznaky organozemí. Ve zdrojové oblasti je půdní pokryv více homogenní, převažují kambizemě modální, rankerové a arenické. Poblíž rozvodnice jsou půdy mělké s vyšším obsahem písku a často kamenité, ve středních partiích svahů převažují půdy písčitohlinité a v dolní části subpovodí, zejména v jeho ose se vyskytují půdy hlubší a těžší, často zajílené. Druhý půdní horizont v akumulační oblasti ležící v hloubce 40–60 cm (tj. mezi povrchem a drény) působí jako izolátor, který zpomaluje, až znemožňuje vertikální pohyb vody půdou. Pro území jsou charakteristické mělké zvodně vázané na kvartérní propustné uloženiny. Ve středních částech svahů byly zjištěny sezonní vzestupné pramenní vývěry projevující se jako významné lokální a liniové zdroje zamokření. Permanentní vodoteč se v subpovodí nenachází. Odvodňovací systémy byly vybudovány v roce 1977 jako plošná systematická drenáž s rozchody sběrných drénů 13 a 20 m. Hloubka uložení sběrných drénů je 1,0 m, svodných 1,1 m; záchytné drény jsou uloženy v hloubce 1,1–1,8 m se štěrkovým obsypem.

Obrázek 73: Přehledná mapa experimentálního subpovodí Dehtáře.



Graf 47: Dlouhodobý průběh teploty vzduchu a drenážní vody na různých sledovaných profilech subpovodí Dehtáře.

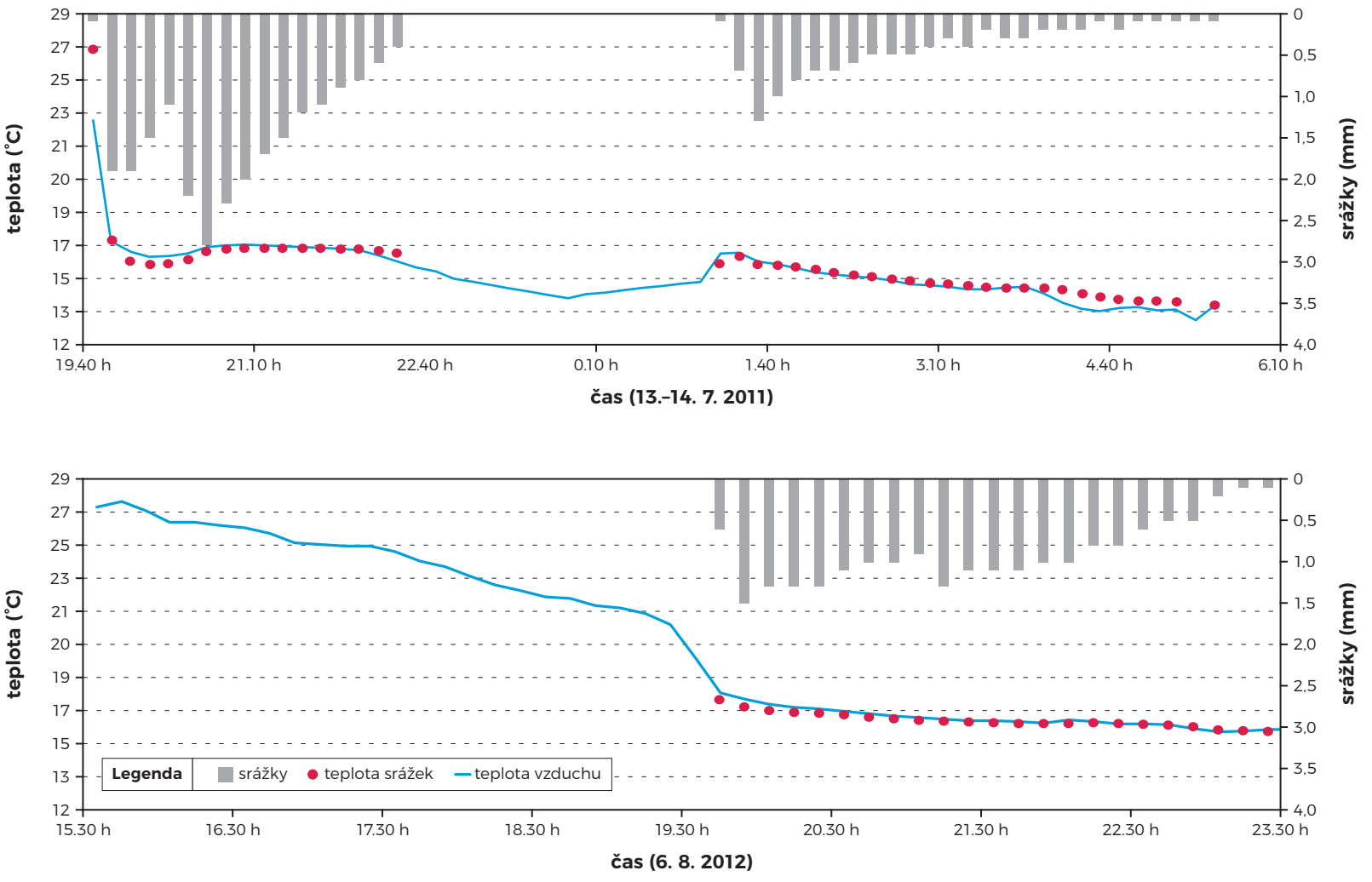


teploty drenážní vody. Popsané změny teploty drenážní vody jsou odlišné v letním a zimním období. V chladné části roku je vzestupná větev průtokové události doprovázena poklesem teploty drenážní vody a naopak na poklesové větvi průtokové události teplota drenážní vody roste. V teplé části roku teplota drenážní vody kopíruje chod průtoků, při vzestupné fázi průtokové události roste, na poklesové větvi klesá.

Pokud v průběhu události dojde ke změně teploty drenážní vody, tato změna je vždy ve směru od relativně stabilní (z hlediska délky trvání události) teploty základního odtoku k teplotě vody srážkové. V případě letního typu událostí je chladnější drenážní voda ohřívána mísením s teplejší vodou z příčinné srážky, v zimě naopak ochlazována vodou z chladné zimní srážky nebo roztátého sněhu (pokud je událost spojena s oblevou). Změřená teplota srážkové vody byla vždy velmi podobná teplotě vzduchu v době srážky. Korelace mezi teplotou vzduchu a teplotou srážkové vody bývá v průběhu srážkoodtokových událostí značně silná (graf 48). Hodnota korelačního koeficientu r byla 0,99 v případě 18 hodnocených událostí na subpovodí Dehtáře. U většiny hodnocených událostí byla teplota srážkové vody nepatrně nižší než teplota vzduchu, přičemž rozdíly byly největší na počátku srážky a v jejím průběhu se zmenšovaly. Rozdíl mezi průměrnou teplotou vzduchu v době trvání srážky a mezi úhrnnou váženou průměrnou teplotou srážkové vody se u všech událostí pohyboval mezi 0,1 až 0,2 °C, což je v rozsahu chyby přesnosti měření různých teploměrů. Z toho porovnání vyplývá, že v případě když není k dispozici měření teploty srážkové vody, je možné využít pro analýzu srážkoodtokových vztahů teplotu vzduchu.

Průběh typické letní a zimní události je podrobně znázorněn v grafu 49. Sledován byl průběh teploty vzduchu a drenážní vody a podzemní vody a srážkový úhrn spolu s velikostí

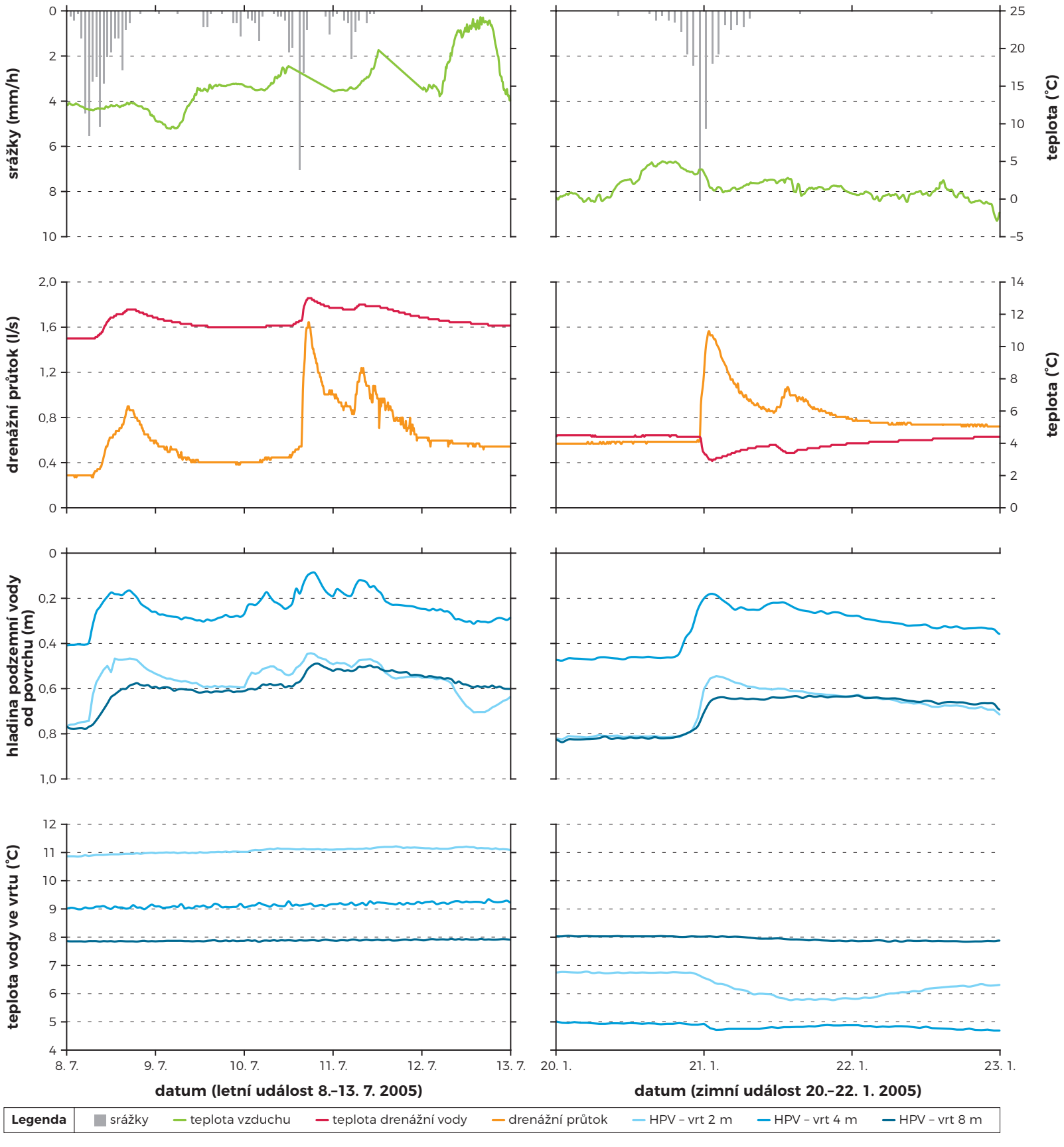
Graf 48: Porovnání teploty vzduchu a teploty srážkové vody v průběhu dvou událostí zachycených automatickým vzorkovačem srážek.



drenážního průtoku a hladinou podzemní vody. V levé části grafu 49 je zobrazena událost letního typu s růstem teploty vody spolu s rostoucím průtokem a v pravé části grafu je zobrazena událost zimní s opačným průběhem teploty vody. V obou případech (a také v průběhu všech ostatních zaznamenaných srážkoodtokových událostí) se hladina podzemní vody zvyšuje současně s růstem průtoku. Počátek zvyšování HPV se časově kryje s počátkem růstu drenážního průtoku. Pokles HPV je pozvolnější než pokles drenážního průtoku. V průběhu srážkoodtokových událostí nedošlo ke změně teploty podzemní vody nebo byla jen velmi malá a projevila se až později. V letním období nebyla zaznamenána. V průběhu zimních srážkoodtokových událostí byl občas zaznamenán pokles teploty HPV v některém z vrtů, a to maximálně o 0,9 °C. Pravděpodobně se jedná o průnik srážkové vody po obvodu vrtu.

Změna teploty celkového drenážního odtoku je vždy ve směru od (relativně stabilní) teploty podzemní a svahové vody směrem k teplotě vody srážkové. Vzhledem k tomu, že teplota podzemní vody v hlubší zvodni je v průběhu roku téměř neměnná a mělká podzemní voda vykazuje v průběhu roku jen pomalé změny teploty, lze tvrdit, že náhle změněná teplota drenážní vody indikuje změnu ve složení drenážního odtoku, tj. přítomnost „nové“ vody pocházející z příčinné srážky v drenážním odtoku, a to již velmi brzy po začátku této srážky.

Graf 49: Detailní průběh srážek, teploty vzduchu, drenážního průtoku a jeho teploty (měrný profil K5) a teploty podzemní vody ve vrtech v průběhu letní (vlevo) a zimní (vpravo) srážkoodtokové události na experimentálním subpovodí Dehtáře.



2.3.2

Doba zdržení vody v systému půda–hornina

Využití stabilních izotopů kyslíku a vodíku

Stabilní, neradioaktivní izotopy kyslíku a vodíku jsou coby součást vody jedinými přirozenými látkami vždy přítomnými ve všech složkách hydrologického cyklu a zaujímají proto prominentní postavení v souboru hydrologických přírodních, tj. nikoli uměle přidaných stopovačů. Výhodou použití izotopů je možnost provedení jejich bilance, protože jsou chemicky inertní a ve styku s prostředím nedochází k žádnému přírůstku nebo úbytku jejich množství. Jedná se tedy o zcela konzervativní stopovače (na rozdíl např. od teploty vody). Sezonně proměnlivý vstup těchto izotopů do hydrologických procesů v povodí prostřednictvím srážek je závislý na řadě relativně snadno měřitelných meteorologických a geografických faktorech (nadmořská výška, teplota vzduchu). Právě touto rychlou proměnlivostí vstupů jsou ^{2}H a ^{18}O ideální ke sledování krátkodobých srážkoodtokových procesů. Naopak pro sledování dlouhodobého pomalého proudění, zejména podzemní vody, je tato sezonní proměnlivost nevýhodou.

Využití izotopů prošlo bouřlivým vývojem od druhé poloviny 20. století. Na území bývalého Československa se izotopy využívají již od přelomu 60. a 70. let minulého století, kdy byly učiněny pokusy o členění složek odtoku v období tání sněhu v povodí Modrého potoka v Krkonoších. Další izotopové studie navázaly již s podporou tuzemského analytického vybavení tehdejšího Ústředního ústavu geologického a Geologického ústavu Dionýza Štúra a rozvinuly se v pozdější České geologické službě do celého spektra aplikací stabilních izotopů v hydrologii. První dlouhodobé sledování obsahu izotopů kyslíku a vodíku ve všech základních složkách hydrologického cyklu v experimentálním povodí v ČR bylo zavedeno Fakultou stavební ČVUT v Praze v roce 2006 v experimentálních povodích v Jizerských horách. Základní princip a způsoby jejich využití jsou uvedeny v rámečku 29.

Separace odtoku v průběhu srážko-odtokových událostí

Důležitou částí znalostí o drenážním odtoku je jeho složení v průběhu srážkoodtokových událostí, které přes krátké trvání mají značný podíl na celkovém ročním odtoku a v jejichž průběhu

Rámeček 29

Využití stabilních izotopů pro separaci drenážního odtoku v průběhu srážko-odtokových událostí a výpočet průměrné doby zdržení drenážních a podzemních vod v podmínkách krystalinika Českomoravské vrchoviny

Využití izotopů je založeno na odlišném chování malého množství molekul, které obsahují těžší stabilní izotopy těchto prvků. Jedná se především o ^{2}H – deuterium a těžší izotopy kyslíku ^{17}O a ^{18}O. Proměnlivost množství těchto izotopů ve vodě je popsána jako relativní úbytek těžších izotopů vůči standardu, vyjádřený jako tzv. delta hodnoty. Jako referenční byla určena Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW), definovaná Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni. V závislosti na poloze, nadmořské výšce, teplotě a dalších faktorech lze pozorovat změny poměrů nuklidového složení ve směsi vody a z nich vyvodit procesy, k nimž dochází.

Separace hydrogramu na „starou“ vodu (pre-event water), tj. vodu, která se v prostředí nacházela již před událostí, a „novou“ vodu (event water), tj. vodu, která pochází ze srážky, jež tuto událost vyvolala, byla primárním využitím těchto izotopů. Separace odtoku jsou nejčastěji prováděny na dvě složky podle standardního směsného modelu:

$$Qt = Qs + Qn \qquad (11)$$

$$CtQt = CsQs + CnQn \qquad (12)$$

$$Rs = \frac{Qs}{Qt} = \frac{Ct - Cn}{Cs - Cn}, \qquad (13)$$

kde Qt je celkový průtok, Qs je průtok staré (pre-event) vody, Qn průtok nové (event) vody, Cs koncentrace izotopu ve staré vodě, Cn koncentrace izotopu se srážkové vodě a Rs podíl staré vody na celkovém odtoku.

Druhou základní oblastí využití izotopů je výpočet průměrné doby zdržení vody v povodí. Ta se značí MRT podle anglického výrazu „Mean Residence Time“. Tato hodnota vyjadřuje průměrnou dobu, za kterou voda, jež se do systému (např. povodí) dostane, z téhož systému odteče. Tato doba byla stanovována pomocí utlumení amplitudy sinové funkce vstupu (srážek) a výstupu (odtoku). Pro použití této metody platí předpoklad, že všechny srážky spadlé na povodí se budou podílet na odtoku. Pro výpočet střední doby zdržení byla využita metoda útlumu amplitudy průběhu koncentrací ^{18}O a ^{2}H ve srážkové a drenážní vodě, kdy sezonní fluktuace deficitu ^{18}O nebo ^{2}H v odebraných srážkových úhrnech (které jsou způsobeny především teplotními rozdíly při tvorbě srážky) a ve vzorku vody v toku jsou proloženy sinovou funkcí:

$$d^{18}O = \text{mean}\,(d^{18}O) + A \times \text{SIN}\,(2đt/b) + C,$$

kde mean $d^{18}O$ (‰ V-SMOW) je průměrná hodnota $d^{18}O$, A (‰ V-SMOW) je sezonní amplituda $d^{18}O$, b je perioda sezonního cyklu (1 rok = 2 đ), t je čas v měsících a C fázový posun amplitudy. Střední doba zdržení (dotoku) *MRT* se určí podle rovnice vyjadřující pokles amplitudy vstupu (srážek *Ap*) a výstupu (např. odtoku *A*) sinové funkce ve funkci lineární [*(1/ b´) = 6/2/2π.)*]. MRT je pak vyjádřen rovnicí:

$$MRT = \left(\frac{1}{b'}\right)\left[\left(\frac{A_p}{A}\right)^2 - 1\right]^{0.5}. \qquad (14)$$

dochází k odnosu podstatné části živin. Největší výhodou separací odtoku prováděných pomocí stabilních izotopů je skutečnost, že jsou založeny na reálném fyzikálním základě, na rozdíl od metod jako grafická separace hydrografu či různé digitální filtry a další empiricky založené metody. Postupně se začaly objevovat také některé nejistoty těchto separací, zejména pochybnosti o časové a prostorové homogenitě izotopového složení vod aj. Na druhou stranu tato metoda dodává výsledky poněkud odlišné od předchozích metod.

Podle výzkumu na různých odvodněných povodích v krystaliniku Českomoravské vrchoviny mají srážkoodtokové události 10–36% podíl na celkovém ročním odtoku podle charakteru sezony a konkrétního povodí. Zároveň v jejich průběhu dochází k odnosu průměrně 25 % celkové roční ztráty dusíku (10–60 %) a 40–60 % fosforu (až 95 %) v závislosti na využití půdy, vlhkosti daného roku a hydrologické konektivitě povodí.

Separace drenážního odtoku pomocí izotopů (rámeček 30) byla provedena na experimentálním subpovodí Dehtáře. Bylo analyzováno celkem 18 hydrogramů. Izotopové složení drenážního odtoku se v průběhu srážkoodtokové události většinou mění. Pokud se velikost deficitu stabilních izotopů v drenážním odtoku odchyluje od velikosti deficitu v základním odtoku před událostí směrem k velikosti deficitu ve vodě srážkové, lze potvrdit průnik vody z příčinné srážky (event water, „nová“ voda) do drenážního odtoku velmi brzy po začátku příčinné srážky a také možnost provést separaci pomocí směsného modelu. V grafu 50 je znázorněn výsledek separace jedné letní srážkoodtokové události, zobrazen je průběh celkového průtoku, průběh odtoku staré vody, průběh srážek a změna v teplotě drenážní vody, která dobře koreluje se změnou podílu staré vody v drenážním odtoku. Celkový podíl nové vody v drenážním odtoku v průběhu této události byl stanoven na 27,4 %, ovšem při samostatném hodnocení první vlny dosahuje podíl srážkové vody až 50 % celkového odtoku. Druhá vlna této události byla méně výrazná s nižším srážkovým úhrnem, menší změnou průtoku i teploty drenážní vody a stejně tak i s nižším podílem nové vody v odtoku. Průběh teploty drenážní vody v případě této události velmi dobře kopíruje měnící se podíl složek odtoku. Nejvyšší podíl nové vody v odtoku (70 %) se časově shoduje s největší změnou teploty drenážní vody (4,6 °C), přičemž tato situace nastala ještě před kulminací hydrogramu v čase těžiště srážky. Stejně tak při druhé vlně události byl shodně zjištěn nižší podíl nové vody i menší změna teploty vody drenážní.

Rozborem většího množství zaznamenaných srážkoodtokových událostí na malých subpovodích Českomoravské vrchoviny bylo zjištěno, že jejich průběh se liší v závislosti na ročním období. Letní srážkoodtokové události vykazují velmi rychlou reakci průtoku na srážky. Doba mezi začátkem deště a růstem průtoku se na drenážních subpovodích pohybuje obvykle mezi 30 minutami až 1 hodinou. „Nová“ voda z příčinné srážky se do drenážního odtoku dostala ve všech sledovaných letních událostech. Její podíl byl 1–58 % celkového odtoku za událost (průměrně 28 %). Nejvyšší okamžitý podíl byl průměrně 52 %, nejvíce až 88 %. Zimní srážkoodtokové události mají průběh odlišný. Jsou charakteristické pomalejší reakcí průtoku na srážky (obvykle v hodinách), delší celkovou dobou trvání a nižším podílem vody z příčinné srážky. Ten se pohybuje od 0 % do 14 % celkového odtoku.

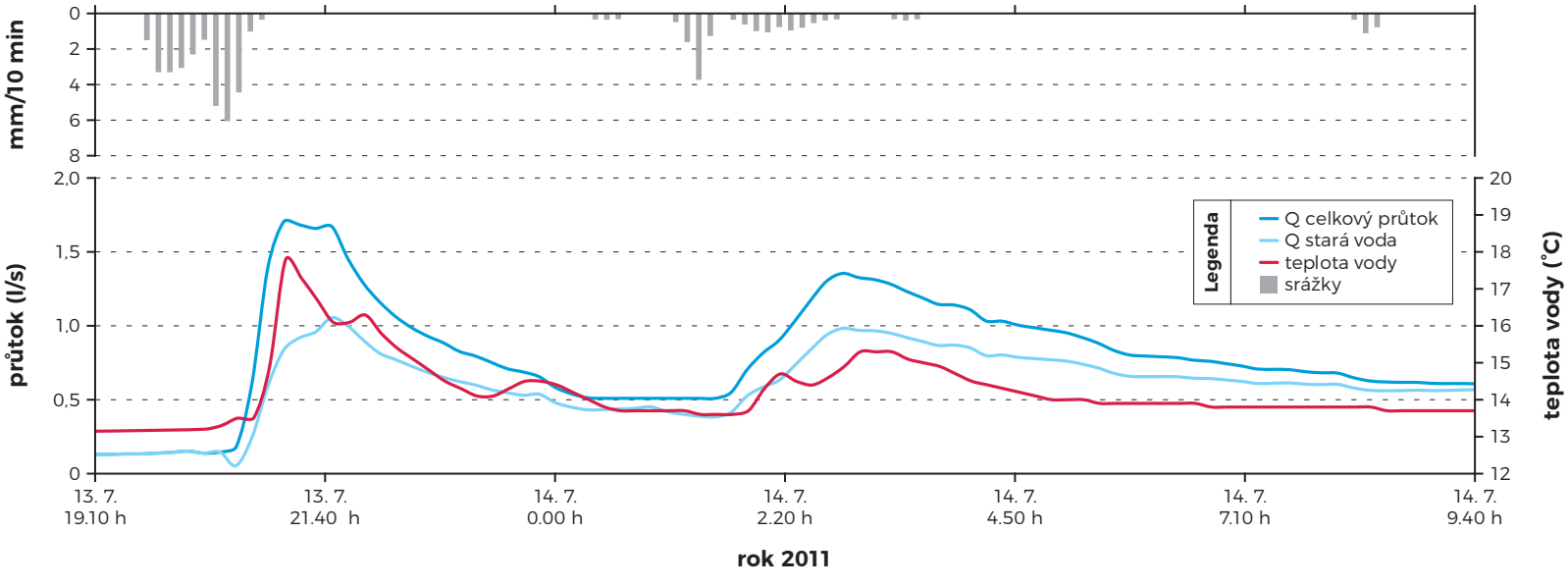
Výsledky izotopické separace zachycených událostí prokázaly značnou variabilitu v podílu „nové“ vody v drenážním odtoku během různých událostí. Tato variabilita byla publikována i v pracích dalších převážně zahraničních autorů, kteří pro různé geografické, geomorfologické a hydrologické podmínky uvádějí podíl „nové“ vody mezi 11–60 %. Značná proměnlivost podílu srážkové vody v různých událostech je nejčastěji připisována lišícím se hygrologickým podmínkám v povodí před příčinnou srážkou, a to zejména vlhkosti půdy a hladině podzemní vody v letním období a sněhové pokrývce v případě událostí zimního typu (do odtoku se nejprve dostává relativně starší voda, která byla zadržována ve sněhové pokrývce). Pro experimentální subpovodí v krystaliniku Českomoravské vrchoviny (subpovodí Dehtáře a k němu relevantní různá subpovodí Kopaninského potoka) nebyla potvrzena často publikovaná skutečnost, že při obdobných předchozích hydrologických podmínkách je podíl „nové“ vody v odtoku funkcí velikosti a intenzity příčinné srážky.

Ačkoli drenážní odtok reaguje na příčinnou srážku velmi rychle, většinou do jedné hodiny v případě letních událostí a do tří hodin v případě zimních, většina odtoku je tvořena rychle mobilizovanou „starou“ vodou, která pravděpodobně pochází z náhle zvýšeného podpovrchového (svahového) toku, který probíhá na rozhraní mezi více propustnou vadózní (mělkou) zónou a málo propustným podložím. Vzhledem ke skutečnosti, že základní odtok zůstává neměnný, zvýšení drenážního odtoku v průběhu událostí je s největší pravděpodobností způsobeno rychlým vzrůstem mělkého podpovrchového odtoku. Událostní charakter podpovrchového odtoku v oblasti krystalinika Českomoravské vrchoviny závisí na průběhu srážek a přitom podpovrchový odtok je dominantní složkou vodního režimu horských oblastí (Šanda a Císlerová, 2000 a 2009). Jako preferenční cesta svahového toku mohou sloužit například makropóry nacházející se v půdě přímo nad vlastním drenážním systémem.

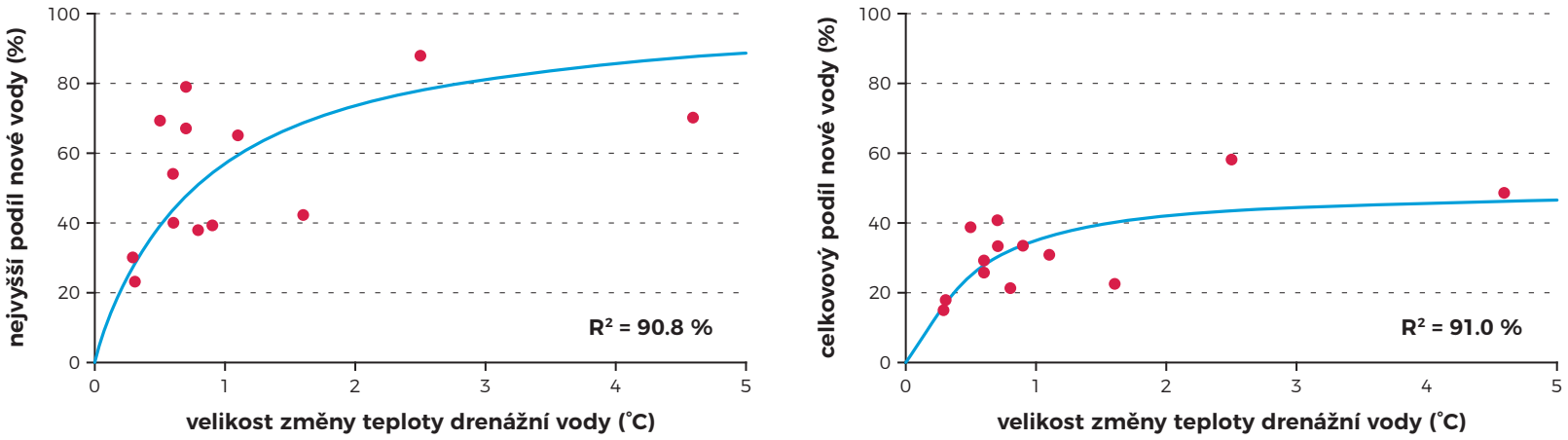
Porovnání využití měření teplot vody a izotopických separací

Porovnáním změn teplot drenážní vody s výsledky separace drenážního odtoku pomocí koncentrací stabilních izotopů ^{18}O a ^{2}H,

Graf 50: Průběh srážek, teploty drenážní vody, odtoku celkového, odtoku „staré“ vody v průběhu srážkoodtokové události na experimentálním subpovodí Dehtáře.



Graf 51: Vztah mezi velikostí změny teploty drenážní vody a podílem „nové“ vody z příčinné srážky – nejvyšším okamžitým (vlevo – regresní model Double reciprocal) a celkovým za událost (vpravo – regresní model S-curve).



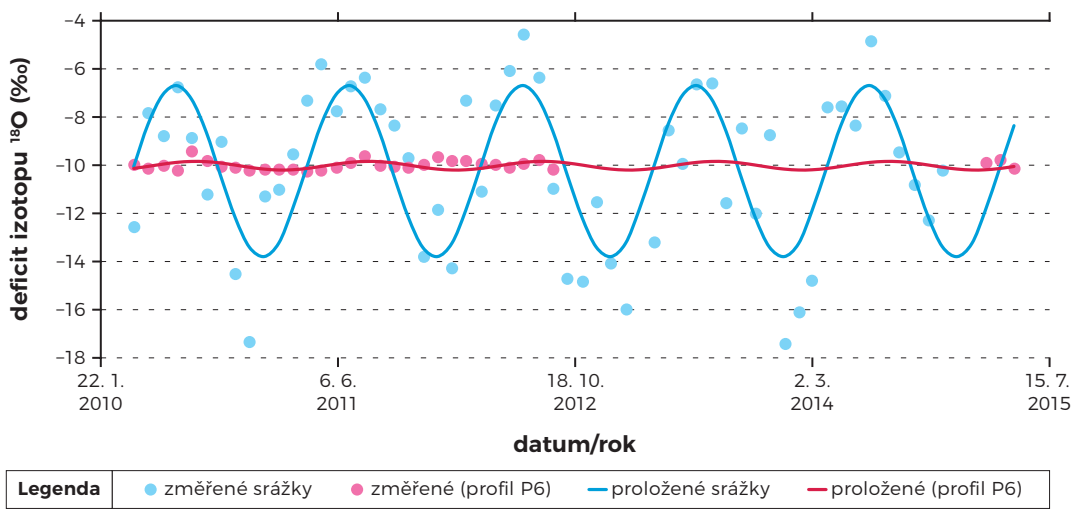
prokázalo, že náhlá změna teploty drenážní vody indikuje změnu ve složení drenážního odtoku, a to přítomnost „nové“ vody. Vždy když podle izotopů byla „nová“ voda přítomna v drenážním odtoku, byla zjištěna také změněná teplota drenážní vody. Velikost této změny byla úměrná velikosti podílu „nové“ vody v celkovém drenážním odtoku v průběhu srážkoodtokové události. Porovnání velikosti změny teploty drenážní vody a velikosti podílu vody z příčinné srážky v průběhu událostí je zobrazeno v grafu 51. V levé části byla porovnávána velikost změny teploty a maximální okamžitý podíl nové vody v odtoku. Tato regrese byla nejlépe vyjádřena dvojitým recipročním modelem s $R^2 = 90{,}8$. V pravé části grafu je znázorněn vztah mezi velikostí změny teploty drenážní vody a celkovým podílem nové vody v odtoku. Nejlépe byl vyjádřen S – křivkou s $R^2 = 91{,}0$ %. Z tohoto porovnání vyplývá, že kontinuálně měřená teplota drenážní vody může být úspěšně využita jako vzorkovač toků a cest vody do vod podpovrchových a podzemních – rozlišení na hlubokou zvodeň a mělký podpovrchový oběh a také rozlišení složek odtoku v průběhu srážkoodtokových událostí. Jako vhodné se ukázalo současné měření teplot různých složek drenážního odtoku a teploty srážek pomocí automatického vzorkovače srážek s kontinuálním záznamem jejich teploty. V případě nedostupnosti dat o teplotě srážkové vody lze využít měření teploty vzduchu, která je v průběhu srážky od teploty srážkové vody jen málo odlišná. Korelační koeficient mezi těmito teplotami se v průběhu sledovaných událostí pohyboval mezi r = 0,98 a r = 0,99, přičemž rozdíly mezi průměrnou, množstevně váženou teplotou srážky a průměrnou teplotou vzduchu v průběhu srážkoodtokové události se pohybovaly 0,1–0,2 °C.

Nevýhodou využití teploty vody jako stopovače může být její nekonzervativní chování, což se projevuje možnou změnou teploty vody při styku s různě teplým prostředím, kterým během odtoku prochází. Změna teploty vody při kontaktu s prostředím, kterým prochází, a opoždění teplotního signálu v průběhu infiltrace půdou poněkud omezují možnost kvantitativně přesné separace složek drenážního odtoku v průběhu většinou rychlých srážkoodtokových událostí. Na druhou stranu vysoká termální kapacita vody, která způsobuje pouze pomalé změny její teploty v porovnání s jinými přírodními látkami, její využití jako stopovače umožňuje. Ve spojení s dalšími metodami, jako jsou fyzikálně založené modely, popřípadě ve spojení s jinými stopovači jako jsou např. stabilní izotopy ^{18}O a ^{2}H, lze předpokládat úspěšné využití teploty vody také jako stopovače kvantitativního. Navíc nevýhoda částečně nekonzervativního charakteru tohoto stopovače je více než vyvážena jeho ekonomickou a technickou dostupností. Výhodná je snadnost kontinuálního měření teploty u různých složek odtoku (podzemní voda, drenážní voda, svahová voda i srážková voda) v libovolně krátkém intervalu, kdežto dostatečně častý odběr vzorku vody na chemickou analýzu koncentrace jiných stopovačů je poněkud náročnější.

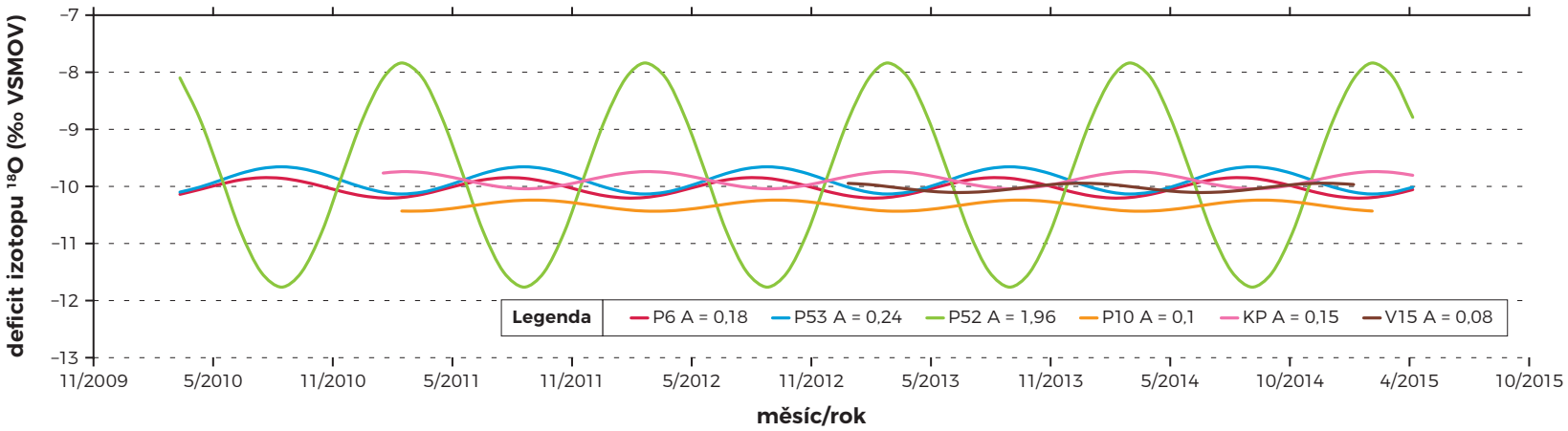
Určování střední doby zdržení vody v povodí

Další oblastí, kde lze využít data o izotopickém složení drenážních, srážkových a podzemních vod, je výpočet průměrné doby zdržení odtoku v povodí. Je to doba, kterou průměrně stráví molekula vody v povodí od vypadnutí ze srážky po její odtečení v závěrovém profilu. Tento údaj je velmi důležitý zejména při hodnocení proveditelnosti a účinnosti opatření pro zlepšení kvality vod opouštějících povodí. V oblasti krystalinika Českomoravské vrchoviny bylo v letech 2010–2015 prováděno izotopické sledování na různých měrných profilech charakterizujících různé typy mělké podzemní vody. Měření bylo prováděno na několika odvodněných subpovodích s různě velikou zdrojovou plochou a různými typy drenáže. Jedná se zejména o závěrové profily celých drenážních skupin, měrné profily na drenážních souřadech plošné systematické drenáže a na záchytných drénech. Dále byly sledovány různě hluboké vrty rozmístěné v transportní a výtokové zóně povodí a jeden malý lokální vodní zdroj podzemní vody pro pitné účely. Vzhledem ke skutečnosti, že do této analýzy byly použity vzorky vod odebrané při pravidelných odběrech ve dvoutýdenním intervalu, tj. převážně za běžných vodních stavů, jedná se o výpočet průměrné doby zdržení základního (podzemního) a hypodermického (svahového) odtoku. Z výsledků (graf 52) je dobře patrný pokles

Graf 52: Pokles amplitud deficitu izotopu ^{18}O ve výstupu drenážního odtoku na měrném profilu P6 a vstupu (srážky) vody do tohoto subpovodí.



Graf 53: Velikost vypočítaných amplitud deficitu izotopu ^{18}O na různých sledovaných profilech.



amplitudy výstupů z povodí (v tomto případě drenážního odtoku ze subpovodí Kopaninského potoka P6) oproti amplitudě vstupů (srážky měřené na automatickém vzorkovači srážek umístěném v povodí Kopaninského potoka). V grafu 53 je znázorněna velikost vypočítaných amplitud deficitu izotopu ^{18}O na různých sledovaných profilech experimentálních subpovodí v zájmové oblasti. Velikosti amplitud průběhu deficitu izotopu ^{18}O v několika různých typech sledovaných vod jsou uvedeny v tabulce 48 spolu s předpokládanou střední dobou zdržení vody v subpovodí sledovaných profilů.

Z výsledků měření vyplývá, že střední doba základního (baseflow) a hypodermického (interflow) odtoku je v zájmové oblasti značně variabilní. Na závěrových profilech drenážních skupin se pohybovala mezi 2,3–3,3 roku, přičemž doba zdržení nebyla závislá na velikosti plochy drenážní skupiny. Nejvíce záleží na hloubce oběhu a podílu povrchových vod, které mohou často rychle a v relativně velkém množství pronikat do mělkého podpovrchového odtoku. V případě záchytného drénu, který sbírá především svahovou vodu (část odtoku stékající vadózní zónou svahem po nepropustném podloží), byla zjištěna výrazně větší doba zdržení, a to 7,0 let. V případě toho profilu záleží na vzdálenosti, kterou musí svahový odtok urazit od místa infiltrace (infiltrační oblast) k místu vtoku do drénu. Naopak v případě profilu se smíšeným napájením podzemní i povrchovou vodou (tabulka 48, profil P52) byla zjištěná výrazně kratší doba zdržení, a to pouhé čtyři měsíce. V případě sledovaných pokusných vrtů a pramenního vývěru, sloužícího jako lokální vodní zdroj podzemní vody pro pitné účely, se střední doba zdržení pohybovala od 6,1 do 8,9 let. V případě stáří vody v těchto vrtech záleží především na hloubce vrtu a případně také na množství preferenčních cest urychlujících pohyb infiltrující vody do sledované zvodně.

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že odtok mělké podpovrchové (zejména drenážní) vody v zájmovém regionu představuje komplexní problém, kdy se na odtoku podílí více různých složek v různém poměru. Odtok dotovaný z hladiny podzemní vody a svahovým tokem má delší dobu zdržení v povodí v řádu měsíců až let, nicméně často je v průběhu srážkoodtokových událostí ředěn různým podílem vody pocházející z příčinné srážky, která dosáhne drenážního odtoku již velmi brzy (v desítkách minut až jednotkách hodin) po začátku srážky. Její podíl závisí na velikosti zdrojové oblasti, množství preferenčních cest (zejména ve zdrojové oblasti), výskytu puklin v podloží a množství pramenů a jejich napojení na sledovaný drenážní systém či jiný vodní útvar.

Tabulka 48: Typ sledovaného profilu, velikost amplitudy deficitu izotopu ^{18}O a průměrná doba zdržení (MRT) základního a hypodermického odtoku na různých profilech v zájmové oblasti

Subpovodí, měrný profil	Zdroj výsledků	Název povodí, subpovodí	Amplituda	MRT (roky)
AS1	vzorkovač srážek	Kopaninský potok	3,59	n
P6	plošná drenáž	Kopaninský potok	0,18	3,1
P53	plošná drenáž	Kopaninský potok	0,24	2,3
P52	různé zdroje	Kopaninský potok	1,96	0,3
KP	plošná drenáž	Dehtáře	0,15	3,3
KL	plošná drenáž	Dehtáře	0,22	2,6
K2	záchytný drén	Dehtáře	0,07	7,1
V15	vrt 3 m	Dehtáře	0,08	6,2
VH8	vrt 8 m	Dehtáře	0,06	8,6
P10	studna	Onšovice	0,10	6,1

3. KAPITOLA

Jakost vody a odnosy látek v povodí

Tomáš Kvítek
Petr Fučík
Antonín Zajíček

Voda je jednoduchá substance, jejíž přirozeností je, že je studená, vlhká a průzračná.

Avicenna
Středověký perský učenec, lékař a filozof

Jakost či kvalita vod je souhrnný pojem pro hodnoty koncentrací řady látek obsažených ve vodách. Jakost vody může vyjadřovat mnoho parametrů fyzikálního, chemického či biologického stavu. V této kapitole se budeme nejvíce věnovat jakosti vod povrchových, podpovrchových a podzemních z pohledu chemického stavu, konkrétně sloučeninám dusíku, dále potom fosforu, pesticidům a plaveninám, tj. nerozpuštěným látkám velmi jemnozrnné povahy (rámeček 30).

Dusík

Studiu všech forem dusíku ve vodách a půdách byla a je ve světě věnována značná pozornost. Sledovány a v příslušné legislativě ČR týkající se jakosti vod jsou ukotveny všechny tři jeho anorganické formy, ve kterých se ve vodách vyskytuje – dusičnanový, amoniakální i dusitanový dusík, ačkoli pouze dva první z nich mají z hlediska plošných zdrojů a závažnosti znečištění vod zásadní význam. Dusičnanový dusík (či jejich iontové vyjádření jako dusičnany) je jedním z nejrozšířenějších polutantů v povrchových i podzemních vodách. Při dlouhodobém využívání vody s vysokými koncentracemi dusičnanů jako pitné hrozí lidskému organismu toxické účinky, prostřednictvím methemoglobinaémie způsobované dusitany, které mohou vznikat v lidském těle bakteriální činností z dusičnanů. Dusitany mohou kromě toho spolupůsobit při vzniku N-nitrosoaminů, které jsou karcinogenní. Amoniakální dusík (přesněji nedisociované molekuly NH_3) má toxické účinky na vodní faunu, především ryby.

Rámeček 30

Bodové a plošné zdroje znečištění vod

Znečištění bodové je jednoznačně vázané na akumulaci činností do úzce ohraničených oblastí (sídla, čistírny odpadních vod – ČOV, průmyslové provozy, zemědělské objekty) a lokalizovatelné (výpusť, kanál) což, alespoň teoreticky, umožňuje sledování, bilancování i snazší eliminaci jeho negativního dopadu. Bodové znečištění je převážně kontinuální nebo se v nějakých cyklech opakuje a odtok a odnos látek z něj není obvykle výrazněji ovlivněn meteorologickými faktory.

Plošné znečištění vod je na rozdíl od bodového obtížně sledovatelné; odehrává se časoprostorově nepravidelně v závislosti na proměnlivých meteorologických, půdních, morfologických a porostních podmínkách. To ovšem platí zejména pro povrchový odtok včetně znečišťujících erozních sedimentů a na ně navázaných látek. Podpovrchový a základní odtok jsou z hlediska lokalizace stálejší. Rovněž z pohledu proměnlivosti v čase se u nich nevyskytuje tak významná dynamika jako u odtoku povrchového a u eroze.

Zdroje plošného znečištění jsou obecně členěny do následujících kategorií:

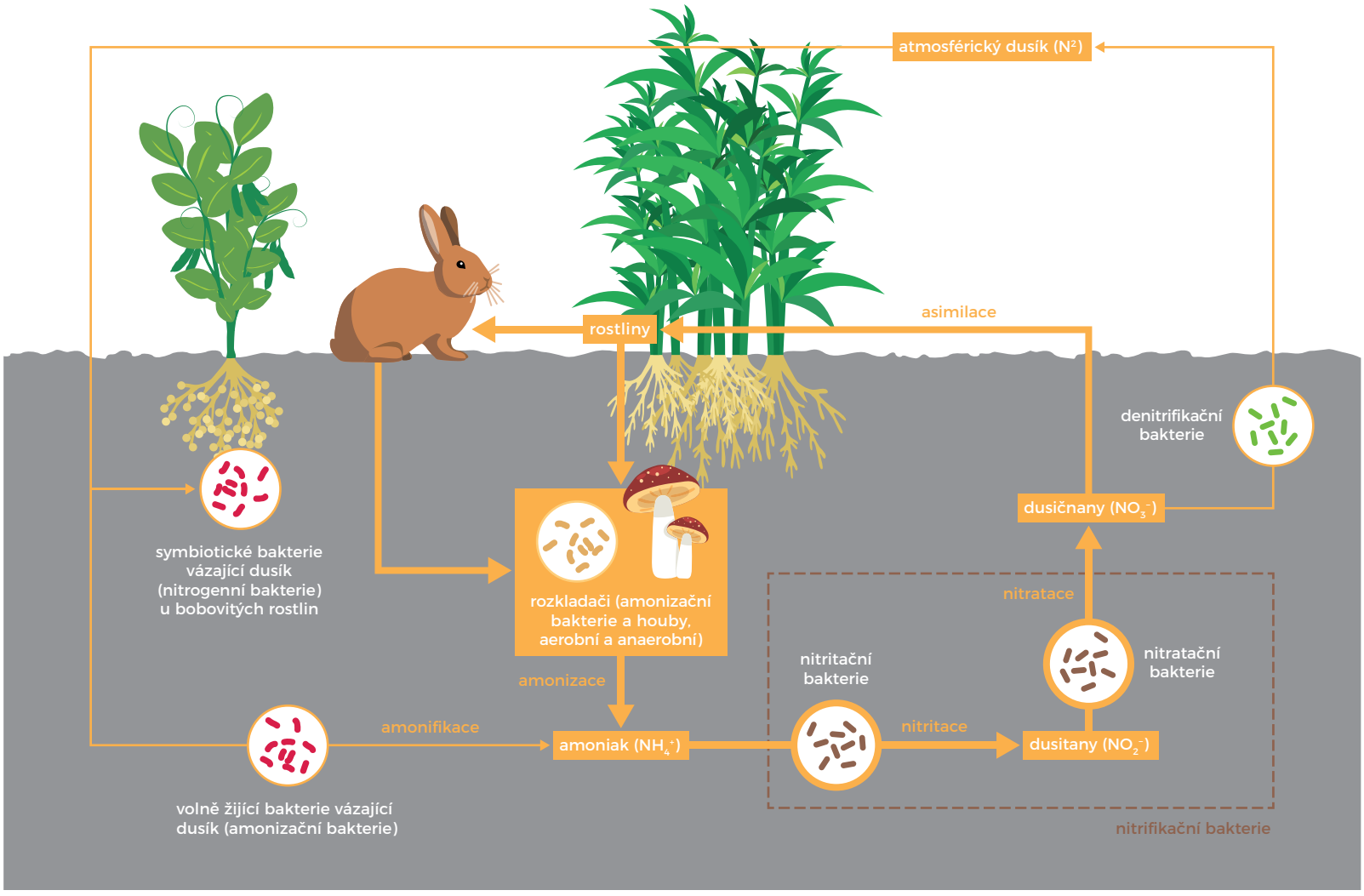
- Zdroje a látky umělé, v přírodě se nevyskytují (pesticidy, mořidla, některé látky z atmosférických depozic), ale používají se v zemědělství.
- Zdroje přírodních anorganických látek – uvolňují se z horninového prostředí zrychleným zvětráváním, které je způsobeno atmosférickými depozicemi (bazické kationty, hliník, případně další prvky a ionty).
- Zdroje zemědělských živin (minerální a statková hnojiva) – dusík, fosfor, vápník.
- Zdroje přírodních živin (uvolňují se mobilizací z půdního prostředí v procesu mineralizace půdní organické hmoty).
- Eroze (sedimenty) a na půdu navázané minerální látky, těžké kovy, pesticidy.

Rámeček 31

Cyklus dusíku a procesy jeho přeměn

Dusík patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky. Náleží do skupiny nutrientů, které jsou nezbytné pro rozvoj mikroorganismů. Uplatňuje se při všech biologických procesech probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách a při biologických procesech čištění a úpravy vody. Sloučeniny dusíku jsou ve vodách málo stabilní a podléhají v závislosti na oxidačně-redukčním potenciálu a hodnotě pH zejména biochemickým proměnám. Organické dusíkaté látky se rozkládají mikrobiální činností a dusík se obvykle uvolňuje deaminací jako dusík amoniakální. Amoniakální dusík je pro organismy zdrojem pro syntézu nové biomasy. V anaerobních podmínkách se již amoniakální dusík dále nemění, v aerobních podmínkách podléhá nitrifikaci až na dusičnany, které jsou konečným produktem oxidace organicky vázaného dusíku. Z biochemických přeměn organických forem dusíku je nejdůležitější oxidace amoniakálního dusíku až na dusičnany (nitrifikace) a redukce dusičnanů na elementární dusík (denitrifikace) – obrázek 74. Redukce dusičnanů až na amoniakální dusík je možná jen za specifických podmínek a nepovažuje se za denitrifikaci. Nitrifikací se rozumí biochemická oxidace amoniakálního dusíku na dusitany až dusičnany. Je způsobena především litotrofními (autotrofními) a výjimečně i organotrofními organismy. Chemolitotrofní nitrifikační bakterie využívají CO_2 jako zdroj uhlíku pro tvorbu biomasy a zdrojem energie je oxidace amoniakálního dusíku. Hlavní rody nitrifikačních baktérii jsou Nitrosomonas a Nitrobacter. V přírodě jsou velmi rozšířeny, mají tendenci ulpívat na různých druzích povrchů, a proto se hromadí ve dnových sedimentech, v půdě a v nerozpuštěných látkách ve vodě. Pokud jsou pro ní předpoklady, probíhá ve vodách v oxických podmínkách nitrifikace velmi snadno. Rod Nitrosomonas se podílí na prvním stupni oxidace na dusitany a má menší růstovou rychlost než rod Nitrobacter, který se podílí na oxidaci dusitanů na dusičnany. V anoxických podmínkách může dojít k redukci dusičnanů a dusitanů na elementární dusík nebo oxidy dusíku. Jedná se o denitrifikaci. Denitrifikace probíhá ve vodách snadno, pokud jsou dodrženy anoxické podmínky. Biochemická redukce dusičnanů a dusitanů na elementární dusík nebo oxidy dusíku je způsobena různými organotrofními (heterotrofními, resp. litorofními) striktně i fakultativně anaerobními mikroby (např. rody Pseudomonas, Micrococcus). Na rozdíl od nitrifikace je pro denitrifikaci jako donor nutný organický substrát jako zdroj energie (při biologickém čištění odpadních vod a deficitu interních zdrojů organického uhlíku se někdy do vody přidávají externí zdroje např. methanol, glukosa, kyselina octová aj.). Denitrifikace probíhá v dostatečně širokém rozsahu hodnot pH asi od 6,0–9,0 v anoxickém prostředí, nebo jen při malých koncentracích rozpuštěného kyslíku menších než 0,5 mg/l. V anoxickém prostředí mohou sloučeniny dusíku podléhat i chemické redukci na elementární dusík. K redukci dusičnanů až na amoniakální dusík je zapotřebí značně záporných hodnot oxidačně-redukčního potenciálu, kde již jsou předpoklady pro redukci síranů na sulfidy. Ve směsi síranů a dusičnanů se přednostně redukují dusičnany. Elektronovým donorem při denitrifikaci může být FeII obsažené v pyritu, při jeho oxidaci se ve vodě projeví nárůst koncentrace síranů a Fe_2^+. Železo ve formě Fe_2^+ je dále oxidováno dusičnany a vysráženo ve formě minerálů Fe_3^+. K nárůstu rozpuštěného Fe_2^+ ve vodě dochází až po úplné redukci dusičnanů.

Obrázek 74: Cyklus dusíku v přírodě.



Dusičnany jsou hlavními zdroji plošného znečištění vod (rámeček 31) a jsou zejména spojovány se zemědělsky využívanou půdou. Zdrojem tvorby dusičnanů v půdě mohou být statková hnojiva živočišného původu nebo hnojiva minerální, po jejichž aplikaci může být urychlen rozklad organické hmoty. Organicky vázaný dusík obsažený v organických a organominerálních hnojivech, statkových hnojivech a upravených kalech se v půdě mineralizuje a přechází do forem využitelných rostlinami a zároveň podléhajícím ztrátám, např. vyplavením. Interakce mezi různými formami dusíku v půdě a vodě se odehrávají poměrně rychle, v závislosti na cestách transportu z půdního prostředí a charakteru tohoto prostředí. Všechny formy dusíku mají, kromě iontů NH_4^+, totiž společnou nízkou afinitu k půdním částicím a dusičnanový iont navíc disponuje vysokým difúzním koeficientem, což jej činí vysoce pohyblivým v půdním profilu. V půdě v klidovém stavu je převážná část dusíku obsažena v organické hmotě a v průměru pouze 2–5 % je ve formě minerální. Při intenzivní kultivaci lze však v období bez rostlinného pokryvu nalézt až 16 % půdního dusíku v dusičnanové formě; podrobně rámeček 31. Do vod vyplavené dusičnany nemusí pocházet přímo z hnojiv, ale často vznikají v půdě postupnou přeměnou dusíkatých organických látek. Mineralizace půdního organického dusíku byla spolu s dalšími faktory (teploty vzduchu a půdy, půdní charakteristiky, průběh srážek, odvodnění) shledána pro podmínky ČR i dalších lokalit jako nejdůležitější mechanismus pro vyplavování a vnos dusíku do vod.

Foto 67: Retence vody a ochrany půdy v subpovodí za srážkoodtokových událostí rostlinným pokryvem je malá. Zdroj: Kvítek T.

Fosfor

Ze tří hlavních nutrietů vyskytujících se v prostředí (N, P a K) je fosfor ve sladkovodních vodách nejčastěji limitujícím faktorem růstu fytoplanktonu a je nejčastěji spojován s jevem eutrofizace v povrchových vodách, stojatých i tekoucích. Povrchové vody jsou velice citlivé k vnosům fosforu ze zemědělských zdrojů, neboť kritické koncentrace z hlediska eutrofizace (10–20 µg P/l) bývají o řád nižší než koncentrace (obsah) fosforu v půdě potřebné pro zdárný růst rostlin (200–300 µg P/l). Projevem bývají exponenciální nárůsty potenciálně toxických vodních květů (řas a sinic), odumírání bezobratlých a ryb z důvodu snížení provzdušnění a biodiverzity. Množství a formy fosforu, odnášeného ze zemědělské půdy do povrchových vod, je ovládáno dvěma klíčovými faktory – obsahem fosforu v půdě a cestami odnosu.

Rámeček 32

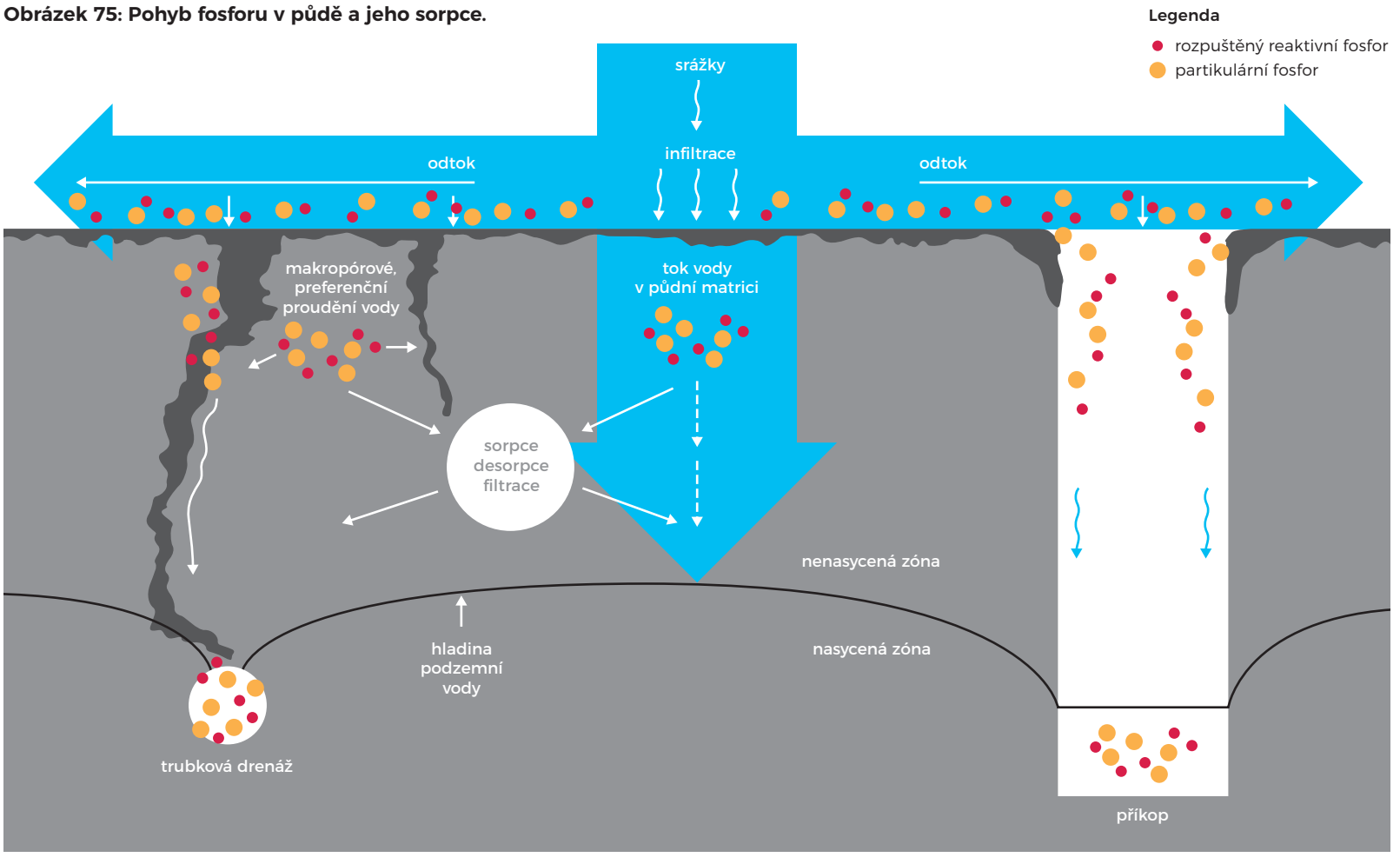
Přítomnost fosforu ve vodě, v půdě a procesy jeho přeměn

Celkový fosfor ve vodách lze rozdělit na rozpuštěný P_{rozp} a na nerozpuštěný P_{nerozp}. Rozpuštěný i nerozpuštěný P se dále dělí na anorganicky (P_{anorg}) a organicky (P_{org}) vázaný. Anorganicky vázaný P_{rozp} se dále dělí na orthofosforečnanový a polyfosforečnanový. Běžně se analyticky stanovuje fosfor celkový (TP – total phosphorus), orthofosforečnanový fosfor ($P–PO_4^{3-}$, tento bývá nazýván nejčastěji rozpuštěný reaktivní fosfor – dissolved (soluble) reactive P – DRP, SRP), partikulární fosfor (> 0,45 μm; PP) a fosfor vázaný v hydrolyzovatelných fosforečnanech.

Distribuce fosforu mezi půdními částicemi různých rozměrů (velikostí) je zásadní vlastnost vzhledem k procesům uvolňování a transportu fosforu, neboť náchylnost jednotlivých půdních frakcí k rozmělňování (odlučování), erozi a přesunu je různá. Obsah fosforu v půdě obvykle roste s klesajícími rozměry půdních částic – klesá od půd jílovitých směrem k písčitým. Na obsah fosforu má dále značný vliv hnojení; dávky, pěstované plodiny a způsob zapravení hnojiva do půdy. Vysoký obsah látek fosforu byl např. zjištěn u písčité frakce půdy, která byla hnojena velkými dávkami chlévské mrvy, aplikované bez jejího zapravení do půdy. Uvolňování a transport půdních částic jsou poměrně podrobně popsané procesy z části z toho důvodu, že tradičně byl a je přísun fosforu do vod spojován právě především s povrchovým odtokem a erozními procesy a tak je obecně přijímán předpoklad, že jediným difúzním zdrojem fosforu odneseného ze zemědělské půdy je povrchový odtok způsobující erozní jevy. Uvolňování fosforu tímto způsobem zahrnuje zejména erozní mechanismy na povrchu půdy a odnos půdních částic, způsobované hydraulickou silou unášející vody a/nebo účinkem dopadajících kapek. Vedle mechanických procesů uvolňování se zapojují i další procesy zpřístupňování látek fosforu, ovlivňované především výměnnou iontovou silou (kapacitou) a dynamikou změn pH v půdě, které mohou rovněž přispívat k uvolňování fosforu vázaného na pevné půdní částice. Všechny tyto jevy jsou obvykle spojovány s přednostním transportem jemných jílových částic, které jsou relativně bohaté na fosfor díky své vysoké sorpční kapacitě, která roste s klesající velikostí půdních částic. Za pomoci radioaktivního izotopu fosforu ^{32}P bylo zjištěno, že voda z povrchového odtoku přichází do styku obvykle pouze s několika málo centimetry svrchního profilu půdy. Právě v této nejsvrchnější vrstvě půdy, která je definovaná jako efektivní hloubka interakce, bývá nejvyšší obsah P, a proto ve vodě povrchového odtoku převažují vysoké koncentrace fosforu.

Hnojiva, minerální i organická (statková) aplikovaná na povrch půdy, mohou být přímým a podstatným zdrojem vnosu fosforu do vod – fosfor ani další látky se „nestihnou“ stát součástí půdy a jsou vodou odnášeny do vodního prostředí. Tento typ odnosu fosforu bývá klasifikován jako náhodný (incidental) a může být významný jak na orné půdě, tak i v případě travních porostů, kde jsou hnojiva aplikována na povrch půdy bez dalšího zapravení nebo pocházejí z vysokých stavů chovaného dobytka. Mnoho studií prokázalo úzký vztah koncentrací rozpuštěného i celkového P ve vodách povrchového a drenážního odtoku ke koncentracím fosforu ve svrchní vrstvě půdy; bylo zjištěno, že ztráty P podpovrchovým odtokem mohou být nezanedbatelné, zejména během vyšších odtoků. Pohyb fosforu v půdě a procesy jeho transportu jsou uvedeny v obrázku 75.

Obrázek 75: Pohyb fosforu v půdě a jeho sorpce.



Pesticidy

V České republice je používáno přibližně 400 pesticidních látek a jejich počet se zvyšuje. Negativem využití těchto prostředků je skutečnost, že mohou být vyplavovány do povrchových a podzemních vod a způsobovat závažné ekotoxikologické problémy jak u terestrické, tak u vodní (nebo na vodu vázané) bioty a zhoršovat jakost vody samotné. Přibližně 65 % aplikované látky zasáhne listovou plochu, asi 25 % přípravku vstupuje do půdy. Zbylých přibližně 10 % je rozloženo světlem před vstupem do půdy nebo uvolněno do atmosféry. Velký podíl aplikovaného přípravku tedy vstupuje přímo do půdy (obrázek 76). Působením abiotických a biotických faktorů podléhají pesticidy řadě transportních a transformačních procesů. Těmito procesy vznikají tzv. metabolity, které mohou být méně toxické než původní látky (nerelevantní metabolity), avšak jiné mohou být stejně nebo i více toxické (relevantní metabolity). Toxicita metabolitů je posuzována podle metodiky schválené EU.

Rámeček 33

Pesticidy a jejich pohyb půdním prostředím

Dynamika a intenzita vyplavování pesticidů je složitý proces, který souvisí s řadou fyzikálních a chemických vlastností půdy a dále s parametry pesticidů, s jejich dávkami a načasováním aplikace, agrotechnikou (tradiční vs. bezorební hospodaření), mobilitou, resp. potenciálem vyplavení různých látek. V lokálním měřítku jsou pro pohyb pesticidů určující kinetika sorpce pesticidů na půdu (Streck et al., 1995) a jejich mikrobiální odbourávání (Loll and Moldrup, 2000). V měřítku subpovodí jsou určující preferenční cesty odtoku ve vádózní i saturované zóně, přičemž rychlost preferenčního proudění může být natolik vysoká, že fyzikálně-chemické vlastnosti pesticidů ztrácejí z hlediska jejich vyplavování význam (Kung et al., 2000). Pro kontaminaci povrchových vod jsou individuální procesy méně významné než doba, po kterou může pesticidní látka reagovat s okolní půdou a zbytky rostlin. Zrychlený odtok (jakéhokoli typu) významně snižuje čas na reakci pesticidů s prostředím (sorpci nebo degradaci) a může vest k přímému vyplavování mateřské látky do povrchových vod.

Průnik pesticidů a jejich metabolických produktů prostředím je výslednicí vztahu mezi retencí, transformací a transportním procesem. Významným faktorem je adsorpce na půdních částicích, která tento řetězec ovlivňuje. Vysoká adsorpce vede k akumulaci v půdě, přičemž se snižuje biodostupnost a biologická degradace pesticidu. Následná desorpce pak vede k zpětnému vymytí do podzemních vod. Většina pesticidů se v půdě časem rozkládá jako výsledek různých chemických a mikrobiologických reakcí. Výsledkem chemických reakcí je jenom částečná deaktivace pesticidů, zatímco půdní mikroorganismy mohou pesticidy rozložit na oxid uhličitý, vodu a anorganické látky. Koubová (2005) uvádí, že mikrobiální degradace je rozklad pesticidů v půdě půdními mikroorganismy. O intenzitě rozkladu rozhoduje obsah a kvalita organické hmoty v půdě, teplotní a vláhové podmínky, obsah kyslíku a provzdušněnost půdy, reakce půdy a obsah dostupných živin. Uplatnění biologické aktivity mikrobiální složky při degradaci pesticidů závisí na tom, zda je organismus metabolizující pesticid přítomný v půdě, nebo má schopnost přizpůsobit se podmínkám a v půdě se vyvíjet. Pesticid musí být ve formě, která je vhodná pro mikrobiální rozklad, musí být pro půdní mikroflóru fyzicky dostupný a musí být také schopný indukovat tvorbu specifických enzymů. Jestliže není některá z těchto podmínek splněna, nemůže nastat mikrobiální degradace v půdě nebo je výrazně negativně ovlivněna. Schopnost rozkládat pesticidy mají některé bakterie, aktinomycety a houby. K těmto mikroorganismům patří rody Pseudomonas, Achromobacter, Arthrobacter, Agrobacterium, Bacillus, Corynebacterium, Nocardia, Streptomyces, Micromonospora, Trichoderma, Alternaria, Aspergillus, Penicillium, Saccharomyces, Fusarium a některé basidiomycety.

Zvýšená mikrobiální a enzymatická aktivita spolu s rostlinnými zbytky akumulovanými v půdě nebo se zvýšeným obsahem půdního organického uhlíku může významně dynamizovat biochemickou transformaci pesticidů. Při pronikání pesticidů z povrchových vrstev půdy do spodnějších vrstev vodou v půdě apod. se pesticidy vzdalují od faktorů, které je mohou potenciálně degradovat (sluneční záření, příjem rostlinami, činnost mikroorganismů aj.). Pokud je v hlubších vrstvách půdy snížená aktivita mikroorganismů – zejména fakultativně aerobních, které ke svému životu nutně potřebují vzdušný kyslík – zvyšuje se možnost jejich pronikání do podzemních vod a tím i kontaminace vodních zdrojů.

Na půdách, na nichž byl určitý pesticid aplikován dlouhodobě, se mohou postupně adaptovat mikrobiální společenstva se zvýšeným degradačním potenciálem. Výsledkem činnosti půdních mikroorganismů může být úplná detoxikace pesticidů, což je z hlediska dekontaminace půdního prostředí nejžádanější efekt. Mikroorganismy se přizpůsobují buď náhodnou genetickou mutací, nebo indukcí adaptačních enzymů. Výsledkem těchto změn působení mikroorganismů je, že po opakovaném použití stejné účinné látky pesticidů nastává rozklad za podstatně kratší dobu. Rozklad mnoha pesticidů v půdě je nejen pomalý, ale i neúplný, což má za následek nahromadění reziduí. Někdy se mohou metabolity chemicky vázat na humusové látky nebo polymerizují, čímž se stávají extrémně odolnými vůči degradaci. Významný je vliv pesticidů na půdní život jako celek, protože při jejich systematickém používání se stávají jedním z ekologických faktorů půdního prostředí. V závislosti na komplexnosti ekologických faktorů stanoviště, druhu, formě a koncentraci pesticidů může být účinek inhibiční, indiferentní nebo i stimulační. Při inhibičním účinku nebyl pozorován úplný úbytek mikroorganismů, protože ve všech skupinách jsou kromě senzitivních přítomny i rezistentní druhy. Po počáteční silné depresi nastává druhý šok v podobě silného rozmnožování, které je doprovázeno přeskupením v druhové skladbě mikroflóry a mikrofauny.

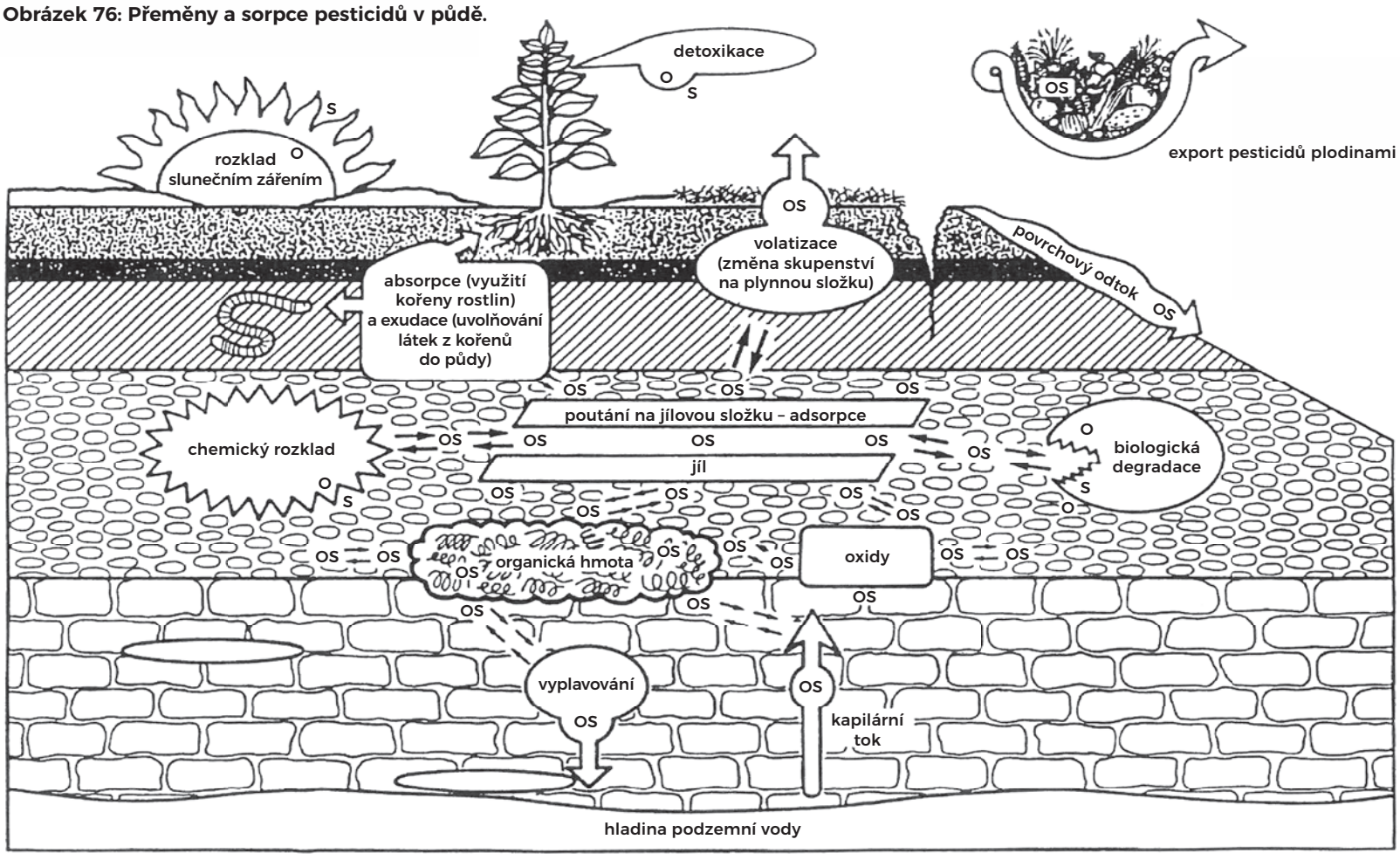
Některé pesticidy vytváří během degradace přechodné látky nazývané metabolity. Biologická aktivita těchto látek může a nemusí pro životní prostředí mít význam. Mezi nejdůležitější vlastnosti pesticidů určující jejich potenciál k vyplavování do povrchových i podzemních vod patří poločas rozpadu, který je měřítkem času jejich degradace. Na jeho délce je závislá tzv. perzistence, což je vlastnost pesticidu související se schopností dlouhodobě setrvávat v prostředí bez tendence k přeměnám. Pro popsání potenciální persistence jsou pesticidy klasifikovány jako nepersistentní s poločasem rozpadu do 30 dní, středně perzistentní s poločasem rozpadu od 30 do 100 dní a perzistentní s poločasem rozpadu nad 100 dní. Další klíčovou vlastností pesticidů je jejich rozpustnost ve vodě. Mnoho pesticidních látek se vyznačuje nízkou rozpustností ve vodě (do 0,01 mg/l) a zároveň vysokým koeficientem sorptivity, takže jsou silně adsorbovány a nejsou příliš častým kontaminantem podzemních vod. Pokud se objeví ve vodách, jedná se převážně o důsledek eroze a povrchového smyvu. Existují však i látky s vysokou rozpustností ve vodě (triaziny, chloracetanilidy, urony, glyphosat a další), které jsou ve vodě velmi dobře rozpustné a rychle pronikají půdním profilem do podzemních a podpovrchových vod. Pro

rychlost průniku těchto látek půdou je také důležitá jejich měrná hmotnost. Některé pesticidy ji mají vyšší než 2,0 g/cm^3 a jsou tudíž značně mobilní. Při nadbytečné aplikaci či havarijním úniku rozpustných a pomalu biodegradovatelných pesticidů však může dojít ke kontaminaci podzemní vody v blízkosti postřikovaných ploch nebo míst skladování. Z dalších důležitých vlastností je nutno uvést ještě polaritu, která určuje jejich vztah k vodnímu prostředí, když polární látky jsou hydrofilní a nepolární hydrofobní. Z půdních vlastností jsou jako vlivné nejčastěji uváděny parametry fyzikální – hydraulická vodivost, zrnitost, struktura a chemické – obsah organické hmoty, CEC, pH (Reichenberger et al., 2007), často u zrychleného vyplavení pesticidu do vod hraje podstatnou roli preference proudění (Kodešová et al., 2009). Kombinaci těchto parametrů vyjadřuje např. tzv. GUS Index – Groundwater Ubiquity Score (Gustafson, 1989), který je funkcí sorpčních schopností, rozpustnosti ve vodě a poločasu rozpadu pesticidu v půdě; to vše ve vazbě na hydrologické a biogeochemické procesy.

Pesticidní látky se do vod dostávají z bodových i plošných zdrojů znečištění, přičemž plošné zdroje mají na kontaminaci vod významný podíl, jak dokazuje např. review autorů Brown and van Beinum (2009). Starší studie předpokládaly, že pro transport pesticidů do vod je rozhodující povrchový odtok (Kladivko et al., 2001). Nicméně v současné době, díky zlepšeným možnostem monitoringu, se ukazuje, že také mělký podpovrchový odtok přestavuje jednu z významných cest pesticidů do povrchových vod. Důležitou součástí podpovrchového odtoku je odtok drenážní, který hraje velkou roli zejména v územích s velkým podílem odvodněné zemědělské půdy (Fenelon and Moore, 1998), což je také případ krystalinika Českomoravské vrchoviny (Kulhavý et al., 2007, Doležal and Kvítek, 2004). Také evropský program pro modelování pesticidů FOCUS (2002) považuje drenážní odtok jako jednu ze tří hlavních cest (spolu s aerosolovým rozptylem – spray drift a povrchovým odtokem) pesticidních látek do povrchových vod. Obecně vyplavování pesticidů drenážemi klesá se zvyšující se sorpcí daného pesticidu na půdu. Důležité jsou též půdní vlastnosti, typ odvodnění a hydrologické podmínky v povodí v době krátce po aplikaci těchto látek. Velkou roli v transportu pesticidů hrají preferenční cesty, např. makropóry a v podmínkách krystalinika Českomoravské vrchoviny také trhliny a pukliny, přičemž rychlost transportu pesticidů roste s rostoucím obsahem organického uhlíku v půdě.

Přítomnost pesticidů v drenážních i povrchových vodách je nerovnoměrně rozložena v průběhu sezony. Počet detekovaných pesticidů a jejich koncentrace bývají nižší v malých odvodněných subpovodích a mikropovodích než v celém povodí. Nedostatek informací je zatím o souvislosti vyplavování pesticidů s různými složkami odtoku. Müller et al., (2003) učinili jeden z prvních pokusů, jak dát do souvislosti složení odtoku a vyplavování pesticidů, a to použitím různých technik separace odtoku na jeho složky. Zjistili, že v malém povodí má rozhodující podíl přímý odtok, v celém povodí už je to se základním odtokem vyrovnané. Vysoké koncentrace se objevují především v průběhu aplikačního období (Tisseau et al., 1996, Müller et al., 2003). Dlouhodobé studie uvádějí značné mezisezonní rozdíly odrážející různý průběh počasí v daném roce. Koncentrace mateřských látek v drenážních vodách jsou po většinu sezony nízké až nulové. Příčinou je skutečnost, že v období běžných průtoků dochází k zadržení pesticidů v půdní matrici, kde mají dostatek času k sorpci na půdní částice či k rozpadu na metabolity (Kladivko et al., 2001), což minimalizuje jejich vyplavování. Výsledky mnoha pozorování v Evropě i USA potvrzují, že vysoké koncentrace mateřských látek jsou měřeny převážně v průběhu srážkoodtokových událostí, zejména v období krátce po jejich aplikaci. Maxima koncentrací v průběhu srážkoodtokových událostí mohou být značně vysoká, ale mají jen krátké trvání (z toho také vyplývá náročnost na techniku a podrobnost monitoringu). Nejvyšší koncentrace mateřských látek jsou většinou nacházeny v první srážkoodtokové události po aplikaci. Čas od aplikace k první srážkoodtokové události je určující pro velikost koncentrací v této události. Naopak mimo srážkoodtokové události jsou v drenážním odtoku přítomny téměř výhradně metabolity pesticidních látek (Zajíček a Fučík, 2015).

Obrázek 76: Přeměny a sorpce pesticidů v půdě.



3.1

Marek Liška
Kateřina Soukupová
Martin Lexa
Tomáš Kvítek
Karel Forejt

Jakost vody a odnosy látek na přítocích do vodárenské nádrže

Voda, voděnka

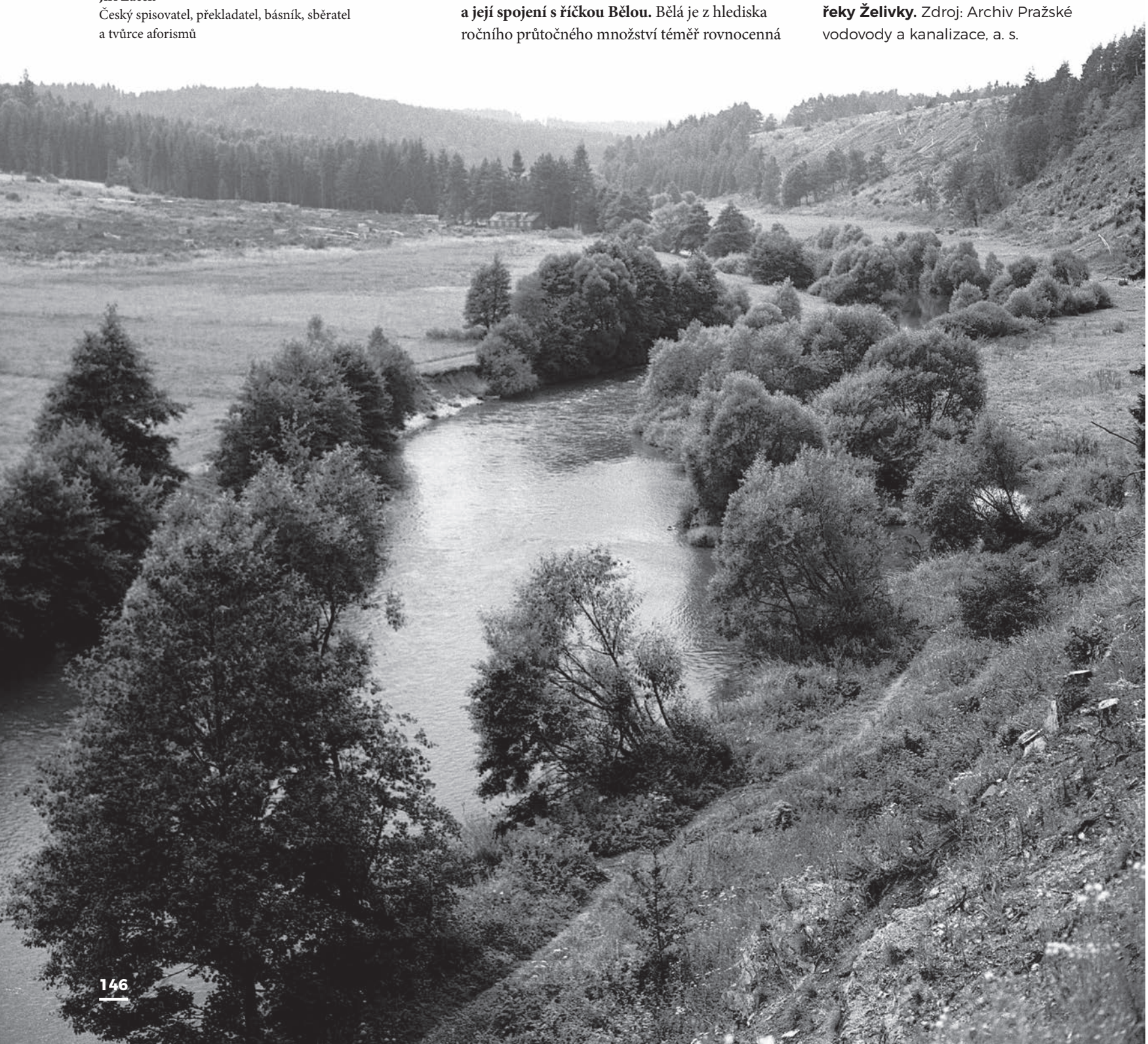
Odvalil se kamínek,
narodil se pramínek,
čerstvá voda, voděnka.
Rozběhla se dolů z hor
daleko, až za obzor,
bystrá voda, voděnka.

Jiří Žáček
Český spisovatel, překladatel, básník, sběratel a tvůrce aforismů

Říční síť povodí VN Švihov na Želivce je tvořena dvěma hlavními páteřními vodními toky Hejlovkou (od vodní nádrže Sedlice nazývaná Želivkou a Trnavou). Obě tyto řeky, spolu s dalšími několika významnějšími vodními toky, odvodňují oblast o velikosti asi 1 200 km^2.

První oblast, s uzávěrovým profilem Želivka-Kojčice, zahrnuje horní část povodí Hejlovky a její spojení s říčkou Bělou. Bělá je z hlediska ročního průtočného množství téměř rovnocenná Hejlovce, z hlediska znečištění však do relativně čisté Hejlovky přináší první větší znečištění z oblasti pelhřimovské aglomerace. Dále Želivka protéká vodní nádrží Sedlice vybudované ve dvacátých letech minulého století pro účely energetického využití. Do vodní nádrže Sedlice ústí

Foto 68: Původní koryto řeky Želivky. Zdroj: Archiv Pražské vodovody a kanalizace, a. s.



pravostranný přítok Jankovský potok, který tvoří zhruba 1/3 průtokového množství přitékající vody. Ústí do samostatné zátoky vodní nádrže Sedlice. Želivka dále pokračuje přes vyrovnávací vodní nádrž Vřesník, obec Želiv až k soutoku s Trnavou. Pod vyrovnávací vodní nádrží Vřesník je situován limnigraf.

Druhá oblast s uzávěrovým profilem Želivka-Poříčí (ř. km 50,6) již zahrnuje levostranný přítok Trnava, která vtéká do Želivky pod obcí Želiv. Trnava, která představuje v průměru asi 40 % souhrnného množství vody po soutoku obou vodních toků, odvodňuje poměrně velkou část povodí (340 km^2) a přináší znečištění z intenzivně zemědělsky obhospodařovaných oblastí, znečištění z aglomerace Pacova a znečištění z papírny CEREPA Červená Řečice. Na Trnavě byla v souvislosti s výstavbou VN Švihov na Želivce vybudována představěná vodní nádrž VD Trnávka. Jde vlastně o dvě vodní nádrže, vlastní vodní nádrž Trnávka a malou vodní nádrž nad tzv. ponořeným stupněm u obce Červená Řečice. Do vodní nádrže Trnávka, v oblasti před ponořeným stupněm, jsou zaústěny odpadní vody z papírny CEREPA Červená Řečice. Pod soutokem obou vodních toků je situován bilanční měrný profil Želivka-Poříčí, který z pohledu jakosti i množství představuje hlavní přítok do VN Švihov na Želivce. Dlouhodobý průměrný průtok v profilu Želivka-Poříčí je 4,47 m^3/s. Další významné přítoky vtékají již do vzdutí VN Švihov na Želivce, jde o levostranné přítoky v pořadí Martinický potok, Blažejovický potok a Sedlický potok. Na Sedlickém potoce byla vybudována předřadná vodní nádrž Němčice na zachycení znečištění ze zemědělsky využívané oblasti Čechtic a okolí. Sedlický potok po průchodu předzdrží Němčice ústí do VN Švihov na Želivce ve vzdálenosti asi 4,5 km od odběrného objektu.

Historie monitoringu v povodí VN Švihov na Želivce

Výzkum jakosti vody v povodí VN Švihov na Želivce začal již v letech 1942 a v pravidelných intervalech probíhal až do roku 1955. Ve zprávě Výzkumného ústavu vodohospodářského je uváděno, že hodnoty koncentrací dusičnanů se ve všech měrných profilech sledovaných v roce 1955 pohybovaly většinou do 10 mg NO_3^-/l, v únoru 1955 v rozmezí 10–20 mg NO_3^-/l a pouze v povodí Sedlického potoka byly únorové hodnoty do 30 mg NO_3^-/l. Přesto však byly na měrném profilu Nesměřice (v současné době pod vybudovanou hrází VN Švihov) na Želivce zaznamenány dne 5. 2. 1953 a 17. 3. 1953 koncentrace 77,5 a 53,0 mg NO_3^-/l. Stejné koncentrace byly naměřeny v tyto dny i v měrném profilu nad Dolními Kralovicemi a obdobné v měrném profilu pod Želivem (77,5 a 49,4 mg NO_3^-/l). Je škoda, že údaje z některých měrných profilů

Foto 69: Demolice mlýna v obci Zahrádka (nad mostem). Zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik

i termínů z těchto let chybějí, a že ze zimních měsíců je rozborů z tohoto období málo. Dne 17. 3. 1953 byly zvýšené hodnoty dusičnanů naměřeny i v dalších měrných profilech povodí (Bělá nad Pelhřimovem – 48,5 mg/l, Hejlovka před vtokem do Bělé – 42,0 mg/l, Jankovský potok – 33,2 mg/l, Želivka nad Želivem – 32,0 mg/l, Pacovský potok – 60,0 mg/l, Trnava nad Červenou Řečicí – 53,0 mg/l, Trnava při ústí do Želivky – 40,9 mg/l, Martinický potok Jarkovský Mlýn – 33,0 mg/l, Blažejovický potok Zahrádka – 36,2 mg/l). Vzhledem k tomu, že zvýšené hodnoty dusičnanů byly naměřeny na více měrných profilech a to současně, lze usuzovat, že koncentrace dusičnanů jsou pravděpodobně výsledkem vyplavování z půdního profilu, a na základě tohoto zjištění lze dokladovat, že plošné zemědělské znečištění v povodí již tehdy existovalo. Druhou možností je způsob odběru vzorků a jejich analytické stanovení. Pro zajímavost uvádíme i měřené hodnoty srážek ze dvou stanic. Meteorologická stanice Humpolec naměřila úhrny srážek v únoru a březnu 1953 ve výši 29, resp. 17 mm. Podobné úhrny byly naměřeny i na meteorologické stanici Pelhřimov ve výši 37, resp. 14 mm. Teploty vzduchu v té době byly měřeny pouze na meteorologické stanici Přibyslav. V únoru a březnu byla průměrná teplota vzduchu –2,5 °C, resp. 1,9 °C. Meteorologické podmínky v tomto období tedy nebyly nijak extrémní. Dne 14. 4. 1953 se pak koncentrace pohybovaly většinou kolem 20 mg NO_3^-/l a v dalších měřeních byly až na výjimky opět nízké (zde uváděné rozbory dusičnanů z roku 1953 prováděla Čisticí stanice odpadních vod v Praze-Bubenči).

Tabulka 49: Hydrologické charakteristiky vodních toků v povodí Želivky

Toky/parametry	Délka vodního toku (km)	Plocha povodí (km^2)
Bělá	22,0	131,0
Blažejovický potok	13,1	33,0
Čechtický potok	9,4	31,5
Jankovský potok	20,5	130,2
Kejtovský potok	20,9	91,1
Martinický potok	36,2	116,0
Sedlický potok	24,2	95,8
Trnava	53,8	340,6
Želivka	101,6	1 188,4

Systematické sledování jakosti vody v přítocích VN Švihov na Želivce bylo (vzhledem k důležitosti vodárenského zdroje) prováděno již od počátku existence vodního díla. Jakost vody v nejvýznamnějších přítocích (Želivka, Martinický, Blažejovický, Sedlický potok) byla sledována již od počátku sedmdesátých let minulého století, po výstavbě předzdrže Trnávka přibyly měrné profily na Trnavě a Kejtovském potoce, začalo se sledovat i horní povodí Hejlovky, Bělá, Jankovský potok apod. Postupně se rozšiřovala četnost i soubor sledovaných ukazatelů. Přelomovým rokem pro organizaci monitoringu byl rok 1993, kdy vznikl ve spolupráci s Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka, v. v. i. základ dnešního monitoringu. Od této doby se také datuje spolupráce vodohospodářských laboratoří Povodí Vltavy, státní podnik s laboratořemi Pražských vodovodů a kanalizací, a. s. (PVK). Společně provádějí monitoring jakosti vody na přítocích i vlastní VN Švihov na Želivce.

V průběhu existence VN Švihov na Želivce došlo počátkem 90. let 20. století k významnému úbytku vody ve vodní nádrži a k rychlému zhoršení kvality vody v důsledku rozvoje

vodního květu. Bylo to v důsledku několika po sobě jdoucích suchých let a relativně velkého vodárenského odběru, který v té době dosahoval svého dlouhodobého maxima na úrovni maximálního povoleného odběru surové vody. Tato situace trvala několik let, a přestože nebyl touto situací postižen samotný vodárenský odběr, vzbudila mnoho diskuzí o dalším vývoji VN Švihov na Želivce. Po několika letech však došlo k opětovnému naplnění vodárenské nádrže (vodárenská nádrž byla projektována jako vodárenská nádrž s víceletým vyrovnáním) a s postupným snižováním vodárenského odběru na současnou úroveň asi 3 m^3/s se situace stabilizovala a uklidnila. Několik posledních let je již vodárenská nádrž provozována na plné hladině a eutrofizační projevy se tak omezují především na horní část vzdutí – zejména v blízkosti dálničního mostu u Vojslavic a těsně pod ním.

Povodí VN Švihov na Želivce je hustě osídlené a intenzivně zemědělsky využívané (zhruba 58 % představuje orná půda). Již v době výstavby byly signalizovány možné problémy s množstvím dusičnanů. Zejména od počátku existence vodního díla se intenzivně budovaly a intenzifikovaly ČOV, aby se zmenšily dopady vnosu nejprve organických látek, později fosforu. Řešily se problémy eroze (pěstování širokořádkových plodin na svažitých pozemcích) i způsob hospodaření obecně. Nepodařilo se realizovat původní představy o snížení stupně zornění ve prospěch zatravněných ploch, nikterak nepomohla ani v posledních letech propagovaná správná zemědělská praxe. V posledním desetiletí, také díky dostupnosti moderní analytické techniky, se zviditelňuje problém výskytu látek používaných na ochranu rostlin, zejména tam, kde se na větších plochách pěstuje kukuřice a řepka. To jsou v souhrnu faktory, se kterými se povodí Želivky již více než 40 let potýká.

Způsob zemědělského obhospodařování podporuje rozsáhlou erozi zemědělské půdy a její sedimentaci ve vodních tocích a nádržích. Důsledkem rozsáhlé zemědělské činnosti jsou zejména zvýšené koncentrace dusičnanů a pesticidních látek v drenážních a povrchových vodách. Spolu s živinami v odpadních vodách se do toků dostávají i další cizorodé látky, jako jsou např. léčiva, hormonální přípravky, kosmetické přípravky, antikoroziva, bisfenol A. Pesticidní látky i léčiva se mění na jednotlivé metabolické produkty, které ve vodě v různých formách přetrvávají. Nádrž je situována v zemědělsky intenzivně obhospodařované krajině, podíl zemědělsky užívaných ploch v povodích jednotlivých přítoků se pohybuje v rozmezí 50–80 %. Na rozsáhlých plochách se zde pěstují plodiny s kombinovaným využitím (částečně jako zdroj substrátu pro bioplynové stanice), především se jedná o širokořádkové a technické plodiny, zejména kukuřici, řepku a brambory. Ve velkém měřítku se používají prostředky na ochranu rostlin. Z hlediska dlouhodobého výhledu je přechod na pěstování technických plodin v povodí vodárenské nádrže značným rizikem se závažnými důsledky pro kvalitu vody.

Většinu bodových zdrojů znečištění v povodí VN Švihov na Želivce představují komunální odpadní vody z obcí a měst. Průmyslové zdroje jsou zastoupeny pouze minoritně, nejvýznamnějším zdrojem průmyslových odpadních vod je papírna CEREPA Červená Řečice. Většina zdrojů odpadních vod patří mezi malé zdroje znečištění do 500 ekvivalentních obyvatel (dále jen EO). Velké zdroje nad 100 tis. EO nejsou v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce zastoupeny vůbec, mezi střední zdroje (2001 – 100 tis. EO) patří dva zdroje komunální – města Pelhřimov a Pacov a jeden zdroj průmyslový – CEREPA Červená Řečice.

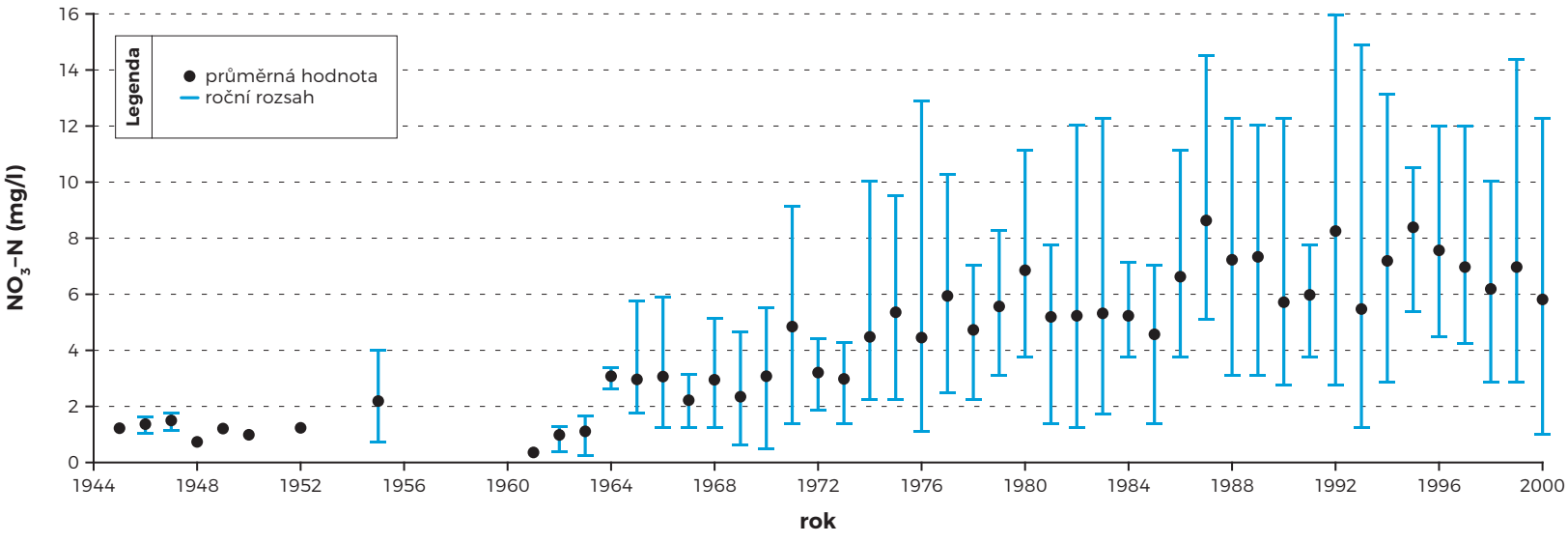
V celém povodí VN Švihov na Želivce byly v průběhu let vybudovány ČOV ve všech obcích nad 500 obyvatel a některé z nich již byly postupně intenzifikovány. Ve II. ochranném pásmu tohoto vodního zdroje byly vybudovány ČOV i v menších obcích. Nové ČOV (vybudované v posledních letech) a některé starší intenzifikované disponují technologií pro zvýšenou biologickou eliminaci dusíku a fosforu s možností chemického srážení fosforu. U největšího průmyslového zdroje organického znečištění v povodí (papírna CEREPA) bylo vybudováno v průběhu minulých let efektivní mechanické čištění s biologickým dočišťovacím stupněm a recirkulací technologické vody. Toto opatření vedlo k celkovému snížení vypouštěného znečištění, avšak nijak zatím není řešeno odstraňování jiných specifických organických látek.

Z hlediska eliminace specifických organických látek – léčiva, některé pesticidy (glyphosat), PPCPs a další nemají ČOV v povodí VN Švihov na Želivce instalovány žádné nadstandardní separační stupně (např. granulované aktivní uhlí). Znamená to, že tyto látky nejsou buď odstraňovány vůbec, nebo s omezenou účinností na úrovni schopností standardního technologického vybavení ČOV.

Fosfor lze z hlediska vlivu eutrofizace považovat za nejrizikovější faktor v povodí VN Švihov na Želivce, zejména pak jeho reaktivní formu, která je hlavní živinou pro růst fytoplanktonu ve vlastní VN Švihov na Želivce. Fosfor pochází jak z bodových tak i z plošných (zemědělských) zdrojů. Hlavním zdrojem fosforu v povodí však jsou komunální a průmyslové odpadní vody. Produkce fosforu z bodových zdrojů je dnes na nižší úrovni oproti devadesátým letům 20. stol., což je jednoznačně doloženo dlouhodobě sestupným trendem průměrných ročních koncentrací P celkového a PO_4–P v uzávěrových profilech hlavních přítoků VN Švihov na Želivce. Mezi fosforem nejvíce zatížená patří povodí Čechtického potoka, subpovodí Trnavy, Vlásenický, Nemojovský potok, Olešná, Barborka a dále oblast Bělé pod Pelhřimovem, kde do současné doby byly zjišťovány soustavně nejvyšší koncentrace fosforu z celého povodí. V roce 2016 byla dokončena rekonstrukce pelhřimovské ČOV, v Bělé pod Pelhřimovem nyní lze očekávat výrazný pokles koncentrace fosforu.

Současný stav je třeba vnímat s opatrným optimismem. Koncentrace fosforu v hlavním přítoku do VN Švihov na Želivce se po výše uvedených rozsáhlých investicích do ČOV

Graf 54: Vývoj koncentrací dusičnanů od roku 1944 do roku 2000 (Hejzlar a kol., 2004).



více méně stabilizovala s mírným nárůstem v posledních dvou letech, který pravděpodobně souvisel právě s rekonstrukcí a sníženou čisticí schopností pelhřimovské ČOV (obrázek 79).

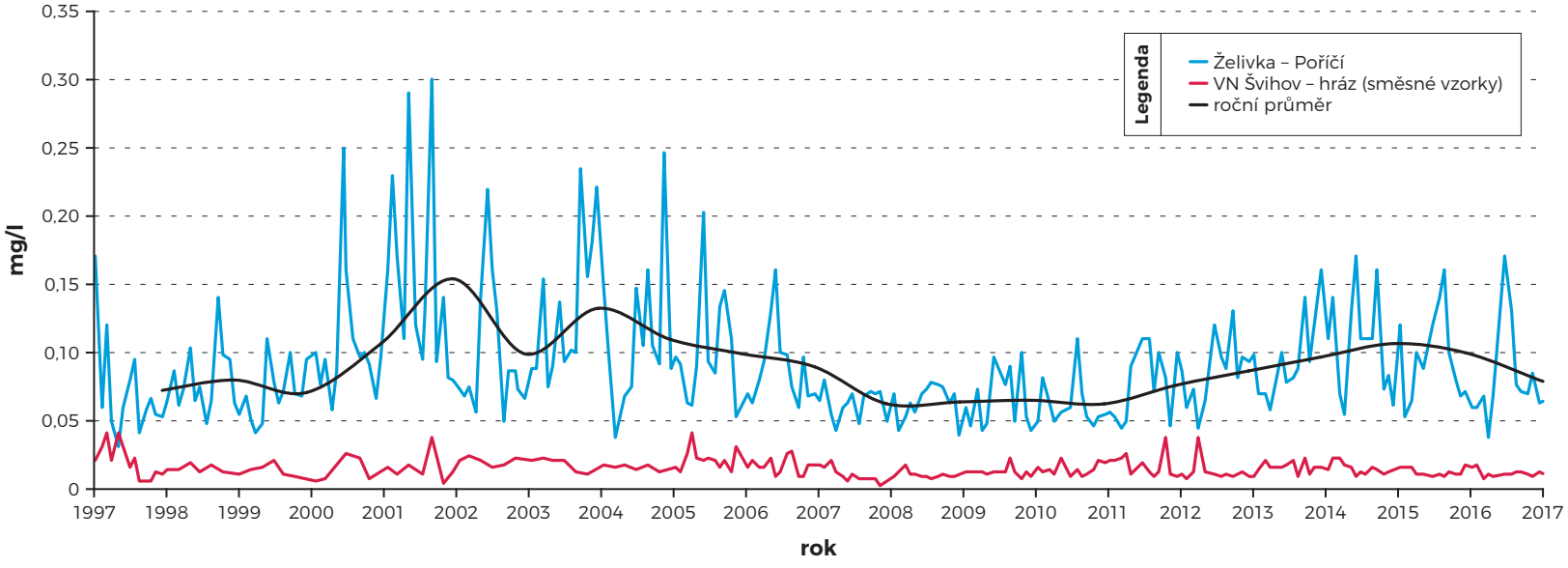
Podle trendů vývoje koncentrací fosforu v přítocích a podle poznatků o chování VN Švihov na Želivce za různých situací lze říci, že akutní riziko propuknutí eutrofizačních projevů v podobě hustých vegetačních zákalů a vodních květů v dolní polovině vodárenské nádrže VN Švihov na Želivce nehrozí. Rovněž lze doložit, že úroveň eutrofizace vodárenské nádrže se nezhoršuje, ale v rámci velmi nízkých hodnot vykazuje setrvalý stav (graf 55).

Dusík je ve vodách v povodí VN Švihov na Želivce přítomen především jako dusík dusičnanový (NO_3–N) a patří zde také k často diskutovaným tématům. Dusík však není pro VN Švihov na Želivce ani její povodí hlavním eutrofizačním faktorem. Nelze tedy jeho přítomnost v nádrži a povodí spojovat s výskytem sinic. Naopak bylo doloženo, že pro některé nádrže (např. VN Němčice) nedostatek dusičnanových iontů může eutrofizační projevy dokonce zhoršovat. Souvisí to s tím, že v době letní anoxie jsou dusičnany jediným zdrojem kyslíku v hypolimniu nádrží, a dokud je voda nad dnem nádrže alespoň částečně okysličená, nedochází k uvolňování fosforu ze sedimentu. Z hlediska celkového hodnocení lze říci, že obsah NO_3–N u hráze VN Švihov na Želivce (graf 56) vykazoval stoupající trend do 90. let minulého století, od té doby je patrný setrvalý stav až mírný pokles. V posledních 10–15 letech voda v tomto ukazateli s rezervou splňuje požadavek na vodu pitnou (50 mg/l jako NO_3^-).

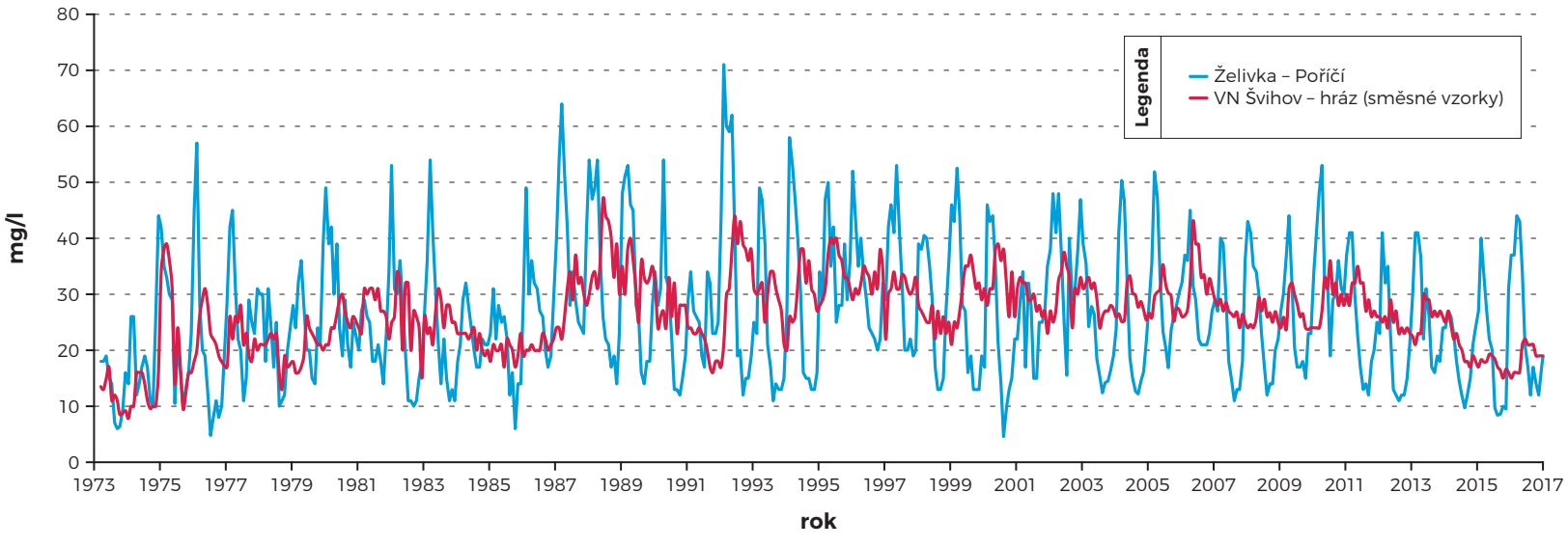
Koncentrace NO_3–N v některých tocích v povodí VN Švihov na Želivce je v řadě případů poměrně vysoká a vymyká se jak imisním standardům podle nařízení vlády č. 401/2015 Sb., tak i požadavkům na dobrý ekologický stav povrchových vod podle Rámcové směrnice o vodách. Nejvíce je dusíkem zatíženo zejména povodí Čechtického potoka a některá subpovodí Bělé (Vlásenický potok, Olešná) a Trnavy (Novodvorský potok, Přední Žlab, Barborka a Bořetický potok). Naprosto dominantním zdrojem dusíku v povodí VN Švihov na Želivce je zemědělská půda, bodové zdroje mají význam zcela marginální. Řešení zvýšených koncentrací dusíku v povodí VN Švihov na Želivce tedy nemá význam pro eutrofizaci, má spíše preventivní význam pro jakost vody z pohledu vodárenského využití (situace by se neměla zhoršovat) a má význam z hlediska ovlivnění ekologického stavu (ES), přestože pravděpodobnost dosažení dobrého ES je u řady vodních útvarů zde velmi nízká.

Farmaka z bodových zdrojů znečištění se do povrchových vod dostávají také např. humánní a veterinární léčiva a další specifické látky, např. již zmiňovaný bisfenol A, benzotriazoly a další látky. V grafu 57–60 jsou zobrazeny koncentrace vybraných měřených léčiv ve vypouštěných odpadních vodách z ČOV Pelhřimov a koncentrace v toku Bělá (pod místem vypouštění odpadních vod) a dále na přítoku do VN Švihov na Želivce. V rámci monitoringu odpadních a povrchových vod jsou sledovány zejména účinné látky následujících skupin léčiv: antihypertenziva (hydrochlorthiazid, metroprolol), antirevmatika a antiflogistika (diclofenac, ibuprofen), látky tlumící bolest

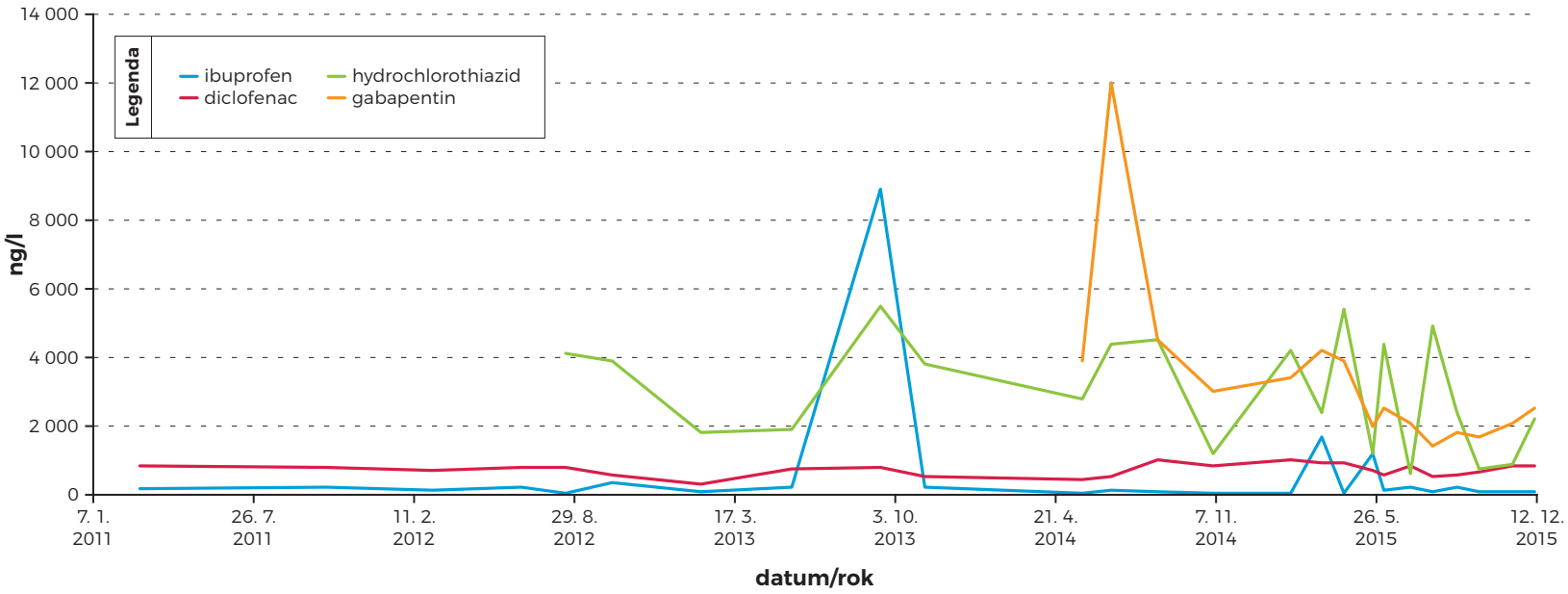
Graf 55: Dlouhodobý vývoj koncentrace celkového fosforu (mg/l) na přítoku do vodárenské nádrže VN Švihov na Želivce a na profilu hráz.



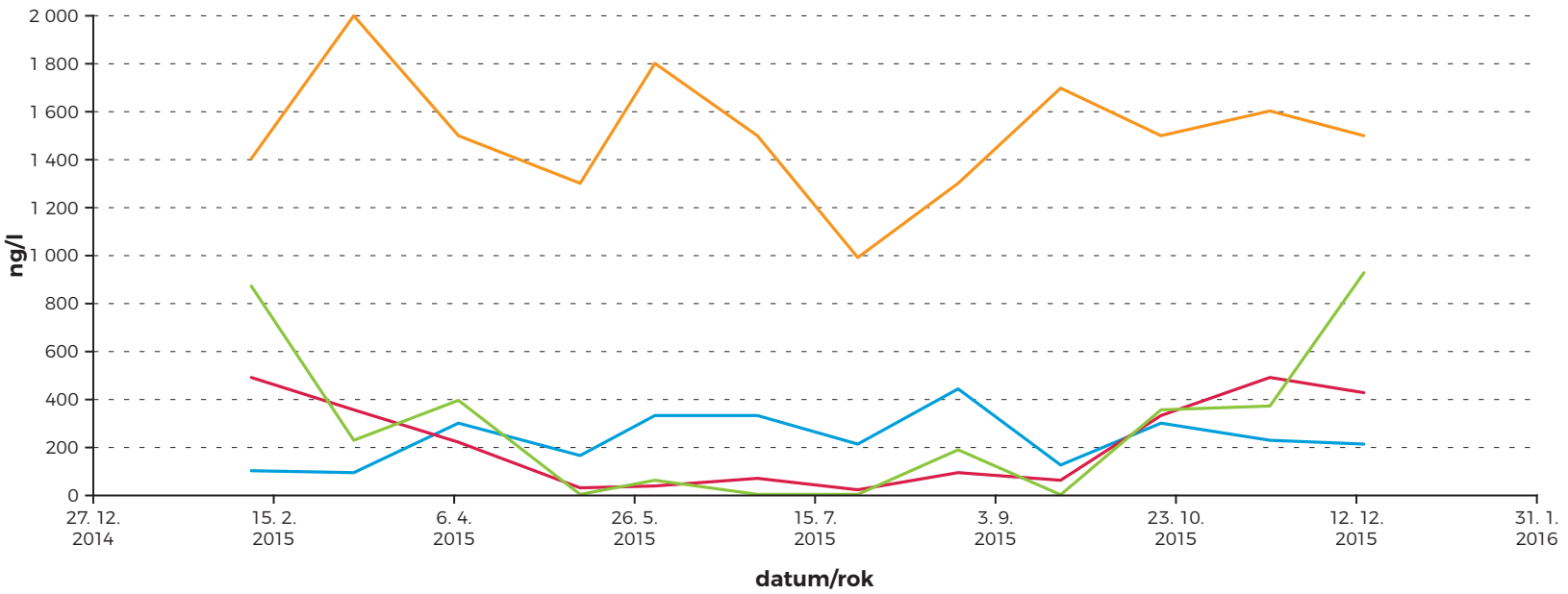
Graf 56: Dlouhodobý vývoj koncentrace dusičnanů (mg/l) na přítoku do vodárenské nádrže VN Švihov na Želivce a na profilu hráz.



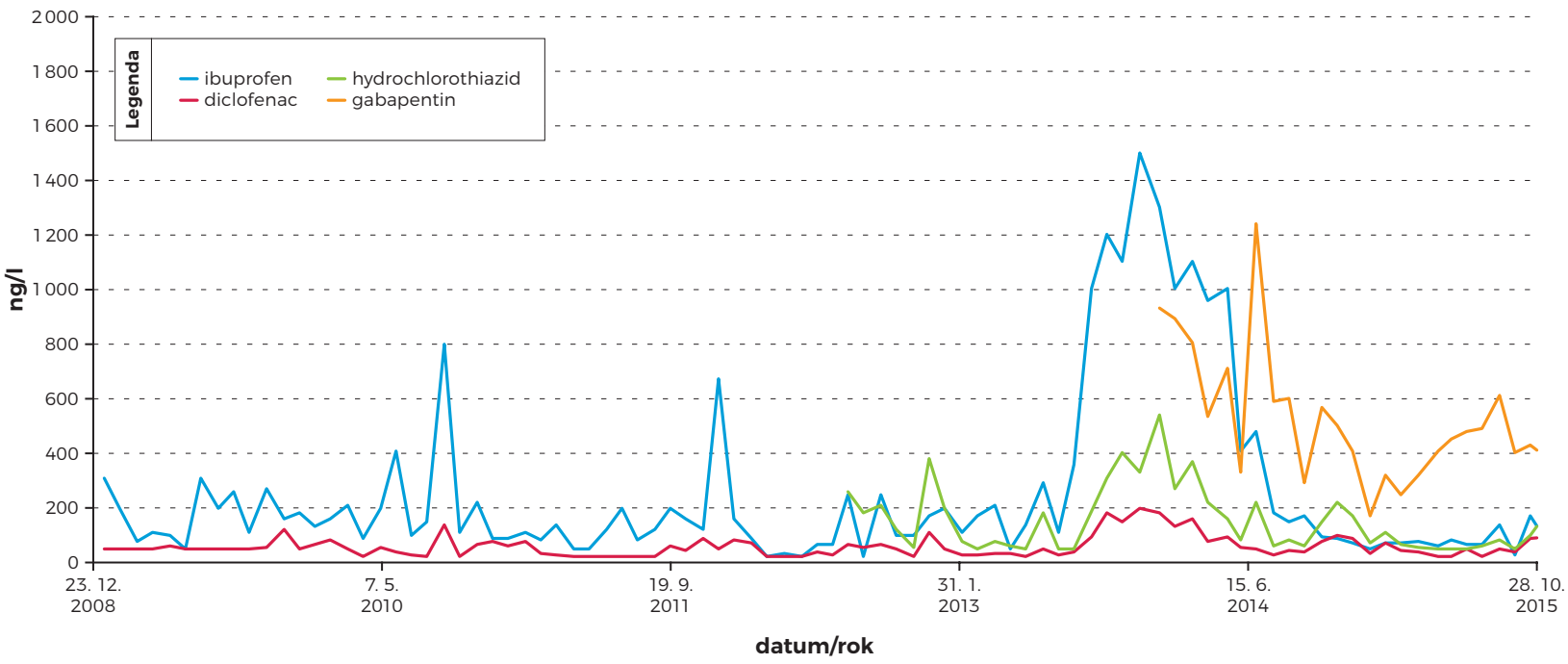
Graf 57: Vývoj koncentrací vybraných léčiv (ng/l) ve vypouštěných odpadních vodách z ČOV Pelhřimov.



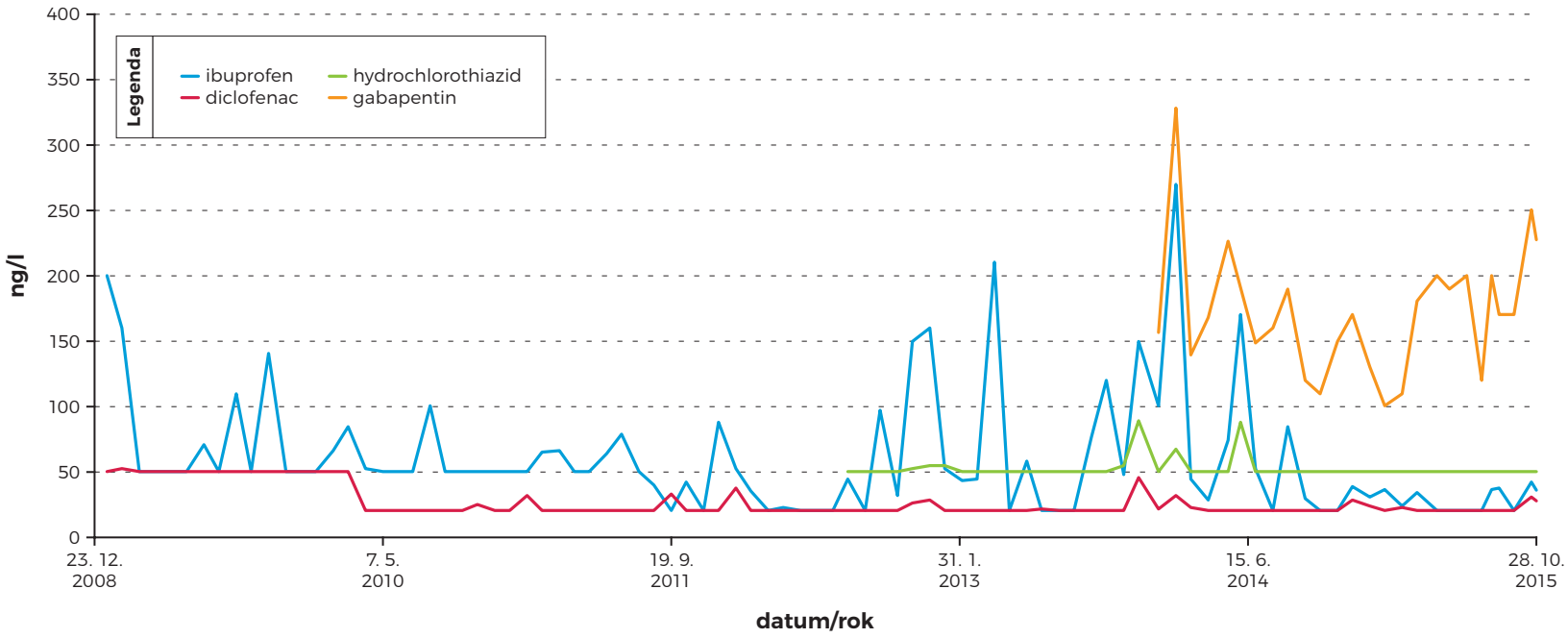
Graf 58: Vývoj koncentrací vybraných léčiv (ng/l) ve vypouštěných odpadních vodách z II. biologického rybníka ČOV Pelhřimov. Legenda viz graf 57



Graf 59: Vývoj koncentrací vybraných léčiv (ng/l) ve VT Bělá (pod místem vypouštění odpadních vod z II. biologického rybníka ČOV Pelhřimov).



Graf 60: Vývoj koncentrací vybraných léčiv (ng/l) na hlavním přítoku vodárenské nádrže VN Švihov na Želivce (profil Želivka-Poříčí).

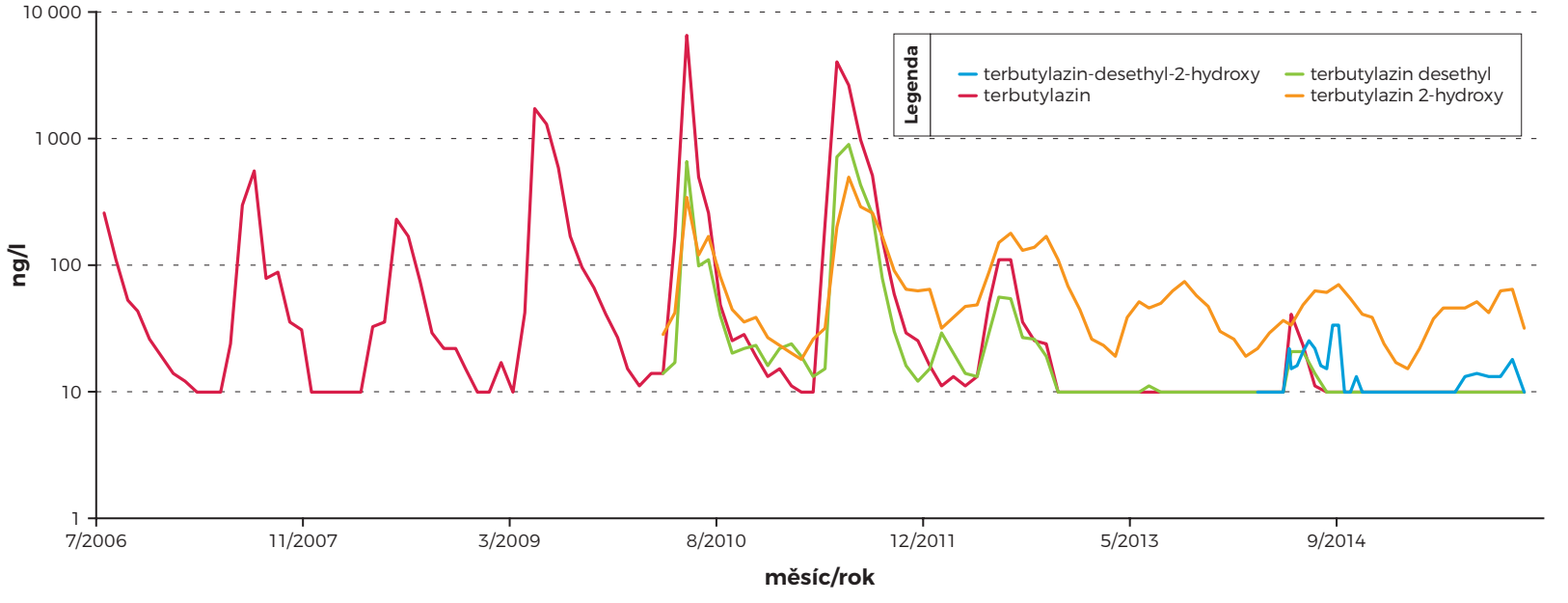


(gabapentin, tramadol), antiepileptika a antidepresiva (karbamazepin) a rentgen diagnostické látky (iopamidol, iopromid) a některé další. Z uvedených grafů je velmi dobře patrné, že i přes několikanásobné ředění a metabolizaci farmaceutických přípravků, jsou tyto látky měřitelné ve velké vzdálenosti od bodového zdroje. V odpadních vodách některých ČOV se tyto látky vyskytují až v „mikrogramových" množstvích, po přepočtu na látkovou bilanci se jedná o jednotky až „desítky" kilogramů ročně pro různé účinné látky vybraných přípravků. Pravděpodobně je však detekována pouze malá část používaných léčiv, neboť zavádění laboratorních diagnostických metod na stanovení metabolických produktů účinných látek jednotlivých farmaceutických přípravků je obecně zatím v počátku (Liška a kol., 2015). Lze tedy předpokládat, že reálné nálezy (ve vztahu k užívaným množstvím) by pravděpodobně byly vyšší (Liška a kol., 2015).

Pesticidní látky obecně pocházejí zejména z plošných zemědělských zdrojů, platí to i pro povodí VN Švihov na Želivce. Za posledních 15 let se výrazně změnil způsob obhospodařování půdy. Na rozdíl od dřívějšího modelu hospodaření, kdy převážnou většinu plodin tvořily obiloviny a brambory pěstované v několikaletém osevním postupu, se přešlo na velkoplošné pěstování technických plodin, zejména řepky a kukuřice. Tyto plodiny však současná zemědělská praxe „neumí" pěstovat bez použití pesticidních látek (prostředků na ochranu rostlin). Z výsledků monitoringu výskytu pesticidů v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce vyplývá, že za nejvíce kontaminované vodní toky lze označit řeku Trnavu, Martinický potok a Sedlický potok, který ústí nedaleko hráze vodárenské nádrže. Graf 61 znázorňuje vývoj koncentrace terbutylazinu, který se používá k likvidaci plevelů v kukuřici, ve vodním toku, který odvodňuje zemědělsky intenzivně obhospodařované povodí Sedlického potoka v různě vodných letech. Je zde patrná výrazná spojitost s hydrologickou situací v daném roce. Z poklesu koncentrace v roce 2012 a významného pak v roce 2013, 2014 a 2015 lze usuzovat buď změnu osevních postupů (náhrada kukuřice za jinou plodinu), což s sebou přináší např. snížení aplikační dávky terbutylazinu, nebo byl tento pesticid nahrazen jinou látkou. Skutečností je, že v roce 2012 bylo používání terbutylazinu v ochranných pásmech vodních zdrojů legislativně omezeno. Z aktuálních výsledků monitoringu jakosti povrchových vod vyplývá, že terbutylazin byl nahrazen některými novými prostředky na ochranu rostlin s účinnými látkami např. isoxaflutol, cyprosulfamid a thiencarbazon (Liška a kol., 2015).

Výslednou koncentraci pesticidů a jejich metabolizovaných forem ve vodách ovlivňuje množství faktorů, mezi které patří především velikost aplikované dávky, období a způsob aplikace. Významnou roli hraje i charakter povodí (zejména

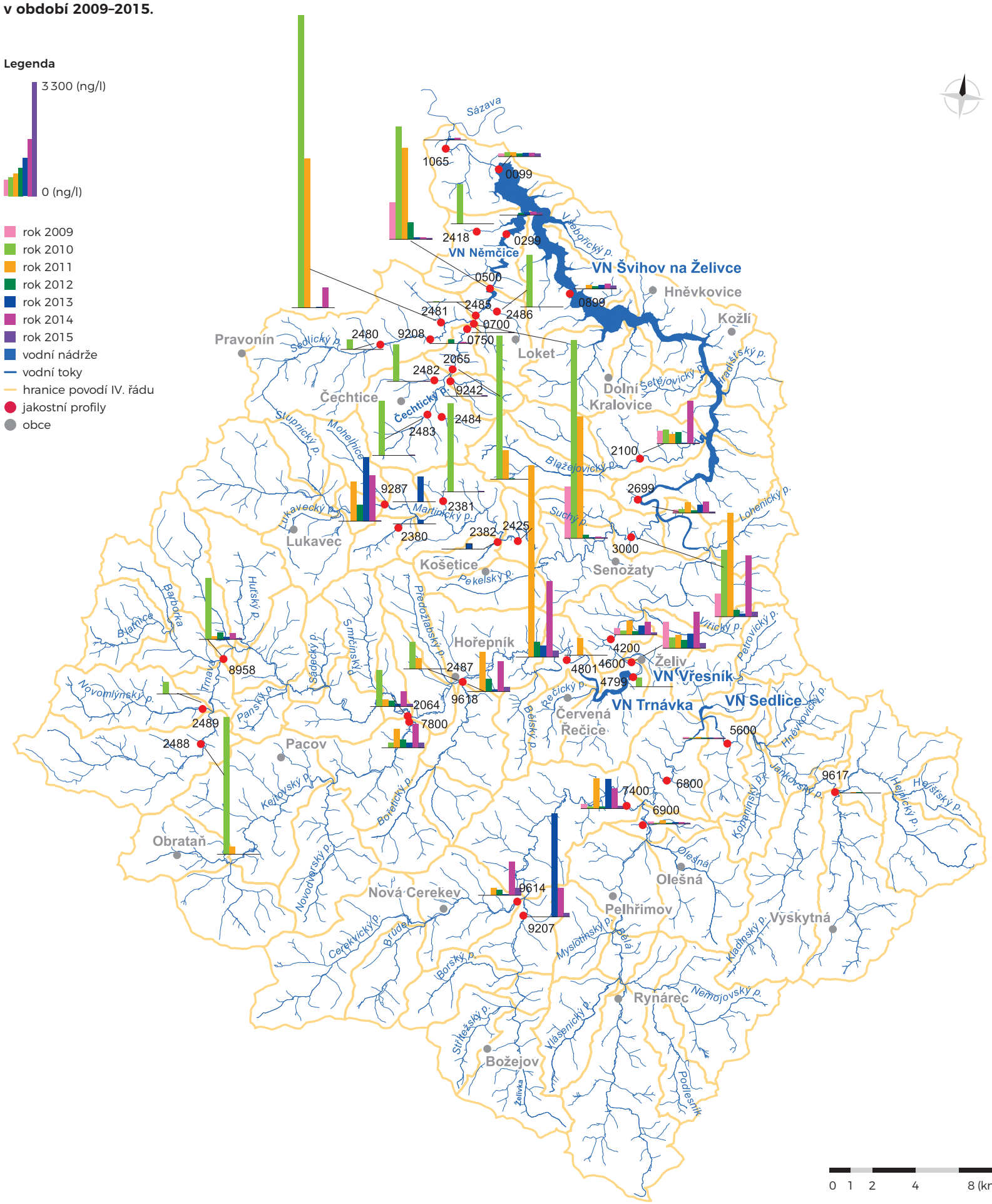
Graf 61: Dlouhodobý vývoj koncentrace terbutylazinu (ng/l) a jeho metabolitů v Sedlickém potoce (profil Strojetice Leský mlýn).



svažitost terénu, půdní a (hydrogeologické podmínky či přítomnost a funkčnost zemědělského odvodnění), dále také hydrologická situace v daném roce. V zemědělské praxi se pesticidy aplikují obvykle v jarním a podzimním období. Následný výskyt těchto látek v povrchových vodách pak závisí na srážkoodtokové situaci. Pokud jsou pesticidy aplikovány v období častých nebo intenzivních srážek, dochází k jejich smyvu povrchovým odtokem, rychlému vymývání z půdního profilu či transportu preferenčním prouděním. Povrchovým nebo podpovrchovým odtokem pronikají pesticidy do vodních toků, kde se vyskytují ve vyšších koncentracích, ale po kratší časové období. Výrazně nižší koncentrace pesticidů bývají naopak zaznamenány v suchých letech, dokladem toho byl i suchý rok 2015. Z pohledu transportu pesticidů z polí jsou odvodňovací řady bodovým zdrojem pesticidních látek pro povrchové vody.

Při studiu kinetiky pesticidů byl v povrchových vodách povodí VN Švihov na Želivce pozorován i vliv období aplikace látek, kdy se nejvyšší koncentrace rodičovských pesticidních látek

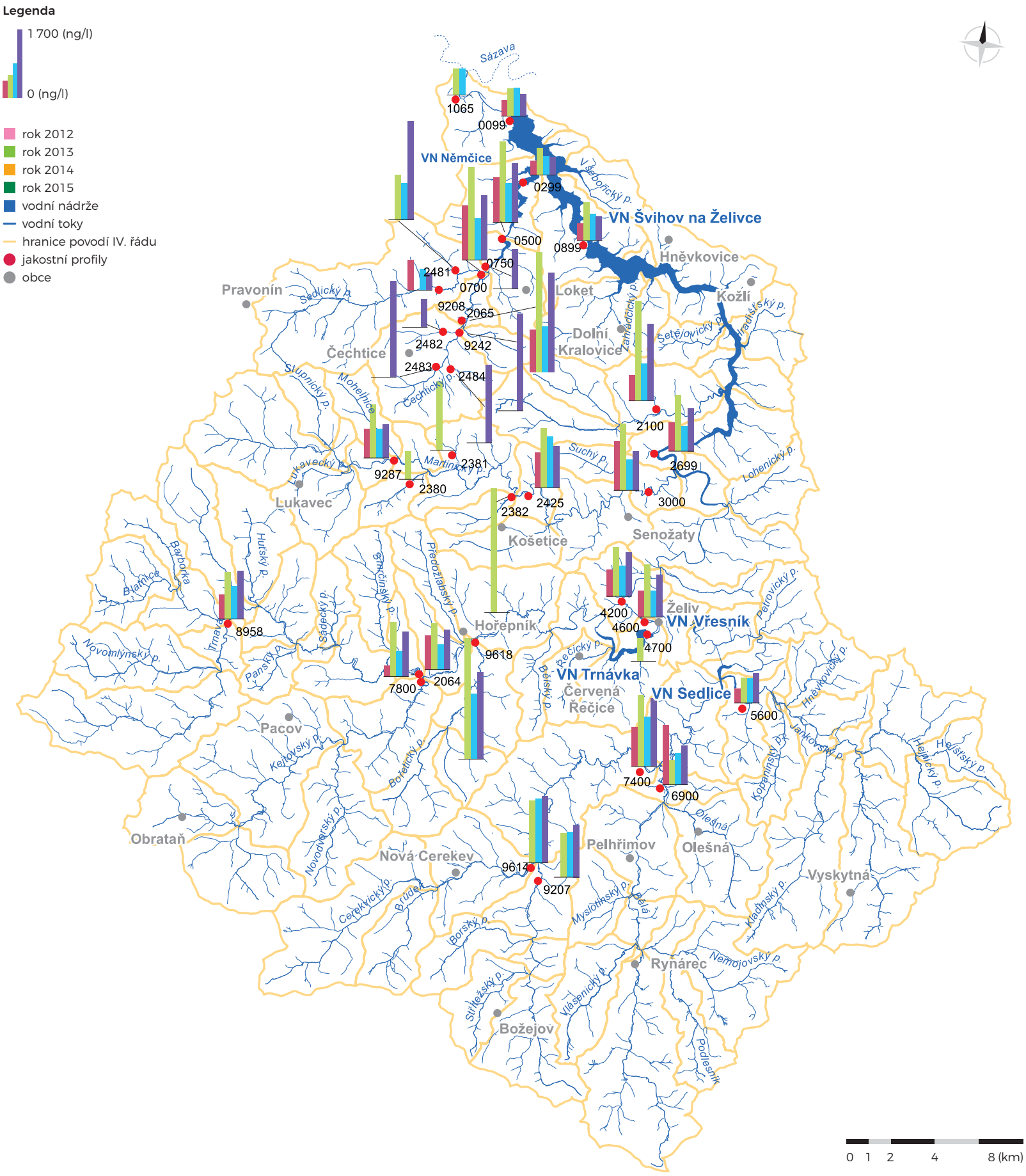
Obrázek 77: Maximální koncentrace terbutylazinu (ng/l) naměřené v povrchových vodách v povodí VN Švihov na Želivce v období 2009–2015.



vyskytují ve srážkově průměrných letech, v období jejich aplikace, tj. pozdní jaro a počátek léta, u některých látek také ještě v podzimních měsících. Na jaře jsou zpravidla zaznamenávány vyšší koncentrace rodičovských látek terbutylazinu, metazachloru, metolachloru a některých uronových pesticidů, např. chlortoluronu a linuronu. Na obrázku 77 jsou zobrazeny nejvyšší naměřené koncentrace terbutylazinu v období 2009–2015. V suchých letech (např. rok 2015) byly koncentrace rodičovských látek v povrchových vodách velmi nízké, protože z půdního profilu byly vyplavovány minimálně nebo vůbec. Na obrázku 78 jsou zobrazeny nejvyšší naměřené koncentrace metabolitu chloracetanilidových pesticidů – metazachloru ESA v období 2009–2015.

U forem kyselých derivátů pesticidů (formy ESA a OA u chloracetanilidů) je roční vývoj jejich koncentrací v tocích více vyrovnaný a nezávisí v takové míře na velikosti aplikované dávky v sezoně jako u rodičovských látek. Určité závislosti na srážkovém režimu a období aplikace jsou zřejmé, avšak podstatné je, zda jsou odvodňované zemědělské plochy zorněné

Obrázek 78: Maximální koncentrace metazachloru ESA (ng/l) naměřené v povrchových vodách v povodí VN Švihov na Želivce v období 2009–2015.



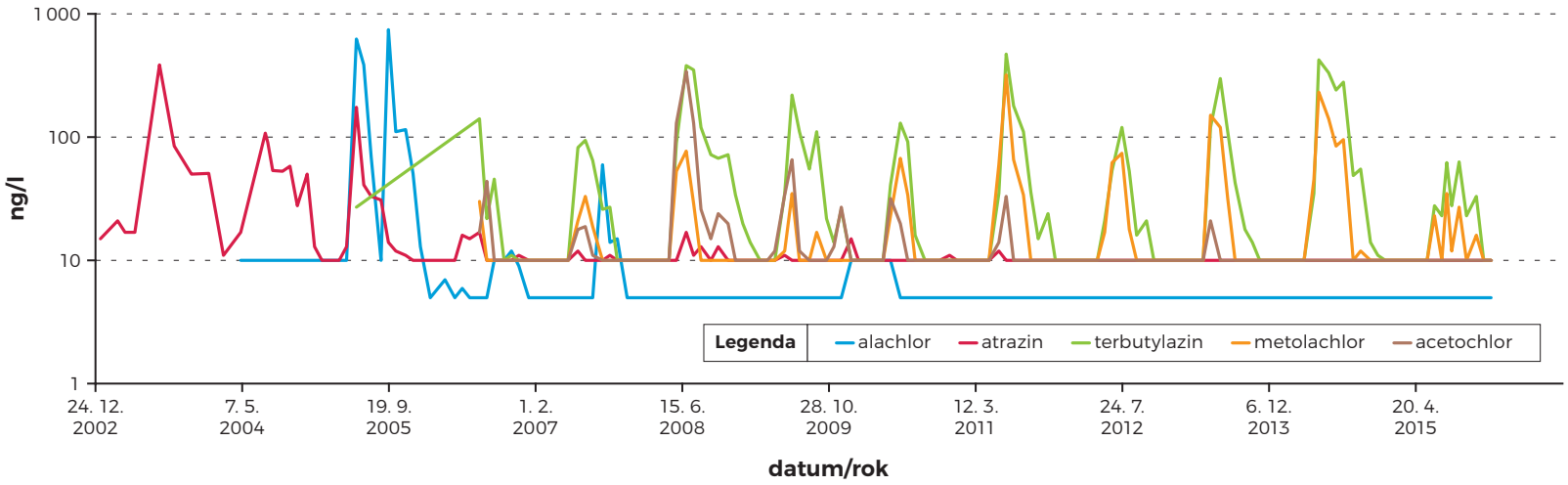
nebo zatravněné a zda jsou aktuálně zemědělsky využívané či nikoli (Liška a kol., 2015).

Z pohledu ovlivnění kvality vody v samotné VN Švihov na Želivce má vzhledem k celkovému objemu vody velký význam hlavní přítok vody do vodárenské nádrže (měrný profil Želivka--Poříčí). V období vegetační sezony přichází do nádrže velký objem vody s obsahem pesticidních látek, v zimním období se pesticidy obohacená voda ve vodárenské nádrži spíše ředí (graf 62).

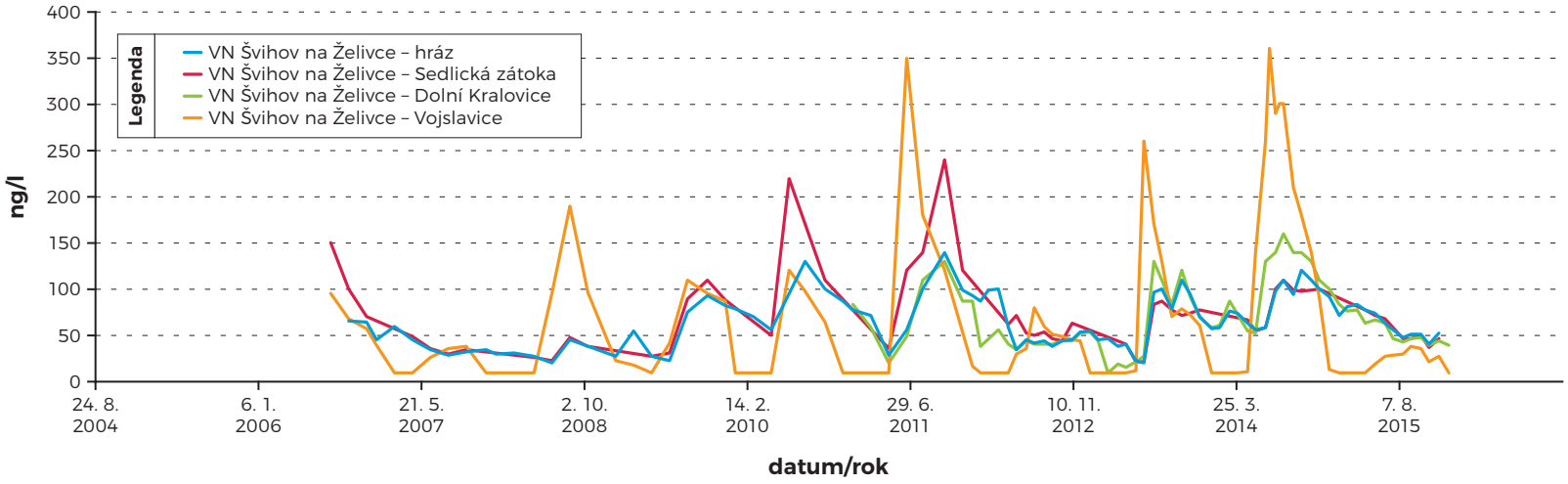
Z hlediska vývoje koncentrací pesticidních látek v horizontálním profilu má vodárenská nádrž Švihov na Želivce v systému „vodárenská nádrž – povodí" tlumící a vyrovnávací funkci. Ve vodárenské nádrži (v prostoru před hrází) jsou nalézány koncentrace pesticidních látek, např. terbutylazinu, v rozpětí asi 30 až 150 ng/l, tj. o několik řádů nižší oproti maximálním hodnotám dosahovaným na přítocích, a neoscilují tak výrazně jako na počátku vzdutí vodárenské nádrže a v přítocích (graf 63). Tato skutečnost je „výhodou" zejména z hlediska technologie úpravy vody, jelikož je odebírána surová voda s relativně vyrovnanou kvalitou a úpravna vody tak nemusí neustále reagovat na změny v kvalitě vstupní vody. Graf 64 ilustruje vývoj koncentrace vybraných metabolitů chloracetanilidových pesticidů u hráze vodárenské nádrže, sezonní vývoj nevykazuje zásadní fluktuace.

Z hlediska celkového zatížení nádrže VN Švihov na Želivce a jejího povodí živinami, pesticidy a dalšími látkami je důležité hodnotit kromě aktuálních měřených koncentrací také celkové množství látek, které z povodí odtéká. Tj. získat informaci o tom, kolik tun dusíku a fosforu, resp. kilogramů pesticidních látek

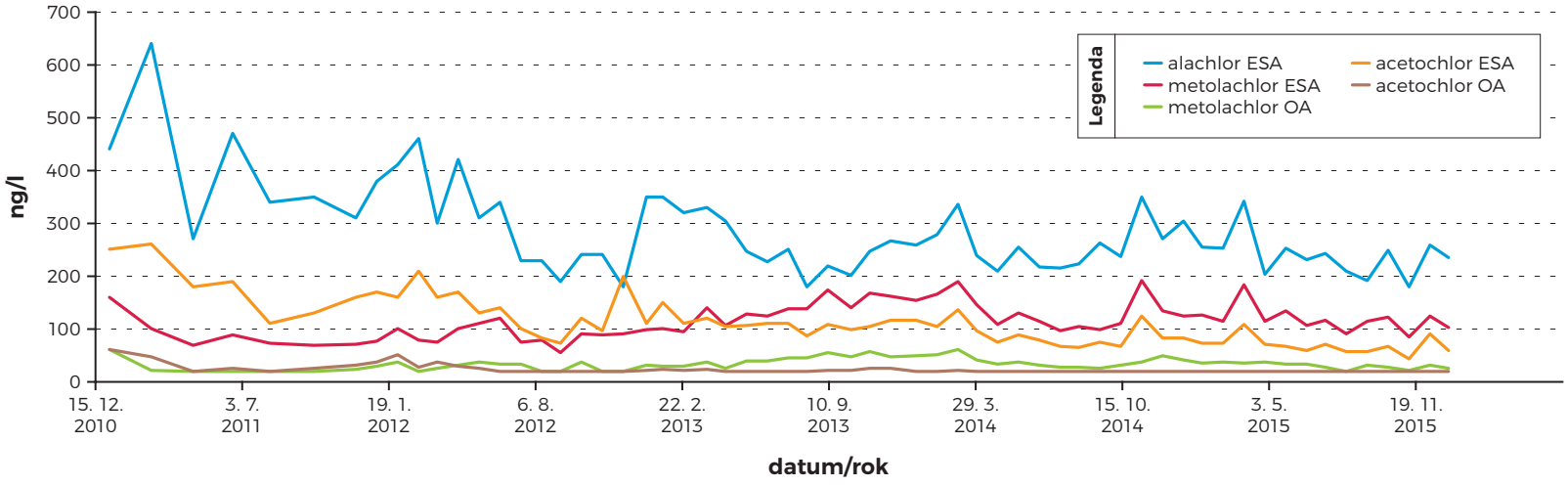
Graf 62: Vývoj koncentrace pesticidů (ng/l) v hlavním přítoku do VN Švihov na Želivce (rodičovské látky, profil Želivka-Poříčí).



Graf 63: Vývoj koncentrace terbuthylazinu (ng/l) ve VN Švihov na Želivce (směsné vzorky).



Graf 64: Vývoj koncentrace vybraných metabolitů chloracetanilidových pesticidů (ng/l) u hráze vodárenské nádrže (směsné vzorky).



a léčiv za rok z povodí do VN Švihov na Želivce přiteče. K tomu, aby bylo možné provést tento výpočet, je nutné znát hodnoty koncentrací hodnocených látek a současně také hodnoty průměrných denních, resp. měsíčních průtoků vztažených k jednotlivým odběrovým profilům. Tyto koncentrační a průtokové hodnoty představují základní soubor dat pro výpočet „hrubé" látkové bilance. Tento výpočet však v plné míře nepostihuje vliv extrémních hydrologických událostí, při kterých odtéká největší množství většiny sledovaných látek, často až o několik řádů vyšší oproti standardním podmínkám. Výpočet má omezenou výpovědní hodnotu. Pro získání kompletní sofistikované látkové bilance by bylo nutné doplnit stávající systém sledování vodohospodářských laboratoří státních podniků Povodí o kontinuální vzorkování se zvláštním důrazem na monitoring tzv. hydrologických událostí, případně realizovat proporcionální odběry vzorků vody vůči aktuálnímu průtoku.

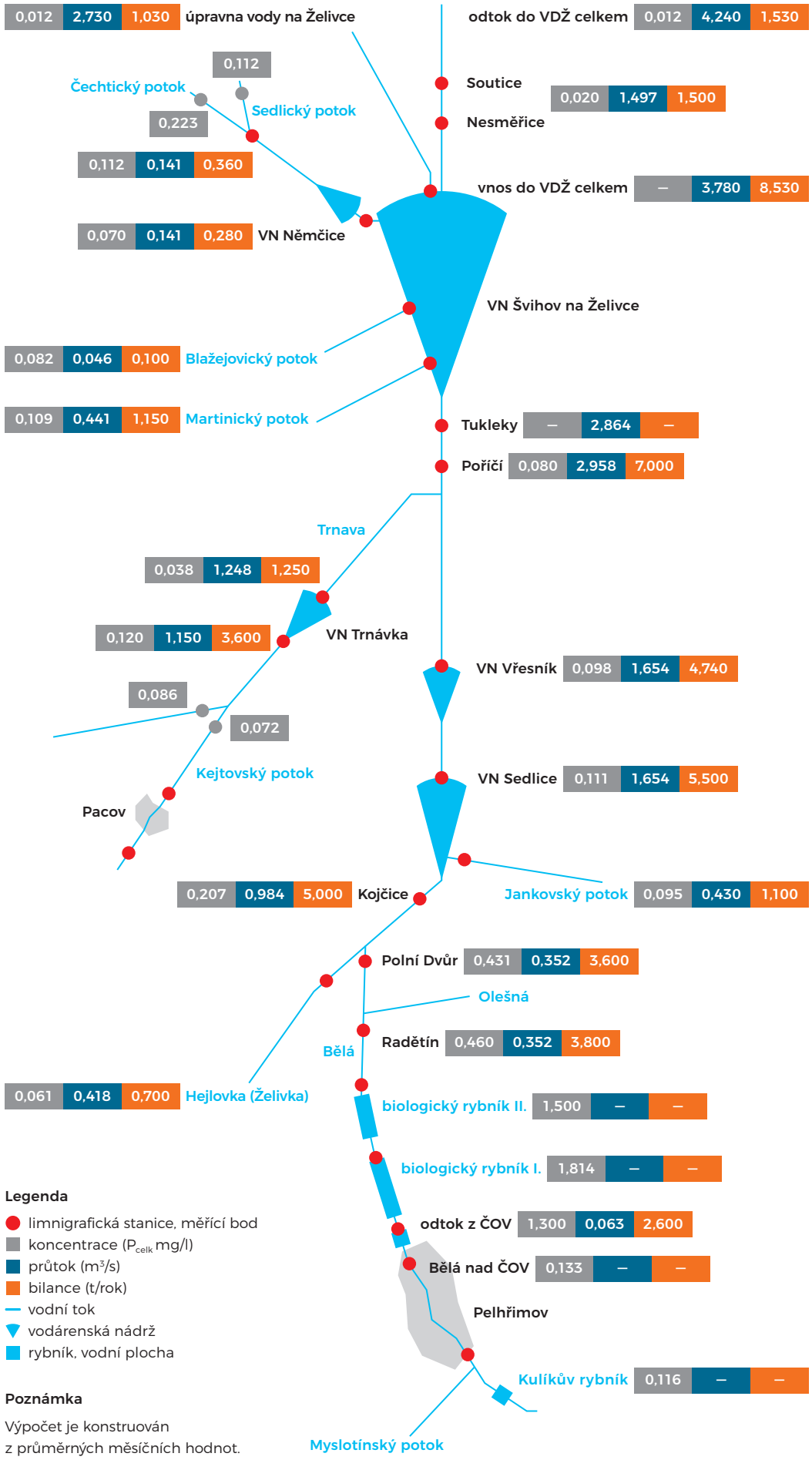
Pro názornou představu o látkové bilanci jednotlivých přítoků jsou v rámci vyhodnocování monitoringu jakosti povrchových vod v povodí VN Švihov na Želivce sestavovány „bilanční mapy". Níže uvedená bilanční mapa představuje výsledky rámcové bilanční analýzy fosforu v povodí VN Švihov na Želivce v roce 2015. Rozdílnou látkovou bilanci mezi suchým a vodným rokem dobře ukazuje porovnání výsledků z let 2013 a 2015. Rok 2013 představuje hydrologicky průměrný rok s extrémní hydrologickou událostí (v červnu) a rok 2015 pak reprezentuje výrazně suchý rok s minimálními letními průtoky. Právě fosfor je tzv. „motorem" eutrofizačních procesů v našich vodních tocích a nádržích, proto právě pro tento prvek byla bilanční analýza provedena.

Oba uvedené roky se od sebe zásadním způsobem liší, v roce 2013 byl průměrný roční přítok do VN Švihov na Želivce 8,7 m^3/s, v suchém roce 2015 byla hodnota průměrného ročního přítoku 3,78 m^3/s, tj. méně než poloviční. Na některých drobných přítocích byl rozdíl v průměrném ročním přítoku více než 80 %. Tomu v případě fosforu odpovídaly bilanční hodnoty látkových odnosů. Celkový vnos fosforu do VN Švihov na Želivce představoval v roce 2013 přibližně 19,5 t, v roce 2015 byla tato hodnota 8,53 t, což je méně než polovina. Významný rozdíl byl zaznamenán na měrném profilu Bělá pod Pelhřimovem, který monitoruje vliv odpadních vod šestnácti tisícové pelhřimovské aglomerace na jakost vody v říčce Bělá, která je jedním z hlavních přítoků VN Švihov na Želivce. Ve vodném roce 2013 zde byla spočtena hodnota látkového odnosu fosforu 9,1 t, v roce 2015 pak pouhé 3,6 t (obrázek 79).

V povodí VN Švihov na Želivce je několik retenčních rybníků a tři tzv. představěné nádrže. Účinnost retence těchto vodních děl se pohybuje v rozmezí 20–50 % v závislosti na klimatických a hydrologických podmínkách příslušného roku. Ze získaných výsledků vyplývá, že v hydrologicky průměrných až nadprůměrných letech je účinnost těchto nádrží vyšší než v suchém roce.

Obecně lze říci, že hodnota látkového odnosu fosforu z povodí klesá s průtokem. Stejně tak, i když s jistými sezonními odlišnostmi, to platí i pro dusík a pro pesticidní látky. Pro bilanci dusíku je vždy rozhodující hydrologie zimního a jarního období, kdy se z půdy vyplavuje dusíku nejvíce. U pesticidních látek jsou rozhodujícími faktory: aplikační období, velikost dávky, „ochota k metabolizaci" a charakter srážek.

Obrázek 79: Vnos celkového fosforu (t/rok) do vodárenské nádrže Švihov na Želivce v roce 2015.



3.2

Tomáš Dostál
Josef Krása
Jana Konečná
Václav Bystřický
Barbora Jáchymová
Miroslav Bauer
Tomáš Kvítek

Jakost vody a odnosy látek povrchového odtoku při srážkoodtokových událostech

Co jednou vstoupí do prostoru a času, musí se také podřídit zákonům prostoru a času.

Ludwig Feuerbach
Německý filozof

Z hlediska jakosti vody se při významných srážkoodtokových událostech na orné půdě projevuje především rychlý odtok povrchové vody z půdy, doprovázený výraznou erozí půdy. Erozní procesy mají obecně celou řadu negativních dopadů. Často zmiňované jsou zejména dopady na zemědělskou půdu jako takovou. Eroze zde zbavuje půdu nejcennější organické složky a odnáší nejjemnější půdní částice, na kterých je vázána většina důležitých chemických látek, včetně živin – především fosforu.

Tím dochází ke změně textury i struktury půdy, jejímu ochuzení o živiny, ztrátě pufrační kapacity, změně schopnosti zadržet a vázat vodu a ztrátě dalších důležitých vlastností. Přímo v terénu lze obvykle vidět negativní dopad eroze a transportu erozních splavenin na lidskou infrastrukturu. Jedná se zejména o zanášení cestních a silničních příkopů nebo události, kdy je přímo zasažena a poškozena obec, komunikace či jiná konstrukce. Eroze nabývá stále větší význam také ve vztahu k vodnímu hospodářství. Erozní splaveniny se ukládají ve vodních nádržích, kde zabírají zásobní prostor a mohou ohrozit plánovanou funkci příslušného vodního díla. Dále ohrožují jakost vody především kvůli chemickým látkám vázaným na půdní částice. V případě VN Švihov na Želivce jsou již historicky s těmito dopady negativní zkušenosti. V 90. letech minulého století došlo v souvislosti s rozvojem vodního květu k výraznému zaklesnutí hladiny vody ve vodárenské nádrži, které bylo spojeno se zhoršením jakosti vody. Také bylo třeba odbahnit představěnou vodní nádrž Němčice, která byla natolik zanesena sedimentem, že přestávala plnit svou funkci.

Analýzy provedené v rámci řady předchozích výzkumných projektů ukázaly, že erozní smyv v běžných povodích obvykle není hlavním spouštěčem procesu extrémního nárůstu vodního květu. Jako klíčový zdroj biologicky dostupného fosforu převažují odpadní vody z bodových zdrojů znečištění – zejména fekální odpadní vody ze sídel, kde je vysoký původní obsah organických látek. Podíl erozního fosforu na celkovém zatížení vodního prostředí je v ČR vysoký (v převážné většině povodí vodních nádrží v ČR tvoří erozní fosfor 50–90 % z celkového vstupujícího množství fosforu), ale v erozních částicích převažuje fosfor ve vázané formě, která je pro organismy nedostupná. I přes toto

Foto 70: Detail poškození půdního profilu, výmolová eroze. Zdroj: Kvítek T.

Foto 71: Detail poškození A horizontu půdního profilu dlouhodobou erozí.
Zdroj: Kvítek T.

zjištění platí, že škodlivé důsledky eroze na pozemcích jsou enormní, stejně jako rychlost zanášení českých vodních nádrží (zejména rybníků) sedimentem. Navíc v celkové bilanci fosforu v povodích může erozní smyv hrát zásadní roli, byť se jedná o partikulovaný fosfor. Jeho potenciální opětovné uvolnění do vody je sice otázkou probíhajícího výzkumu, nicméně je třeba počítat s ním jako s možnou variantou. Mohlo by tedy dojít případně i ke změně chemismu vody ve vodní nádrži k uvolnění množství P, které je násobně větší než dotace P z bodových zdrojů. V tomto případě by se ale jednalo již o rozpuštěné formy fosforu, které jsou přímo dostupné a využitelné pro zelené řasy a sinice.

Fosfor, ztracený ze zemědělských pozemků kvůli erozním a transportním procesům a deponovaný v sedimentu ve vodních nádržích, navíc chybí v systému voda–půda–rostlina, kde představuje jednu ze základních a bohužel i limitujících živin nutných pro úspěšnou zemědělskou výrobu. Fosfor je v prostředí vyčerpatelným zdrojem a jeho ceny na světových trzích neustále rostou spolu s tím, jak ubývají jeho zdroje.

Foto 72: Měrný profil T7U s vodoměrnou latí, s ultrazvukovým měřením průtoku, automatickým vzorkovačem ISCO pro odběr vzorků vody a pasivním vzorkovačem plavenin – povodí Kopaninského toku. Zdroj: Kvítek T.

Experimentální výsledky jakosti vody při srážkoodtokových událostech

Sledování erozních událostí a transportu půdních částic a živin povrchovým odtokem do vodních toků je velmi obtížné. Je třeba jej provádět přímo u vzniku odtoku a odnosu látek ze srážkoodtokové události z dané lokality z důvodu „znehodnocení dat“ z lokalit, kde takováto událost nenastala. Současně je třeba mít měrné profily vybavené kvalitní přístrojovou technikou (foto 72 a 73) a tyto profily musí být konstrukčně dimenzované na extrémní události. Pro plné pochopení srážkoodtokových událostí a odnosu sedimentů uvádíme údaje ze sledovaných subpovodí Kopaninského potoka (rámeček 34 a obrázek 80), kde bylo možno od roku 2005 tyto události měřit a analyzovat. Není nám známo, že takovéto výzkumné zabezpečení přístrojovou technikou v povodí VN Švihov na Želivce bylo realizováno na jiných povodích. Výzkum se soustředil na dva měrné profily na Kopaninském potoce, na nichž byly osazeny automatické vzorkovače vody, které se plní při stoupající povodňové vlně. Uzávěrový profil povodí T7U se nachází nad obcí Velký Rybník a představuje uzávěrový profil části uceleného povodí IV. řádu. Měrný profil P32 kontroluje nejvíce erozně ohrožený svah zemědělské půdy v subpovodí, v lokalitě Na hřebelci. V letech 2005 až 2008 byly vzorky vod z automatických vzorkovačů analyzovány na obsah nerozpuštěných látek a na různé formy dusíku a fosforu.

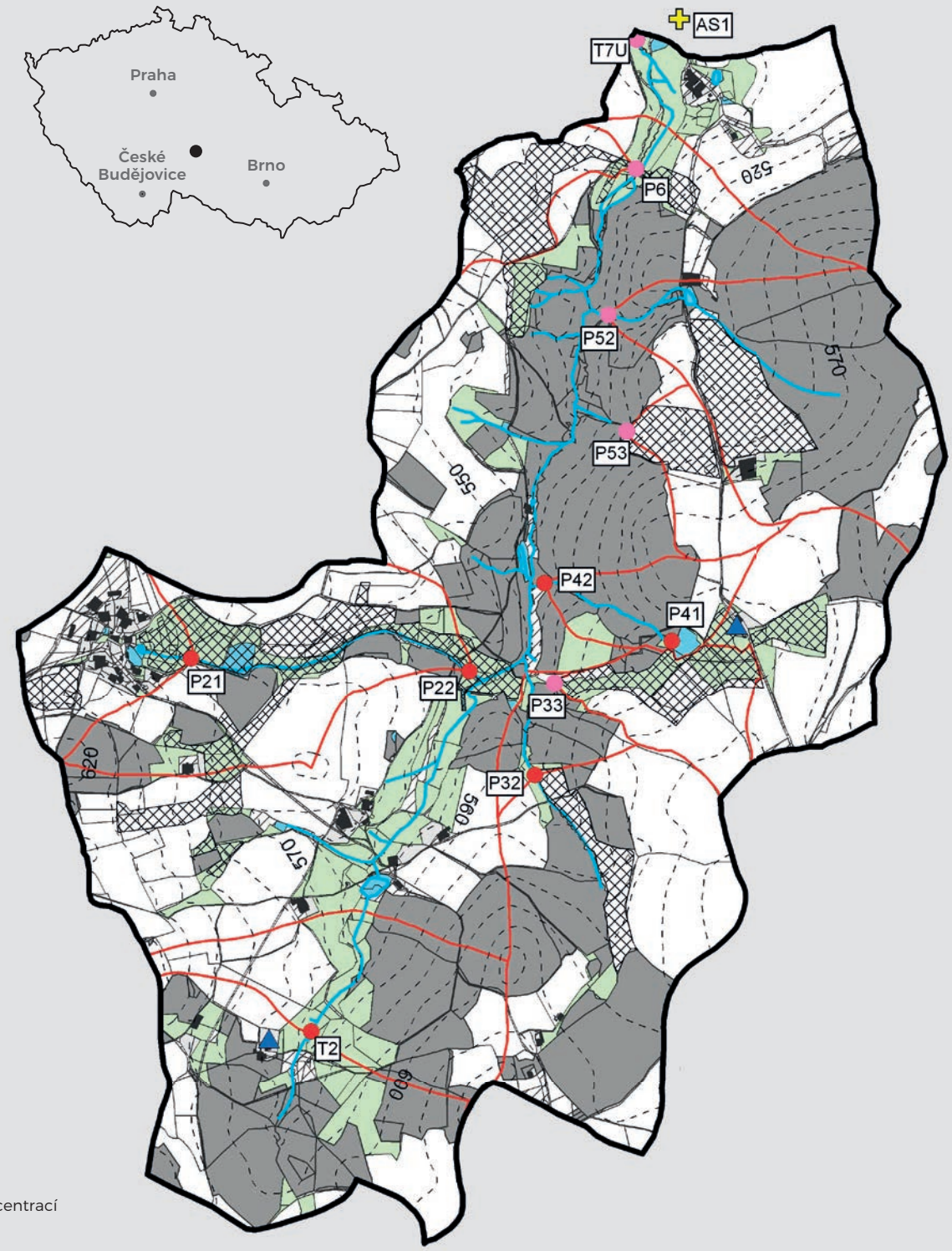
Foto 73: Pravidelná kontrola vzorků vody v pasivním vzorkovači plavenin. Zdroj: Kučera J.

Rámeček 34

Experimentální povodí Kopaninský potok

Experimentální povodí Kopaninský potok (ČHP 1-09-02-0310-0-00) se nachází poblíž Pelhřimova. Kopaninský potok je významným levostranným přítokem Jankovského potoka, který ústí do vodní nádrže Sedlice. Mateční horninou jsou převážně pararuly a žuly. Nejvíce zastoupenými půdními typy jsou kambizemě; mělké až středně hluboké půdy od poloh u rozvodnice po místa na patách svahů; tedy od mírně po silně oglejené formy. Dále jsou zastoupené pseudogleje a gleje až půdy zbažinělé svahových a nivních poloh. Plocha povodí k ústí do Jankovského potoka je 9,14 km^2, k uzávěrovému měrnému profilu T7U je to plocha 7,1 km^2, nadmořská výška je 478–620 m n. m. Délka hlavní údolnice je 4,2 km, průměrný sklon hlavní údolnice 2,6 %. Odvodněno systematickou drenáží je 10 % území (16 % ze zemědělské půdy). Z hlediska způsobu využití území zaujímá největší podíl orná půda (44,7 %), následuje les (36,7 %), louky a pastviny (13,1 %), ostatní plochy (3,5 %), sady a zahrady (1,0 %), zastavěné plochy (0,6 %) a vodní plochy (0,5 %).

Experimentální povodí bylo založeno v první polovině 80. let pro výzkum vztahů mezi způsobem využití různých půd v subpovodí na odtok vody a odnos dusíku a později i fosforu a dalších ukazatelů jakosti vody. Experimentální povodí Kopaninského toku bylo jedno z prvních v ČR, kde bylo započato s využitím automatických vzorkovačů povrchových a drenážních vod. Poznatky zjištěné v tomto povodí byly a jsou promítány do návrhů ochranných pásem vodárenských nádrží či plánů oblastí povodí.



Obrázek 80: Experimentální povodí Kopaninský potok.

Legenda

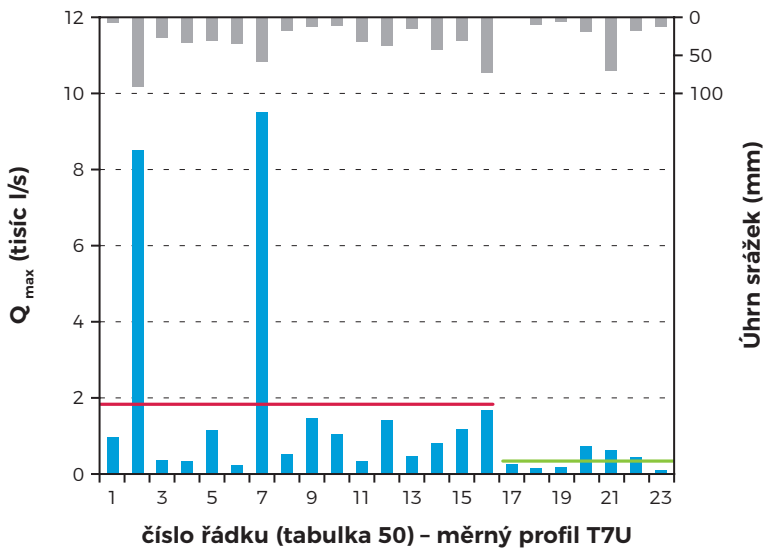
- kontinuální měření průtoku a koncentrací
- kontinuální měření průtoku a 14denní měření koncentrací
- srážkoměr
- meteorologická stanice, sampler srážek
- orná půda
- louky a pastviny
- lesy
- zahrady a sady
- vodní plochy
- zastavěné plochy
- ostatní plochy
- odvodněná půda
- rozvodnice povodí
- rozvodnice subpovodí
- vodní tok
- vrstevnice

Výsledky měření (2005–2008) maximálních průtoků a transportu sledovaných látek během stoupající povodňové vlny shrnuje tabulka 50. Naměřené údaje byly vyhodnoceny ve vztahu k aktuálnímu stavu zemědělských porostů a v souvislosti s probíhajícími agrotechnickými operacemi. V erozně ohrožené lokalitě Na hřebelci bylo počítáno s realizací ochranného zatravnění v roce 2006. Nedošlo však k dohodě s hospodařícím subjektem, který z ekonomických důvodů neměl o zatravnění plochy zájem. Proto se další výzkum v povodí zaměřil na vztah transportu plavenin a odtoků při extrémních srážkoodtokových událostech a detailní výzkum menších ploch zemědělské půdy poškozených vodní erozí.

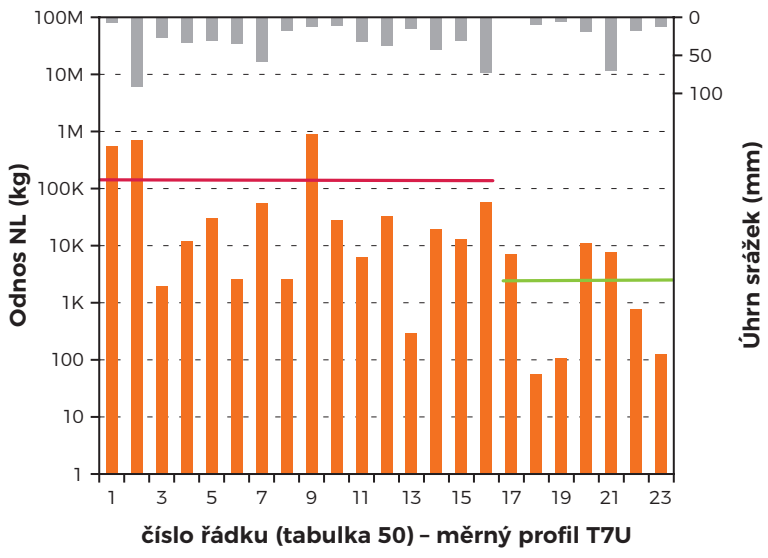
Nejvyšší odnos nerozpuštěných látek transportovaných stoupající povodňovou vlnou srážkoodtokové události byl zaznamenán na měrném profilu T7U dne 29. 3. 2006 a událost byla způsobena táním sněhu. Významné bylo také tání sněhu dne 18. 3. 2005. Nejvyšší maximální odtoky spojené s vysokým transportem plavenin způsobily přívalové srážky 23. 5. 2005 a 12. 9. 2005. Vzhledem k velikosti experimentálního povodí se projevují větší rozdíly v maximálních odtocích i koncentracích nerozpuštěných látek ve vodě mezi měrnými profily T7U a P32. Měrný profil P32 kontroluje malé (75 ha) erozí ohrožené subpovodí na horní části toku, měrný profil T7U reprezentuje část celého povodí IV. řádu. Např. srážka 30. 7. 2005 se v odnosu nerozpuštěných látek výrazněji projevila na měrném profilu P32 než na T7U. Plaveniny mezi měrnými profily P32 a T7U mají dobré podmínky pro sedimentaci a zachycení v meandrujícím lesním úseku toku. Při extrémní srážkoodtokové události 28. 5. 2006 bylo pole Na hřebelci málo pokryto špatně vzcházející jařinou a koncentrace plavenin ve vodním toku byly proto velmi vysoké. Porost byl poškozený i po celý zbytek roku, což se projevilo při následujících událostech 19. a 30. 6. 2006. Špatně vzešlá jařina měla stejně nízký ochranný účinek vůči vodní erozi jako kukuřice, která byla v lokalitě Na hřebelci v roce 2005.

Roky 2007 a 2008 se vyznačovaly výrazně menším výskytem extrémních srážkoodtokových událostí (tabulka 50). Grafy 65 a 68 dokumentují srovnání maximálních odtoků a transportu plavenin v toku na měrných profilech T7U a P32 vůči srážkově bohatším rokům 2005–2006. Aritmetický průměr maximálních odtoků na měrném profilu T7U za roky 2005–2006 je o 82 % vyšší než v letech 2007–2008, pro nerozpuštěné látky rozdíl činí 75 %.

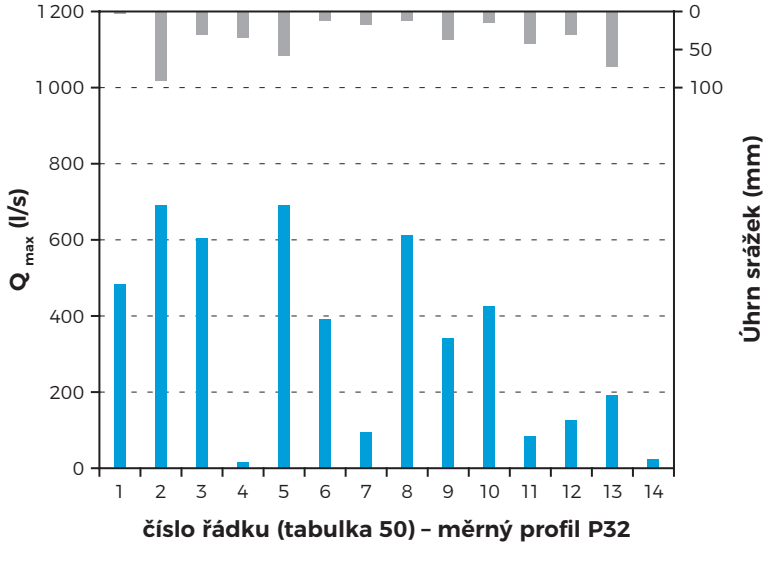
Graf 65: Průtoky (Q_{max}) na měrném profilu T7U a úhrn příčinných srážek v období 2005–2008.



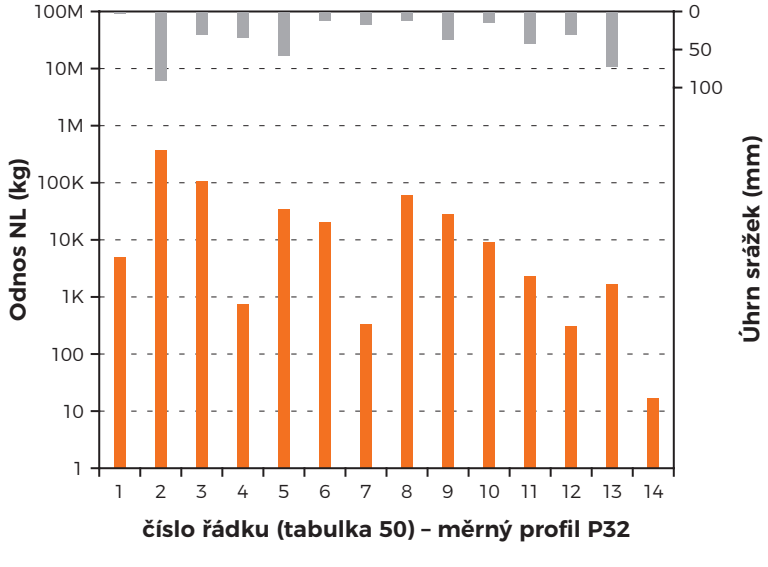
Graf 66: Odnos nerozpuštěných látek (NL) nesených stoupající částí povodňové vlny na měrném profilu T7U a úhrn příčinných srážek v období 2005–2008.



Graf 67: Průtoky (Q_{max}) na měrném profilu P32 a úhrn příčinných srážek v období 2005–2008.



Graf 68: Odnos nerozpuštěných látek (NL) nesených stoupající částí povodňové vlny na měrném profilu P32 a úhrn příčinných srážek v období 2005–2008.



Legenda	úhrn srážek	nerozpuštěné látky	průtok vody	aritmetický průměr hodnot (2005–2006)	aritmetický průměr hodnot (2007–2008)

Erozní událost v lokalitě Rybníček

Dne 23. 5. 2005 nastala v povodí Kopaninského potoka extrémní srážkoodtoková událost vyvolaná srážkou o úhrnu 89,8 mm s trváním 6 h (max. intenzita deště 42,9 mm/h). V lokalitě u osady Rybníček na svažitém pozemku se vzcházejícími bramborami se srážková voda hromadila nejprve mezi hrůbky. Některé řádky se protrhly a začal vznikat koncentrovaný povrchový odtok napříč přes ně (foto 74). Erozní rýhy se cestou po svahu sbíhaly a vytvořily více než 200 metrů dlouhou rýhu širokou 1 m a hlubokou až 0,5 m (foto 75). Transportovaný materiál se převážně usadil v patě svahu a menší množství vniklo do vodního toku. Odnos sedimentu na břehu potoka a zachyceného v příkopu silnice byl 126 m^3, tj. 187 t půdy. Na základě modelových výpočtů a měření obsahu nerozpuštěných látek na měrném profilu P32 v povodí Kopaninského potoka můžeme odhadnout, že z lokality Rybníček vstoupilo do vodního toku 47 t půdy, tj. přibližně 20 % celkového odnosu půdy smyté při této extrémní události. Z rozborů vzorků erozí nepoškozené půdy a sedimentů vyplynulo, že obsah celkového dusíku a fosforu je v sedimentu nižší než v půdě. Z toho lze usoudit, že uvedené prvky byly transportovány do vodního toku ve formě roztoku a vázané na jemné půdní částice, které jsou při erozních událostech intenzivně odplavovány.

Foto 74: Erozní rýha v lokalitě Rybníček byla patrná ještě v červenci 2005. Zdroj: Konečná J.

Foto 75: Následky extrémní erozní události v lokalitě Rybníček v květnu 2005. Zdroj: Kvítek T.

Tabulka 50: Extrémní srážkoodtokové situace a transport vybraných látek v období 2005–2008

Měrný profil	Čísla sloup. (grafy 65–68)	Datum	Srážky AS1		Průtok	Trvání (s)	NO_3^-			NO_2^-			NH_4^+			PO_4^{3-}			Nerozpuštěné látky		
			Úhrn (mm)	Max. intenzita (mm/min)	Q_{max} (l/s)		Min. konc. (mg/l)	Max. konc. (mg/l)	Odnos (kg)	Min. konc. (mg/l)	Max. konc. (mg/l)	Odnos (kg)	Min. konc. (mg/l)	Max. konc. (mg/l)	Odnos (kg)	Min. konc. (mg/l)	Max. konc. (mg/l)	Odnos (kg)	Min. konc. (mg/l)	Max. konc. (mg/l)	Odnos (kg)
T7U	1	18. 3. 2005	tání sněhu		951,50	76 800	38,0	62,0	898,26	0,06	1,00	3,46	0,06	0,13	1,87	0,06	0,10	1,66	4 472	31 020	410 534
	2	23. 5. 2005	89,8	2,0	8 500,00	7 500	20,0	26,0	367,67	0,21	0,35	4,10	0,20	0,54	4,18	0,08	1,07	14,43	29 160	94 370	694 294
	3	30. 6. 2005	26,0	0,3	351,20	3 000	29,0	41,0	18,37	0,10	0,65	0,12	0,08	0,89	0,12	0,19	1,51	0,23	2 297	8 092	1 916
	4	8. 7. 2005	32,4	0,2	319,10	23 800	15,0	18,0	40,74	0,15	12,00	18,60	0,14	0,89	0,45	0,22	0,30	0,69	716	22 350	11 453
	5	30. 7. 2005	29,8	1,3	1 138,60	8 000	8,7	12,0	41,08	0,30	0,72	1,96	0,24	0,28	1,17	0,57	0,95	3,16	5 795	14 850	29 694
	6	16. 8. 2005	34,2	0,1	224,60	22 200	18,0	22,0	44,70	0,05	0,05	0,11	0,30	0,31	0,67	0,05	0,07	0,14	234	1 829	2 525
	7	12. 9. 2005	57,2	1,4	9 500,00	4 800	13,0	29,0	391,24	0,15	0,40	5,58	0,35	0,63	6,02	0,04	0,65	5,02	654	5 216	55 034
	8	27. 9. 2005	15,8	0,3	492,30	6 600	23,0	28,0	43,39	0,13	0,31	0,29	0,23	0,35	0,50	0,40	0,52	0,73	869	4 072	2 559
	9	29. 3. 2006	tání sněhu		1 440,00	289 800	39,0	50,0	9 977,70	0,02	0,02	4,87	0,05	0,05	12,17	0,05	0,23	46,91	2 950	8 050	881 403
	10	27. 4. 2006	9,8	0,4	1 035,60	4 200	68,0	73,0	135,36	1,25	2,75	3,84	1,40	1,60	2,88	0,35	0,39	0,71	1 900	17 715	26 666
	11	17. 5. 2006	31,2	0,3	330,50	39 000	30,0	36,0	313,34	0,10	0,24	2,12	0,08	1,10	6,02	0,10	0,28	2,69	430	720	6 230
	12	28. 5. 2006	35,8	0,3	1 400,00	22 800	21,0	26,0	286,87	0,30	0,55	5,85	0,41	1,20	13,52	0,60	1,65	16,42	1 820	3 320	32 218
	13	19. 6. 2006	14,2	1,0	458,30	3 000	31,0	33,0	28,93	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04	0,24	0,15	155	550	283
	14	30. 6. 2006	41,6	0,2	796,30	23 400	22,0	29,0	283,57	0,18	0,80	8,13	0,08	0,29	2,92	0,20	0,65	6,66	1 410	3 050	19 223
	15	12. 7. 2006	29,6	2,0	1 153,10	6 000	16,0	24,0	64,95	0,12	0,38	0,87	0,30	0,92	1,80	0,10	0,24	0,51	2 510	4 850	12 831
	16	7. 8. 2006	71,0	0,2	1650,00	88 200	20,0	27,0	1 107,98	0,10	0,29	9,13	0,05	0,27	7,77	0,33	0,88	37,03	585	1 610	56 641
	17	25. 3. 2007	tání sněhu		240,22	185 400	29,0	33,0	1 170,66	0,06	0,16	2,50	0,04	0,13	1,76	0,04	0,42	13,53	190	220	6 882
	18	28. 6. 2007	9,2	0,9	139,92	600	33,0	65,0	2,75	1,20	2,60	0,13	0,32	1,80	0,08	0,50	0,75	0,04	810	880	54
	19	11. 7. 2007	4,8	0,2	152,58	1 200	29,0	31,0	4,06	0,08	0,20	0,22	0,47	0,70	0,07	0,06	0,16	0,02	720	820	105
	20	19. 7. 2007	17,4	1,5	706,23	4 200	30,0	49,0	97,62	0,25	0,65	0,71	4,60	7,50	17,42	1,10	2,00	2,76	4 200	12 500	10 712
	21	6. 9. 2007	68,8	0,2	605,60	34 800	22,0	27,0	264,66	0,16	0,52	3,43	0,18	1,15	5,63	0,04	1,50	5,83	380	1 200	7 453
	22	11. 6. 2008	16,2	0,9	419,12	3 000	14,0	25,0	8,95	0,29	0,49	0,19	0,04	0,47	0,12	0,04	0,04	0,02	90	2 395	739
	23	25. 6. 2008	11,4	1,9	95,71	4 200	27,0	27,0	10,85	0,13	0,13	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	305	305	123
P32	1	27. 3. 2005	tání sněhu		482,30	12 600	71,0	128,0	208,00	0,05	0,09	0,14	0,10	0,37	0,74	0,77	2,14	4,41	251	26 680	4 761
	2	23. 5. 2005	89,8	2,0	690,00	7 200	21,0	107,0	55,05	0,27	0,63	0,45	1,40	5,53	3,50	5,30	7,50	9,30	25 810	331 100	366 747
	3	30. 7. 2005	29,8	1,3	602,00	5 400	4,9	30,0	16,68	0,25	1,95	1,54	0,17	6,35	3,20	1,79	6,29	5,04	29 870	308 400	105 401
	4	16. 8. 2005	34,2	0,1	15,62	15 600	16,0	16,0	3,90	0,14	0,14	0,03	0,37	0,37	0,09	1,37	1,37	0,33	3 021	3 021	736
	5	12. 9. 2005	57,2	1,4	690,00	2 700	7,8	9,7	5,98	0,23	0,29	0,18	0,41	0,55	0,35	1,16	2,35	1,41	16 990	18 540	33 831
	6	17. 9. 2005	11,4	0,2	390,10	10 200	14,0	22,0	39,72	0,13	0,25	0,34	0,45	0,49	1,21	1,19	1,80	4,39	7 289	12 640	19 733
	7	27. 9. 2005	15,8	0,3	94,10	1 200	40,0	47,0	3,85	0,18	0,22	0,07	0,19	0,35	0,02	0,90	1,04	0,08	3 387	4 487	326
	8	29. 3. 2006	tání sněhu		611,20	218 400	64,0	68,0	4 722,90	0,05	0,11	4,05	0,06	0,58	24,28	0,29	0,90	60,93	600	5 875	58 167
	9	28. 5. 2006	35,8	0,3	340,50	18 000	30,0	55,0	75,50	0,85	3,20	4,47	5,70	8,40	11,59	7,70	9,60	14,26	8 900	22 680	27 170
	10	19. 6. 2006	14,2	1,0	425,00	3 000	110,0	120,0	27,90	1,65	4,25	0,95	7,00	7,50	1,81	5,60	5,95	1,44	3 160	25 900	8 943
	11	30. 6. 2006	41,6	0,2	82,90	4 800	29,0	29,0	11,54	0,60	0,60	0,24	0,80	0,80	0,32	2,00	2,00	0,80	5 600	5 600	2 228
	12	12. 7. 2006	29,6	2,0	125,60	1 800	50,0	52,0	9,10	1,10	1,10	0,20	0,85	2,10	0,34	0,50	0,55	0,10	610	7 050	303
	13	7. 8. 2006	71,0	0,2	190,40	19 800	24,0	24,0	37,90	0,14	0,86	0,65	0,05	0,60	0,39	0,84	1,60	1,88	770	1 525	1 621
	14	25. 3. 2007	tání sněhu		22,13	9 600	58,0	58,0	12,32	0,17	0,17	0,04	0,04	0,04	0,01	0,35	0,35	0,07	78	78	17

Regresní analýza vlivu odtoku na odnos dusičnanů, celkového fosforu a nerozpuštěných látek při srážkoodtokových událostech

Mnohonásobnou regresní analýzou byl zkoumán vliv dvou vysvětlujících proměnných (odtok vody ze subpovodí a koncentrace živin) na vysvětlovanou proměnnou (odnos živin ze subpovodí) při významných srážkoodtokových událostech. Výpočty byly provedeny pro každý měrný profil zvlášť (T7U a P32) a každý analyt zvlášť (NO_3^-, PO_4^{3-} a nerozpuštěné látky – NL). Do modelů vstupovala data z monitorovaných srážkoodtokových událostí v průběhu let 2005–2008, a to ve dvou skupinách. První skupina zahrnovala všechny monitorované srážkoodtokové události, v druhé skupině případů byla vynechána data z jarních tání, neboť mají jinou charakteristiku oproti srážkoodtokovým událostem ve vegetačním období. Průtoky byly měřeny ultrazvukovými průtokoměry, vzorky vody pro monitoring koncentrací látek byly odebírány automatickými vzorkovači ISCO. Všechny regresní modely dosáhly hladiny významnosti $p < 10^{-6}$ (ANOVA), takže jsou vysoce průkazné.

Vysvětlující proměnné by neměly být mezi sebou příliš vysoce korelovány, neboť to je porušením požadavku na absenci multikolinearity. V analyzovaných datech v některých případech korelace přítomná je, ovšem dosti slabá.

Prostřednictvím standardizovaných regresních koeficientů beta (tabulka 51 a 52) byla určena relativní síla vlivu jednotlivých proměnných na proměnnou vysvětlovanou. Jedná se v podstatě o parciální regresní koeficienty, pokud by byla původní data podrobena standardizaci.

Z výsledků je patrné, že u odnosu NO_3^- při srážkoodtokové události je objem odtoku vody z povodí naprosto dominujícím faktorem, který ho ovlivňuje. Přesná kvantifikace sice není možná, ale podle beta koeficientů lze usuzovat, že relativní síla vlivu proměnné „objem odtoku" je přes 90 % u srážkoodtokové události ve vegetačním období i při jarním tání. Stejná proměnná má nižší vliv u odnosu PO_4^{3-} oproti NO_3^-, protože narůstá vliv proměnné „koncentrace analytu". Odnosy NL jsou na rozdíl od odnosů NO_3^- a PO_4^{3-} dominantně řízeny faktorem „koncentrace analytu".

Výsledky korespondují s poznatky o „chování" analyzovaných látek při srážkoodtokových událostech v ČR. Při významných srážkoodtokových událostech se koncentrace NO_3^- zpravidla s rostoucím průtokem ředí, kdežto u PO_4^{3-} do určité hodnoty průtoku koncentrace narůstají a u NL mohou narůstat úměrně rostoucímu průtoku prakticky neustále. Navíc koncentrace NL mohou v průběhu srážkoodtokových událostí narůstat v rámci několika řádů (i více než průtok), kdežto NO_3^- i PO_4^{3-} se mění obvykle pouze v rámci jednoho řádu.

Tabulka 51: Beta koeficienty u statisticky průkazných mnohonásobných regresních modelů ze všech srážkoodtokových událostí (neprůkazné proměnné nemají hodnotu uvedenu)

Měrný profil	Analyt	Vysvětlující proměnná	Beta koeficient
T7U	NO_3^-	objem odtoku	0,98
		koncentrace analytu	-
	PO_4^{3-}	objem odtoku	0,88
		koncentrace analytu	-
	NL	objem odtoku	0,72
		koncentrace analytu	0,63
P32	NO_3^-	objem odtoku	0,99
		koncentrace analytu	0,02
	PO_4^{3-}	objem odtoku	1,00
		koncentrace analytu	0,20
	NL	objem odtoku	0,17
		koncentrace analytu	0,97

Tabulka 52: Beta koeficienty u statisticky průkazných mnohonásobných regresních modelů ze srážkoodtokových událostí ve vegetačním období (neprůkazné proměnné nemají hodnotu uvedenu)

Měrný profil	Analyt	Vysvětlující proměnná	Beta koeficient
T7U	NO_3^-	objem odtoku	1,00
		koncentrace analytu	0,08
	PO_4^{3-}	objem odtoku	0,93
		koncentrace analytu	0,17
	NL	objem odtoku	0,14
		koncentrace analytu	0,95
P32	NO_3^-	objem odtoku	0,85
		koncentrace analytu	-
	PO_4^{3-}	objem odtoku	0,39
		koncentrace analytu	0,71
	NL	objem odtoku	-
		koncentrace analytu	0,95

Zhodnocení ohroženosti zemědělské půdy vodní erozí v ploše povodí

Náchylnost zemědělských pozemků k produkci povrchového odtoku a smyvu je dána především jejich sklonitostí a délkou odtokové dráhy. Celkem je v povodí evidováno 5 247 pozemků (farmářských bloků LPIS), průměrná výměra jednoho pozemku orné půdy činí 9,77 ha. Nicméně v povodí je rovněž 171 pozemků s výměrou větší než 40 ha, 81 pozemků s výměrou větší než 50 ha, což jsou rozlohy, u kterých je nutno předpokládat riziko formování erozního odtoku dokonce v jeho soustředěné formě, která je erozně velmi nebezpečná.

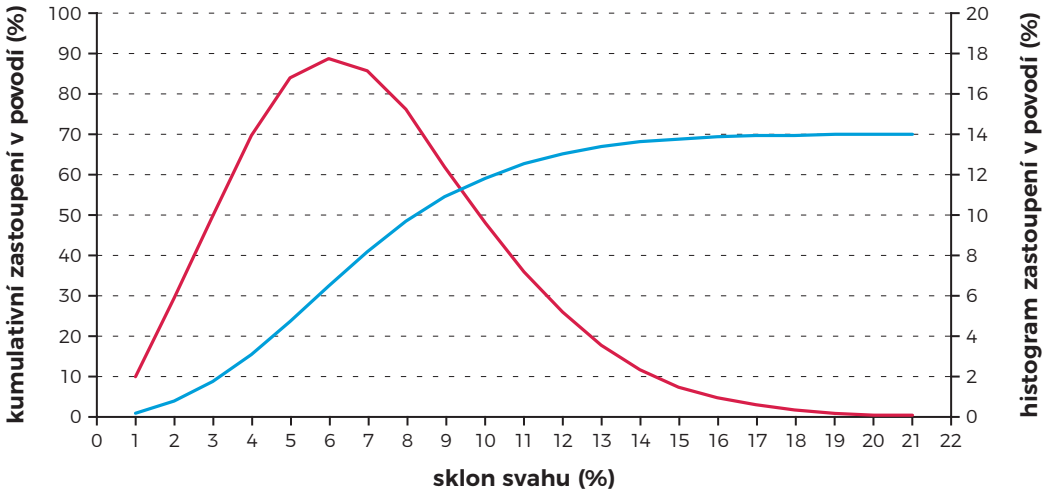
Pokud se týká sklonitosti, i zde je riziko nevhodného hospodaření na orné půdě v povodí vysoké. Z grafu 69 je zřejmé, že více než 65 % plochy orné půdy se nachází na svazích převyšujících pětiprocentní sklon (průměrná hodnota sklonu na orné půdě v povodí je rovna 6,67 %), více než 10 % zorněných ploch (7 649 ha!) převyšuje desetiprocentní sklon, což jsou lokality k tomuto využití bez intenzivních protierozních opatření nevhodné.

Kontrolu podmíněnosti a zavádění standardu dobrého zemědělského a environmentálního stavu (DZES) jako jednu ze základních podmínek stanoví realizaci ochranných opatření pro pozemky se sklonem převyšujícím 7°. To odpovídá sklonu 12,3 % a pokud by nebyl v metodice DZES omezen tento kontrolní mechanismus na průměrný sklon celého bloku, týkal by se v povodí Želivky asi 3 300 ha pozemků s ornou půdou.

Orientační mapku průměrných sklonů pro jednotlivé pozemky na orné půdě v povodí ukazuje obrázek 81.

Riziko smyvu na orné půdě je samozřejmě rovněž dáno zrnitostí, obsahem organické hmoty a dalšími půdními vlastnostmi, stejně

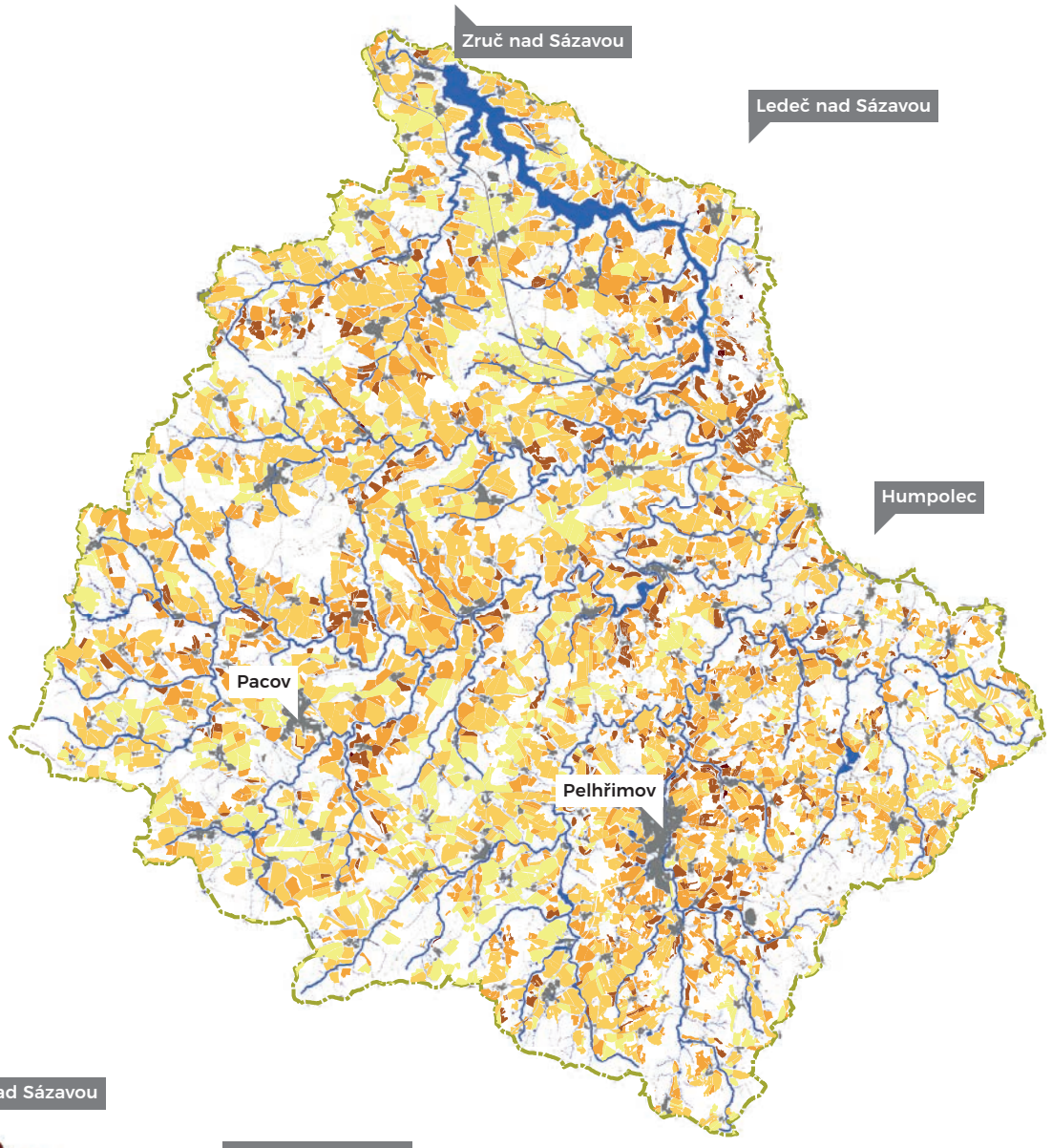
Graf 69: Rozložení sklonů na orné půdě v povodí Želivky.



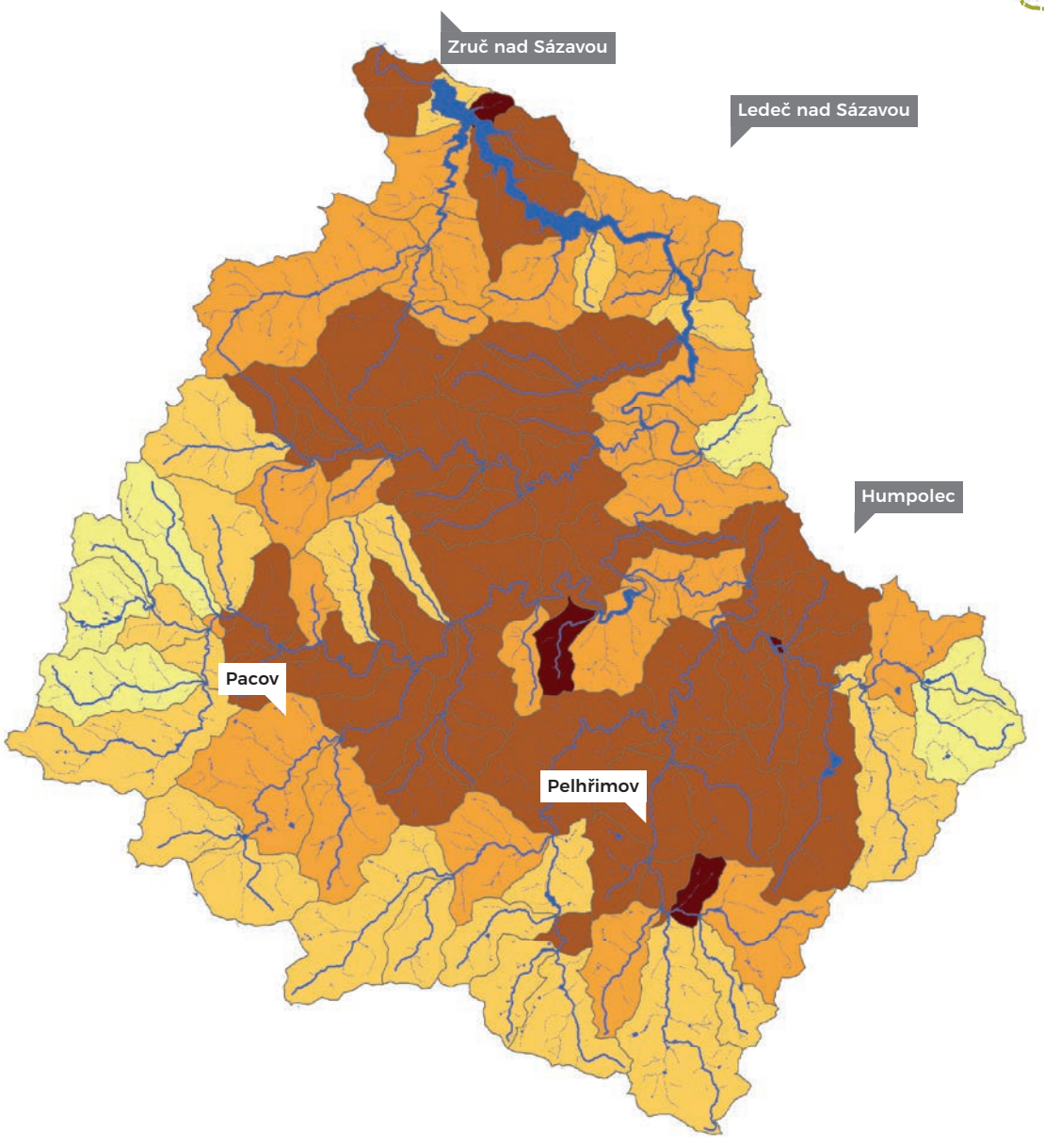
jako charakteristikami srážek v zájmové oblasti. Parametry půdy souhrnně označujeme jako erodovatelnost půdy. Lze ji vyjádřit např. faktorem erodovatelnosti půdy používaným při výpočtu smyvu metodou USLE. Pro přehled je uvedena mapka průměrné erodovatelnosti půdy na pozemcích orné půdy v jednotlivých povodích IV. řádu, tak jak byla určena konverzí podle platné metodiky (Janeček a kol., 2012) z map BPEJ (obrázek 82).

Hodnoty faktoru erodovatelnosti v škále, kterou jsou vyjádřeny na obrázku, si můžeme představit jako procentní význam půdních vlastností pro výsledný smyv. Z obrázku je proto zřejmé, že i přes existenci značně variabilních půd v rámci celého povodí, jejich erodovatelnost na pozemcích orné půdy se v jednotlivých regionech téměř neliší. Průměrné hodnoty K faktoru se pohybují v rozmezí 0,27–0,36, což odpovídá střední erodovatelnosti výrazně převládajících kambizemí na zemědělských půdách v povodí. Na většině území se hodnoty pohybují v rozmezí 0,30–0,33, což indikuje, že půdní charakteristiky se na variabilitě transportu splavenin z povodí primárně nepodílejí, pokud není kvalita půdy výrazně ovlivněna jejím dlouhodobým zpracováním.

Dalším podstatným faktorem, který ovlivňuje aktuální erozní ohroženost zemědělských pozemků, je vegetace na pozemku. Pro výpočet



Obrázek 81: Průměrné sklony pozemků LPIS (sklon orné půdy v %).



Obrázek 82: Průměrná hodnota K faktoru na pozemcích orné půdy v povodích IV. řádu.

Rámeček 35

Model
USLE

Většina modelů používaných v měřítku velkých povodí pro výpočet erozního smyvu a transport splavenin nějakým způsobem ve své struktuře využívá základní koncepci výpočtu pomocí tzv. **Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE)**. Některé modely rovnici různým způsobem adaptují a doplňují o další parametry, jiné modely využívají pouze jednotlivé erozní činitele této rovnice a ostatní vztahy nahrazují. Model WATEM/SEDEM, odvozený týmem vědců na Katolické univerzitě v Leuvenu a využitý pro řešení ztráty půdy a transportu splavenin v povodí Želivky, používá rovnici USLE pro určení smyvu a doplňuje ji odhadem transportní kapacity povrchu, aby stanovil opět sedimentující část erodovaného materiálu.

USLE (Wischmeier and Smith, 1978) je typickým představitelem empirických metod výpočtu ztráty půdy. Jedná se o jednoduchý vztah se šesti parametry, jejichž přesnost se ovšem výrazně podílí na získaných výsledcích. Metoda byla řadu let využívána pouze pro návrhové postupy na jednotlivých pozemcích – jako manuální výpočet se stanovováním charakteristických podélných profilů jednotlivých svahů. V posledních 15 letech se stále více prosazuje ve spojitosti s GIS pro výpočty v celých povodích. Rovnice byla postupně odvozena v USA a jejím výstupem je průměrná roční hodnota ztráty půdy v tunách na hektar (t/ha rok).

Základní tvar Univerzální rovnice ztráty půdy je tvořen součinem šesti faktorů:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \qquad (15)$$

G je dlouhodobá průměrná ztráta půdy na pozemku, lokalitě nebo v povodí způsobená plošnou erozí bez uvažování depozic (není to tedy celkový odnos z pozemku). V původní mezinárodní literatuře je označována jako A.

Všechny faktory byly určeny empiricky statistickým vyhodnocením smyvu na jednotkových pozemcích délky 22 m a sklonu 9 % a na pozemcích s jednotkovými pozemky porovnávaných. První dva faktory určují skutečnou ztrátu půdy na jednotkových pozemcích pro definované půdy a intenzivní srážky a lze je proto vyjádřit ve fyzikálních jednotkách (např. soustavy SI).

R je faktor erozní účinnosti srážek definovaný jako součin kinetické energie deště a jeho největší 30minutové intenzity. Je obvykle vyjadřován roční sumou a je tedy závislý též na četnosti výskytu srážek (Mj · cm/ha · h).

K je faktor erodovatelnosti půdy vyjadřující náchylnost půdy k erozi v závislosti na struktuře půdy, její propustnosti, obsahu humusu a dalších vlastnostech (t · h/Mj · cm).

L je faktor délky svahu a zohledňuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku).

S je faktor sklonu svahu. Velikost sklonu svahu vyjádřená tímto faktorem erozi velmi výrazně ovlivňuje (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku sklonu 9 %).

C faktor vyjadřuje vliv osevního postupu a agrotechniky. Udává poměr ztráty půdy z vyšetřovaného pozemku a z jednotkového pozemku s trvalým úhorem při zachování zbylých parametrů, zohledňuje tedy ochranný vliv vegetace (bezrozměrný).

P faktor vyjadřuje vliv protierozních opatření (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku).

Při klasickém způsobu výpočtu se na každém pozemku stanoví charakteristické odtokové dráhy plošného odtoku (tzv. profily) a všechny faktory rovnice se určují pro plochy těmito profily reprezentované. Podrobnost a kvalita řešení je výrazně závislá na správném stanovení profilů. Výpočet pomocí GIS není založen na určování jednotlivých průměrných hodnot ztráty půdy G pro pozemek, ale na vytvoření informačních vrstev, kde každý parametr USLE je stanovován lokálně se zohledněním místních nehomogenit v závislosti na zvoleném rozlišení (velikosti pixelu). Nejvíce se tato podrobnost projeví u lokálního určení faktorů sklonu a délky svahu. Výsledky prezentované v této kapitole byly získány řešením v rozlišení 10 × 10 m.

Rámeček 36

Model
WATEM/SEDEM

WATEM/SEDEM je empirický distributivní model erozních a transportních procesů. Model byl odvozen v Belgii (Van Rompaey et al., 2001, Verstraeten et al., 2002, Van Oost et al., 2000), podrobný popis modelu a popis všech parametrů, vstupů i výstupů uvádí pro české prostředí například Krása (2004). Hlavní výhody daného modelu jsou:

- Plně automatizovaný výpočet včetně transportu říční sítí a zachycení ve vodních nádržích (při adekvátní přípravě vstupů).
- Výstupní tabulka hodnot eroze, transportu i sedimentace pro celé povodí.
- Výstupní tabulka hodnot zanášení každé vodní nádrže v povodí.
- Výstupní tabulka hodnot vstupu sedimentu z přilehlých pozemků do každého zahrnutého úseku říční sítě.
- Podrobné mapové výstupy eroze i sedimentace v povodí.
- Snadné testování scénářů hospodaření v povodí a dopadu variant na odnos půdy a zanášení vodních toků.

Model počítá v rastru zvoleného rozlišení pro každý element hodnotu průměrné roční ztráty půdy (metodou 2D USLE) a porovnává ji s transportní kapacitou povrchového odtoku. Tím je určena jednak ztráta půdy a jednak depozice v každém elementu. Model řeší trajektorii povrchového odtoku moderním přístupem vícesměrného dělení odtoku v závislosti na morfologii povrchu. Pomocí modelu je vypočten transport erozních splavenin do vodních toků, kterými je pak transportován dále ve směru proudění. Jako redukce transportovaných erozních splavenin v hydrografické síti se uplatňují pouze vodní nádrže, u nichž je jednotlivě pro každou zvlášť určen poměr zachycení vycházející z dlouhodobé průměrné doby zdržení (Dendy and Champion, 1978). Hydrografická síť včetně vodních nádrží je slinkována do podoby orientovaného grafu a erozní splaveniny jsou touto sítí posouvány a bilancovány od uzlu k uzlu. Jejich celkový objem je redukován v každé jednotlivé vodní nádrži na trase. Výstupní tabulky modelu WATEM/SEDEM je možno přiřadit zpět vektorové vrstvě vodních toků a vodních nádrží a prezentovat transport splavenin ve vodních tocích formou mapového výstupu.

pomocí Univerzální rovnice ztráty půdy je tento vliv popsán hodnotou dlouhodobého ochranného vlivu vegetace (C faktor), který zohledňuje zařazení jednotlivých plodin do osevního postupu na daném pozemku. Každá plodina je metodicky podle USLE charakterizována bezrozměrným součinitelem v intervalu 0–1, který popisuje vliv dané rostliny na ztrátu půdy v porovnání s holým povrchem půdy bez vegetace. Hodnoty se stanovují pro každou plodinu osevního postupu v závislosti na jejím vývoji v průběhu roku a následně se průměrují hodnoty za celý osevní postup. Tento parametr tak velmi dobře postihuje přístup USLE, která popisuje dlouhodobé průměrné hodnoty roční ztráty půdy a nikoliv následky jediné srážkoerozní události.

Získat pro větší území v současné době podrobná data o osevních postupech je velmi náročná úloha. Jako v současnosti nejvýhodnější přístup je využití dat soustředěných a zpracovaných v publikaci Mistr a kol. (2015). Kombinací osevních postupů sestavených jako zastoupení pěstovaných plodin pro jednotlivé okresy s rozložením pěstebných období podle nadmořských výšek byla v rámci citovaného projektu (Vopravil a kol., 2015) vytvořena tabulka doporučených hodnot C faktoru pro jednotlivé okresy a nadmořské výšky. Pro zájmové území VN Švihov na Želivce se tak hodnoty faktoru C pohybují v rozmezí od 0,20 pro pramenní oblasti s nejvyšší nadmořskou výškou (nad 500 m n. m.) po 0,27 pro oblasti dolních částí povodí. Tyto hodnoty odpovídají osevním postupům s vysokým zastoupením obilovin, řepky, pícnin a menšímu podílu kukuřice a brambor, což je charakteristická skladba plodin v povodí VN Švihov na Želivce.

Způsoby stanovení transportu erozních splavenin a P jsou popsány v rámečku 35–37.

Zachycení sedimentu ve vodních nádržích

Úloha zadržení sedimentu ve vodních nádržích je v simulačních modelech řešena různými způsoby individuálně, často jsou využity empirické přístupy sledující závislost poměru zachycení na průtokových charakteristikách a morfologii vodní nádrže. Hlavními citovanými metodami v této souvislosti bývají Brownova metoda (Brown, 1944), metoda Bruneho křivek (Brune, 1953) a metoda popsaná Churchillem (Churchill, 1948), přičemž metoda Bruneho křivek je obvykle považována za nejvýhodnější. Metodu je možno verifikovat (resp. kalibrovat) dlouhodobým kontinuálním monitoringem transportu splavenin na vtoku a na výtoku z vodní nádrže. Z hlediska bilance sedimentu a živin je třeba zohlednit všechny nestandardní zásahy a manipulace se sedimentem, to je pravidelné proplachování některých vodních nádrží, odtěžování sedimentu a u rybníků rovněž výlovy, jež mohou sediment v nemalé míře uvolňovat.

Co se týká transportu sedimentu z jednotlivých částí povodí a jednotlivými přítoky a jeho předpokládaného zachycení ve velkých rybnících a představěných vodních nádržích VN Švihov na Želivce, situace je prezentována na obrázku 86 a 87. Nádrže s předpokládaným dlouhodobým ročním zachycením sedimentu přesahujícím 300 tun sedimentu jsou přehledně prezentovány – seřazeny podle objemu zachycovaného sedimentu v tabulce 54.

V případě fosforu se pořadí nejzatíženějších vodních nádrží mírně mění, nikoli však na prvních místech. Hodnoty celkového erozí transportovaného fosforu pro 22 nejvýznamnějších vodních nádrží z hlediska zachycovaného P_{celk} jsou prezentovány v tabulce 55.

Při porovnání obou tabulek se ukazuje, že zejména u menších vodních nádrží (rybníků) se ve výběru nejzatíženějších vodních

Rámeček 37

Zachycení sedimentu ve vodních nádržích a transport erozního fosforu

Analytické vyjádření střední Bruneho křivky po rozšířené kalibraci sestavili Dendy and Champion (1978). Výsledný poměr zachycení sedimentu je v tomto vyjádření závislý na dlouhodobé době zdržení (tzv. capacity inflow ratio – C/I). Pro její stanovení je třeba určit objem každé řešené vodní nádrže a dlouhodobý průměrný průtok q_a profilem hráze.

$$TE = 100 \cdot 0{,}97^{\,0{,}19^{\,\log(C/I)}}, \qquad (15)$$

kde *TE* – poměr zachycení (%);
C – zásobní objem vodní nádrže (m^3);
I – roční průměrný průtok nádrží (m^3/rok).

Kombinace uvedených metod – tedy matematického modelu WATEM/SEDEM a empirického stanovení poměru zachycení podle Bruneho byla v ČR mnohokrát testována s dobrým výsledkem. Díky podstatě obou metod, které jsou založeny na dlouhodobých průměrech odvozených na dlouhodobých datových sadách, metody fungují tím lépe, čím je jednak větší řešená plocha a jednak delší sledované období. V případě povodí VN Švihov na Želivce jsou obě tato hlediska příznivá – plocha povodí přesahuje 1 000 km^2, a protože diskuze je o kvalitě vody, tedy dlouhodobých procesech, je možno pracovat s časovým horizontem asi 20 a více let. Pro tyto podmínky byla spolehlivost metody, testovaná na řadě lokalit v ČR, velmi dobrá.

Transport erozního fosforu

Během erozního procesu dochází k přednostnímu vymývání jemnější půdní frakce (hlavně půdních koloidů). Tato frakce obsahuje vzhledem ke svému velkému specifickému povrchu hlavní podíl sorbovaného fosforu v půdě. Výsledkem erozního procesu je proto větší obsah fosforu v erodovaném materiálu než v půdě, která byla vystavena erozi. Mluvíme o tzv. obohacení sedimentu fosforem. Vztah mezi stupněm obohacení a smyvem půdy odvodili Massey a Jackson (1952) jako negativní lineární závislost mezi logaritmem poměru obohacení *(ER)* a logaritmem smyvu vyvolaného přívalovou srážkou. Čím větší je tedy smyv, tím menší je poměr obohacení. Z tohoto obecného vztahu mnohem později, na základě měřených dat množství celkového a biologicky přístupného fosforu v sedimentu povrchového odtoku, odvodil Sharpley (1995) příslušné koeficienty a získal tak následující rovnici:

$$ln\,(ER) = 1{,}21 - 0{,}16 \cdot ln\,(G), \qquad (16)$$

kde *G* je průměrná roční ztráta půdy v t/ha rok.

Pro řešení v podmínkách ČR byla Sharpleyho rovnice zapracována do konceptu výpočtu pomocí modelu WATEM/SEDEM. Výstupem jsou hodnoty P_{celk} (kg/rok), a to jak pro jednotlivé elementy, tak pro povodí různých úrovní. Příprava vstupu pro modelování tak spočívá v přípravě doplňující vstupní mapové vrstvy, zaručující redukci celkového množství půdy (splavenin – t/rok) na celkové množství fosforu P_{celk} (kg/rok).

Rámeček 38

Příprava vstupních dat pro matematický model

Pro výpočet v povodí Želivky byly využity následující vstupní údaje:

Digitální model terénu v rozlišení 10 m odvozený z nejpodrobnějšího celorepublikového modelu DMR4G (ČÚZK).

Mapa využití území vytvořená sjednocením databází Základní báze geografických dat (ZABAGED) a veřejného registru půdy – Land parcel identification system (LPIS).

Topologický model hydrografické sítě splňující specifické požadavky modelu WATEM/SEDEM. Použitým datovým podkladem byla vektorová síť vodních toků ZABAGED, kterou však bylo nutné pro dosažení výše jmenovaných podmínek podrobit velkému množství automatických i ručních úprav.

Prostorově variabilní mapa hodnot R faktoru (faktor erozní účinnosti deště) pro období 2003–2012 odvozená ve spolupráci VÚMOP, ČHMÚ a ČVUT (Novotný a kol., 2013). Vrstva poskytuje relevantní údaje o skutečném erozním účinku srážek v povodí během posledních 10 let. Alternativou k tomuto nejpřesnějšímu řešení je provedení výpočtu s konstantní hodnotou: $R = 40$ Mj · cm/ha · h, která je doporučována v platné Metodice (Janeček a kol., 2012), tato hodnota nicméně představuje riziko podhodnocení skutečného transportu smyvu v povodí. V celorepublikovém měřítku byl tento přístup sice již názorově překonán, nicméně dosud nevyšla jiná platná metodika a pro projektování pozemkových úprav je tato hodnota v době tvorby této publikace (září 2017) stále platná.

Informační vrstva hodnot faktoru erodovatelnosti půdy K vznikla prostým přiřazením příslušných hodnot faktoru K podle kódu HPJ databáze BPEJ na základě platné metodiky (Janeček a kol., 2012).

Morfologický faktor LS je v řešené studii počítán přímo v modelu WATEM/SEDEM pomocí inkorporovaného modulu USLE2D a ve výpočtu bylo použito tzv. vícesměrné dělení odtoku.

Informační vrstva C faktoru byla vytvořena na podkladě mapy využití území. Výpočet byl prováděn pouze na pozemcích zemědělské půdy, která vznikla kombinací vrstev LPIS a ZABAGED. Klíčové jsou plochy orné půdy, kde je hodnota C faktoru určována na základě osevního postupu. Proto byla využita data soustředěná a zpracovaná týmem VÚMOP (Mistr a kol., 2015) v rámci výzkumného úkolu KUS „Vliv očekávaných klimatických změn na půdy v ČR a hodnocení jejich produkční funkce“ pro celé území ČR po jednotlivých podnicích okresů šetřením Agentur pro zemědělství a venkov (AZV) v roce 2011.

Protierozní opatření nebyla do výpočtu uvažována, hodnota faktoru P byla proto ve všech výpočtech uvažována rovna 1,0. To odpovídá běžně užívanému postupu v regionálních studiích, neboť údaje o konkrétních opatřeních nejsou k dispozici a v podmínkách ČR obvykle mají minimální účinek na celková transportovaná množství splavenin z povodí.

Na základě polygonů DIBAVOD/ZABAGED byla vytvořena topologická vrstva polygonů vodních nádrží větších než 0,25 ha. Do této databáze byly převzaty objemy z databáze DIBAVOD a dalších dostupných informačních zdrojů. Pro zbylé vodní nádrže bez objemu (většina malých vodních nádrží) byl objem empiricky dopočten. Na drobných vodních tocích s dostupnými daty byly převzaty údaje o průměrných ročních dlouhodobých průtocích z evidenčních listů hlásných profilů ČHMÚ (zejména pro většinu větších vodních nádrží). Na drobných vodních tocích s nedostupnými daty byl roční průměrný průtok nádrží odvozen z digitální vrstvy specifických odtoků pro povodí IV. řádu. Ta byla vytvořena ve VÚV TGM digitalizací hodnot specifických odtoků, tabelovaných pro povodí IV. řádu v publikaci Hydrologické poměry ČSSR, díl II (1978). Pro profil každé vodní nádrže byla v GIS vypočtena plocha jejího povodí a následně pak dlouhodobý průtok v závislosti na průměrném specifickém odtoku v povodí dané vodní vodní nádrže (Krása a kol., 2013).

Tabulka 53: Celkové zatížení VN Švihov na Želivce erozními splaveninami a erozním fosforem (stav v roce 2016)

Obecné charakteristiky povodí	
Plocha povodí (km^2)	1 186,4
Orná půda (%)	46,1
Lesní plochy (%)	30,5
Zatravněné plochy (%)	12,8
Ostatní plochy (%)	6
Počet vodních nádrží	552
Celková délka toků (km)	1 567
Počet úseků VT	4 778
Eroze	
Celková eroze (t/rok)	722 547
Intenzita eroze (t/ha rok)	6,08
Celkové zachycení ve VN (t/rok)	119 085
Celkové zachycení v ploše povodí mimo VN (t/rok)	572 912
Vstup splavenin do VT (t/rok)	149 635
Celkové SDR (%)	6,6
Roční procento zaplnění ostatních VN (%)	0,417
Fosfor	
Celkový erodovaný P_{celk} (kg/rok)	1 256 835
Intenzita smyvu P (kg/ha rok)	10,58
Celkové zachycení ve VN (kg/rok)	44 975
Celkové zachycení P v ploše povodí mimo VN (kg/rok)	1 113 166
Vstup P do VT (kg/rok)	143 669
Celkové zachycení P v ploše povodí mimo VN (kg/ha rok)	9,4
SDR pro smyv a fosfor	
Transport do vodních toků vůči celkovému smyvu – sediment (%)	21
Transport do vodních toků vůči celkovému smyvu – fosfor (%)	11
VN Švihov na Želivce	
Objem vodní nádrže (tis. m^3)	309 000
Poměr zachycení (%)	97
Přítok splavenin ze svahu (t/rok)	5 347
Přítok splavenin z vodního toku (t/rok)	42 533
Přítok splavenin (t/rok)	47 880
Zachycené splaveniny (t/rok)	46 444
Zachycené splaveniny (m^3/rok)	38 703
Dále vodním tokem splaveniny (t/rok)	1 436
Roční procento zaplnění cílové VN (%)	0,015
Přítok P_{celk} z vodního toku (kg/rok)	12 911
Přítok P_{celk} ze svahu (kg/rok)	2 296
Přítok P_{celk} (kg/rok)	15 207
Zachycený P_{celk} (kg/rok)	14 751
Dále vodním tokem P_{celk} (kg/rok)	456

Poznámky

VT – vodní tok, VN – vodní nádrž,
MVN – malá vodní nádrž,
SDR – poměr odnosu sedimentů.

Tabulka 54: Bilance vstupu a retence erozních splavenin pro významné vodní nádrže v povodí VN Švihov na Želivce (stav v roce 2016)

Název vodní nádrže	Vstup sedimentu břehovou hranou (t/rok)	Vstup sedimentu vodními toky (t/rok)	Zachycovaný sediment (t/rok)	Dále transportované splaveniny (t/rok)
VN Švihov na Želivce	5 347	42 533	46 444	1 436
VN Trnávka	473	24 622	20 076	5 019
VN Sedlice	75	15 195	12 521	2 749
VN Němčice	139	8 477	6 979	1 637
Valcha	93	1 682	1 189	586
MVN na Předožlabském potoce u Hořepníka	1	1 176	1 130	47
Martinický rybník	56	4 110	1 000	3 166
Hejlovský rybník	92	963	792	263
MVN na Jankovském potoce – Polánky	16	642	578	80
Božejovský rybník	36	571	492	115
MVN na Kopaninském potoce J od Velkého Rybníka	32	497	450	79
Píště	18	1 369	444	943
MVN na Zahrádčickém potoce pod D. Kralovicemi	6	633	434	205
Strážník	30	417	434	13
MVN na Lohenickém potoce – Podolí	8	628	407	229
Horní Kladiny	1	480	405	76
MVN Mlýnský rybník – Útěchovičcký potok pod Útěchovičkami	76	642	388	330
Dvořiště	32	874	380	526
MVN na Lučním potoce S od Čechtic	45	414	372	87
Hronský rybník	1	559	325	235
Starý rybník	41	601	302	340
MVN u Loutkova S od Hořepníka	45	813	300	558

Tabulka 55: Bilance vstupu a retence erozního fosforu pro významné vodní nádrže v povodí VN Švihov na Želivce (stav v roce 2016)

Název vodní nádrže	Vstup fosforu břehovou hranou (kg/rok)	Vstup fosforu vodními toky (kg/rok)	Zachycovaný fosfor (kg/rok)	Dále transportovaný fosfor (kg/rok)
VN Švihov na Želivce	2 296	12 911	14 751	456
VN Trnávka	67	9 153	7 376	1 844
VN Sedlice	2	6 092	4 997	1097
VN Němčice	7	3 478	2 823	662
Valcha	57	672	488	241
MVN na Předožlabském potoce u Hořepníka	0	462	444	18
MVN na Lučním potoce S od Čechtic	0	491	398	93
Martinický rybník	1	1 396	335	1 062
Božejovský rybník	18	365	311	72
Strážník	0	280	272	8
Hejlovský rybník	2	347	261	88
Píště	0	744	238	506
MVN u Loutkova S od Hořepníka	0	614	215	399
MVN u Košetické obory na Košetickém potoce	0	306	202	104
MVN na Jankovském potoce – Polánky	1	218	193	26
MVN Čelistná na Vlásenickém potoce	1	272	188	85
Starý rybník	46	350	186	210
MVN Popelištná na Popelištném potoce	15	522	177	360
MVN V od Kámen na novodvorském potoce pod silnicí na Pelhřimov	0	446	169	277
MVN nad Všebořicemi – Všebořický potok	5	256	167	94
MVN na Kopaninském potoce J od Velkého Rybníka	1	194	166	29
Dvořiště	1	381	160	222

nádrží v povodí VN Švihov na Želivce nejedná o totožné rybníky. V řadě případů jsou vodní nádrže zatíženy velkým přísunem splavenin, nicméně s nižší koncentrací vázaného fosforu a naopak. To je způsobeno nižším nebo naopak vyšším obsahem fosforu v půdách v různých částech povodí. Mimo jiné to velice dobře dokumentuje, že eroze je velmi významným faktorem ovlivňujícím jakost vody, ale vztahy jsou poměrně složité a případná silná zjednodušení mohou být zavádějící.

V obou případech se jasně projevuje kaskádový efekt – rozhodující z hlediska zatížení sedimentem nebo erozním fosforem tak není jen velikost vodní nádrže, ale její poloha v kaskádě.

Hlavní zdroje erozních splavenin a erozního P do VN Švihov na Želivce

Důležité je kromě celkového zatížení hlavní vodní nádrže sledovat i zdroje, odkud znečištění přichází, aby případně bylo možno cíleně navrhovat kompenzační opatření.

V rámci celého povodí VN Švihov na Želivce je možno vyčlenit hlavní přítoky, z nichž některé jsou od hlavní vodárenské zdrže odstíněny novými ochrannými záchytnými představěnými vodními nádržemi (VN Němčice, VN Trnávka) nebo historickými vodními nádržemi (VN Sedlice). Jiné pak jsou do hlavní vodárenské zdrže zaústěny přímo a případnou retenci zajišťují jen původní rybníky v ploše povodí.

Základní členění na bilancované plošné jednotky ukazuje obrázek 83. Příslušné charakteristiky prezentuje tabulka 56. Za hlavní zdroje erozních splavenin a fosforu byly, tak jak je tomu obvyklé i při bilancování jiných veličin, zvoleny následující přítoky:

Sedlický a Čechtický potok – spojené oba potoky, protože následně jsou od hlavní vodárenské zdrže odstíněny ochrannou předzdrží VN Němčice. Ta je v relativním měřítku (na jednotku plochy povodí nebo orné půdy v povodí) nejzatíženější větší vodní nádrží v povodí VN Švihov na Želivce. Tato skutečnost potvrzuje správnost původních plánů, kdy bylo navrženo vybudování ochranné předzdrže bezprostředně před zaústěním Čechtického potoka do VN Švihov na Želivce. Již v 90. letech 20. století rovněž byla VN Němčice jako první z ochranných předzdrží po méně než 20 letech provozu odbahňována, protože míra jejího zabahnění začala významně ovlivňovat dobu zdržení vody v této vodní nádrži a tím i nitrifikační a denitrifikační procesy v ní.

Blažejovický potok – nejmenší z bilancovaných povodí (tabulka 56), jehož hlavní retenci tvoří rybník Rachyně (Píště). Povodí se pohybuje v průměrných specifických hodnotách (ztráta půdy, transport sedimentu i transport P na jednotku plochy). Jeho nižší význam v absolutních číslech je dán jednak poměrně významnou retencí rybníka Rachyně a jednak menší celkovou plochou povodí.

Martinický potok – plošně největší povodí přítoku bez větší retence v povodí. Povodí se co do specifických hodnot (sklony, zastoupení orné půdy, specifické ztráty půdy i erozního P a specifický transport erozních splavenin) pohybuje v průměrných hodnotách. Jeho významný podíl na celkové bilanci je dán velikostí povodí s minimální retencí ve vodních nádržích (pouze několik rybníků) v povodí.

Trnava – plochou povodí nejvýznamnější přítok VN Švihov na Želivce. Bezprostředně před zaústěním do hlavní VN byla vybudována představěná VN Trnávka. Jedná se o povodí s vysokým podílem orné půdy a průměrnými sklony. Specifický smyv je rovněž na průměrné úrovni, stejně jako transport splavenin a erozního fosforu. Zaústění Trnavy do VN Trnávka je nejzatíženějším profilem celého povodí VN Švihov na Želivce, co se týče transportu erozních splavenin a fosforu. Díky významné ochranné představěné nádrži je ale celkový vstup splavenin i erozního P v úrovni asi 65 % hodnot Martinického potoka, který je svou plochou povodí 3 × menší. To velmi dobře dokumentuje efektivitu dobře umístěné ochranné předzdrže.

Želivka (Hejlovka) po Bělou – jedno z významných pramenních povodí s minimální retencí v povodí. Jediným významnějším prvkem je Hejlovský rybník, který je ale situován na jedné z pramenních větví a poměrně vysoko v ploše povodí. Povodí má ale nižší zastoupení orné a nižší sklony na orné půdě. To se projevuje jak nižším specifickým, tak absolutním transportem erozních splavenin i fosforu.

Bělá po Želivku (Hejlovku) – povodí plošně zcela identické s předchozím, stejně tak bez retence v ploše povodí (pouze nevýznamné rybníky), nicméně s významně vyššími sklony půdy na orné. Tomu pak odpovídá vyšší jak specifický, tak absolutní transport splavenin a erozního fosforu do níže ležících úseků vodního toku.

Tabulka 56: Základní charakteristiky a bilance vstupu erozních splavenin a fosforu v rámci hlavních přispívajících povodí v povodí VN Švihov na Želivce (stav v roce 2016)

Vodní tok	Celková plocha povodí	Plocha zemědělské půdy v povodí	Plocha orné půdy v povodí	Průměrný sklon na orné půdě	Specifický smyv – průměrný dlouhodobý smyv na celou plochu povodí	Specifický smyv – průměrný dlouhodobý smyv na plochu orné půdy v povodí	Celkový transport sedimentu do toků v rámci povodí	Transport sedimentu uzávěrovým profilem povodí	Transport celkového erozního fosforu uzávěrovým profilem povodí
	(ha)	(ha)	(ha)	(%)	(t/ha rok)	(t/ha rok)	(t/rok)	(t/rok)	(kg/rok)
Bělá	13 062	7 778	5 105	7,46	5,50	14,07	10 595	6 093	2 311
Blažejovický potok	3 220	1 666	1 401	5,72	5,57	13,28	3 856	2 342	1 044
Hejlovka po Bělou	13 568	8 151	5 570	5,91	4,31	10,50	8 307	4 784	1 982
Hejlovka po Sedlici	28 120	16 846	11 392	6,66	4,94	12,19	20 516	12 217	5 028
Jankovský potok	13 001	7 433	4 269	6,91	3,95	12,03	7 444	2 825	987
Martinický potok	11 510	7 174	5 360	6,34	5,98	12,93	11 961	8 764	2 262
VN Švihov na Želivce z mezipovodí*	17 121	8 790	6 561	7,04	6,71	17,51	30 147	25 594	7 875
Sedlický a Čechtický potok	8 169	5 238	4 242	6,83	8,30	15,98	11 737	1 637	662
Trnava	34 059	20 258	15 094	6,58	5,98	13,49	40 629	5 202	1 862
Želivka po Trnavu	43 600	25 501	16 413	6,75	4,64	12,31	30 253	4 341	1 502

Poznámka: * Pro vlastní VN Švihov na Želivce se nejedná o transport uzávěrovým profilem povodí (odtok z vodní nádrže), protože do hodnoty není uvažováno zachycení ve vodní nádrži. Jedná se vstup do VN přes břehovou hranu a drobnými vodními toky z mezipovodí mimo hlavní bilancované přítoky.

Želivka (Hejlovka) po VN Sedlice – menší povodí mezi soutokem Bělé a Hejlovky po začátek vzdutí VN Sedlice. Povodí jako takové je samo o sobě plošně i charakteristikami nepříliš významné a odpovídá průměru obou výše položených povodí, které do něj ústí. Nátok do VN Sedlice je v zásadě druhým nejvíce zatíženým profilem celého povodí VN Švihov na Želivce (po nátoku do VN Trnávka), co se týče jak erozních splavenin, tak fosforu. Efektivita vodní nádrže se velmi dobře odráží v povodí Želivka po Trnavu, kde je patrný významný pokles transportu díky zachycení ve VN Sedlice.

Jankovský potok po VN Sedlice – středně velké povodí s nejnižším zastoupením ZPF v ploše povodí i orné v rámci ZPF. Kvůli vyšším průměrným sklonům pozemků na orné půdě jsou specifické hodnoty ztráty půdy i transportu erozních splavenin spíše nadprůměrné, ale v celkové bilanci je Jankovský potok nejčistším významným přítokem VN Švihov na Želivce, co do erozních splavenin a fosforu. To dokumentuje i dlouhodobě dobrá jakost vody a historicky i výskyt perlorodky a dalších vzácných druhů vodních živočichů.

Želivka po Trnavu – toto povodí v sobě zahrnuje menší plochu mezi VN Sedlice po soutok s Trnavou bezprostředně pod VN Trnava. Mezipovodí proto odráží retenční efekt VN Sedlice zachycující transport erozních splavenin z povodí Hejlovky, Bělé i Jankovského potoka.

Zbylá plocha mezipovodí VN Švihov na Želivce – plochy povodí všech výše nebilancovaných menších přítoků VN Švihov na Želivce a přítok přímo přes břehovou hranu. Povodí je charakterizováno prakticky nulovou retencí erozních splavenin díky absenci malých vodních nádrží na drobných přítocích do vodárenské nádrže a vysokými sklony pozemků. I když je plocha těchto povodí prostorově roztříštěná, celkově představuje nadprůměrnou rozlohu mezi bilancovanými celky. Díky tomu je celkový vstup erozních splavenin z nebilancovaného mezipovodí největším zdrojem tohoto typu znečištění (tabulka 56).

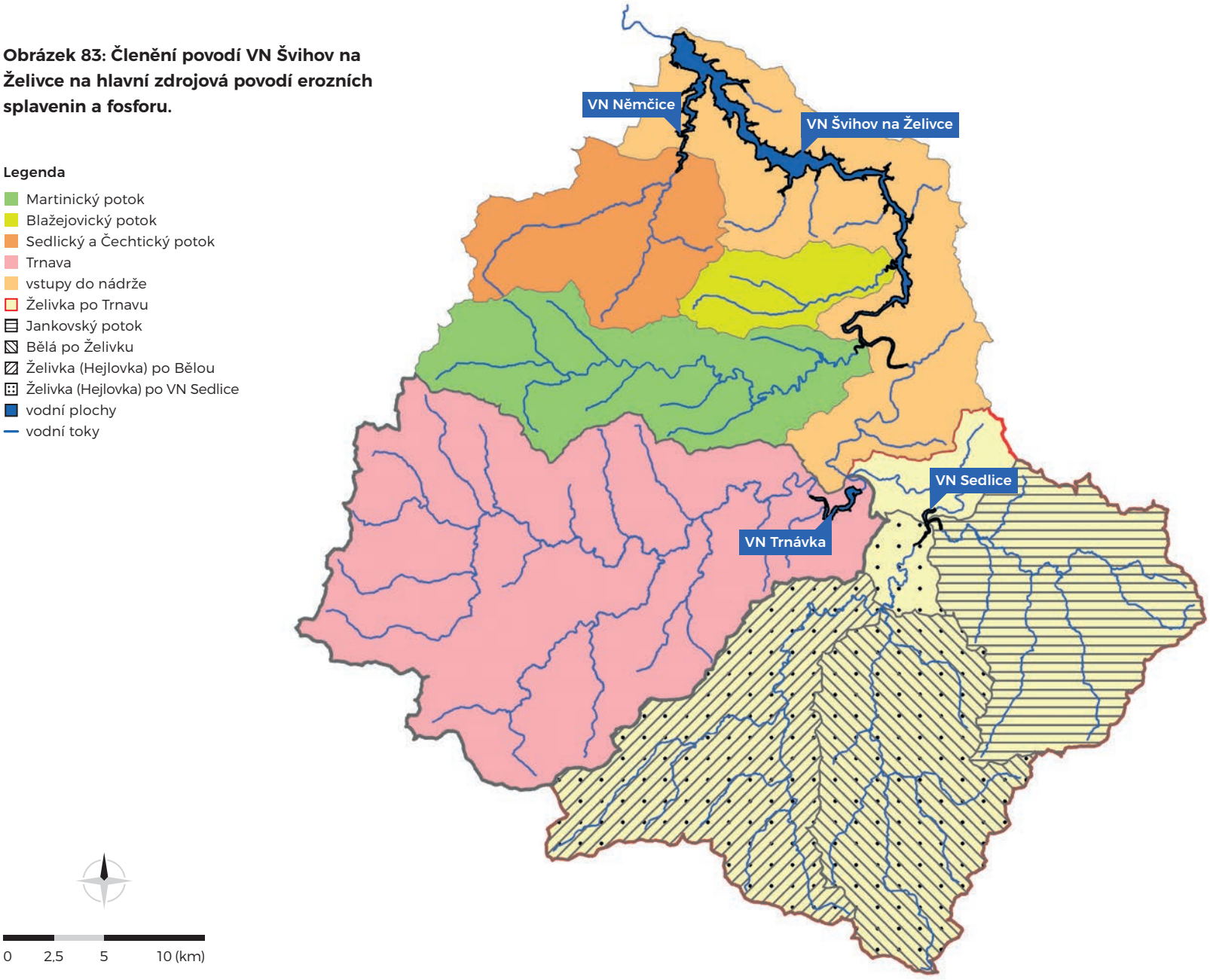
Výsledky výpočetní metody byly validovány reálným měřením objemu erozních splavenin ve VN Němčice a VN Sedlice, stejně jako na přítocích Martinického a Jankovského potoka v 90. letech 20. století a obecně na asi 15 vodních nádržích v rámci celé ČR během posledních 10 let.

Z tohoto pohledu lze oprávněně tvrdit, že celkový průměrný roční vstup splavenin do VN Švihov na Želivce ve výši kolem 75 000 t/rok je velmi reálné číslo, stejně jako zachycené průměrné roční množství asi 45 000 t/rok.

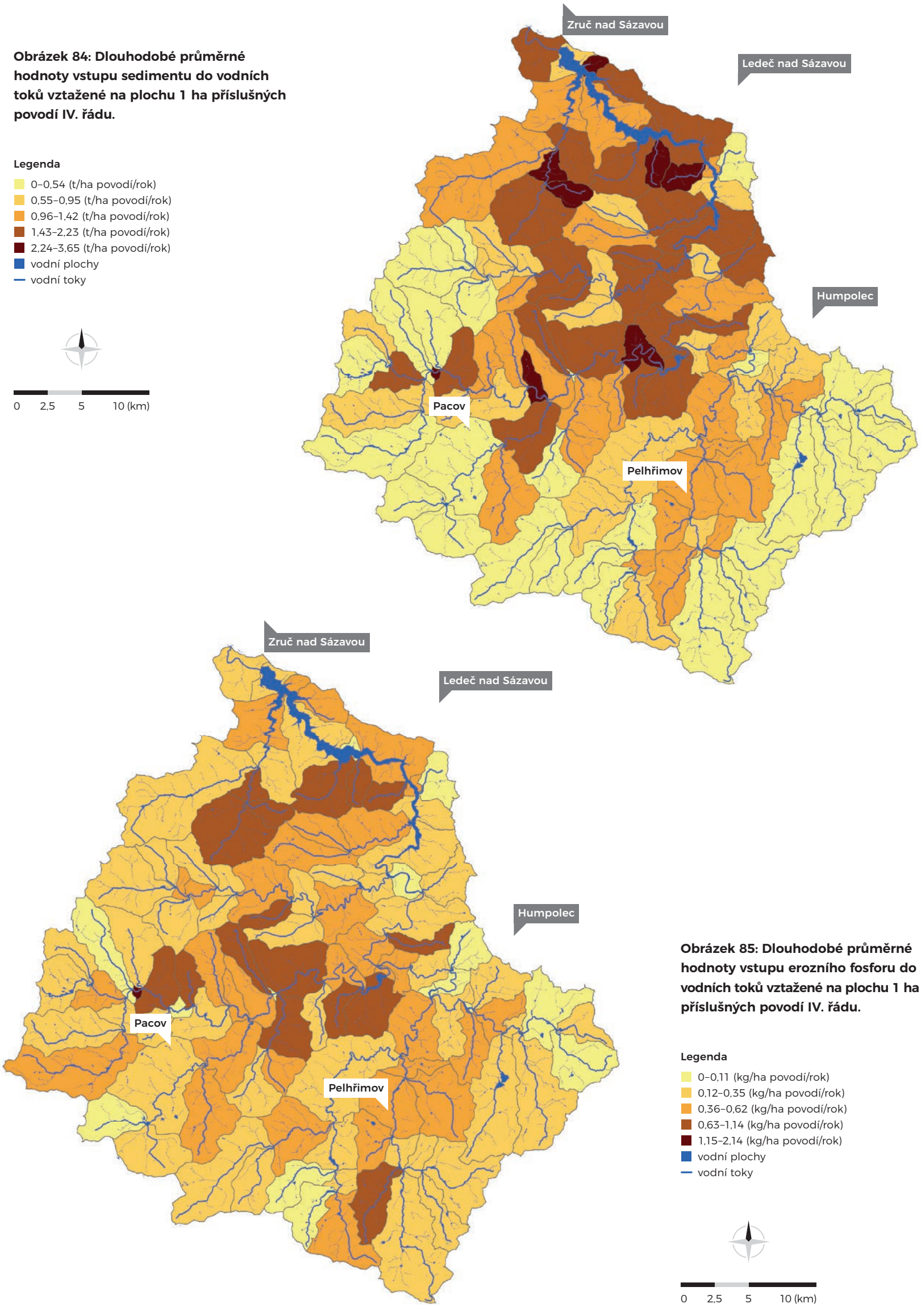
Z hlediska kvality a spolehlivosti výpočtu, jak bylo zdůrazněno již výše, se jedná o popis eroze jako čistě epizodního jevu kontinuálně založeného ryze empirickým přístupem. Míra jeho spolehlivosti tak roste s rostoucí zájmovou plochou řešeného území a dobou popisovanou výpočtem – tím jsou minimalizovány faktory lokálních prostorových singularit i klimatických extrémů, které mohou ovlivnit konkrétní roční úhrny i násobně. Oba tyto faktory jsou v případě povodí VN Švihov na Želivce příznivé – velká plocha povodí i dlouhodobý časový horizont zvyšují věrohodnost a spolehlivost výpočtu. Z hlediska jednotlivých možných nejistot je možno konstatovat:

- Vstupní data byla využita nejkvalitnější soudobá. Digitální model terénu (DMT) dobře popisuje skutečné tvarování terénu a jemné rozlišení minimalizuje zkreslení sklonů. Podrobná matrice tvořena vrstvami ZABAGED a LPIS, umožňuje jednak zahrnout reálnou plochu orné půdy s minimálním rizikem zahrnutí okrajových částí s extrémními sklony a současně se zahrnutím většiny přerušujících prvků v krajině.

Obrázek 83: Členění povodí VN Švihov na Želivce na hlavní zdrojová povodí erozních splavenin a fosforu.



Obrázek 84: Dlouhodobé průměrné hodnoty vstupu sedimentu do vodních toků vztažené na plochu 1 ha příslušných povodí IV. řádu.



Obrázek 85: Dlouhodobé průměrné hodnoty vstupu erozního fosforu do vodních toků vztažené na plochu 1 ha příslušných povodí IV. řádu.

• Za slabinu je možno označit vrstvu faktoru C – tedy vyjádření osevních postupů. I ta sice byla vytvořena na základě ojedinělých dat s maximální možnou přesností – nicméně stále je výsledkem kombinace skutečných osevních postupů z roku 2011 na úrovni jednotlivých zemědělských podniků a GISových dat podle vrstvy okresů a regionů s různými nadmořskými výškami.

• To neumožnilo zahrnout do výpočtu specifické podmínky v ochranných pásmech vodního zdroje, kde je významným způsobem omezena zemědělská výroba. Tato omezení (vyloučení plodin, aplikace technologií apod.) nebylo možné do výpočtu implementovat. Lze proto předpokládat, že celkový transport erozních splavenin i erozního fosforu do VN Švihov na Želivce bude mírně nižší, než naznačuje výpočet. Snížení lze očekávat především v povodí VN Švihov na Želivce mezipovodí (tabulka 56), které zahrnuje nejbližší části podél VN Švihov na Želivce a současně zde je jen minimální retence ve vodních nádržích a rybnících. Snížení bude jednak v podobě menší ztráty půdy jako takové a současně v podobě zvýšené plošné retence splavenin v povodí díky nižšímu poměru odnosu (vyšší drsnosti povrchu a implementaci ochranných pásů a dalších opatření). Situaci dobře dokumentují obrázky 84 a 85.

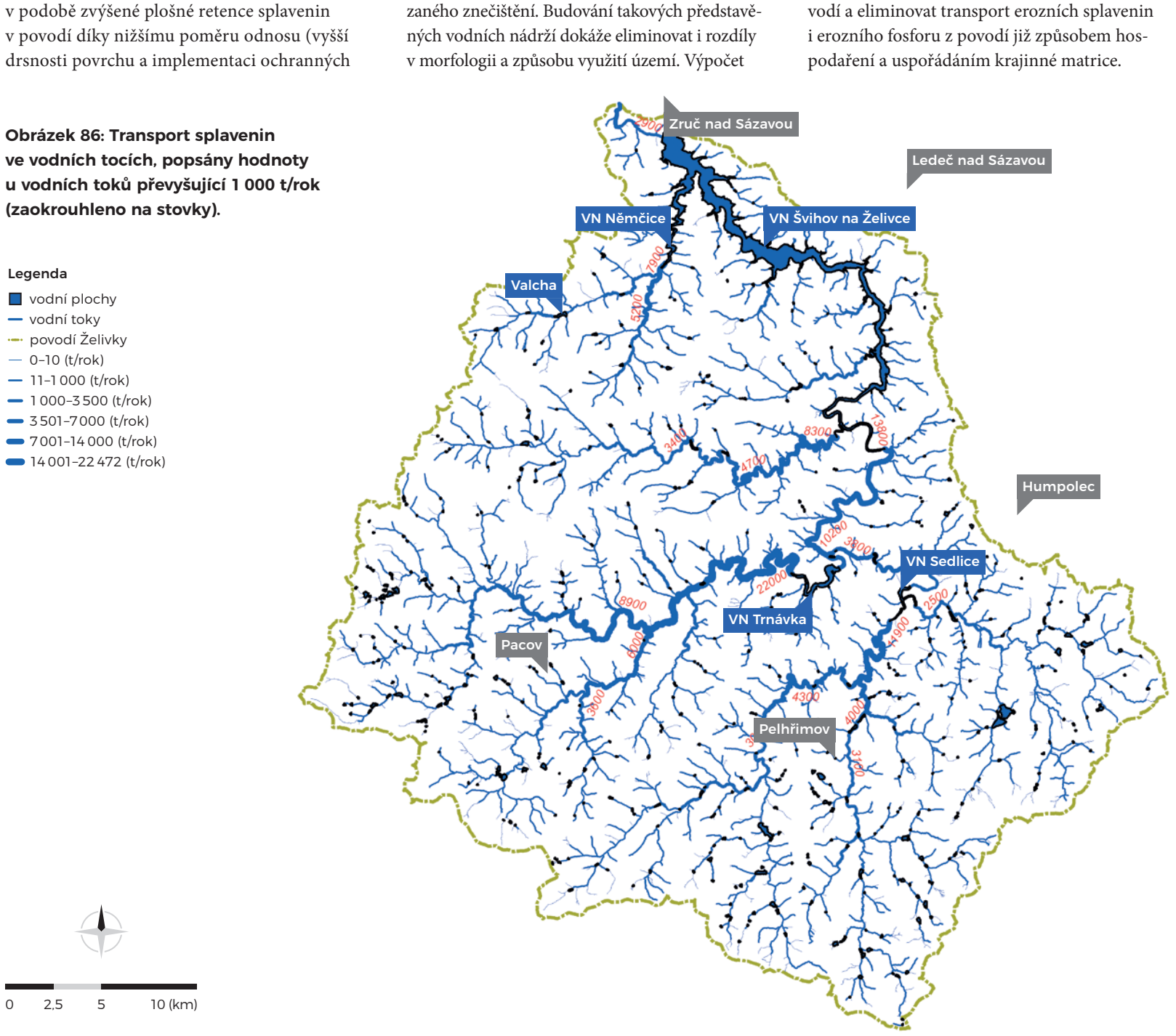
• Celé povodí VN Švihov na Želivce je nepříznivě morfologicky utvářeno a způsob využití území tuto skutečnost zjevně nerespektuje. Obrázky 84 a 85 ukazují specifický vstup (t/ha) erozních splavenin a erozního fosforu do vodních toků. U fosforu není skutečnost tak markantní (obrázek 85) a maximální vstup erozního fosforu je ve středních částech povodí. U vstupu erozních splavenin (obrázek 84) je ale zřejmé, že vstup sedimentu roste směrem k vodárenské nádrži – jedná se o specifické hodnoty, které tedy nejsou ovlivněny velikostí zdrojové plochy. To podtrhuje význam ochranných opatření v blízkosti vodní nádrže a zdůrazňuje nutnost zásadních opatření v rámci ochranných pásem.

Celkově se ukazuje, že vybudování velkých ochranných představěných vodních nádrží těsně nad zaústěním významných přítoků do vodárenské nádrže je velmi efektivním opatřením, které dokáže ochránit hlavní vodárenskou nádrž před většinou transportovaného materiálu a tedy i vázaného znečištění. Budování takových představěných vodních nádrží dokáže eliminovat i rozdíly v morfologii a způsobu využití území. Výpočet jasně dokumentuje, že i dostatečný počet menších průtočných vodních nádrží v ploše povodí (rybníků) může být v tomto směru efektivní. Celkový dopad se ale velké představěné vodní nádrži nikdy nevyrovná. V případě rybníků navíc přistupuje skutečnost, že během manipulací a zejména při výlovu dochází k resuspendaci a následnému vypuštění nezanedbatelných objemů zachycených splavenin níže po toku, což předchozí pozitivní efekt rybníků do značné míry omezuje (může omezovat), neboť resuspendace sedimentu a jejich posun po toku záleží do značné míry na způsobu výlovu a manipulaci na vodárenské nádrži.

Stejně tak se ukazuje zásadní význam vyhlašování a managementu ochranných pásem v případě VN Švihov na Želivce, protože významná část sedimentu vstupuje do vodních toků právě v těsné blízkosti vodárenské nádrže. Další opatření v celé ploše povodí mohou významně přispět k celkovému snížení transportu sedimentů.

Z hlediska efektivity je nicméně jednoznačně nejvýhodnější nedovolit významný rozvoj erozních a transportních procesů v ploše povodí a eliminovat transport erozních splavenin i erozního fosforu z povodí již způsobem hospodaření a uspořádáním krajinné matrice.

Obrázek 86: Transport splavenin ve vodních tocích, popsány hodnoty u vodních toků převyšující 1 000 t/rok (zaokrouhleno na stovky).



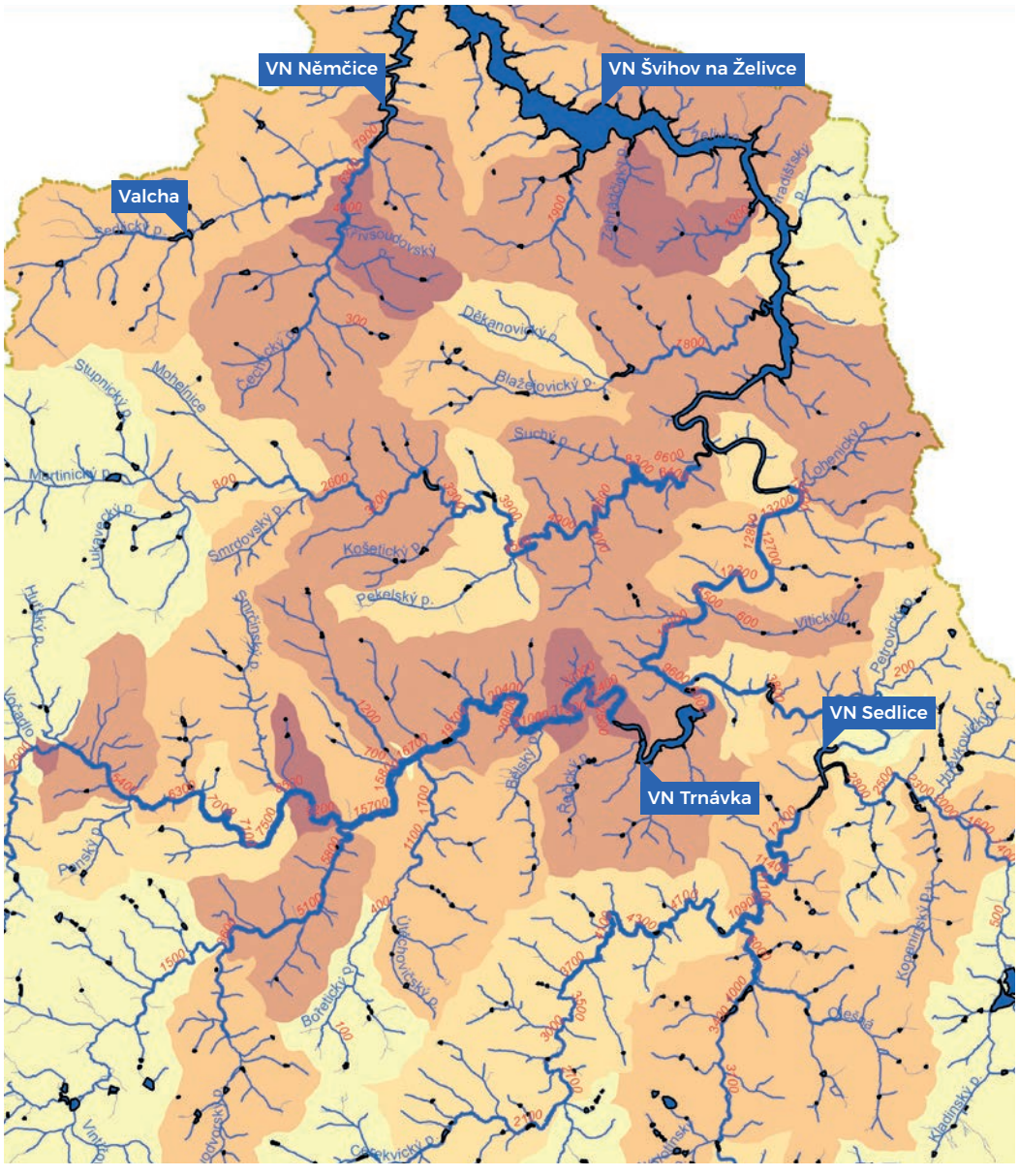
Průměrný dlouhodobý transport splavenin a sedimentu vodními toky v povodí Želivky samozřejmě není zanedbatelný (obrázek 86 a 87). Pokud porovnáme hodnoty dlouhodobého průměrného zachyceného sedimentu do VN Švihov na Želivce s dalšími vodními nádržemi, pro něž byl transport sedimentu v rámci různých projektů modelován a které jsou si podobné morfologicky a klimaticky, získáme následující hodnoty – vodní nádrže jsou seřazeny opět od největšího zachyceného množství (tabulka 57).

Vodní nádrže Orlík a Slapy mají samozřejmě nepoměrně větší povodí, nicméně z hlediska průměrného erozního smyvu v povodí VN Švihov na Želivce jednoznačně vede. Jediná vodní nádrž s ekvivalentně velkým povodím a stejným ročním zachycovaným množstvím sedimentu je VN Brno, v povodí Dyje se pak nachází řada dalších vodních nádrží s ještě vyššími vstupy sedimentu z povodí (Krása a kol., 2013). Ta však v porovnání nejsou zařazena, protože zejména dolní část povodí Dyje je klimaticky, pedologicky i morfologicky zcela odlišná, její povodí je vnímáno jako erozně nejohroženější oblast v ČR. V povodí Vltavy je však z velkých údolních vodních nádrží VN Švihov na Želivce jednoznačně vodní nádrž s nejvyšším specifickým transportem sedimentu v rámci povodí celé vodní nádrže (průměrný dlouhodobý smyv v povodí podle výpočtu převyšuje hodnotu 6 t/ha rok).

K zamyšlení v této souvislosti vybízí především fakt, že tato vodárenská nádrž je současně ze všech uvedených vodních nádrží jednoznačně nejvýznamnější jakožto zdroj pitné vody (největší zdroj pitné vody v ČR) a ochrana jakosti vody by zde proto měla mít jasnou prioritu. V předchozí kapitole v diskuzi sice bylo zmíněno, že do výpočtu se nepromítl vliv PHO, resp. OPVZ v mezipovodí vodárenské nádrže, nicméně na čelních místech celého seznamu figurují i všechny tři ochranné předzdrže VN Švihov na Želivce.

Tabulka 57: Hodnoty průměrného ročního zachycení erozních splavenin ve významných vodních nádržích v ČR

Vodní nádrž	Průměrné roční množství zachycených splavenin (t/rok)	Vodní nádrž	Průměrné roční množství zachycených splavenin (t/rok)
VN Orlík	189 923	VN Kamýk	7 450
VN Slapy	54 006	VN Němčice	6 979
VN Švihov na Želivce	46 444	rybník Okrouhlík	5 895
VN Vrané	42 634	Horusický rybník	5 265
VN České údolí	31 788	rybník Pokoj	4 667
VN Hracholusky	27 443	VN Kořensko	4 628
VN Hněvkovice	26 804	VN Žlutice	4 263
VN Trnávka	20 076	VN Lipno I	3 780
VN Sedlice	12 521	VN Štěchovice	3 057
Huťský rybník	10 205	rybník Bezdrev	2 988
VN Hostivař	9 287	rybník Strašík	2 543
VN Římov	8 866		



Obrázek 87: Transport splavenin a sedimentu ve vodních tocích, popsány hodnoty u vodních toků převyšující 100 t/rok (zaokrouhleno na stovky).

3.3

Petr Fučík, Tomáš Kvítek, Zbyněk Kulhavý, Antonín Zajíček, Václav Bystřický, František Doležal, Renata Duffková, Igor Pelíšek, Jiří Vojar

Jakost vody a odnosy látek podpovrchového odtoku

Zpět k pramenům

Přichází na svět a nemá viny!
Zvolna se rozlévá do krajiny!
Matkou je mu Zem po které zvolna stéká
Rodí se jako pramen a umírá jak řeka.
Půjdem zpět k pramenům
Půjdem zpět k pramenům

K vodě a kamenům
K vodě a kamenům
K vodě a kamenům
Zpět k pramenům.

Bedřich Ludvík
Režisér České televize

Faktory a mechanismy ovlivňující vyplavování dusičnanů do podpovrchových a drenážních vod

Při pokusu o vysvětlení vlivu drenážních systémů na vyplavování dusičnanů z povodí je nutno vzít v úvahu přinejmenším tři různé mechanismy.

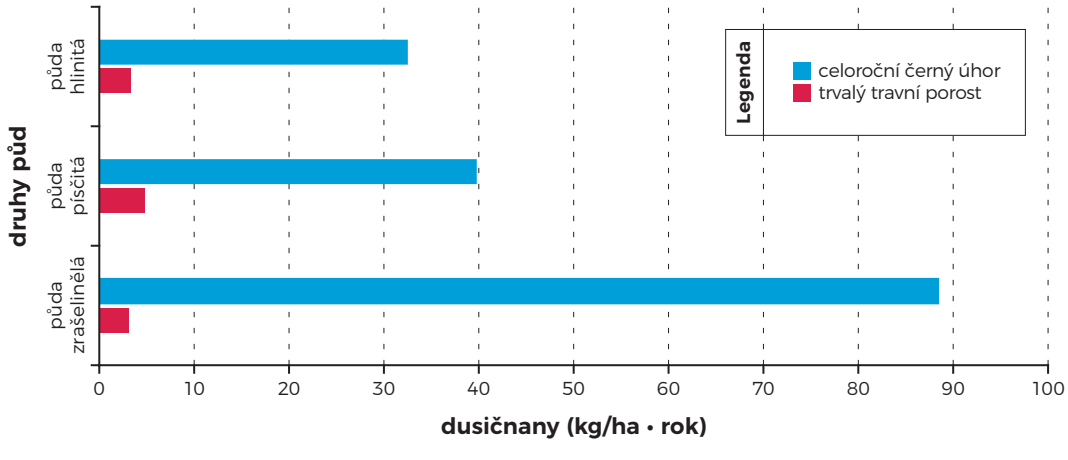
1. Mechanismus je neustálený a působí jen během několika prvních let po odvodnění. V této době je postupně mineralizován dusík z nahromaděné organické hmoty, dříve zatravněné hydromorfní půdy, která byla odvodněním provzdušněna. Příkladem je měření koncentrací dusičnanů ve velmi malém povodí potoka Vočadla na Pacovsku, v povodí VN Švihov na Želivce. K nejvýraznějšímu zvýšení koncentrací dusičnanů v odtoku zde došlo v roce 1982, kdy byla prakticky v celém povodí vybudována plošná drenáž. Z minimálních hodnot kolem 20 mg NO_3^-/l na počátku monitorování v letech 1976 až 1981 stouply koncentrace k maximálním hodnotám kolem 95 mg NO_3^-/l v letech 1983 až 1987. Od roku 1987 až do roku 1990 koncentrace dusičnanů opět klesaly a po roce 1990 oscilovaly až do roku 1999 kolem 65 mg NO_3^-/l.

V povodí VN Švihov na Želivce poklesla výměra trvalých travních porostů (viz kapitola 1.9 a 1.10). V této době proběhla i intenzivní výstavba odvodnění. Oba tyto zásahy velmi pravděpodobně spolu se zvýšením dávek minerálního dusíku významně přispěly ke zvýšení dusičnanového zatížení vod, i když toto tvrzení nelze opřít o přímá měření. Ohledně mineralizace organické hmoty po rozorání travních porostů je v literatuře dostatek důkazů o zvýšení odnosu i koncentrací dusičnanů ve vodách. Pro příklad je možno uvést experiment na lyzimetrické stanici Borkovice, kdy trvalý travní porost byl zorněn a udržován po celý rok jako černý úhor a odnos dusičnanů byl porovnáván se sečeným trvalým travním porostem. Výsledky jsou vyjádřeny odnosem dusičnanů v kg/ha (graf 70). U rašelinné půdy došlo k výrazné mineralizaci, prokázalo se, že s rostoucím obsahem půdní organické hmoty dochází po zornění i ke zvýšenému odnosu dusičnanů.

2. Mechanismus působení drenáží na vyplavování dusičnanů je ustálený a působí trvale. Spočívá v tom, že drenáž modifikuje dráhy odtoku. Část vody ze srážek, která by jinak odtekla po povrchu, se vsakuje a odtéká drenáží. Je tak nucena protékat půdním profilem a vyplavovat odtud dusičnany. Vedle toho drenáž odvádí podzemní vodu z mělkých zvodní, kterými by jinak tato voda protekla pomalu, buď po povrchu, nebo půdním profilem. Dospěla by do recipientu o něco později, takže by bylo více příležitosti k denitrifikaci dusičnanů obsažených v této vodě (to ovšem souvisí s třetím mechanismem popsaným níže). Dále drenážní systémy podchycují pramenní vývěry – drenáž i v tomto případě modifikuje dráhu odtoku, neboť pramenní vývěry dříve vyvěraly na povrch a voda přeronovala dolů po svahu.

3. Mechanismus je založen na tom, že drenáž trvale činí stanoviště méně příznivým pro odbourávání dusičnanů. Jde zejména o alochtonní dusičnany, které do daného místa přitékají spolu s podzemní vodou. Sběrná oblast pramenních vývěrů je většinou mimo vlastní plochu odvodnění. Ta by na zamokřeném stanovišti stagnovala nebo vyvěrala a vytvářela by anaerobní prostředí vhodné k denitrifikaci. Vedle toho jde však i o dusičnany autochtonní, které vznikly mineralizací a nitrifikací organické hmoty přímo na místě, nebo byly na toto místo dodány hnojením, byla-li zde půda zorněna, nebo je-li zde travní porost intenzivně obhospodařován. Na orné půdě nebývá v zimním období často žádný porost, zatímco před odvodněním zde zpravidla byla bujná mokřadní vegetace, která odebírala z půdy a vody dusík a vázala jej ve stále se hromadící organické hmotě. Po odvodnění zde není v zimním období buď vůbec žádný, nebo jen málo významný příjem dusíku vegetací. Zvýšené hnojení orné půdy po odvodnění rovněž patří k tomuto mechanismu. Zvláště škodlivé je hnojení organickými statkovými hnojivy (např. kejdou) ve vlhkém a v zimním období. Epizodická měření prokázala, že koncentrace dusičnanů v drenážní vodě pak nárazově stoupá až na 261 mg NO_3^-/l.

Graf 70: Porovnání odnosu dusičnanů z různě využívaných půd.



Vliv způsobu využití půdy, hydrologie a půdních podmínek na vyplavování dusičnanů

Způsob využití území v povodí a jeho vliv na jakost povrchových i podzemních vod je v současnosti obecně uznávaným principem, který je přítomen s většími či menšími odchylkami a významností v různých typech a měřítkách povodí (subpovodí, mikropovodí). Je ovlivněn zejména faktory přírodních charakteristik a antropogenních zátěží území. Zorněním a odvodněním dochází k celkové změně oxidačně-redukčních podmínek v půdě, urychluje se mineralizace organického dusíku, snižuje se denitrifikační činnost, orná půda je častěji a více hnojena. Na orné půdě – na rozdíl od trvalých kultur (TTP, les), obvykle není po celý rok přítomná vegetace odebírající dusík, který je takto vyplavován do nižších půdních horizontů, horninového prostředí a vod. Pramenní vývěry v lesích mají maximální koncentrace dusičnanů pod úrovní 20 mg NO_3^-/l, neboť jim příslušné infiltrační (zdrojové) a transportní zóny jsou zalesněny. Laboratorní i terénní výzkumy nitrifikačních procesů na lučních půdách prokázaly, že při zornění travních porostů se z konzumentů dusíku stanou výrazné zdroje znečištění – produkce dusičnanů je enormní. Dlouhodobým sledováním subpovodí Kopaninského toku v povodí Želivky bylo zjištěno, že koncentrace dusičnanů jsou ovlivněny více stupněm zornění půd než momentálním hnojením. I když hnojení v devadesátých letech ubylo, trendová složka chodu koncentrací dusičnanů narůstala. Typické je, že koncentrace dusičnanů v drenážních vodách, pramenech i povrchových tocích během roku výrazně kolísají. Maximálních hodnot dosahují obvykle na jaře, minim na podzim. Tento jev naznačuje, že živiny se v půdě během podzimu a zimy hromadí a jsou vyplavovány až při zrychlení průsaku vody, které nastává v době tání a bezprostředně po tání sněhu. Kolísání koncentrací nenavazuje bezprostředně na období aplikace minerálních hnojiv v povodí. Významnějším faktorem je množství vody, které prosakuje půdou, postupuje hypodermickým odtokem a objevuje se v povrchovém toku. Největší rozdíly mezi maximálními a minimálními koncentracemi během roku lze tedy pozorovat na půdách orných a odvodněných.

Mnoho studií popisuje statisticky významnou závislost koncentrací dusičnanů ve vodách (povrchových i podzemních) na podílu orné půdy v subpovodí a na podílu orné půdy v kritických zdrojových lokalitách povodí a mikropovodí drenážních systémů. V povodí VN Švihov na Želivce byl pomocí vícenásobné faktorové analýzy zjištěn jako nejzávažnější z hlediska koncentrací dusičnanů v povrchových vodách povodí IV. řádu podíl orné půdy v povodí celkově a podíl orné půdy na infiltračně zranitelných půdách v povodí. Jiná studie (Fučík et al., 2008) na povodích tří různých měřítek (desítky ha, stovky až tisíce ha a stovky až tisíce km²) prokázala významné vazby mezi procentem zornění v povodí a hodnotami koncentrací dusičnanů v povrchových vodách drobných vodních toků v povodí VN Švihov na Želivce. Bylo zjištěno, že každé snížení zastoupení zornění v povodí o 10 % může snížit hodnotu (C90 – 90% kvantil) koncentrace dusičnanů (NO_3^-) v průměru o 6,4 mg/l (tabulka 58).

Ověření hypotézy o vlivu využívání nejzranitelnějších půd povodí (zdrojových, resp. infiltračních oblastí) na koncentrace dusičnanů ve vodách drenážních systémů

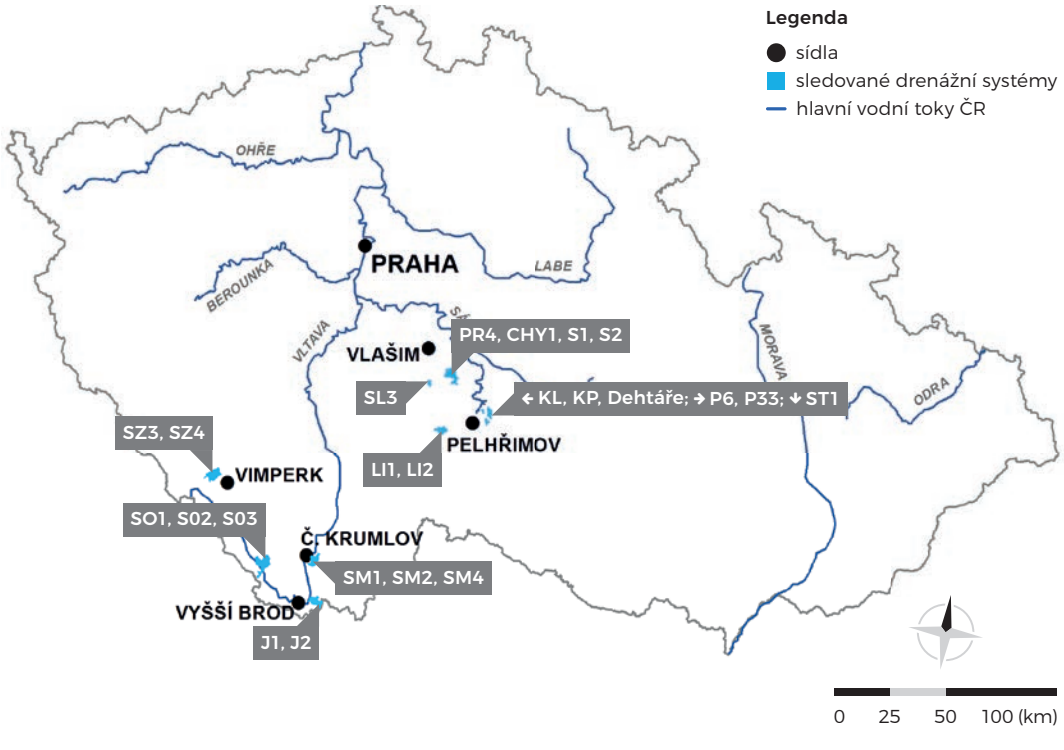
Ověření hypotézy bylo uskutečněno na 22 zemědělských podpovrchových drenážních systémech a jejich mikropovodích. Sledovány byly drenážní systémy ve třech pahorkatinných až vrchovinných oblastech krystalinika ČR vybudované převážně ve svahu. První oblast se nacházela na Českomoravské vrchovině v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce (okres Pelhřimov). Druhá skupina drenážních systémů byla vybrána v oblasti jihočeské pahorkatiny poblíž měst Český Krumlov a Vyšší Brod a třetí potom ve vrchovinné oblasti šumavského předhůří, podrobně obrázek 88. Typickou mateční horninou těchto oblastí byla pararula, ortorula nebo žula, typickým půdním představitelem byla ve výše situovaných částech mikropovodí drenážního systému obvykle kambizem (modální, eu- až mezobazická, litická), v níže ležících partiích mikropovodí potom kambizem oglejená a pseudoglej modální nebo gleje. Monitoring drenážních vod probíhal ve 14 až 30denních periodách od léta 2004 do podzimu 2006 a během roku 2009 a kromě odběrů vzorků vody na stanovení jakosti drenážních vod byl měřen aktuální drenážní průtok a teplota vody. Drenážní systémy vybrané pro monitoring byly funkční (bez zjevných závažnějších poruch), s dostupnou dokumentací výstavby a nenapojené na zdroj „cizí“ vody (odtok z rybníka, kanalizace, zatrubněný potok apod.). Pro každý drenážní systém byly získány a digitalizovány podrobné stavební prováděcí (návrhové) výkresy v měřítku 1 : 1 000 – 1 : 2 000. Tyto plány byly po zaměření vybraných povrchových

Tabulka 58: Pokles koncentrací NO_3^- ve vodách drobných vodních toků povodí různých měřítek

Skupina povodí	Povodí Kopaninského toku	Subpovodí v rámci povodí VN Švihov na Želivce	Povodí vodárenských nádrží v krystaliniku ČR	Průměr
	(30–700 ha; N = 12)	(94–5 396 ha; N = 36)	(512–3 016,5 km²; N = 10)	
Snížení hodnoty C90 NO_3^- (mg/l) s poklesem zastoupení orné půdy v povodí o 10 %.	6,47	7,01	5,65	6,38

Poznámka: N – počet monitorovacích profilů.

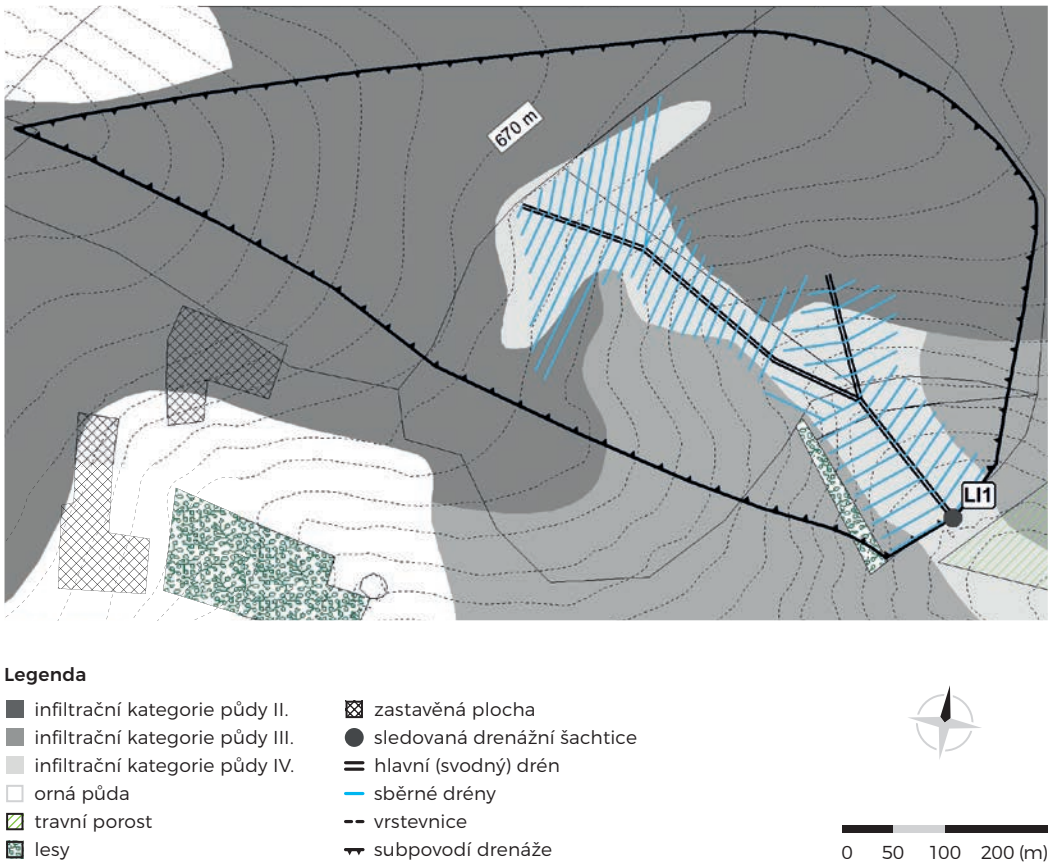
Obrázek 88: Rozmístění analyzovaných drenážních systémů.



objektů drenáže přístroji GPS (především drenážní šachtice a výústě) georeferencovány v GIS, aby bylo možno zjistit rozsah odvodnění, plochu a způsob využití půdy souvisejícího mikropovodí drenáže. Rozvodnice těchto mikropovodí většinou přibližně odpovídala orografické rozvodnici s přihlédnutím k místním morfologickým, hydrogeologickým, půdním a dalším podmínkám (související okolní přirozená/umělá drenáž). Pro tato mikropovodí byla provedena podrobná analýza zastoupení kultur (orná půda, TTP, les, zastavěná plocha) v rámci půdních okrsků homogenních vlastností (obrázek 89). Půdy podle BPEJ byly rozděleny do pěti kategorií infiltrační zranitelnosti podle metodiky Janglová a kol. (2003); I. kategorie nejzranitelnější, V. nejméně zranitelná. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 58. Kategorie V. (nejméně zranitelná) se nevyskytla v žádném ze studovaných mikropovodí drenáží (pro všechny druhy pozemku nulová výměra této kategorie), a proto ji v tabulce 59 neuvádíme.

Monitoring drenážních vod byl vedle dusičnanů zaměřen na stanovení koncentrací amonných iontů, nitritového dusíku, konduktivity a $CHSK_{Mn}$. Vyhodnocení odebraných vzorků proběhlo v akreditované laboratoři VÚMOP, v. v. i. standardními metodami v co

Obrázek 89: Příklad vymezení mikropovodí drenážního systému, kategorií infiltrační zranitelnosti a způsobu využití území.



Tabulka 59: Zastoupení kultur v rámci kategorií zranitelnosti ve studovaných drenážních systémech

Označení drenáže	Plocha mikropovodí drenáže	Kategorie zranitelnosti I.				Kategorie zranitelnosti II.				Kategorie zranitelnosti III.				Kategorie zranitelnosti IV.			
		Orná	Travní porost	Les	Zastavěná plocha	Orná	Travní porost	Les	Zastavěná plocha	Orná	Travní porost	Les	Zastavěná plocha	Orná	Travní porost	Les	Zastavěná plocha
	(ha)	AR1	GR1	FR1	BU1	AR2	GR2	FR2	BU2	AR3	GR3	FR3	BU3	AR4	GR4	FR4	BU4
		% z celého mikropovodí drenáže															
ST1	34,60	0,00	0,00	0,00	0,00	78,29	0,11	1,00	0,00	10,85	9,32	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00
LI1	28,31	0,00	0,00	0,00	0,00	79,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,66	0,00	0,00	0,00
LI2	24,17	0,00	0,00	0,00	0,00	76,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,40	0,00	0,00
SL3	8,18	0,00	0,00	0,00	0,00	47,32	36,07	0,84	0,00	1,92	13,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PR4	9,05	0,00	0,00	0,00	0,00	71,76	0,00	0,00	0,00	0,50	25,30	0,00	0,00	0,46	1,99	0,00	0,00
CHY1	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	15,73	0,00	0,00	0,00	0,00	68,15	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,74	3,48	0,00	0,00
P33	19,73	0,00	0,00	0,00	0,00	48,29	0,45	5,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,92	26,21	0,00	0,00
KL	29,44	5,37	0,28	0,00	0,00	45,29	17,32	0,00	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	5,08	24,53	0,00	0,81
KP	28,33	5,02	0,61	1,15	0,40	51,77	2,20	5,60	1,93	1,90	0,14	0,00	0,00	24,05	5,23	0,00	0,00
S1	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	98,80	0,00	0,00
S2	3,82	0,00	0,00	0,00	0,00	51,60	0,00	0,00	0,00	48,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SM1	15,08	0,00	0,00	0,00	0,00	58,09	0,00	0,60	0,00	17,71	0,00	23,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SM2	48,40	0,00	0,00	0,00	0,00	18,99	8,41	0,19	0,00	5,95	13,35	52,93	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00
SM4	45,99	0,00	0,00	0,00	0,00	25,51	16,68	27,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,42	0,00	0,00	0,00
SO1	21,20	0,00	10,19	0,00	0,00	0,00	51,23	2,55	0,00	0,00	0,00	6,89	0,00	0,00	29,15	0,00	0,00
SO2	10,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,23	1,20	0,00	0,00	0,00	44,23	0,00	0,00	47,92	3,42	0,00
SO3	12,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,20	0,00	0,00	39,17	2,63	0,00
SZ3	52,11	0,12	6,93	0,02	0,00	14,20	9,54	13,09	0,00	0,15	13,20	0,15	1,57	2,96	35,69	0,52	1,86
SZ4	66,54	0,00	0,42	0,05	0,00	3,19	0,42	0,12	0,18	8,58	0,48	66,10	0,23	0,38	17,52	2,27	0,08
J1	46,80	0,00	5,62	1,82	0,00	0,00	54,49	10,24	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	26,99	0,38	0,00
J2	55,26	0,00	19,00	0,31	0,00	0,00	30,96	15,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,23	6,03	0,11

možná nejkratším termínu po odběru vzorku (do 48 hodin). Současně s odběrem vzorku byla měřena teplota drenážní vody digitálním teploměrem a měřen byl i aktuální průtok (drenážní odtok) zpravidla kalibrovanou nádobou nebo pomocí měrného přelivu.

Pro všechny sledované drenážní systémy bylo provedeno základní statistické vyhodnocení dat (tabulka 60). Protože celkový ve vodě rozpuštěný anorganický dusík (dissolved inorganic nitrogen – DIN) je tvořen z 98–99 % dusíkem ve formě dusičnanů, nitritový dusík představuje především přechodnou formu nitrifikačního pochodu a amonné ionty jsou ve vodě záhy nitrifikovány (Pitter, 1999). Analýzy byly v této studii prováděny pouze pro dusičnany. Vzhledem k tomu, že hodnoty aktuální koncentrace dusičnanů v drenážních i povrchových vodách jsou obecně poměrně těsně spjaty s aktuální hodnotou průtoku vody v pozitivním i negativním smyslu (Doležal and Kvítek, 2004, Tiemeyer et al., 2007), byly jako reprezentativní hodnoty pro ten který drenážní systém zvoleny a spočítány průtokově vážené koncentrace dusičnanů (flow-weighted concentrations). Byl tak minimalizován vliv odtoku na výsledné koncentrace a následnými regresemi byly ve vztahu ke koncentracím dusičnanů stanovovány vlivy pouze zvolených kombinací půdních a land use parametrů mikropovodí drenáže.

Pro výpočet vážené hodnoty koncentrací $N–NO_3^-$ byl použit vztah:

$$Cfw = \frac{\sum (Ci * Qi)}{\sum Qi} \qquad (17)$$

Cfw průtokem vážená koncentrace (Flow-weighted concentration);
Ci koncentrace během i – tého odběru;
Qi průtok během i – tého odběru.

Pro poznání a hodnocení vztahů mezi zvolenými kombinacemi parametrů monitorovaných mikropovodí a vypočteným ukazatelem jakosti drenážní vody (dusičnanové koncentrace) byly použity metody vícerozměrných analýz; analýza hlavních komponet (faktorová analýza) a vícenásobná lineární regrese. Analýza hlavních komponent (PCA) transformuje data do nových ortogonálních souřadnic tak, aby se co nejvíce informací v původních datech dalo vyjádřit menším počtem proměnných. Všechna testování a regresní analýzy probíhaly na hladině významnosti nulové hypotézy $\alpha = 0{,}05$. Jako závislá proměnná byla jednotně zvolena hodnota průtokem vážené koncentrace dusičnanů, jako nezávislé proměnné procenta zastoupení jednotlivých druhů land use v jednotlivých kategoriích zranitelnosti mělké podzemní vody v rámci toho kterého monitorovaného drenážního systému (tabulka 59).

Pro všechny výsledné regresní vztahy byla vedle standardních ukazatelů míry síly zjištěných vztahů (R^2, R^2 Corrected, F, p) provedena diagnostika reziudí regresí, která odhalí případné pozaďové chyby zjištěných vztahů (modelů) a umožní z hlediska statistické korektnosti volbu nejlepšího konečného modelu. Níže zobrazené výsledné modely jsou tedy vztahy statisticky korektní (Helsel and Hirsch, 2002).

Byly kvantifikovány vzájemné vztahy metodami vícenásobné lineární regrese (stepwise, forward, backward) a vícerozměrné analýzy hlavních komponent (Principal Component Analysis). Do úvodní analýzy (PCA1) vstoupily všechny připravené parametry – procentuální zastoupení jednotlivých druhů pozemků v každé z pěti tříd (skupin) zranitelnosti mělké podzemní vody. V druhém případě (PCA2) došlo ke sloučení stejných druhů pozemků pro třídy zranitelnosti I. a II. z důvodu minimálního zastoupení všech druhů pozemků v I. třídě zranitelnosti. Ve třetím případě (PCA3) byly navíc sloučeny všechny druhy pozemků v třídách zranitelnosti III. a IV. Níže popsanou vícenásobnou regresní analýzou bylo zjištěno, že statisticky nejprůkaznější je 1. varianta (PCA1), jejíž výsledky znázorňuje biplot v grafu 71.

Ve výsledném grafu 71 body reprezentují jednotlivá mikropovodí, paprsky (šipky) odpovídají proměnným (parametrům). Aproximace původních dat je úměrná vektorovému součinu jednotlivých bodů a úseček, což znamená, že blízké vektory řádků (body) nebo sloupců (paprsky) jsou vzájemně korelované. Vektory řádků ležící ve směru některého vektoru sloupce mají tedy v tomto sloupci vyšší, resp. nižší hodnoty. Vektory, které jsou ve vzájemném postavení blížícímu se 90°, nejsou prokazatelně v žádném statisticky kvantifikovatelném vztahu. Zatímco naopak vektory uzavírající přibližně úhel 180° lze prohlásit za nějakým způsobem negativně korelované (Hendl, 2004). V našem případě se pro variantu PCA1 ukázaly jako pozitivně spjaty vektory proměnných Cfw a AR2, v menší míře potom AR3 a AR4. Negativní vztah ukázaly vektory FR4, GR4 a GR1. Vektory parametrů AR1 i GR3 byly v postavení nezávislém, což lze přičíst minimálnímu zastoupení všech druhů využití půdy v I. třídě zranitelnosti mělké podzemní vody.

Do vícenásobné stepwise regrese (kombinace zpětné a dopředné metody) lineární regrese vstupovaly – obdobně jako u vícerozměrné analýzy hlavních komponent – nejdříve všechny kombinace připravených parametrů mikropovodí drenáží, následně ve druhé variantě datové sady došlo ke sloučení jednotlivých druhů pozemků v třídách zranitelnosti I. a II., ve třetí variantě byly kromě I. a II. třídy zranitelnosti sloučeny také druhy pozemků ve třídách III. a IV. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 61; statisticky nejprůkaznější se prokázala být šedivě vybarvená varianta vícenásobné regrese. Všechny zde neuvedené nezávislé proměnné, vstupující

Tabulka 60: Základní statistické charakteristiky koncentrací $N–NO_3^-$ ve studovaných drenážních systémech

Označení drenáže	Počet pozorování	Min.	Max.	Průměr	10% kvantil	Median	90% kvantil	Průtokově vážená koncentrace
		$N–NO_3^-$ (mg/l)						
ST1	58	7,68	40,44	25,39	18,55	25,07	34,02	24,66
LI1	53	13,10	30,95	21,81	16,72	21,01	29,01	22,32
LI2	47	14,01	22,82	17,51	14,46	17,12	21,01	18,33
SL3	51	1,13	16,04	2,16	1,13	1,13	3,19	3,16
PR4	57	1,13	23,04	14,47	8,76	15,36	18,84	14,51
CHY1	53	18,75	39,08	27,74	23,76	27,56	33,03	30,41
P6	66	7,48	23,72	15,50	13,33	15,14	18,52	15,28
P33	66	2,71	40,89	26,89	18,51	27,56	34,00	15,58
KL	70	8,81	46,08	27,50	17,85	29,45	34,43	27,01
KP	70	9,71	43,15	23,09	13,96	23,35	30,09	25,40
S1	52	1,13	26,20	7,94	1,45	6,21	13,78	9,59
S2	52	2,26	28,46	15,42	9,98	14,46	21,46	20,67
SM1	27	1,54	24,85	19,23	16,75	20,22	22,26	19,32
SM2	27	6,30	20,20	10,81	7,40	10,55	14,29	11,45
SM4	27	5,24	22,36	17,38	14,05	17,91	20,70	15,77
SO1	27	0,35	1,89	0,82	0,47	0,79	1,12	0,72
SO2	27	0,15	6,33	2,21	1,00	1,99	3,88	1,98
SO3	25	0,65	2,23	1,71	1,13	1,88	2,14	1,43
SZ3	20	0,24	1,83	1,08	0,75	1,08	1,61	1,00
SZ4	19	0,11	1,27	0,38	0,11	0,23	0,86	0,35
J1	26	1,44	6,78	4,76	2,82	5,04	6,29	4,10
J2	26	1,54	4,09	3,01	2,12	3,03	3,87	2,78

do vícenásobné regrese, se u všech variant ukázaly být statisticky nevýznamné ($p > 0,05$).

Jako parametry s největším vlivem na hodnoty C90 $N–NO_3^-$ byly vyhodnoceny: procentuální zastoupení orné půdy ve dvou infiltračně nejzranitelnějších kategoriích a procentuální zastoupení TTP ve III. kategorii zranitelnosti půdy mikropovodí drenážního systému a výslednou formuli lze tudíž napsat:

$$Cfw_{(N-NO_3)} = 3,59 + 2,05 \cdot AR1 + \\ + 0,25 \cdot AR2 - 0,29 \cdot GR3 \qquad (18)$$

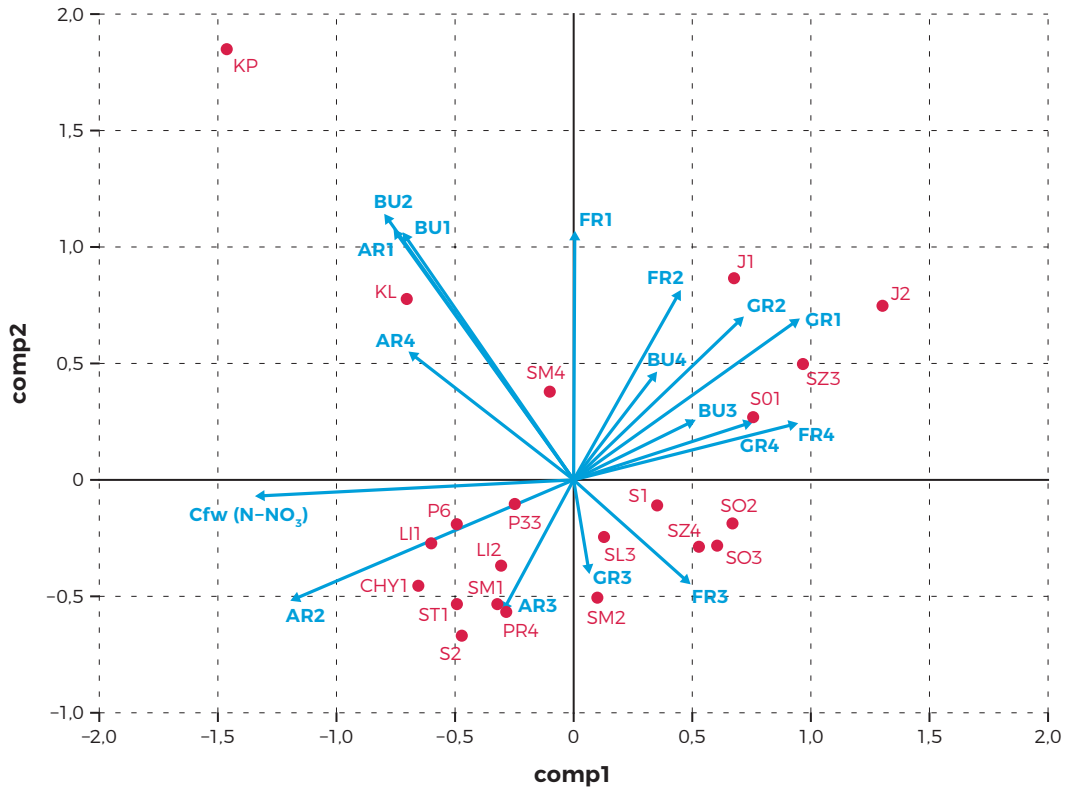
Na příkladu analýzy jakosti vod 22 drenážních systémů, charakteru zastoupených půd a způsobu využití půdy v jejich mikropovodích, vybudovaných ve svažitých podmínkách krystalinika ČR, byla prokázána platnost hypotézy o vlivu způsobu využití infiltračně nejzranitelnějších lokalit mikropovodí zemědělských drenážních systémů na hodnoty koncentrací dusičnanů v drenážních vodách. Touto analýzou bylo dokázáno, že největší vliv na hodnoty koncentrací dusičnanů v drenážních vodách má zastoupení orné půdy na infiltračně nejpropustnějších okrscích mikropovodí drenáže a zastoupení TTP na lokalitách III. kategorie infiltrační zranitelnosti půdy.

Praktické ověření zatravnění půdy ve zdrojové (infiltrační) oblasti na koncentrace dusičnanů v drenážních vodách

Vliv zatravnění cíleného do zdrojové oblasti subpovodí na koncentrace dusičnanů drenážních vod byl zkoumán pomocí poloprovozního pokusu na malém zemědělském experimentálním subpovodí Dehtáře (obrázek 90). Lokalita je podrobně popsána v kapitole 2.3, rámeček 28. Cílem pokusu bylo zhodnotit v praxi účinnost cíleného zatravnění jako preventivního opatření pro zlepšení jakosti vod a zároveň prokázat význam zdrojových oblastí pro tvorbu jakosti podpovrchových vod ve svažitých podmínkách krystalinika Českomoravské vrchoviny.

V rámci experimentu byla vymezena zdrojová oblast, a to na základě analýzy půdních podmínek podle BPEJ metodou Janglové a kol. (2003). Metoda je blíže popsána v kapitole 2.2.1. Část takto vymezené plochy (4,6 ha) byla v roce 2006 zatravněna. Travní porost je udržován sečením, v průběhu sezony jsou provedeny dvě až tři seče podle množství biomasy. Hnojení přibližně 100–120 kg N/ha bylo prováděno převážně močovinou, doplňkově močůvkou a od roku 2012 digestátem kejdy prasat. Na orné půdě probíhá běžný osevní postup s dávkami hnojiv podle aktuálně pěstovaných plodin až do dávky 170 kg N/ha. Doba celého pokusu byla rozdělena na období 1 (2003–2006), kdy byly monitorovány koncentrace dusičnanů za původního stavu, a období 2 (2007–2013), kdy byla část zdrojové

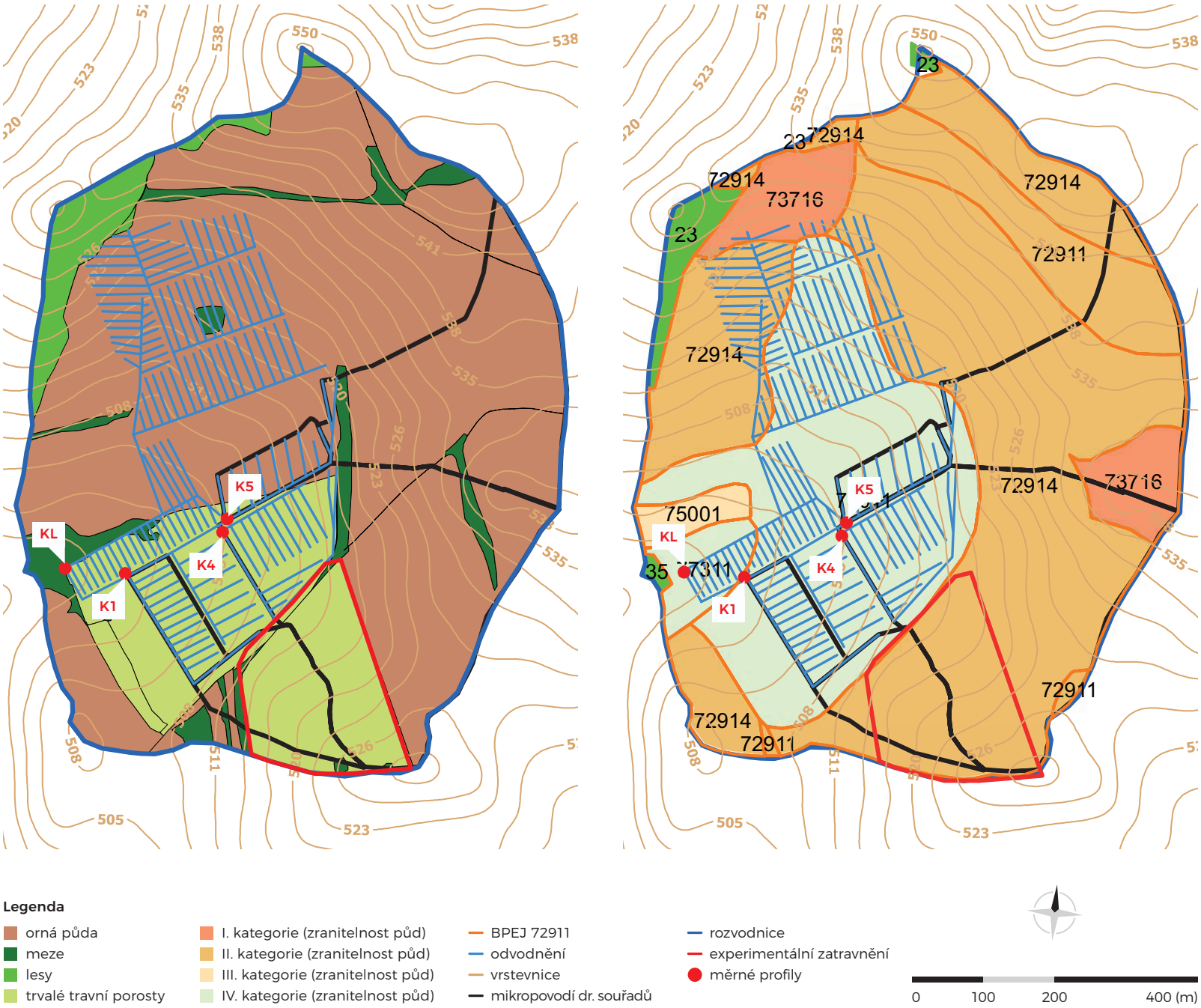
Graf 71: Biplot faktorové analýzy (PCA1) pro všechny proměnné (kromě V. třídy zranitelnosti podzemní vody).



Tabulka 61: Souhrn statisticky významných a korektních modelů vícenásobných regresí

Název proměnné	Koeficient	Reziduální směrodatná odchylka	P	R^2	R^2 adj.	F stat	MSE	Testování regresního tripletu
Konstanta	3,216 0		0,037 8					
AR1	2,165 5		0,002 2					
AR2	0,240 4		0,000 0					
AR3	0,115 7		0,188 3					
GR3	−0,268 4		0,060 1					
Regrese		4,094 3	0,000 0	85,959 2	82,655 4	26,018 9	16,763 0	OK
Konstanta	4,903 7		0,019 1					
AR1	1,962 0		0,005 3					
AR2	0,229 5		0,000 0					
GR3	−0,312 0		0,035 8					
FR4	−0,753 4		0,304 3					
Regrese		4,178 9	0,000 0	85,372 7	81,930 9	24,8100	17,463 3	autokor. rez.
Konstanta	4,758 8		0,019 3					
AR1	2,082 5		0,003 4					
AR2	0,232 1		0,000 0					
GR2	−0,061 0		0,325 4					
GR3	−0,280 2		0,054 6					
Regrese		4,190 0	0,000 0	85,294 6	81,834 5	24,650 9	17,556 5	OK
Konstanta	3,589 0		0,022 3					
AR1	2,051 2		0,003 5					
AR2	0,247 1		0,000 0					
GR3	−0,289 2		0,046 9					
Regrese		4,193 0	0,000 0	84,407 3	81,808 6	32,480 0	17,581 5	OK
Konstanta	2,900 1		0,072 3					
AR1	2,273 8		0,002 6					
AR2	0,236 3		0,000 0					
Regrese		4,568 1	0,000 0	80,464 6	78,408 2	39,129 6	20,867 9	OK

Obrázek 90: Experimentální subpovodí Dehtáře se zatravněním (Červený polygon znázorňuje experimentálně zatravněnou část zdrojové oblasti subpovodí. Červené body jsou měrné profily na drenážních souřadech s rozdílným způsobem využití půdy).

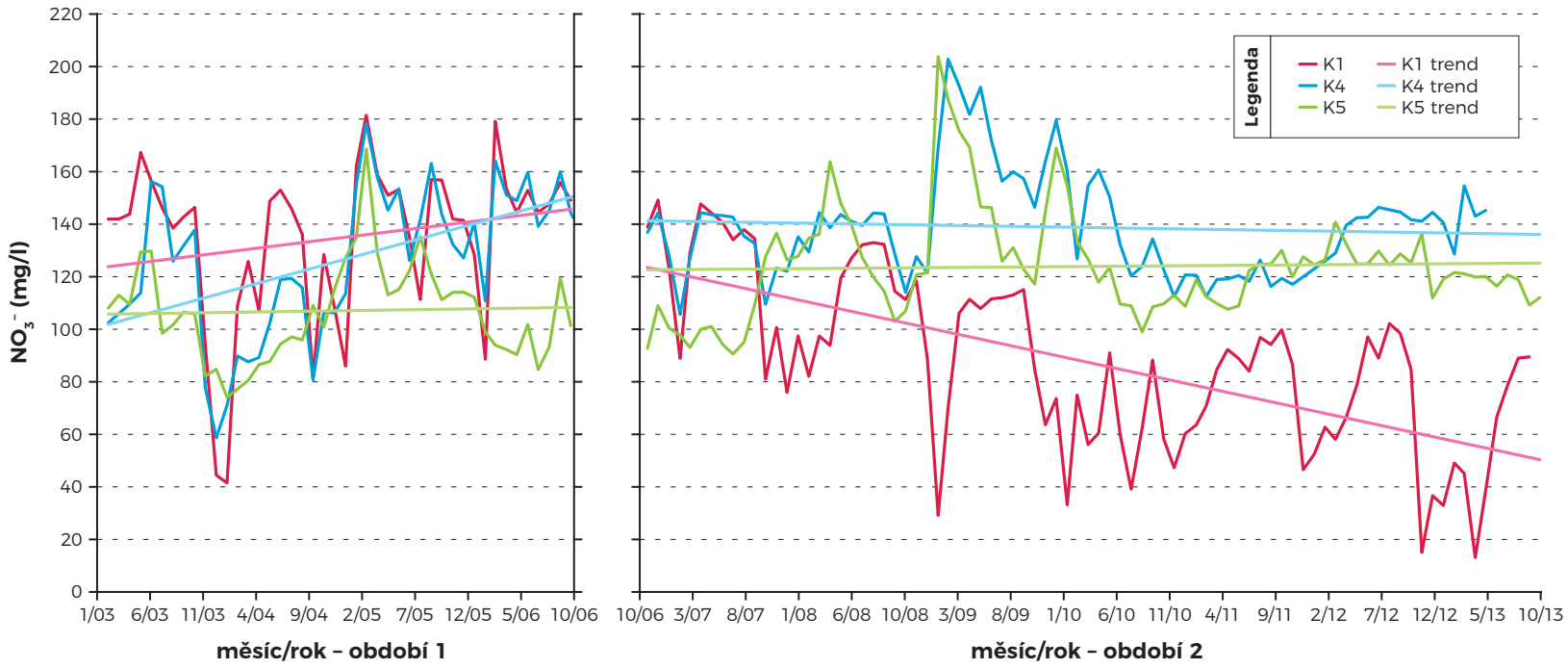


oblasti zatravněna. Pro statistickou analýzu dat o koncentracích dusičnanů bylo vybráno několik měrných profilů na drenážním systému, které reprezentovaly drenážní souřady ve zdrojové (horní části svahů u rozvodnice) a výtokové (dolní části svahů, vlastní odvodněná plocha) oblasti s různým využitím půdy. Pro experiment nejvýznamnější drenážní souřady jsou zobrazeny na obrázku 90. Jedná se o souřad K1 (TTP ve výtokové oblasti, zatravnění zdrojové oblasti v období 2), souřad K5 (orná půda v celém subpovodí po celou dobu pokusu) a K4 (TTP ve výtokové oblasti a orná půda ve zdrojové oblasti po celou dobu pokusu). Analýza jakosti vody ze všech těchto souřadů byla sledována na profilu KL, což je závěrový profil celé drenážní skupiny. Metodika experimentu byla podrobně popsána např. v pracích Zajíček a Kvítek (2013), Fučík et al. (2015).

Koncentrace dusičnanů měřené na všech sledovaných profilech byly značně vysoké, převážně vyšší než 150 mg/l (graf 72). Vyznačovaly se také značnou variabilitou v průběhu jedné sezony a také při porovnání jednotlivých sezon. V průběhu celého experimentu se pohybovaly v rozmezí od 18 do 253 mg/l. Příčinou sezonní variability koncentrací NO_3^- v drenážních vodách je, kromě měnící se zásoby dusíku v půdě, také velmi silné ovlivnění koncentrací velikostí průtoku. Nejvyšší hodnoty bývají měřeny koncem léta či začátkem podzimu, tedy v období převažujícího základního odtoku s nízkými průtoky. Naopak v průběhu jarního tání a také v průběhu významných srážkoodtokových událostí dochází spolu se zvýšenými průtoky způsobenými vodou z příčinné srážky (Zajíček et al., 2016) k výraznému ředění koncentrací dusičnanů. Výjimku mohou představovat některé srážkoodtokové události na profilech s ornou půdou v infiltrační oblasti navazující na aplikaci hnojiv, v jejichž průběhu naopak může docházet ke zvýšenému vyplavování dusičnanů z půdy bez vegetačního pokryvu. Rozdíly v koncentracích dusičnanů mezi jednotlivými sezonami jsou způsobeny, kromě rozdílů v odtoku, také rozdílnými rostlinami v osevním postupu spojenými s rozdílnými dávkami hnojiv. Pro snížení vlivu proměnlivé velikosti průtoku na koncentrace dusičnanů byly v dalším hodnocení použity hodnoty měsíčních průtokově vážených koncentrací (Cfw).

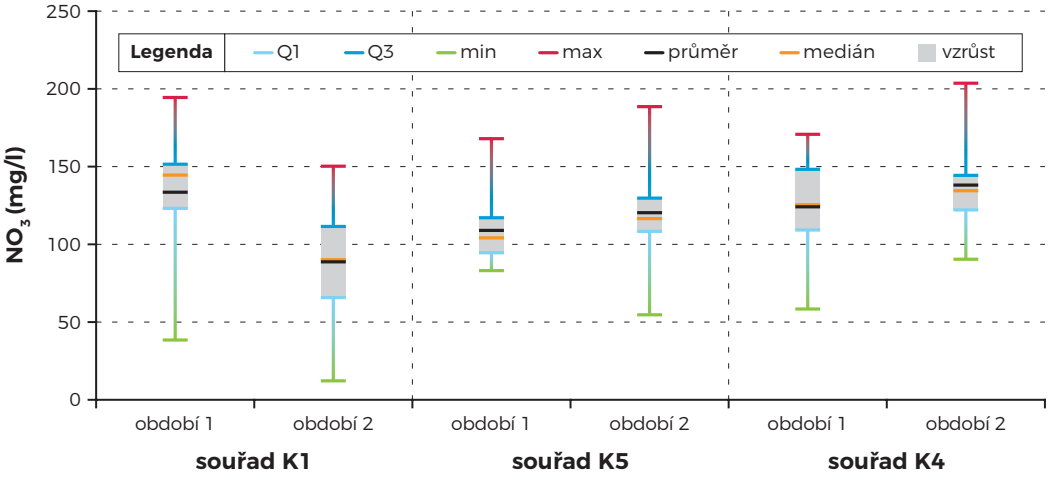
V období 1 (před změnou využití půdy ve zdrojové oblasti) byly měsíční hodnoty Cfw téměř vždy vyšší na drenážních souřadech K1 a K4, přestože jejich výtoková oblast (půda přímo nad vlastním drenážním systémem) byla zatravněna (graf 72). Vývoj koncentrací přitom vykazoval obdobný rostoucí trend jako na profilu K5 s ornou půdou v celém mikropovodí stejnojmenného souřadu. Po zatravnění zdrojové oblasti souřadu K1 v období 2 došlo ke změně trendu vývoje koncentrací NO_3^- na tomto souřadu. Zatímco na souřadu K5 pokračoval jejich mírný nárůst, na souřadu K1 (TTP ve zdrojové oblasti) koncentrace dusičnanů získaly sestupný trend (graf 72) přerušovaný pouze sezonními

Graf 72: Průběh koncentrací dusičnanů na drenážních souřadech K1, K4 a K5 (období 1 – orná půda ve zdrojových oblastech obou souřadů, období 2 – zdrojová oblast K1 zatravněna).



výkyvy. Na souřadu K4 došlo v období po zatravnění části zdrojové oblasti ke stagnaci trendu koncentrací dusičnanů (graf 72). Další statistická analýza dat koncentrací dusičnanů v obou sledovaných obdobích (graf 73) ukázala jejich statisticky průkazný pokles o 26–32 % na souřadu K1, jehož zdrojová oblast byla celá zatravněna. K poklesu koncentrací došlo i přesto, že trvalý travní porost byl nadále hnojen močovinou, močůvkou a digestátem. Z krabicových grafů (graf 73) je také patrný nárůst koncentrací dusičnanů na souřadu K5 s ornou půdou ve výtokové i ve zdrojové oblasti a také stagnace koncentrací na souřadu K4 s TTP ve výtokové oblasti a ornou půdou v oblasti zdrojové. Vývoj koncentrací na drenážním souřadu K4 byl pravděpodobně ovlivněn blízkostí zatravněné lokality (obrázek 90), lze předpokládat, že část jeho odtoku vzniká pod zatravněním, a proto již nepokračuje jejich nárůst. V rámci celé drenážní skupiny KL (zatravněno 20 % zdrojové oblasti) byl zaznamenán pokles mediánu koncentrací o 11 %. Společně s poklesem koncentrací dusičnanů došlo též k poklesu odnosu dusíku ze subpovodí, a to o 23 % (z 38,4 kg/ha rok na 31,2 kg/ha rok) na závěrovém profilu drenážní skupiny, jejíž zdrojová oblast byla zatravněna z části, tj. o 47 % (z 57,0 kg/ha rok na 39,6 kg/ha rok na drenážním souřadu K1, jehož zdrojová oblast byla zatravněna celá). Ve stejném období došlo na souřadu K5, kde využití půdy zůstalo beze změny (orná půda), k nárůstu odnosu dusíku o 17 %. Pokles koncentrací NO_3^- v lokalitách se zatravněnou zdrojovou oblastí je setrvalý, avšak pouze pozvolný, jejich medián se stále pohybuje mezi 90–100 mg/l (Fučík et al., 2015). Pomalou reakci jakosti vody na opatření k jejímu zlepšení uvádí i jiní autoři, např. Meals et al., 2010. Příčinou je složení drenážního odtoku (Zajíček et al., 2011, 2016). V měsíci květnu až září 2013 se na souřadu K1 vyskytují koncentrace dusičnanů v rozsahu 10–85 mg/l.

Graf 73: Srovnání koncentrací dusičnanů v drenážních vodách souřadů K1 (období 2 zatravněná ZO) K5 (orná půda v ploše celého mikropovodí) a K4 (TTP ve výtokové oblasti a orná půda ve zdrojové oblasti).



V období rychlého průsaku srážek či sněhu preferenčními cestami do drenážního odtoku lze měřit malé koncentrace dusičnanů, v období absence srážek převažuje pouze svahový odtok, který doposavad má vysoké koncentrace dusičnanů i po zatravnění. Kontaminační „mrak" pomalu postupuje půdním profilem směrem k drenážnímu profilu, ale je ředěn přitékající vodou s nízkými koncentracemi dusičnanů, která pochází z lokality s travními porosty. Pravidelný interval odebíraných vzorků často nezachycuje vodu z rychlých srážkoodtokových událostí, která obsahuje nekontaminovanou vodu z příčinné srážky s dobou zdržení v řádu hodin (Zajíček et al., 2016). Z toho pohledu se oproti stále vysokým hodnotám koncentrací jeví jako mnohem významnější skutečnost, že došlo k trvalé změně trendu jejich vývoje na profilech se zatravněnou zdrojovou oblastí a tyto od hydrologického roku 2008 mírně, leč trvale klesají, zatímco na profilech s nezměněným využitím půdy stagnují nebo rostou (graf 72).

Výsledky experimentu prokázaly, že zatravnění může představovat účinné opatření pro snížení dusičnanové zátěže vod, nicméně mělo by být cíleno do správného místa v subpovodí – tedy do zdrojové oblasti (Kvítek et al., 2009, Lemke et al., 2011). Zatímco travní porost situovaný ve výtokové oblasti přímo nad drenážním systémem neměl na koncentrace dusičnanů v drenážních vodách žádný vliv, mělké, hrubozrnné půdy ve zdrojových oblastech (Nováková et al., 2013) s vysokou infiltrační kapacitou (Doležal and Kvítek, 2004, Zajíček a Fučík, 2014) se ukázaly jako plochy velmi vhodné pro zatravnění. Travní porost situovaný do těchto oblastí kromě zlepšení jakosti vody také zvýší polní vodní kapacitu půd a umožní infiltraci většího množství srážek v porovnání s ornou půdou, zejména v případě větších srážkoodtokových událostí (Fučík et al.,

2008, Constantin et al., 2012). Správně vymezená zdrojová (infiltrační) oblast tak představuje efektivní a relativně nenákladný způsob, jak ovlivnit jakost mělkých podzemních vod, resp. jakost místních vodních zdrojů podzemní vody pro pitné účely pro zásobování malých obcí. Toto opatření je však možno používat v relativně malých, přesně vymezených částech subpovodí (Janglová a kol., 2003, Kvítek a kol., 2008). Jinak se vystavujeme přílišnému omezení produkční funkce krajiny (Hauck et al., 2014, Zajíček a kol., 2016), které by jinak ve vztahu k jakosti vody bylo velmi přínosné.

Možnosti snížení vyplavování dusičnanů z orných půd agrotechnickými postupy

Zdrojem tvorby dusičnanů v půdě mohou být statková hnojiva živočišného původu nebo hnojiva minerální, po jejichž aplikaci může být urychlen rozklad organické hmoty. Organicky vázaný dusík obsažený v organických a organominerálních hnojivech, statkových hnojivech a upravených kalech se v půdě mineralizuje a přechází do forem využitelných rostlinami a zároveň podléhajícím ztrátám, např. vyplavením. Rychlost rozkladu organických sloučenin, uvolňování a vyplavování N do vod je složitý proces, který závisí zejména na poměru půdního uhlíku k dusíku (C/N; úzký poměr indikuje rychlejší mineralizaci a možné vyplavení, širší potom imobilizaci) a na rozložitelnosti jednotlivých typů organických látek, dále na vlastnostech prostředí a průběhu počasí (fyzikální vlastnosti půdy, půdní teplota a vlhkost).

Pro vyplavování dusičnanů z půdy dále do vod je rovněž podstatná dynamika půdní vody. Zemědělské půdy v podhorských oblastech ČR tvořené kambizeměmi, pseudogleji a příbuznými typy půd na krystaliniku jsou značně heterogenní a výrazný na vyplavování dusičnanů je v těchto půdách vliv preferenčního proudění. Typickými jevy pozorovanými v těchto podmínkách jsou lokální nerovnováha půdní vody mezi makropóry a vnitřkem agregátů, značná variabilita hydraulické vodivosti půdy, průsaku v lyzimetrech a koncentrací dusičnanů v půdní a průsakové vodě. Tyto skutečnosti jsou výslednicí dvou protichůdných efektů: a) zvýšeného vymývání akumulovaných dusičnanů z ornice na začátku každého vlhkého období, b) zřeďování dusičnanů další vsakující vodou. Řada studií v ČR i zahraničí se shoduje na zjištění, že hlavním nositelem dusičnanového znečištění je tzv. hypodermický (podpovrchový) odtok, který v podmínkách krystalinika ČR tvoří asi 40 % celkového odtoku a často je tvořen odtokem drenážních vod.

Typickými představiteli hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem jsou ze statkových hnojiv kejda, tekutý podíl po její mechanické separaci (fugát kejdy), hnojůvka, močůvka, silážní šťávy, trus drůbeže a drobných hospodářských zvířat s podestýlkou nebo bez podestýlky, výkaly a moč zanechané hospodářskými zvířaty při pastvě. Z organických hnojiv to je např. digestát z bioplynové stanice včetně tekutého podílu po jeho mechanické separaci (fugát digestátu). Typickými představiteli hnojiv s pomalu uvolnitelným dusíkem jsou statková hnojiva vznikající ve stelivových provozech (např. hnůj skotu či prasat, koňský hnůj apod.) nebo při mechanické separaci kejdy (separát kejdy), z organických hnojiv pak kompost nebo tuhá část po separaci digestátu (separát digestátu). Statková hnojiva jsou do skupin podle rychlosti uvolňování dusíku (resp. poměru C/N) zařazena přímo, tedy taxativně.

Výzkumy sledující vyplavování N z orné půdy se zabývají možnostmi snižování hnojení, používání meziplodin či ozimů a změn agrotechniky a vzájemných kombinací těchto variant za zachování výnosů plodin. Obecně je konstatována značná meziroční variabilita ve vyplavování N z půdy způsobená zejména průběhem počasí a obsahem akumulovaného N v půdě. Studie zabývající se typickým osevním postupem (ozimá pšenice, ozimý ječmen, brambory) během 11letého pokusu na kambizemích Českomoravské vrchoviny uvádějí průměrnou koncentraci dusičnanů v půdní vodě překračující hranici 50 mg/l při úrovni celkového vstupu dusíku 148 kg/ha rok, což odpovídalo průměrnému vyplavení N 20 kg/ha rok. Výzkumy zabývající se dávkami hnojiv a vyplavením N do vod shodně konstatují, že klíčová je rovněž doba aplikace N hnojiv ve vazbě na osevní postup. Mnohem více dusičnanů bývá vyplaveno z hnojiv aplikovaných na podzim než na jaře, i v případě N z pomalu uvolnitelných hnojiv. Větší problém s vyplavením dusíku může potom být u širokořádkových plodin, kde je menší hustota kořenové biomasy (v ČR např. kukuřice, zejména asi do konce června). Zde je možnost snížení vyplavení dusíku např. pomocí mezipásů obilnin. Problémem z hlediska vyplavení dusičnanů je aplikace organických látek v období, kdy porost neodebírá nebo odebírá dusíku jenom málo (aplikace digestátů, kejdy, fugátů na konci zimy či v brzkém jaře). Tyto poznatky jsou vtěleny jak do závazných postupů pro zemědělce hospodařící v tzv. zranitelných oblastech dusičnany (ZOD), tak i do obecnějších Zásad správné zemědělské praxe.

Poměrně účinné je z hlediska snížení vyplavení N použití meziplodin, kdy dochází k zamezení výskytu holé orné půdy přes zimní období. Jak je uvedeno výše, vazba na dávky N v hnojivech ovšem nemusí být klíčová z hlediska vyplavení N do vod. Výsledky jedné studie dokladují výrazné snížení koncentrací NO_3^- v drenážní vodě při pěstování obilnin (ozimů i jařin) jako meziplodin mezi kukuřicí a sójou (žito o 48 %, oves o 26 %), nicméně nejvyšší odnosy NO_3^- byly zjištěny v letech s největším kumulativním drenážním odtokem za nízké nebo žádné aplikace hnojiv. Jiný výzkum dokládá fakt, že výrazné snížení dávek N v hnojivech významně nesnížilo vyplavování N během pětiletého pokusu na písčité půdě. Jako hlavní faktor je označována intenzita mineralizace půdní organické hmoty a dynamika srážek. Řada autorů doporučuje razantní využití meziplodin, zejména na zrnitostně lehkých půdách. Pro výrazné a trvalé snížení vyplavování N z těchto půd jsou ovšem nutností zatravnění nebo zalesnění těchto půd, což je management, doporučovaný i řadou studií v povodí VN Švihov na Želivce.

Faktory a mechanismy ovlivňující vyplavování fosforu do podpovrchových a drenážních vod

Zatímco povrchový odtok a povrchová eroze půdy bezpochyby platí jako dominantní zdroj fosforu pro obdělávanou (zejména ornou), k erozi náchylnou půdu a je z hlediska vneseného množství P v řadě povodí převažující, některé studie svědčí o tom, že existují další zdroje a cesty, které se nezanedbatelnou měrou podílejí na odnosu látek fosforu. Bylo prokázáno, že ztráty fosforu z difúzních zdrojů (zejména ze zemědělské půdy) různými typy podpovrchového odtoku jsou větší, než se předpokládalo a že hydrologicky méně významné události, které se vyskytnou během roku častěji než extrémní přívalové deště, jsou z hlediska odnosu fosforu nezanedbatelné. Podpovrchový (hypodermický) odtok a preferenční (interflow, preferential flow) byl z tohoto hlediska považován spíše za marginální ve srovnání s odnosem fosforu povrchovým odtokem během hydrologicky významných událostí. Během posledních přibližně 15 let bylo zjištěno, že drenážní vody, pocházející z klasické trubkové drenáže nebo drenáže krtčí, mohou obsahovat koncentrace různých forem fosforu, které mohou způsobovat závažné eutrofizační problémy v povrchových vodách.

Obdobně byly erozní procesy považovány za jev vyskytující se většinou na povrchu půdy. Rozrušování, uvolňování a transport půdních partikulí se ovšem může odehrávat také rychlým podpovrchovým a/nebo drenážním odtokem, kdy dochází k erozi částeček z okrajů a bází makropórů, prasklin a trhlin různých velikostí a původu. To může způsobovat vysoké koncentrace, mj. nerozpuštěných látek a různých forem fosforu v drenážních vodách. Zejména jemné koloidní částice velikostí (1 nm–1 μm) se mohou podílet na přenosu fosforu podpovrchovým – hypodermickým – odtokem z titulu své vysoké sorpční kapacity.

Tyto jevy se patrně netýkají pouze semihydromorfních a hydromorfních půd nebo intenzivně hnojených lehkých písčitých půd, ale vyskytují se v různých půdních typech, především potom u půd s významným zastoupením hlinité a jílovité frakce, které jsou náchylnější

k praskání a vytváření preferenčních cest odtoku. U půd písčitých a těch s nízkou sorpční kapacitou (organozemě) převažuje v drenážních vodách spíše rozpuštěná forma fosforu. Drenážní systém, který je na tyto preferenční cesty odtoku napojen, může mít v některých ročních obdobích nebo během významných hydrologických událostí značně zvýšenou intenzitu svého působení, čímž dochází k urychlování odtoku a odnosu nerozpuštěných látek, na ně vázaných polutantů i látek rozpuštěných. V mnoha odvodněných povodích rozličných geologických, půdních a geomorfologických parametrů byla zemědělská drenáž identifikována jako významný přispěvatel ke znečištění povrchových toků nerozpuštěnými látkami, fosforem. V některých typech povodí s vybudovaným podpovrchovým trubkovým odvodněním (zejména rovinatá povodí v nížinných oblastech – Velká Británie, Irsko, severní Německo, pobaltské státy) může drenážní odtok a odnos představovat převažující podíl cest a způsob transportu nerozpuštěných látek a dalších polutantů.

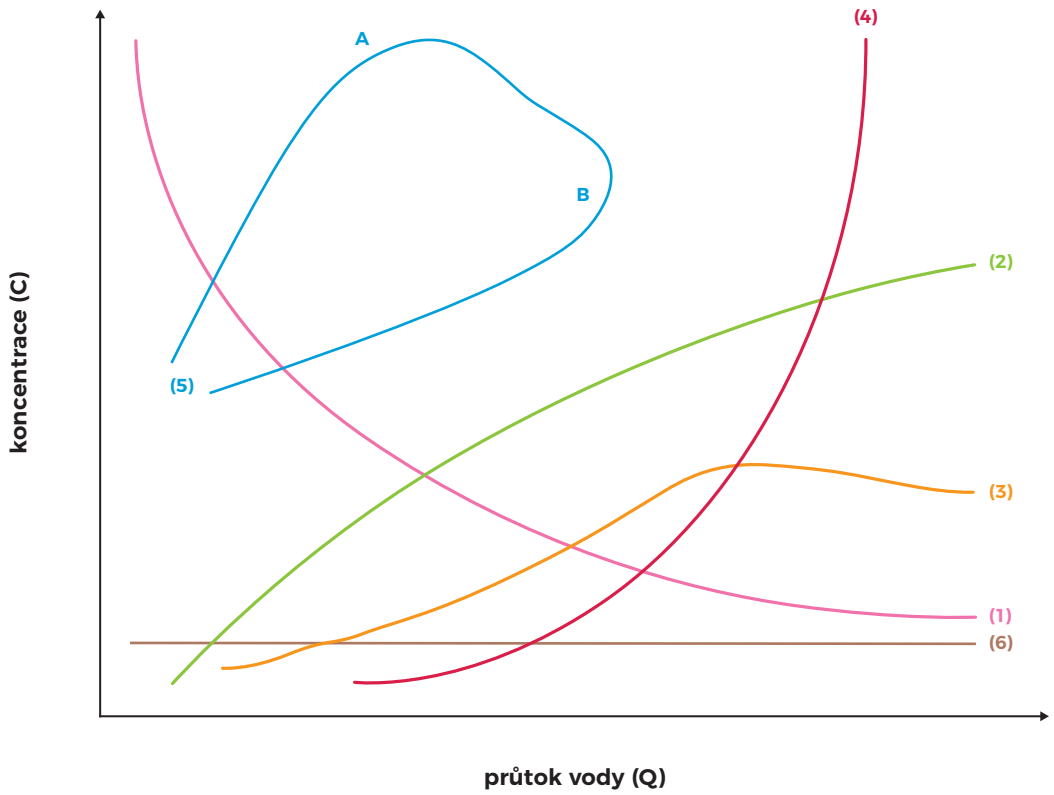
Vyhodnocení koncentrací sloučenin dusíku a fosforu během srážkoodtokových událostí

Znečištění vod ze systémů zemědělského odvodnění, vod drobných vodních toků i řek je během srážkoodtokových událostí značně proměnlivé. Některé látky se během těchto událostí ředí, u některých koncentrace naopak rostou. To souvisí s cestami odtoku (odkud voda pochází, kudy teče) a tím, jaká složka převažuje v daných fázích srážkoodtokové události. Vyhodnocením hydrochemických reakcí povodí na srážkové události můžeme prohloubit porozumění interakcí mezi charakteristikami povodí (půdními, geologickými, geomorfologickými a land use parametry) a dynamikou kvality a kvantity odtékající vody. Vztahy a odlišné průběhy koncentrací suspendovaných a rozpuštěných látek v povrchové vodě v souvislosti se zvýšenými průtoky (dále c-q hystereze) jsou dokumentovány mnoha různými přístupy a studiemi. C-q hystereze koncentrací látek ve vodě jsou pozorovány tehdy, kdy je koncentrace dané látky rozdílná pro stejnou hodnotu průtoku během vzestupné a během poklesové větve hydrogramu.

V obecné rovině jsou některé typizované vztahy koncentrací látek ve vodě a průtoku během zvýšených vodních stavů s dobou trvání od několika hodin do několika dní popsány v grafu 74.

Řada vědeckých prací ze zahraničí i ČR potvrzuje hydrologické procesy v povodí jako dominantní faktor z hlediska působení na vyplavování dusíku z půd do vod. Hydrologickými aspekty a příčinnými faktory, které stojí v pozadí rychlých změn koncentrací dusičnanů a amonných iontů v povrchových vodách drobného vodního toku během různých srážkoodtokových situací, se zabývá práce realizovaná na povodí Kopaninského potoka (rámeček 34). Do této studie bylo zahrnuto celkem 12 srážkoodtokových událostí; tři ze zimního a jarního tání sněhu a devět z dešťových srážek převážně během vegetačního období (graf 75). Během těchto srážkoodtokových událostí byly odebírány vzorky vody z drobného vodního toku pomocí automatického vzorkovače vod (typ ISCO). Tento vzorkovač, napojený na průtokoměrnou stanici, je možné nastavit pro odběr vzorků vod podle protečeného množství vody, podle času nebo v dalších kombinacích. Pro charakteristiku jednotlivých smyček koncentrací a průtoků (c-q hysterezí) bylo kromě hydrologických ukazatelů předchozích vlhkostních podmínek v povodí, příčinných srážek a souvisejících odtoků použito dvou parametrů: δC vyjadřující změnu koncentrace sledované látky ve vodě v průběhu vyhodnocované události a δR, který popisuje změřenou hysterezní smyčku (směr a její rozsah). Vztahy mezi jednotlivými parametry byly vyšetřovány pomocí korelačních a regresních metod a také vícerozměrnou analýzou. Pro c-q hystereze NO_3^- a NH_4^+ byly zjištěny dva typy smyček podle směru rotace (po a proti směru hodinových ručiček) a dva typy podle tvaru zakřivení (konvexní a konkávní) ve vzájemných kombinacích. Variabilita velikosti plochy a směru c-q hysterezí u dusičnanů souvisela na základě výsledků vícerozměrné analýzy nejtěsněji s délkou vzestupné a sklonem počáteční fáze poklesové větve hydrogramu, úhrnem předchozích srážek za pět dní a koeficientem odtoku. V případě amonných iontů zpravidla koncentrace vzrůstaly s rostoucím průtokem, vícerozměrná analýza neodhalila v tomto případě užší vzájemné vazby mezi posuzovanými faktory. Je konstatováno, že růst koncentrací dusičnanů v důsledku růstu průtoku během některých srážkoodtokových událostí je pravděpodobně způsoben výraznějším

Graf 74: Různé modely koncentrací látek v závislosti na průtoku vody v tekoucích vodách.



1 Celkový pokles koncentrace s průtokem a z něj vyplývající naředění; tento podobný model je obecně pozorován pro hlavní ionty, zejména pro více mineralizované vody.

2 Omezený vzestup zpravidla spojený s vymýváním půdních částic (organické látky, formy N) během nárůstu průtoku vody.

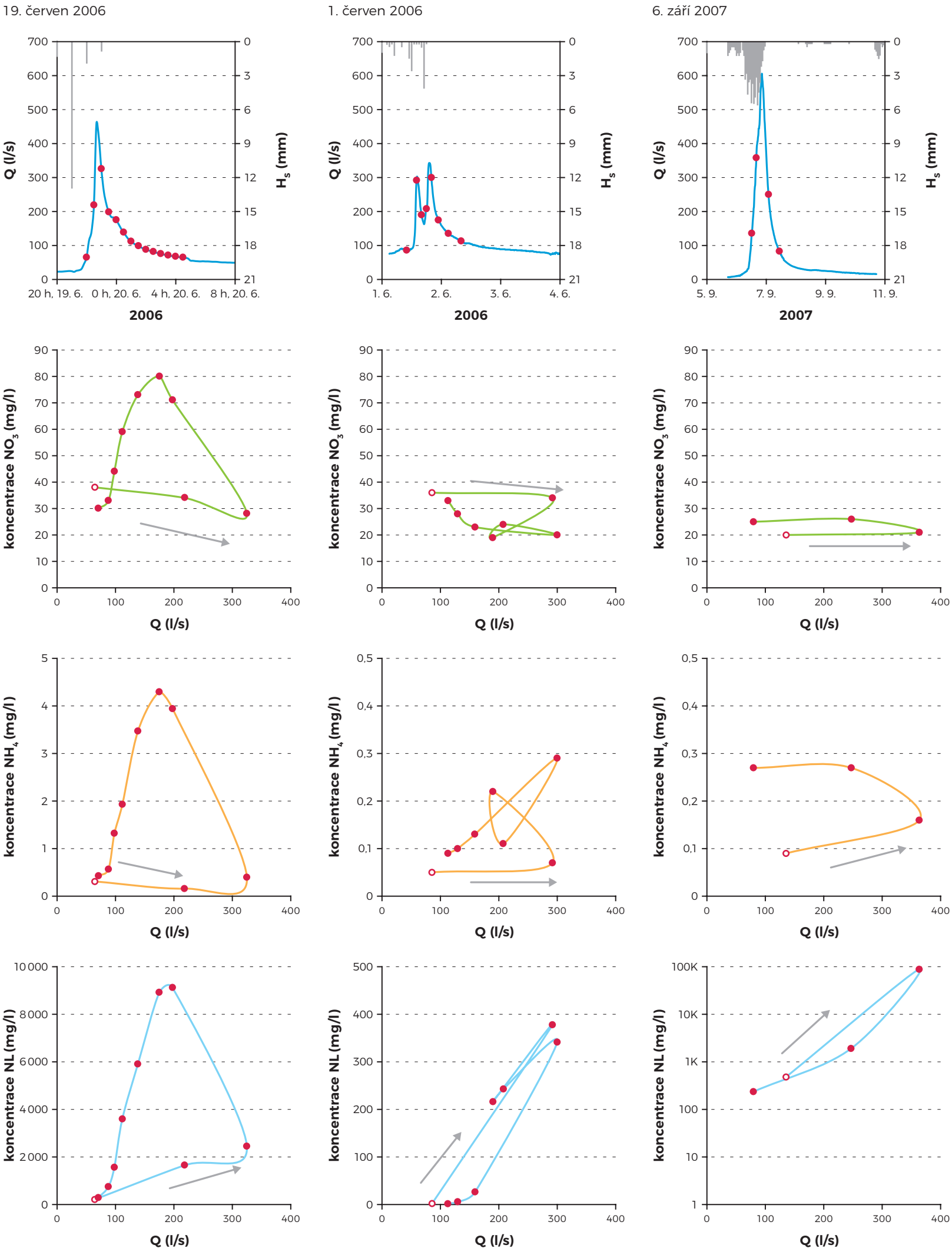
3 Nárůst koncentrací s rostoucím průtokem, po maximu koncentrací následuje jejich pokles vlivem naředění koncentrací látek v půdním profilu.

4 Exponenciální vzestup charakteristický pro průběh koncentrací suspendovaných částic a připojených komponent (kovy, pesticidy apod.).

5 Pravotočivá smyčka, model často pozorovaný pro suspendovaný materiál během povodní s maximálním zákalem v bodě A, vyskytujícím se před maximem vodního průtoku v bodě B.

6 Konstantní koncentrace způsobená dominantním podílem odtoku podzemní vody (např. krasové oblasti, odtok z vodních ploch).

Graf 75: Ukázka hydrogramů vybraných srážkoodtokových událostí s termíny vzorkování (vyznačenými v grafu body) a c-q hysterezí (Q – průtok, Hs – 1 hodinový úhrn srážek, NL – nerozpuštěné látky; prázdný bod v grafu c-q hystereze představuje první vzorek dané srážkoodtokové události, šipka označuje směr hystereze).



vyplavováním dusičnanů z mělkých partií půdního profilu, resp. podzemní vody, při převažujícím hypodermickém odtoku (při středně velkých průtocích), zatímco základní odtok, který převažuje při nízkých průtocích, je dotován podzemní vodou z větších hloubek, která není tak silně kontaminována dusičnany.

Obdobné výsledky (tedy u dusičnanů nejednoznačné a proměnlivé) potvrzující jako řídící sílu pro vyplavování NO_3^- hydrologické podmínky (srážky, odtok, předchozí vláhové podmínky) přinášejí studie z odlišných geografických a přírodních prostředí, např. z Itálie, Německa nebo USA.

Vyplavení a odnos N v dusičnanové formě a P v rozpuštěné formě z plošných zemědělských zdrojů znečištění zvyšuje eutrofizaci vod. Limitujícím prvkem eutrofizace je P. Vysoký eutrofizační potenciál a riziko vyplavení představují půdy silně saturované P a náchylné k urychlenému, zejména tzv. saturačnímu, povrchovému a podpovrchovému odtoku vody a erozi. Lokality s těmito vlastnostmi bývají označovány jako tzv. kritické zdrojové lokality (Critical Source nebo Hydrologically Sensitive Areas – podrobně rámeček 39).

Za limitní hranici pro eutrofizaci vod mírného pásma je považována hodnota 0,035 mg/l biodostupného, tj. rozpuštěného reaktivního P (RRP). Limitní hodnotu roční průtokově vážené koncentrace potom někteří autoři uvádějí jako 0,1 mg/l. Princip vyplavení N a P z půd se liší tím, že RRP ve formě ortofosforečnanů má velkou sorpční afinitu k půdní matrici, naopak $N–NO_3^-$ je mobilní a není sorpcí retardován. Vyplavení RRP je tudíž zvyšováno zpravidla s odtokem vody, naopak vyplavení $N–NO_3^-$ se z hlediska koncentrací, s rostoucím odtokem po úvodním krátkém nárůstu koncentrací, spíše snižuje. Saturace půd P, která podmiňuje zpětnou desorpci RRP do půdního roztoku, a tudíž zvyšuje riziko vyplavení, souvisí s půdními fyzikálně-chemickými vlastnostmi a biogeochemickými procesy. Avšak i z půd s nízkou sorpční kapacitou pro P (např. písčité půdy) může být vyplaveno méně celkového P než např. z těžkých hlinitojílovitých odvodněných půd s výskytem makropórů. Drenážní odtok z těchto půd a rovněž povrchový odtok (eroze) během srážkoodtokových událostí jsou zdrojem převážně partikulárního P (PP) vázaného na půdní koloidy, naopak v podpovrchovém odtoku z půdní matrice, který je podchycen drenážními systémy, převažuje RRP.

O stupni nasycení půd P, resp. o riziku vyplavení N a P rozhoduje rovněž druh, dávka, způsob a doba aplikace hnojiv ve vazbě na výše uvedené faktory – rizika, v souvislosti s průběhem počasí (vlhkost půdy, resp. nasycenost povodí). Zejména přísun P v organické, vysoce mobilní formě (např. hnůj, kejda, digestát) blokuje srážení P a adsorpční místa pro P v půdě. Vysoká přístupnost N v digestátech (tj. vysoký obsah amonných iontů) vytváří v období před zvýšeným příjmem živin porostem značné riziko vyplavení N do podzemních vod. Rovněž se předpokládá, že vyplavení P z digestátu vzhledem k jeho organickému původu bude zvýšené.

Rámeček 39

Kritické zdrojové lokality plošného znečištění

Kritické zdrojové plochy (Critical source areas) jsou obecně enklávy, kde se protínají zvýšené obsahy živin (N nebo P) v půdě s vysokým potenciálem tvorby povrchového odtoku vody či cestou jeho vstupu do povrchových vod. V zahraničí jsou tyto lokality vymezovány řadou způsobů a přístupů, dnes převážně v GIS, založených na hodnocení odtokových linií či zón v kombinaci s plochami saturace. Jedním z nejčastěji používaných ukazatelů je tzv. topografický index. Topografický index je v hydrologickém modelování i praxi široce používán, a to především za účelem predikce rozlohy a prostorového rozmístění tzv. zdrojových ploch (zón saturace, čili ploch, kde dochází k nasycení půdního profilu vodou), na nichž je předpokládán vznik rychlého povrchového odtoku. Lze totiž předpokládat, že k nasycení dochází přednostně v těch partiích terénu, které jsou plošší (malý sklon) a leží pod dlouhým svahem (velká přispívající plocha). Topografický index, který je přímo úměrný přispívající ploše a nepřímo úměrný sklonu, se tak může stát mírou, nakolik má dané místo tendenci vytvářet nasycené podmínky a tedy i zdrojové plochy. V praxi jsou pak zdrojové plochy identifikovány na základě překročení zvolené prahové hodnoty topografického indexu. Kromě ploch s výskytem povrchového odtoku to mohou být dále půdy mělké, promyvné a/nebo odvodněné či s výskytem makropórů. Hydrologická a hydrochemická role těchto enkláv se projevuje zejména v souvislosti s významnou srážkoodtokovou událostí.

Vliv hnojení organickými (kejda skotu, digestát, močůvka) a minerálními hnojivy na koncentrace a odnosy dusičnanů, reaktivního a celkového P v drenážních vodách

Zhodnocení vlivu hnojení organickými (kejda skotu, digestát, močůvka) a minerálními hnojivy na eutrofizační riziko prostřednictvím koncentrací a odnosů $N–NO_3^-$, reaktivního a celkového P v drenážních vodách je uvedeno pro dvě malá zemědělská subpovodí za různých hydrologických situací. Jednalo se o subpovodí Dehtáře (obrázek 90) a část povodí Pekelského potoka u Košetic (1-09-03-0030-0-00), (rámeček 40, obrázek 91) – měrné profily KOS1 a KOS2.

Na všech sledovaných profilech obou pokusných lokalit byly v drenážních šachticích automaticky měřeny průtoky ultrazvukovou sondou. Drenážní odtok byl hodnocen podle odtokových koeficientů (podíl drenážního odtoku ze srážek) a byl rozdělen na tři složky metodami digitálních rekurzivních filtrů (rámeček 40).

Na experimentálním subpovodí Dehtáře byly sledovány profily drenážních skupin KL (TTP ve výtokové, OP a TTP ve zdrojové oblasti) a KP (OP). Dále byla sledována mikropovodí drenážních souřadů K1 (TTP) a K5 (OP) a záchytný drén K2 zachycující svahovou vodu z TTP nad souřadem K1, se kterým je spojen. Obsah přístupného P v drnové vrstvě 0–20 (25) cm travního porostu ve zdrojové oblasti (K1, K2 a částečně KL) byl 70–170 mg/kg, tj. v kategorii dobrý až velmi vysoký. Na jaře 2013 zde byl aplikován digestát z prasečí kejdy a výpalků z lihovaru v dávce 100 kg N a 27 kg P/ha a během vegetačního období příležitostně močůvka. Travní porost ve výtokové oblasti nebyl hnojen. Na ornou půdu byl v srpnu 2012 před výsevem řepky ozimé aplikován hnůj (186 kg N a 50 kg P/ha), na jaře 2013 minerální hnojiva (121 kg N/ha, bez P).

V rámci pravidelného monitoringu byly vzorky drenážní vody odebírány ve 14denních intervalech. V průběhu významných srážkoodtokových událostí byly na profilech KOS1, KOS2, KL a KP vzorky odebírány automaticky pomocí vzorkovačů ISCO. Ve vzorcích vody byly určeny koncentrace dusičnanů, reaktivního P ve formě ortofosforečnanů ($P–PO_4^{3}$), celkového P (P_{celk}), vše v mg/l. Průměrné koncentrace byly váženy průtokem (FWC) a odnos látek z povodí byl získán vynásobením průměrného denního průtoku příslušnou koncentrací živiny. Z půdních vzorků z Košetic a z Dehtář z TTP (zdrojová oblast) byl stanoven obsah přístupného P (Mehlich III) a tzv. stupeň nasycení fosforem (Degree of phosphorus saturation – DPS), a to jako podíl P vázaného na amorfní formy Fe a Al na základě extrakce kyselým fosforečnanem draselným obsahujícím 75 mg P/l po dobu 18 hodin. Z úbytku P bylo vypočteno množství sorbovaného P v půdě.

Drenážní odtok

Charakteristiky drenážního odtoku jednotlivých mikropovodí se výrazně lišily (tabulka 62). Hodnoty okamžitého průtoku se pohybovaly od 0,001 v období základního odtoku koncem léta po 20–30 l/s v průběhu významných letních srážkoodtokových událostí. Na lokalitě Košetice byla na KOS1 zjištěna mimořádně vysoká hodnota odtokového koeficientu (77 %) ve srovnání s běžnou hodnotou pro drenážní systémy v dané oblasti na KOS2 (28 %) a rovněž i specifický odtok. Srážkoodtokové události měly vysoký podíl na celkovém odtoku na obou skupinách (KOS1 34 %, 7 srážkoodtokových událostí / 13 dní; KOS2 36 %, 8 srážkoodtokových událostí / 10 dní). V Dehtářích se odtokový koeficient pohyboval v rozpětí 8–42 % a specifický odtok 0,015–0,076 l s/ha. Na závěrovém profilu KP byl zjištěn odtokový koeficient i specifický odtok nejvyšší (tabulka 62), na KL byly naopak obě tyto charakteristiky mimořádně nízké. Podíl srážkoodtokových událostí na celkovém ročním odtoku byl na závěrových profilech v Dehtářích nižší než v Košeticích (KL 7 srážkoodtokových událostí / 12 dní a 13 % z celkového odtoku, KP 5 srážkoodtokových událostí / 10 dní a 10 % celkového odtoku).

Na koncentrace a odnos nutrientů má vliv kromě objemu drenážního odtoku také zastoupení jeho složek (rámeček 40). Základní odtok se na celkovém odtoku nejvíce podílel na konci vegetačního období a na podzim, kdy (mimo srážkoodtokové události) v odtoku jednoznačně převažoval. Přímý odtok se vyskytoval v proměnlivém podílu po celý rok. Největší podíl měl v průběhu srážkoodtokových událostí, a to jak za letních přívalových dešťů, tak i při rychlých oblevách v průběhu ledna a února. V průběhu těchto srážkoodtokových událostí dosahoval podíl rychlé složky až 95 % denního odtoku. Střední složka se uplatnila zejména na konci zimních srážkoodtokových událostí spojených s táním sněhu a částečně i na konci největších letních srážkoodtokových událostí. Naopak na podzim se v drenážním odtoku téměř nevyskytovala. Rozdíly v zastoupení jednotlivých složek odtoku byly zjištěny nejen mezi sledovanými subpovodími, ale i v rámci jejich mikropovodí. Na KOS1 byl výrazně vyšší podíl základního odtoku a nižší podíl přímého odtoku než na KOS2. Na lokalitě Dehtáře byl zaznamenán výrazně nižší podíl přímého odtoku a vyšší podíl střední složky na K5 oproti K1 a záchytnému drénu K2. Obdobný rozdíl byl zaznamenán též mezi skupinami KL a KP (tabulka 62).

Koncentrace a odnos dusičnanového dusíku

Hodnoty průtokově vážené koncentrace látek (FWC) $N–NO_3$ a statistických charakteristik odnosu $N–NO_3^-$ jsou uvedeny v tabulce 63. V Košeticích byly zjištěny koncentrace $N–NO_3$ 7,0–36,6 mg/l, přičemž FWC na kejdovaném

Rámeček 40

Separace drenážního odtoku metodami digitálních rekurzivních filtrů

Separace odtoku je metoda vhodná pro podrobnější studium charakteru hydrologické a hydrochemické odezvy jakéhokoli povodí na srážku (tj. zjištění původu vody a cest kontaminace). Jedná se o rozdělení jednotlivých složek odtoku vody z povodí na jeho rychlou složku (povrchový odtok, rychlý podpovrchový) a pomalou (základní odtok a nízký hypodermický – drenážní odtok), (Serrano et al., 1997). Pro rozčlenění hydrogramu průtoků na jednotlivé složky odtoku jsou používány různé metody separací hydrogramu. Východisko použitých metod separace je založeno na platnosti bilanční rovnice říkající, že součet přímého a základního odtoku v každém časovém intervalu každé metody je roven odtoku celkovému.

Pro separace odtoku lze využít např.: digitální filtry Grayson (Lacey and Grayson, 1998), Nathan a McMahon (Nathan and McMahon, 1990), které separují základní odtok v kombinaci s početními metodami MPGM a GROUND, jež separují přímý odtok. Podíl hypodermického odtoku (interflow) lze získat odečtením základního odtoku (průměr výsledků metod Grayson, Nathan a McMahon) od výsledku separace získaného metodami GROUND a MPGM. Každá z použitých metod separace je schopna rozdělit odtok celkový vždy pouze na dvě složky. Aplikací těchto metod současně lze vedle jejich vzájemného porovnání (a kontroly) docílit separace odtoku celkového na tři složky, které lze označit jako odtok základní (resp. pomalý), hypodermický (resp. středně rychlý) a povrchový (resp. rychlý).

Automatické digitální rekurzivní filtry patří mezi empirické metody. Metoda digitálních filtrů není fyzikálně založena, vychází se z analogie s digitálním filtrováním vysokofrekvenčních signálů ze signálů s nízkou frekvencí. Nízkofrekvenční signál byl přitom ztotožněn se složkou odtoku základního, vysokofrekvenční složka pak se složkou odtoku přímého (Lyne and Hollick, 1979).

Početní metoda GROUND (separation of GROUNDwater runoff) je metoda empirická, odladěná tak, aby separované hydrogramy středních denních odtoků z povodí o ploše řádu jednotek km^2 odpovídaly hodnotám měřených průtoků. Uceleně je metoda popsána v práci (Kulhavý a kol., 2001).

Metoda MGPM (modifikovaná grafická-početní metoda) je založena stejně jako metoda GROUND na předpokladu, že každá zřetelná odtoková vlna má příčinu v určité srážkové události. Úkolem algoritmu je separovat tu část odtoku, která je přímou odezvou na příčinnou srážku (na efektivní déšť). Vychází se z faktu, že základní odtok je tlumen půdními a horninovými odpory, má plynulý průběh a závisí na průběhu dlouhodobé hydrologické bilance povodí. Uceleně je metoda opět popsána v práci Kulhavý a kol. (2001).

Tabulka 62: Charakteristiky drenážních odtoků všech sledovaných měrných profilů v hydrologickém roce (HR) 2013

Měrný profil	Srážky	Velikost mikropovodí	Koeficient odtoku	Specifický odtok	Medián odtoku	Q base	Q inter	Q direct
	(mm)	(ha)	(%)	(l/s ha)	(m^3/ha den)	(%)	(%)	(%)
KOS1	791,2	3,9	77	0,190	4,3	39,3	29,5	31,2
KOS2	791,2	5,0	28	0,071	2,9	31,8	27,6	40,6
K1	578,8	3,3	24	0,043	2,3	41,7	31,8	26,5
K2	578,8	2,3	35	0,065	4,1	43,4	30,1	26,5
K5	578,8	8,6	35	0,065	2,7	39,2	45,2	15,6
KL	578,8	29,6	8	0,015	0,9	44,9	35,0	20,1
KP	578,8	28,3	42	0,076	4,1	38,0	45,0	17,0

Rámeček 41

Experimentální lokalita Košetice

Lokalita se nachází JZ od obce Košetice, asi 15 km na S od Pelhřimova. Jedná se o pozemek s ornou písčitohlinitou až hlinitou půdou (34,50 ha), s nadmořskou výškou 500–525 m a průměrnou sklonitostí 2,5°. V roce 1963 zde byla vybudována stavba drenážního odvodnění, dosud funkční, s dvěma drenážními skupinami, které jsou vyústěny do recipientu vzdáleného 70–100 m J od pozemku. Na pozemku převažuje kambizem modální, v terénních vlhkých depresích kambizem oglejená a pseudoglej modální. V JZ části pozemku je koluvizem modální, která vznikla akumulací erozních smyvů z vyšší části pozemku. Pozemek má v různých částech nízkou, vyhovující a dobrou zásobu přístupného P. Pole bylo rozděleno na dvě pokusné části, a sice na základě vymezení mikropovodí dvou hlavních drenážních skupin zaústěných do dvou šachtic (KOS1, KOS2). V roce 2012 byla na obou částech pěstována kukuřice, brambory a ječmen jarní. Před výsevem kukuřice byly na KOS1 aplikovány kejda skotu a rychle rozpustné minerální hnojivo Polidap (123 kg N a 45 kg P/ha) a k ječmeni Polidap (27 kg N a 30 kg P/ha). Na KOS2 bylo ke kukuřici a ječmeni dáno stejné množství N a P v DAM390 a v minerálním hnojivu Fosmag s pozvolným uvolňováním P. Brambory byly v obou variantách hnojeny shodně (60 kg N a 26 kg P/ha v NP 20–20). V roce 2013 byl pěstován ječmen jarní a kukuřice na siláž. Na KOS1 byly před výsevem ječmene aplikovány Polidap podle potřeby hnojení P (9–45 kg N a 10–50 kg P/ha) a před výsevem kukuřice kejda a Polidap (158 kg N a 40 kg P/ha). Na KOS2 byly aplikovány DAM390 a hnojivo s pomalým uvolňováním P (Dolophos), u kterého bylo předpokládáno nižší riziko průniku P do podzemních vod. Dávka u ječmene byla 33 kg N a 30 až 40 kg P/ha podle potřeby hnojení P a u kukuřice stejně jako na KOS1. Během července byla kukuřice přihnojena na obou mikropovodích 57 kg N/ha v DAM390.

Obrázek 91: Experimentální lokalita Košetice.

Legenda

- kambizem modální
- kambizem oglejená
- koluvizem modální
- pseudoglej modální
- sledované drenážní šachtice
- vrstevnice (1 m)
- hranice drenážních skupin

0 50 100 200 (m)

mikropovodí KOS1 byla vyšší než na KOS2 hnojeném minerálními hnojivy. Během pravidelných odběrů se koncentrace se zvyšujícím se průtokem mírně zvyšovaly, hodnoty korelačního koeficientu r se pohybovaly mezi 0,4–0,5. Během vegetačního období koncentrace $N–NO_3^-$ dosahovaly na obou mikropovodích vyšších hodnot než v období mimovegetačním a opět byly vyšší na KOS1. V průběhu srážkoodtokových událostí byly v obou obdobích naopak podstatně vyšší FWC na KOS2, a to častým zvyšováním koncentrací $N–NO_3^-$ s rostoucím průtokem. Nicméně byly zaznamenány i srážkoodtokové události s opačným průběhem koncentrací. Průměrný denní i celkový roční odnos $N–NO_3^-$ byl výrazně vyšší z KOS1. Větší podíl na odnosu $N–NO_3^-$ z KOS1 byl v mimovegetačním období, na KOS2 ve vegetačním období. Na celkovém odnosu $N–NO_3^-$ se srážkoodtokové události podílely z 18 % na KOS1, resp. z 32 % na KOS2.

Na **lokalitě Dehtáře** se koncentrace $N–NO_3^-$ pohybovaly mezi 1,5–30,4 mg/l. Hodnoty FWC byly na zatravněných mikropovodích hnojených digestátem a močůvkou nižší ve srovnání s ornou půdou a byly vyšší ve vegetačním období. Naopak na měrných profilech s ornou půdou byly FWC vyšší v období mimovegetačním (tabulka 63). Během pravidelných odběrů koncentrace $N–NO_3^-$ obecně klesaly s rostoucím průtokem, s užší vazbou na měrných profilech sledujících vodu z TTP. Během letních srážkoodtokových událostí docházelo na KL k silnému ředění koncentrací $N–NO_3^-$ a v průběhu zimních srážkoodtokových událostí nebyla pozorována žádná závislost. Na drenážní skupině KP naopak docházelo v průběhu zimních srážkoodtokových událostí k ředění a v průběhu letních srážkoodtokových událostí nebyla vazba mezi průtokem a koncentrací $N–NO_3^-$. Také odnos $N–NO_3^-$ byl podstatně vyšší z orné půdy než z TTP. Větší podíl vyplaveného $N–NO_3^-$ byl na všech sledovaných měrných profilech v mimovegetačním období. Podíl srážkoodtokových událostí na celkovém odnosu $N–NO_3^-$ byl na Dehtářích nižší než v Košeticích; na KL dosáhl 3,6 % (7 srážkoodtokových událostí / 12 dní) a na KP 5,6 % (5 srážkoodtokových událostí / 10 dní).

Koncentrace a odnos rozpuštěného reaktivního fosforu ($P–PO_4^{3-}$)

Hodnoty FWC $P–PO_4^{3-}$ a statistických charakteristik odnosu $P–PO_4^{3-}$ jsou uvedeny v tabulce 64. Koncentrace $P–PO_4$ se v drenážních vodách lokality Košetice pohybovaly mezi 0,001–0,196 mg/l. Na KOS1 se $P–PO_4^{3-}$ mírně snižovaly s rostoucím průtokem a na KOS2 mírně rostly. Hodnoty FWC z pravidelných odběrů byly na obou mikropovodích relativně nízké a bez rizika eutrofizace (tabulka 64). Všechny charakteristiky odnosu byly výrazně vyšší na KOS1. Nebyl pozorován velký rozdíl mezi odnosem $P–PO_4$, mezi vegetačním a mimogevetačním obdobím. V průběhu srážkoodtokových událostí došlo převážně k nárůstu koncentrací $P–PO_4^{3-}$. Srážkoodtokové události měly významný podíl na ročním odnosu $P–PO_4^{3-}$ (KOS1 47 %, KOS2 36 %). Největší podíl na celkovém odnosu $P–PO_4^{3-}$ měla mimořádná třídenní srážkoodtoková událost na začátku června (KOS1 22 %). Podíl $P–PO_4^{3-}$ na odnosu celkového P byl na obou měrných profilech 1/5 až 1/3 (vyšší ve vegetačním období). V drenážních vodách lokality Dehtáře se koncentrace $P–PO_4^{3-}$ pohybovaly mezi 0,001–0,251 mg/l. Koncentrace z pravidelných odběrů obecně mírně rostly s rostoucím průtokem, vztah byl nejtěsnější na zorněném mikropovodí K5 (r = 0,50). Naopak na K2 byly koncentrace $P–PO_4^{3-}$ na velikosti průtoku nezávislé. Hodnoty FWC byly na všech sledovaných mikropovodích obdobně nízké s výjimkou zatravněného K2 s aplikací digestátu, kde byly oproti ostatním měrným profilům hodnoty vyšší a v mimovegetačním období překročily

Tabulka 63: Koncentrace (FWC) a odnos $N–NO_3^-$ ze všech sledovaných měrných profilů v HR 2013

Období	Měrný profil	Land use	Hnojení	Koncentrace $N–NO_3^-$ (mg/l)		Odnos $N–NO_3^-$			
						Denní (g/ha)			Celkem (kg/ha)
				FWC pravidelný odběr	FWC srážkoodtokové události	Maximum	Průměr	Medián	Suma
HR 2013	KOS1	OP	kejda	22,1	17,7	4 442,7	373,7	90,2	136,0
	KOS2	OP	minerální	19,4	27,9	10 538,5	126,1	42,5	46,0
	K1	TTP	digestát/močůvka	7,3	n	270,6	30,3	21,4	11,1
	K2	TTP	digestát/močůvka	14,3	n	594,2	66,7	59,1	24,4
	K5	OP	minerální	24,9	n	953,7	145,0	61,2	52,9
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	9,8	4,0	36,1	14,7	13,6	5,4
	KP	OP	minerální	20,8	10,5	629,3	126,3	68,8	46,1
Vegetační (1. 4. – 30. 9.)	KOS1	OP	kejda	25,1	16,9	4 442,7	294,3	82,6	53,6
	KOS2	OP	minerální	21,4	28,4	10 538,5	172,0	37,6	31,5
	K1	TTP	digestát/močůvka	8,1	n	270,6	28,0	19,5	5,1
	K2	TTP	digestát/močůvka	15,1	n	358,7	67,6	61,7	12,4
	K5	OP	minerální	23,0	n	381,0	83,7	63,7	15,2
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	11,1	3,5	36,1	14,3	14,1	2,6
	KP	OP	minerální	19,3	9,2	558,3	100,4	72,9	18,3
Mimovegetační	KOS1	OP	kejda	23,1	21,4	3 285,2	453,0	179,9	82,4
	KOS2	OP	minerální	15,7	12,3	1 025,8	80,0	54,2	14,5
	K1	TTP	digestát/močůvka	6,7	n	219,9	32,8	33,3	6,0
	K2	TTP	digestát/močůvka	13,9	n	594,2	65,9	34,3	12,0
	K5	OP	minerální	25,8	n	953,7	207,4	53,7	37,8
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	8,7	5,5	33,0	15,2	11,9	2,8
	KP	OP	minerální	22,1	14,0	629,3	152,7	52,9	27,8

Poznámky

FWC – průtokově vážené koncentrace, HR – hydrologický rok, n – neměřeno, dig. – digestát, moč. – močůvka.

hranici ohrožení eutrofizací (0,043 mg/l).
V průběhu srážkoodtokových událostí většinou docházelo ke zvyšování koncentrací $P–PO_4^{3–}$ s rostoucím průtokem (r = 0,46 – 0,90) s výjimkou jedné letní srážkoodtokové události, kdy se koncentrace $P–PO_4^{3–}$ neměnily na žádném měrném profilu. Na ročním odnosu se srážkoodtokové události na experimentálním subpovodí Dehtáře (KL 14 %, KP 12 %) podílely nižším podílem odnosu než na experimentální lokalitě Košetice. Podíl $P–PO_4^{3–}$ na celkovém odnosu P se na experimentální subpovodí Dehtáře pohyboval mezi 27–37 %, na K2 to však bylo 58 % (v mimovegetačním období 69 %).

Koncentrace a odnos celkového fosforu (P_{celk})

Hodnoty FWC P_{celk} statistických charakteristik odnosu P jsou uvedeny v tabulce 65. Během pravidelných odběrů byly obsahy P_{celk} na lokalitě Košetice v rozmezí 0,016–0,166 na KOS1 a 0,002–0,036 mg/l na KOS2. Na KOS1 nebyla zjištěna vazba mezi koncentracemi a průtokem, na KOS2 docházelo k mírnému růstu koncentrací s rostoucím průtokem. V průběhu srážkoodtokových událostí měly koncentrace P_{celk} přibližně dvojnásobné hodnoty v porovnání s pravidelnými odběry (tabulka 65). Vztah mezi průtokem a koncentracemi P_{celk} byl nejednoznačný, vyskytly se srážkoodtokové události s růstem i poklesem koncentrací s rostoucím průtokem. Celková ztráta P_{celk} na KOS1 byla vyšší než na KOS2. Velký podíl na roční ztrátě celkového P měly srážkoodtokové události (KOS1 26 %, KOS2 38 %). Značnou část odnosu z KOS2 představoval odnos v průběhu pouhých dvou srážkoodtokových událostí: při oblevě v lednu 2013 a v červnu 2013. Na lokalitě Dehtáře se koncentrace P_{celk} pohybovaly v rozmezí 0,016–0,378 mg/l. Během pravidelných odběrů koncentrace P_{celk} mírně rostly se zvyšujícím se průtokem na všech sledovaných měrných profilech (nejsilnější vazba na KL r = 0,79 a K5 r = 0,50). V průběhu srážkoodtokových událostí se koncentrace většinou zvyšovaly, ale vyskytly se srážkoodtokové události s opačným průběhem a bez vztahu mezi koncentrací a průtokem. Hodnoty FWC byly velmi podobné, nicméně nejvyšší byly na zatravněných a digestátem hnojených měrných profilech K1 a K2. V mimovegetačním období byly koncentrace P_{celk} vyšší než ve vegetačním, přičemž na K2 překročily hodnotu 0,1 mg/l (tabulka 64). V průběhu srážkoodtokových událostí byly koncentrace vyšší než během pravidelných odběrů, nicméně podíl srážkoodtokových událostí na celkovém odtoku byl relativně nízký (KL 19 %, KP 8 %).

Při hodnocení vyplavování živin je nutné vzít v úvahu dynamiku půdní vlhkosti v návaznosti na rozdělení a intenzitu srážek, land use, terénní a půdní podmínky a předchozí i současný management daného území. Během vlhkého období následujícího po delším období sucha je $N–NO_3^–$ vyplavován ve velké míře (efekt koncentrace), pokud srážky přetrvávají delší dobu, vyplavení dusičnanů klesá tak, jak jsou z půdy vyčerpávány (efekt ředění). Během sušší periody se $N–NO_3^–$ v půdě kumuluje. Tento mechanismus dokládá spojení hydrologických a biogeochemických půdních procesů. Vyšší celkový odtok i podíl základního odtoku na experimentální lokalitě Košetice (na měrném profilu KOS1) bylo možné vysvětlit výraznou hydrologickou konektivitou území, která vysvětlila, že výrazně vyšší FWC je $N–NO_3^–$ během pravidelných odběrů a zároveň i celkový odnos je $N–NO_3^–$ ve srovnání s KOS2. Naopak nižší hydrologická konektivita na KOS2 odpovídala nižším FWC během pravidelných odběrů, kdy základní odtok byl zřejmě tvořen hlubší podzemní vodou. Vyšší FWC i odnosy během srážkoodtokových událostí na KOS2 měly souvislost s vyšším podílem rychlé složky

Tabulka 64: Koncentrace (FWC) a odnos $P–PO_4^{3–}$ ze všech sledovaných měrných profilů v HR 2013

Období	Měrný profil	Land use	Hnojení	Koncentrace $P–PO_4^{3–}$ (mg/l)		Odnos $P–PO_4^{3–}$			
						Denní (g/ha)			Celkem (g/ha)
				FWC pravidelný odběr	FWC srážkoodtokové události	Maximum	Průměr	Medián	Suma
HR 2013	KOS1	OP	kejda	0,023	0,090	19,350	0,463	0,071	168,9
	KOS2	OP	minerální	0,020	0,044	12,414	0,146	0,018	53,2
	K1	TTP	digestát/močůvka	0,015	n	1,114	0,081	0,037	29,4
	K2	TTP	digestát/močůvka	0,036	n	28,814	0,388	0,090	141,5
	K5	OP	minerální	0,016	n	0,896	0,115	0,043	42,0
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	0,011	0,023	0,307	0,027	0,015	9,9
	KP	OP	minerální	0,016	0,031	1,425	0,144	0,067	52,5
Vegetační (1. 4. – 30. 9.)	KOS1	OP	kejda	0,037	0,102	19,350	0,480	0,070	80,0
	KOS2	OP	minerální	0,004	0,044	12,414	0,160	0,003	29,1
	K1	TTP	digestát/močůvka	0,011	n	1,114	0,056	0,036	10,2
	K2	TTP	digestát/močůvka	0,019	n	2,162	0,136	0,093	24,9
	K5	OP	minerální	0,010	n	0,314	0,060	0,043	10,9
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	0,006	0,021	0,293	0,020	0,015	3,7
	KP	OP	minerální	0,010	0,029	1,305	0,105	0,068	19,2
Mimovegetační	KOS1	OP	kejda	0,021	0,036	4,663	0,440	0,100	88,9
	KOS2	OP	minerální	0,022	0,045	2,359	0,130	0,070	24,1
	K1	TTP	digestát/močůvka	0,018	n	0,733	0,106	0,048	19,2
	K2	TTP	digestát/močůvka	0,043	n	28,814	0,640	0,049	116,5
	K5	OP	minerální	0,019	n	0,896	0,171	0,044	31,1
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	0,017	0,028	0,307	0,034	0,016	6,2
	KP	OP	minerální	0,021	0,036	1,425	0,183	0,055	33,3

Poznámky

FWC – průtokově vážené koncentrace, HR – hydrologický rok, n – neměřeno, dig. – digestát, moč. – močůvka.

odtoku, která podporovala koncentrování je $N–NO_3^-$ s odtokem.

Vzhledem k tomu, že morfologické a fyziologické charakteristiky travních druhů účinně omezují vyplavení živin do vod, byly podle předpokladu FWC i celkové odnosy je $N–NO_3^-$ na experimentálním subpovodí Dehtáře výrazně vyšší z orné půdy (K5, KP), a to zejména v mimovegetačním období.

Organický fosfor je převážně mobilní, minimálně vázaný půdními koloidy, a tudíž se předpokládá jeho vyšší vyplavení ve srovnání s minerálními hnojivy. Tím lze vysvětlit zvýšení FWC obou forem P po aplikaci kejdy na KOS1 (experimentální lokalitě Košetice), kdy výše uvedené eutrofizační limity pro RRP (0,035 mg/l), resp. celkový P (0,10 mg/l) byly v pravidelných odběrech nepatrně překročeny ve vegetačním období, resp. mimovegetačním období. Zvýšené riziko vyplavení P bylo indikováno i v nejnižší části kejdovaného pozemku na základě přístupného P v půdě, který překročil ve vrstvě 0–30 cm eutrofizační limit (90 mg/kg), a vysokého Dissolved phosphorus solutions (DPS), rozpuštěného fosforu (29 %). Zcela jiná situace byla během srážkoodtokových událostí, kdy eutrofizační limity obou forem P byly více či méně překročeny na obou sledovaných mikropovodích, a to ve shodě se studií na odvodněných hlinitojílovitých půdách jižního Švédska, která zjistila vyšší RRP během zvýšených vodních stavů po aplikaci drůbeží kejdy. Na posouzení eutrofizačního rizika má výrazný vliv rovněž roční období a druh vodního útvaru povrchových vod (tekoucí vs. stojatá voda). Nejvyšší riziko eutrofizace vod v souvislosti s nároky řas a sinic na živiny je na jaře a v létě. V tekoucích vodách je období eutrofizačního rizika plně synchronizováno s kontinuální dostupností P zdrojů, naopak ve stojatých vodách o eutrofizaci rozhoduje celková roční zátěž P (velký vliv srážkoodtokových událostí).

Celkově lze zhodnotit eutrofizační riziko na experimentální lokalitě Košetice jako nízké, a to i v souvislosti s velmi nízkým DPS ve vrstvě 30–60 cm (12 %), dokládajícím možnost účinné půdní sorpce P aplikovaného hnojivy. Na experimentálním subpovodí Dehtáře se mírně zvýšené riziko eutrofizace během pravidelných odběrů po aplikaci digestátu na TTP projevilo na K2 (obě formy P, mimovegetační období) a K1 (P_{celk}, vegetační období). Koncentrace P na K2 nemohla být prokazatelně snižována ředěním podzemní vodou. Zvýšené FWC i odnosy v mimovegetačním období byly způsobeny absencí čerpání P porostem a vyplavováním z odumřelé organické hmoty. Riziko vyplavení P bylo indikováno v půdní vrstvě 0–20 cm promyvné kambizemě arenické s vysokým obsahem přístupného P (> 90 mg/kg) a DPS 29 %; to však bylo eliminováno ve vrstvě 15–35 cm s dostatečnou kapacitou pro sorpci P (DPS 13 %).

Aplikace hnoje související s měrnými profily KP a K5 neprokázala žádné eutrofizační riziko, zřejmě z důvodu vazby P na půdní koloidy a pětiletého odstupu od předchozí dávky hnoje. Zároveň však je třeba uvažovat možný podíl neznečištěné podzemní vody v odtoku z těchto měrných profilů ležících v dolní části subpovodí. Z hlediska vyplavení P během srážkoodtokových událostí bylo na experimentálním subpovodí Dehtáře zaznamenáno mírně zvýšené eutrofizační riziko ve vegetačním období na KL. Vyšší FWC obou forem P během srážkoodtokových událostí na obou lokalitách vypovídaly nejen o vyplavení organického P a RRP z půdního roztoku, ale zřejmě i o tzv. vnitropůdní erozi z makropórů, která je zdrojem PP v drenážních vodách. Rovněž riziko eutrofizace na experimentálním subpovodí Dehtáře je možno hodnotit jako nízké, neboť během vegetačního období byl pouze nepatrně překročen eutrofizační limit pro celkový obsah P.

Vyplavení živin z drenážních vod závisí na propojení hydrologických a biogeochemických půdních procesů. Vyplavení $N–NO_3^-$ nebylo

Tabulka 65: Koncentrace (FWC) a odnos P_{celk} ze všech sledovaných měrných profilů v HR 2013

Období	Měrný profil	Land use	Hnojení	Koncentrace P_{celk} (mg/l)		Odnos P_{celk}			
						Denní (g/ha)			Celkem (g/ha)
				FWC pravidelný odběr	FWC srážko-odtokové události	Maximum	Průměr	Medián	Suma
HR 2013	KOS1	OP	kejda	0,089	0,194	40,98	1,72	0,33	629,4
	KOS2	OP	minerální	0,066	0,133	25,96	0,43	0,13	156,2
	K1	TTP	digestát/močůvka	0,086	n	3,81	0,30	0,10	111,1
	K2	TTP	digestát/močůvka	0,097	n	40,18	0,66	0,21	241,4
	K5	OP	minerální	0,058	n	2,89	0,31	0,07	112,9
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	0,073	0,114	1,22	0,09	0,03	32,1
	KP	OP	minerální	0,068	0,090	4,16	0,41	0,16	150,8
Vegetační (1. 4. – 30. 9.)	KOS1	OP	kejda	0,075	0,216	40,98	1,48	0,24	270,9
	KOS2	OP	minerální	0,053	0,133	25,96	0,45	0,08	83,0
	K1	TTP	digestát/močůvka	0,112	n	3,71	0,25	0,08	46,6
	K2	TTP	digestát/močůvka	0,080	n	6,48	0,40	0,22	72,7
	K5	OP	minerální	0,059	n	0,68	0,13	0,06	23,5
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	0,070	0,123	1,22	0,07	0,03	12,4
	KP	OP	minerální	0,072	0,088	3,92	0,29	0,12	53,6
Mimovegetační	KOS1	OP	kejda	0,104	0,102	24,07	1,97	0,48	358,5
	KOS2	OP	minerální	0,076	0,128	4,50	0,40	0,24	73,2
	K1	TTP	digestát/močůvka	0,081	n	3,81	0,35	0,19	64,5
	K2	TTP	digestát/močůvka	0,133	n	40,18	0,93	0,11	168,8
	K5	OP	minerální	0,070	n	2,89	0,49	0,11	89,4
	KL	TTP + OP	min./dig./moč.	0,091	0,088	1,16	0,11	0,06	19,7
	KP	OP	minerální	0,077	0,097	4,16	0,53	0,27	97,2

Poznámky

FWC – průtokově vážené koncentrace, HR – hydrologický rok, n – neměřeno, dig. – digestát, moč. – močůvka.

diferencováno typem hnojiva (organické vs. minerální), ale využíváním pozemků (TTP vs. OP). Naopak vyplavení P záviselo na typu hnojiva, zvýšené bylo po aplikaci hnojiv organických. Celkově nízké eutrofizační riziko bylo spojeno s účinnou sorpční kapacitou pro P v hlubších půdních vrstvách. Během srážkoodtokových událostí byly drenážní vody výrazně obohaceny P, ale jejich dočasné působení zřejmě nepodmiňuje výrazně eutrofizaci.

Základní odtok se na celkovém odtoku nejvíce podílí zpravidla na konci vegetačního období a na podzim, kdy (mimo srážkoodtokové události) v odtoku jednoznačně převažoval. Koncentrace většiny látek v něm jsou relativně nízké; zejména P. Vyšší podíl základního odtoku, např. na KOS1 (experimentální lokalitě Košetice), bylo možné vysvětlit výraznou hydrologickou konektivitou území, která způsobila výrazně vyšší průtokově vážené koncentrace (FWC) $N–NO_3^-$ během pravidelných odběrů a zároveň i celkový odnos $N–NO_3^-$ ve srovnání s méně vodnou KOS2. Naopak nižší hydrologická konektivita na KOS2 odpovídala nižším FWC během pravidelných odběrů, kdy základní odtok byl zřejmě tvořen hlubší podzemní vodou.

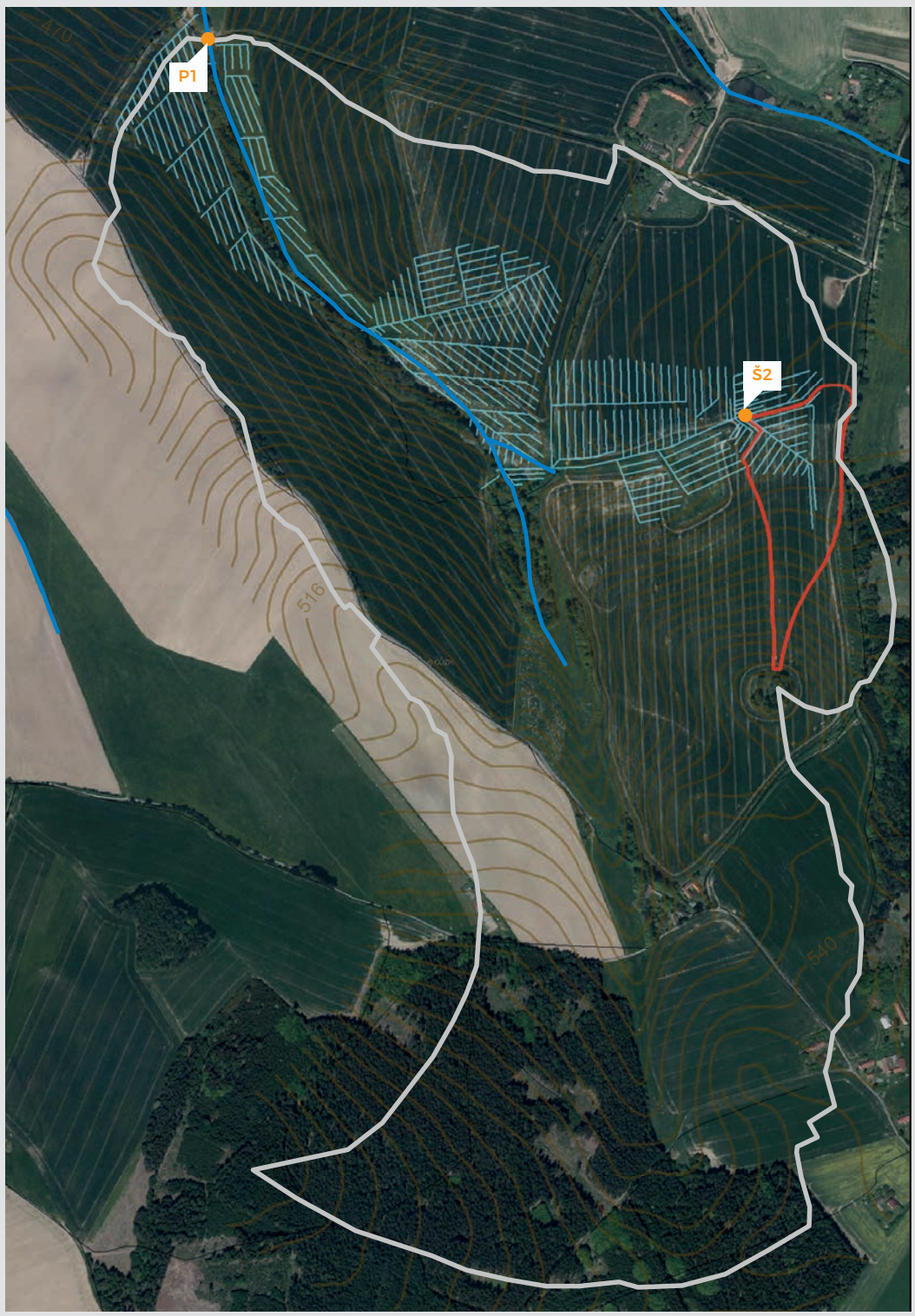
Vyplavování pesticidů drenážními systémy

Dosavadní studie se většinou zabývaly monitoringem koncentrací a odnosu pesticidních látek z velkých povodí, ale málo se zaměřovaly na studium dynamiky a cest odtoku, přestože

Rámeček 42

Experimentální subpovodí Černičí

Experimentální subpovodí Černičí je malé (1,34 km²) zemědělské subpovodí nacházející se u Čechtic. Prochází jím bezejmenný malý vodní tok, pravobřežní přítok Čechtického potoka. Průměrná nadm. výška povodí je 516 m n. m., délka hlavní údolnice je 2,1 km, průměrný sklon hlavní údolnice je 3,9 % a průměrný sklon povodí 7,8 %. Z půd převažují kambizemě ve všech formách (arenická, modální, oglejená), v hlavní údolnici se nacházejí gleje. V nižších partiích svahů povodí s menšími sklony podél toku potoka (převážně pravý břeh) jsou koluvizemě mírně oglejené až oglejené (pseudogleje). Půdy jsou středně hluboké, středně těžké až lehké. Zastoupení kultur (% z celkové plochy povodí) je následující: orná půda (75 %), les (16 %), trvalý travní porost (8 %), zastavěné plochy (1 %). Pěstovány jsou zejména obilniny, jarní i ozimé (pšenice, ječmen), řepka ozimá, kukuřice a brambory. Povodí je z části odvodněné podpovrchovou systematickou drenáží z roku 1981. Celková rozloha odvodněných ploch v povodí je 0,36 km². ⏭



Obrázek 92: Experimentální subpovodí Černičí.

hydrologie subpovodí je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících zranitelnost území vyplavováním pesticidních látek. Vzhledem k náročnosti a vysoké ceně vzorkování jsou častější přímé a krátkodobé experimenty zaměřené na aplikaci určitých látek a dlouhodobá podrobná sledování za podmínek běžného hospodaření nejsou příliš četná. Z těchto důvodů byl na dvou experimentálních subpovodích zahájen podrobný monitoring koncentrací pesticidů i jejich metabolitů společně s měřením deficitu stabilních iztotopů ^{18}O a ^{2}H. Účelem je zjištění rozsahu a hlavně dynamiky vyplavování těchto látek za různých odtokových situací. Jedná se o již několikrát zmiňované subpovodí Dehtáře a subpovodí Černičí (rámeček 42).

Na experimentálním subpovodí Dehtáře byly sledovány závěrové měrné profily dvou drenážních skupin KL (29 ha) a KP (28 ha) s rozdílným využitím půdy. Plocha skupiny KL je téměř celá zatravněna a pesticidy byly aplikovány naposledy před více než sedmi lety. Půda v mikropovodí drenážní skupiny KP je využívána jako orná a probíhá zde běžné zemědělské hospodaření. Na experimentálním subpovodí Černičí je sledována drenážní skupina Š2 (3,8 ha) plně pod ornou půdou a závěrový měrný profil povrchového toku P1, do kterého je zaústěno více drenážních skupin.

Ve vzorcích z pravidelných odběrů (tabulka 66), tj. v období relativně nízkých průtoků a převažujícího základního a svahového odtoku, byly v drenážních vodách detekovány zejména metabolity pesticidních látek. Nejčastěji byly detekovány metabolity chloracetanilidových herbicidů, které byly zjištěny téměř ve všech odebraných vzorcích. V drenážních vodách experimentálního subpovodí Dehtáře (měrné profily KL a KP) to byly zejména alachlor ESA, nalezený ve všech odebraných vzorcích v koncentracích převážně ve stovkách ng/l, metazachlor ESA (ve všech vzorcích v koncentracích ve stovkách až tisících ng/l), metolachlor ESA (všechny vzorky, koncentrace v tisících ng/l). Častý byl také výskyt dimetachloru ESA, jeho koncentrace byly nižší, převážně v desítkách ng/l. Z OA forem metabolitů se vyskytovaly pouze metazachlor OA a metolachlor OA, jejichž koncentrace byly o řád nižší než v případě forem ESA těchto metabolitů. V drenážních vodách experimentálního povodí Černičí (Š2) též převažovaly metabolity chloracetanilidových herbicidů. Byly to zejména acetochlor ESA, alachlor ESA a metazachlor ESA. Z OA forem byl častější pouze metazachlor OA. V povrchovém odtoku na měrném profilu P1 byla škála metabolitů velmi podobná drenážním vodám, tj. opět převažovaly vysoce perzistentní chloracetanilidové metabolity, k tomu přibyl relativně častý výskyt metabolitu terbuthylazinu ve formě terbuthylazin – 2 hydroxy. V povrchovém toku se také na rozdíl od drenáží ojediněle vyskytovaly mateřské látky. Za dobu sledování bylo detekováno celkem 15 pesticidů (tabulka 66), každý z nich však pouze v jednom či dvou odběrech.

V rámci dvouletého výzkumu bylo na experimentálních subpovodích Dehtáře a Černičí zachyceno a podrobeno detailní analýze 16 hydrogramů srážkoodtokových událostí s rozdílným složením drenážního a povrchového odtoku. Obecně se v průběhu srážkoodtokových událostí objevuje v drenážním i povrchovém odtoku širší spektrum pesticidních látek než v období běžných průtoků. Významná je především přítomnost mateřských látek, jež za běžných stavů nebyly téměř detekovány, a jejichž koncentrace mohou být v průběhu srážkoodtokových

Tabulka 66: Pesticidní látky detekované v pravidelně odebíraných vzorcích za převažujícího základního a svahového odtoku na měrných profilech experimentálních subpovodí Dehtáře a Černičí

Měrný profil		KL		KP		Š2		P1	
Látka	**Typ**	**Počet detekcí (Počet vzorků)**	**Koncentrace (ng/l)**	**Počet detekcí (Počet vzorků)**	**Koncentrace (ng/l)**	**Počet detekcí (Počet vzorků)**	**Koncentrace (ng/l)**	**Počet detekcí (Počet vzorků)**	**Koncentrace (ng/l)**
Acetochlor ESA	M	0 (18)	n	0 (18)	n	24 (24)	60–172	22 (25)	29–105
Alachlor ESA	M	18 (18)	85–728	18 (18)	361–1 100	24 (24)	19–228	24 (25)	78–1 030
Atrazine-2-hydroxy	M	0 (18)	n	0 (18)	n	6 (24)	11–21	8 (25)	10–19
Dimethachlor ESA	M	17 (18)	28–134	10 (18)	20–29	0 (24)	n	0 (25)	n
Chloridazon desphenyl	M	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	5 (25)	57–110
Chloridazon methyl desphenyl	M	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	8 (25)	11–51
Metazachlor ESA	M	18 (18)	136–3 690	18 (18)	252–10 400	24 (24)	298–5 060	24 (25)	123–3 280
Metazachlor OA	M	10 (18)	27–388	18 (18)	25–1 110	13 (24)	20–2 360	19 (25)	22–1 870
Metolachlor ESA	M	18(18)	620–4 730	18 (18)	163–1 660	3 (24)	20–69	1(25)	135
Metolachlor OA	M	16 (18)	31–383	11 (18)	21–295	1 (24)	65	1 (25)	23
Terbutylazin-2-hydroxy	M	0 (18)	n	0 (18)	n	6 (24)	10–30	23 (25)	12–43
Terbutylazin-desetyl	M	0 (18)	n	0 (18)	n	1 (24)	12	3 (25)	10–27
Acetochlor	H	1 (18)	59	1 (18)	36	2 (24)	16–41	2 (25)	11–29
Bentazon	H	0 (18)	n	0 (18)	n	22 (24)	13–72	2 (25)	18–19
Clomazone	H	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	1 (25)	29
Epoxiconazol	F	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	1 (25)	17
Chlorsulfuron	H	0 (18)	n	0 (18)	n	1 (24)	11	2 (25)	21–41
Isoproturon	H	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	2 (25)	73–367
Metazachlor	H	0 (18)	n	0 (18)	n	2 (24)	18–200	2 (25)	50–840
Metolachlor	H	1 (18)	26	1 (18)	13	2 (24)	21–46	1 (25)	13
Nicosulfuron	H	1 (18)	37	0 (18)	n	0 (24)	n	0 (25)	n
Pendimethalin	H	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	2 (25)	11–29
Quinmerac	H	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	1 (25)	23
Tebuconazol	F	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (24)	n	2 (25)	24–43
Cyprosulfamide	H	0 (18)	n	0 (18)	n	0 (18)	n	2 (25)	22–460

Poznámky: M – metabolit, H – herbicid, F – fungicid, n – nehodnoceno.

událostí značně vysoké. Přehled všech mateřských látek zachycených v průběhu srážkoodtokových událostí je uveden v tabulce 67. Charakteristiky odtoku a koncentrací pesticidních látek potom v tabulce 68. Srážkoodtokové události s charakteristickým průběhem jsou zobrazeny také zvlášť v grafech 76–83 a níže v textu podrobně rozebrány.

První dva grafy 76 a 77 zobrazují odlišný vývoj koncentrací metabolitů v průběhu srážkoodtokových událostí v závislosti na přítomnosti „nové“ vody (vody pocházející z příčinné

Tabulka 67: Mateřské látky detekované v průběhu srážkoodtokových událostí na měrných profilech experimentálních subpovodí Dehtáře a Černičí

Měrný profil		KL		KP		Š2		P1	
Látka	Typ	Počet detekcí (Počet vzorků)	Koncentrace (ng/l)	Počet detekcí (Počet vzorků)	Koncentrace (ng/l)	Počet detekcí (Počet vzorků)	Koncentrace (ng/l)	Počet detekcí (Počet vzorků)	Koncentrace (ng/l)
2,4,5-T	H	0 (9)	n	0 (36)	n	2 (12)	11–18	0 (19)	n
Acetochlor	H	0 (9)	n	0 (36)	n	0 (12)	n	0 (19)	n
Bentazon	H	0 (9)	n	0 (36)	n	1 (12)	20	2 (19)	18–19
Carbendazim	F	0 (9)	n	0 (36)	n	0 (12)	n	2 (19)	13–16
Clomazone	F	0 (9)	n	19 (36)	11–360	4 (12)	1 700–3 400	6 (19)	2 000–8 100
Dimetachlor	H	0 (9)	n	0 (9)	n	0 (12)	n	3 (19)	14–20
Diflufenican	H	0 (9)	n	0 (9)	n	0 (12)	n	9 (19)	10–73
Epoxiconazole	F	0 (9)	n	0 (36)	n	3 (12)	12–36	6 (19)	16–97
Fluopicolide	F	0 (9)	n	6 (36)	700–2 000	0 (12)	n	0 (19)	n
Glyfosat	H	n	n	6 (16)	84–356	0 (4)	n	6 (10)	69–453
Chlorotoluron	H	0 (9)	n	4 (36)	13–21	0 (12)	n	9 (19)	162–973
Chlorsulfuron	H	0 (9)	n	0 (36)	n	8 (12)	91–230	7 (19)	10–140
Isoproturon	H	0 (9)	n	0 (36)	n	0 (12)	n	7 (19)	23–45
Linuron	H	0 (9)	n	19 (36)	25–719	0 (12)	n	0 (19)	n
Mandipropamid	F	0 (9)	n	6 (36)	21- 200	0 (12)	n	0 (19)	n
Mesotrione	H	0 (9)	n	6 (36)	21–460	0 (12)	n	0 (19)	n
Metazachlor	H	0 (9)	n	0 (36)	n	4 (12)	11 000–19 000	6 (19)	11 000–37 000
Metolachlor	H	0 (9)	n	0 (36)	n	0 (12)	n	0 (19)	n
Metalaxyl	F	0 (9)	n	6 (36)	390–980	0 (12)	n	4 (19)	30–44
Nicosulfuron	H	1 (9)	23	0 (36)	n	0 (12)	n	0 (19)	n
Pendimethalin	H	0 (9)	n	0 (36)	n	0 (12)	n	9 (19)	10–50
Propiconazole	F	0 (9)	n			1 (12)	12	4 (19)	14–46
Quinmerac	H	0 (9)	n	0 (36)	n	0 (12)	n	2 (19)	69–910
Tebuconazol	F	0 (9)	n	4 (36)	11–16	4 (12)	34–190	6 (19)	15–150

Poznámky: H – herbicid, F – fungicid, n – nehodnoceno.

Tabulka 68: Přehled zachycených srážkoodtokových událostí na měrných profilech experimentálních subpovodí Dehtáře a Černičí

Datum	Měrný profil	Q kulminační	Q celkový	Q event podíl	Cfw metabolity	Cfw mateřské látky	Plodina	Doba od poslední aplikace
		(l/s)	(m^3)	(%)	(ng/l)	(ng/l)		
31. 7. 2014	Dehtáře KL	0,477	3,5	54	575,4	22,4	TTP	7 let
18. 8. 2015	Dehtáře KL	0,139	10,3	25	1 179,0	0,0	TTP	7 let
27. 8. 2014	Dehtáře KP	1,179	34,4	0	17 671,5	50,2	strniště	3 měsíce
23.–24. 10. 2014	Dehtáře KP	3,319	256,9	0	5 752,3	0,0	strniště	5 měsíců
10.–11. 1. 2015	Dehtáře KP	15,449	1 901,3	14	922,4	0,0	strniště	7 měsíců
1. 6. 2015	Dehtáře KP	1,108	64,5	7	7 042,3	468,4	brambory/kukuřice	2 týdny
13.–14. 6. 2015	Dehtáře KP	2,048	56,3	13	4 064,9	896,6	brambory/kukuřice	2 týdny
17.–18. 8. 2015	Dehtáře KP	1,095	154,1	30	4 004,7	2 133,1	brambory/kukuřice	6 týdnů
23. 10. 2014	Černičí Š2	0,423	45,6	0	307,7	172,0	pšenice oz.	n
9. 9. 2015	Černičí Š2	3,094	78,4	11	2 879,1	17 157,8	strniště	n
23. 10. 2014	Černičí P1	29,620	1 519,0	53	279,6	673,4	pšenice oz.	n
17. 8. 2015	Černičí P1	0,400	7,0	31	1 257,8	37,7	strniště	n
9. 9. 2015	Černičí P1	44,950	365,7	*	4 782,3	33 416,5	strniště	n

Poznámky: Q event – podíl „nové“ vody v odtoku, Cfw – průtokově vážená koncentrace, n – není údaj, * – nelze separovat, před srážkoodtokovou událostí nebyl žádný odtok.

srážky) v drenážním odtoku. Na grafu 76 je znázorněna srážkoodtoková událost na měrném profilu KL, která proběhla 31. 7. 2014 po srážce o úhrnu 19 mm. Drenážní průtok se prudce zvýšil z 0,1 l/s na 0,5 l/s v průběhu 40 min. Na tomto průtoku měla „nová" voda 53% podíl. Tato složka odtoku způsobila „ředění" koncentrací všech hlavních metabolitů v drenážním odtoku, jak je patrné z grafu 76. V případě alachloru ESA bylo snížení z 644 ng/l v posledním vzorku před srážkoodtokovou událostí až na 98 ng/l, metolachloru ESA z 1 160 ng/l na 157 ng/l, v případě metolachloru OA došlo k poklesu ze 73 ng/l na 32 ng/l, u metazachloru ESA koncentrace klesly ze 183 ng/l na 23 ng/l a v případě dimetachloru ESA z 82 ng/l až na 26 ng/l.

Naopak srážkoodtoková událost, která byla zaznamenána 27. 8. 2014 na měrném profilu KP (graf 77), patří mezi ty, při kterých se podle izotopové separace drenážního odtoku účastnila pouze voda, která se v subpovodí nacházela již v době před příčinnou srážkou. Jedná se s největší pravděpodobností o rychle mobilizovaný mělký podpovrchový odtok. Drenážní odtok se pohyboval v rozmezí 0,13–1,2 l/s. V průběhu této srážkoodtokové události došlo k výraznému zvýšení hodnot koncentrací metazachloru ESA i OA, a alachloru ESA spolu s rostoucím průtokem. V době okolo kulminace drenážního průtoku byly koncentrace těchto látek nejvyšší, když v případě metazachloru OA se blížily hodnotě 12 000 ng/l.

Průběh letní srážkoodtokové události na měrném profilu KP, která proběhla 13. 6. 2015, je zobrazen v grafu 78. Událost byla způsobena srážkou o celkovém úhrnu 18 mm, drenážní průtok se v průběhu jedné hodiny zvýšil z 0,6 l/s na 2,1 l/s. Podle izotopové separace se do drenážního odtoku velmi záhy dostala „nová" voda z příčinné srážky. Společně s touto „novou" vodou se v drenážním odtoku objevily pesticidy, které nebyly detekovány v předešlých vzorcích z pravidelných odběrů. Jedná se zejména o glyfosát, jehož koncentrace dosáhla až 241 ng/l, clomazone (max. 260 ng/l), mesotrione (460 ng/l) a linuron, přičemž jejich koncentrace je korelovatelná s velikostí podílu „nové" vody v drenážním odtoku. Aplikace těchto látek proběhla mezi 13. 5.–3. 6. 2016, do drenážního odtoku se dostaly v rozmezí dvou týdnů (mesotrione) až jednoho měsíce po aplikaci.

Graf 79 potom zobrazuje letní srážkoodtokovou událost, která proběhla 18.–19. 8. 2015 taktéž na drenážní skupině KP. Tato srážkoodtoková událost proběhla ve dvou vlnách a byla způsobena srážkami o celkovém úhrnu 55 mm. Drenážní průtok se pohyboval od 0,14 po 1,1 l/s. V této srážkoodtokové události se společně s 30% podílem vody z příčinné srážky objevily relativně vysoké koncentrace fluopicolidu (700–2 800 ng/l) a metalaxylu (390–980 ng/l). V případě metalaxylu se jedná o fungicid aplikovaný 25. 6. 2015 na brambory a který se v předešlých srážkoodtokových událostech neobjevil. Fluopicolid je fungicid aplikovaný 2. 7. 2015.

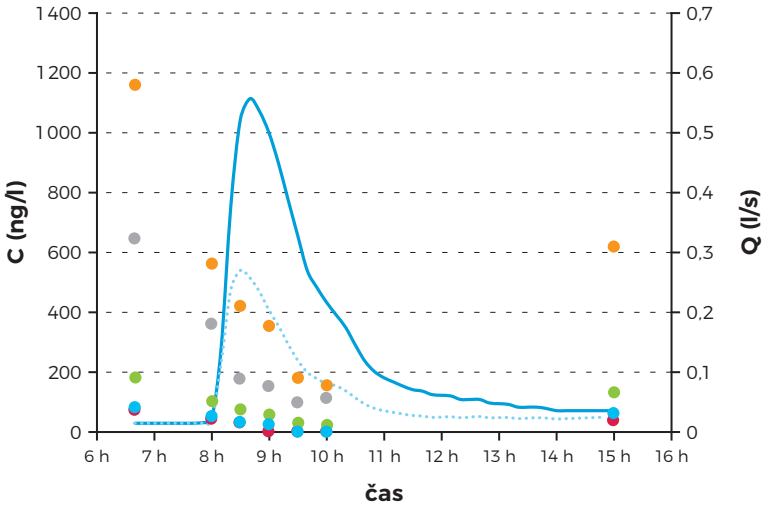
Srážkoodtoková událost, která proběhla na měrném profilu P1 22.–24. 10. 2014 zobrazená na grafu 80, je příkladem rychlé srážkoodtokové události na povrchovém toku. Pod vlivem málo intenzivní příčinné srážky o úhrnu 17 mm došlo k prudkému zvýšení průtoku z 3 l/s na 29 l/s za relativně krátký čas čtyř hodin. Do odtoku se dostalo velké množství „nové" vody, celkový podíl byl 53%, přičemž v části srážkoodtokové události nová voda převažovala. Společně s vodou z příčinné srážky se do odtoku dostaly mateřské pesticidní látky, když jejich průtokově vážená koncentrace byla 2,5krát vyšší než průtokově vážená koncentrace metabolitů (tabulka 3). Jednalo se především o chlorotorulon s koncentracemi až 973 ng/l. Z dalších látek se vyskytly chlorsulfuron, isoproturon, diflufenican, pendimethalin, jejichž souhrnné koncentrace dosahovaly až 243 ng/l, jak je zobrazeno v grafu 80.

Srážkoodtoková událost, která proběhla na měrném profilu Š2 experimentálního subpovodí Černičí (graf 81) 9. 9. 2015, potvrzuje, že i na jiných lokalitách souvisí přítomnost mateřských látek v drenážním odtoku s podílem „nové" vody. Tato srážkoodtoková událost byla vyvolána intenzivní srážkou, v jejímž průběhu spadlo 33 mm za dvě hodiny. Drenážní průtok se zvýšil v průběhu 40 minut z 0,04 l/s na 3,04 l/s, přičemž voda z příčinné srážky se v odtoku objevila velmi záhy po začátku srážkoodtokové události. Celkový podíl nové vody v drenážním odtoku byl 11 %, maximální 21 %. V průběhu srážkoodtokové události byly detekovány velmi vysoké koncentrace metazachloru (až 19 000 ng/l a clomazonu (3 400 ng/l); v nízkých koncentracích se objevily ještě tebuconazole a epiconazole. Průtokově vážená koncentrace všech mateřských látek byla 17 158 ng/l, kdežto metabolitů pouze 2 879 ng/l.

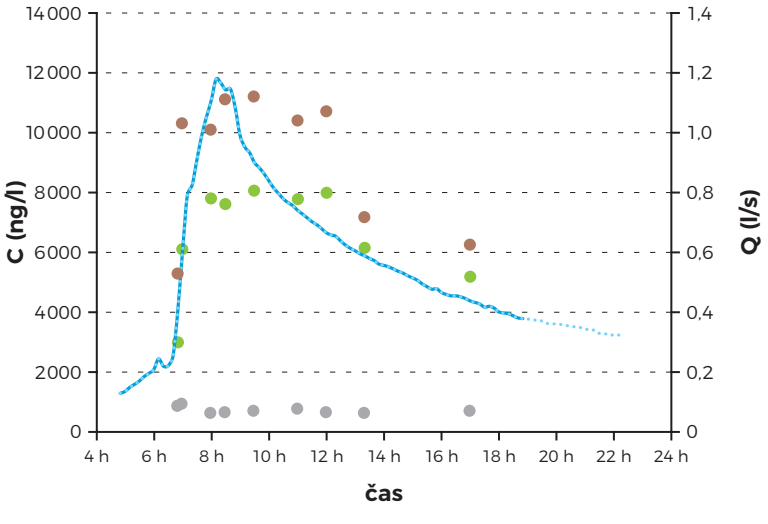
V grafech 82 a 83 je potom zobrazena stejná srážkoodtoková událost z 9. 9. 2015 na povrchovém toku P1 (experimentální subpovodí Černičí), která dokladuje možnost značného vyplavování mateřských látek v průběhu první srážkoodtokové události po aplikaci. Vzhledem ke skutečnosti, že v důsledku velmi suché vegetační sezony 2015 nebyl v potoce před srážkoodtokovou událostí žádný odtok, nebylo možné provést separaci odtoku. Svým izotopovým složením však odtok v průběhu srážkoodtokové události odpovídal srážce spadlé na povodí dva týdny před srážkoodtokovou událostí. Průtok v potoce velmi rychle vzrostl z 0 l/s na 45 l/s a v průběhu srážkoodtokové události byly zjištěny zvlášť vysoké koncentrace metazachloru, a to v rozmezí 11 000–37 000 ng/l, clomazonu (2 000–8 000 ng/l), quinmerit (69–210 ng/l) a glyfosátu (69–453 ng/l) včetně jeho metabolitu AMPA.

Grafy 76–83: Průběh odtoku a koncentrace pesticidních látek během charakteristických srážkoodtokových událostí na experimentálních subpovodích Dehtáře a Černičí.

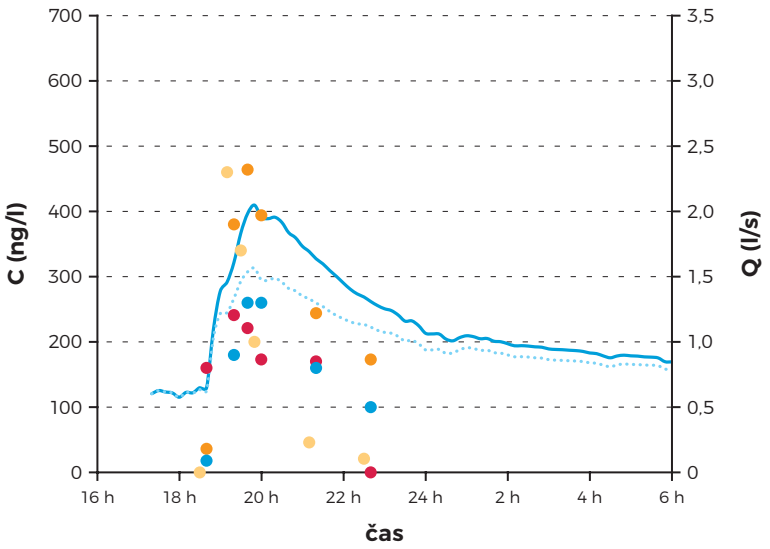
Graf 76: Srážkoodtoková událost KL, 31. 7. 2014, podíl „nové" vody v odtoku 53 %



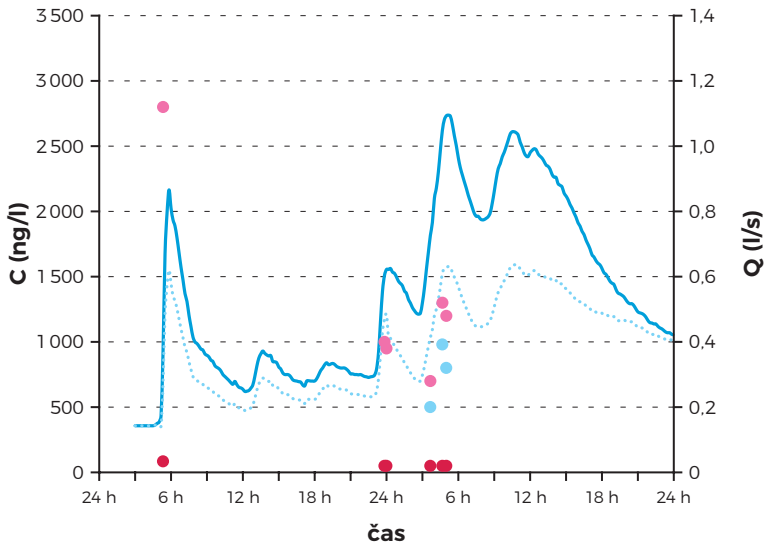
Graf 77: Srážkoodtoková událost KP, 27. 8. 2014, podíl „nové" vody 0 %



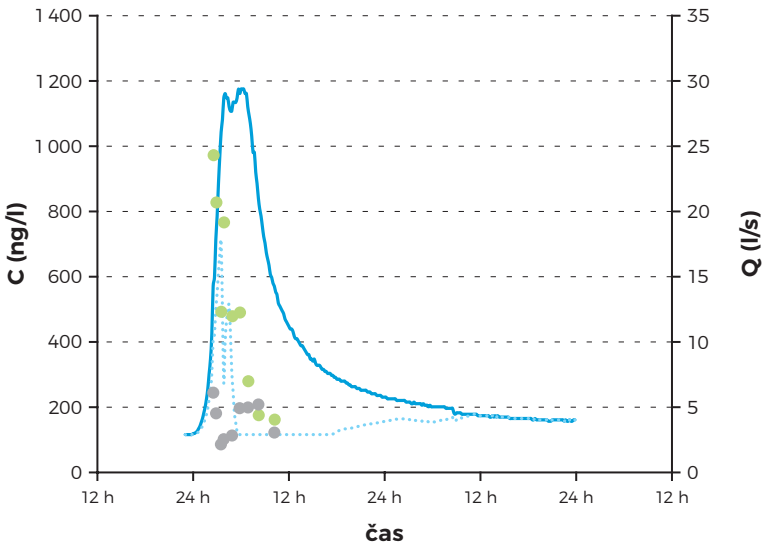
Graf 78: Srážkoodtoková událost KP, 13. 6. 2015, podíl „nové“ vody 15 %.



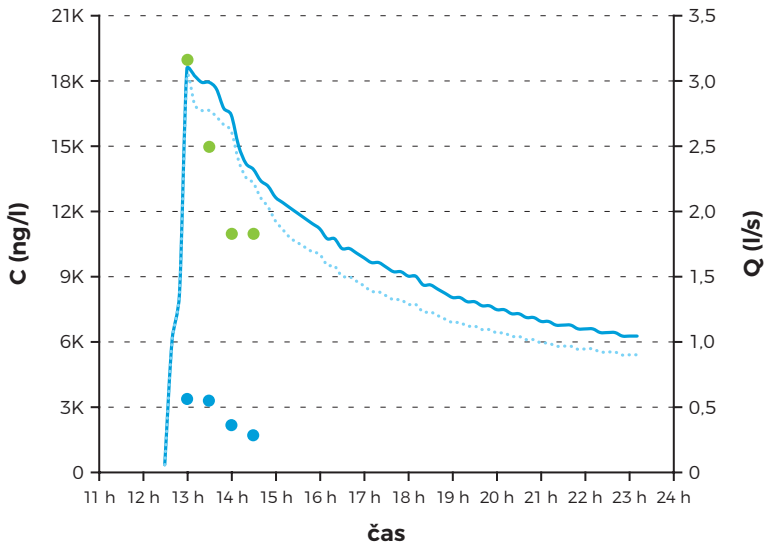
Graf 79: Srážkoodtoková událost KP, 19.–18. 8. 2015, podíl „nové“ vody 30 %.



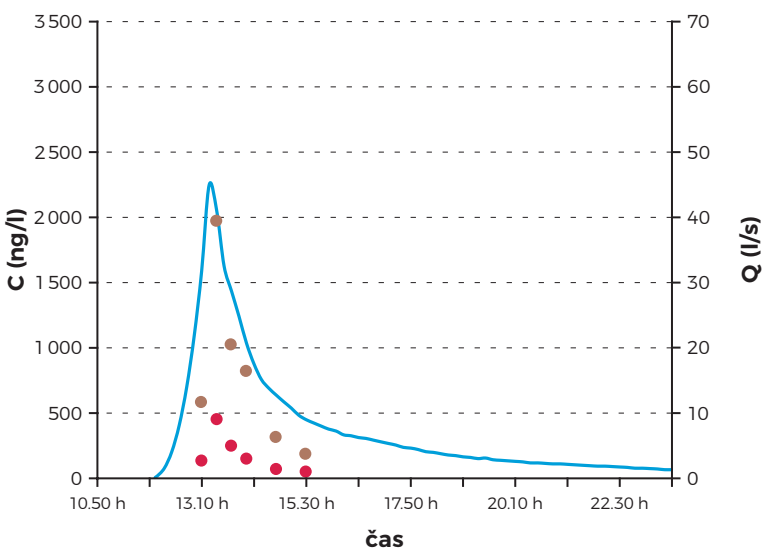
Graf 80: Srážkoodtoková událost Černičí P1, 22.–24. 10. 2014, podíl „nové“ vody 53 %.



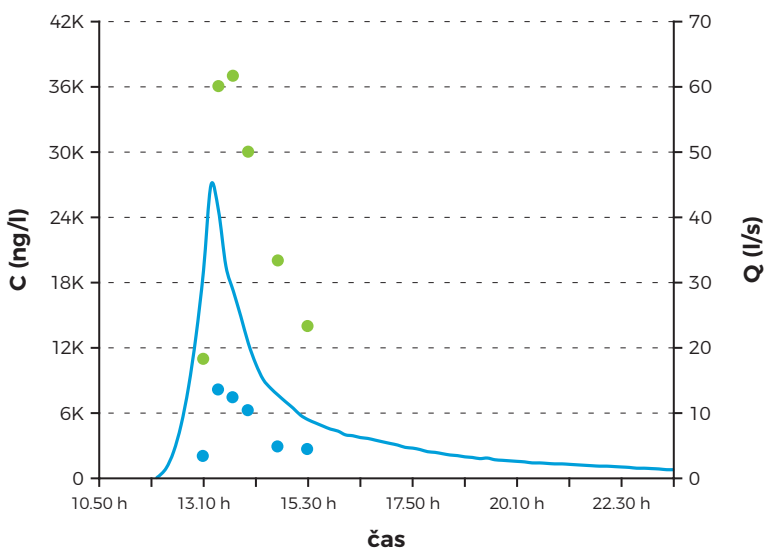
Graf 81: Srážkoodtoková událost Černičí Š2, 9. 9. 2015, podíl „nové“ vody 11 %.



Graf 82: Srážkoodtoková událost Černičí P1, 9.–10. 9. 2015.



Graf 83: Srážkoodtoková událost Černičí P1, 9.–10. 9. 2015.



Poznámky: Q – průtok, Q_{celk} – celkový odtok, Q pre_event – stará voda, odtok vody přítomné v povodí před srážkoodtokovou událostí, C – koncentrace látek.

Legenda

- Q_{celk} KP / P1 / Š2
- Q pre_event (^{18}O, ^{2}H)
- glyfosat
- linuron
- clomazone
- mesotrione
- fluopicolide
- metalaxyl
- chlorotoluron
- ostatní mateřské látky
- metazachlor
- AMPA

Podrobný monitoring množství a složení drenážního odtoku a koncentrací pesticidních látek prokázal, že drenážní systémy představují potenciálně velmi významnou cestu vyplavování pesticidů do povrchových vod. Přítomnost těchto látek v odtoku je závislá na momentální hydrologické situaci v povodí. Metabolity pesticidů jsou v drenážních vodách přítomny permanentně, často ve vysokých koncentracích. Jejich vyplavování je vázáno zejména na základní a svahový odtok. Přítomnost metabolitů látek, které byly aplikovány dlouho před odběrem, souvisí jak s vysokou perzistencí těchto metabolitů, tak i s relativně dlouho dobou zdržení pomalých složek drenážního odtoku. V průběhu srážkoodtokových událostí jejich koncentrace klesají, pokud se do drenážního odtoku dostane voda z příčinné srážky, která jejich koncentrace „naředí", anebo rostou, pokud je drenážní odtok v průběhu srážkoodtokových událostí tvořen především starou vodou, tj. rychle mobilizovaným mělkým podpovrchovým odtokem. Naopak vyplavování mateřských látek je vázáno téměř výhradně na srážkoodtokové události. Podmínkou k vyplavování mateřských látek je, aby srážkoodtoková událost nastala krátce po jejich aplikaci, a s velkou pravděpodobností také přítomnost „nové" vody v odtoku. Pokud nastanou současně tyto situace, koncentrace pesticidů v drenážních vodách bývají značně vysoké.

Regresní analýza vlivu odtoku na odnos živin hypodermického odtoku

Mnohonásobnou regresní analýzou byl zkoumán vliv více vysvětlujících proměnných (odtok vody ze subpovodí a koncentrace živin) na vysvětlovanou proměnnou (odnos živin z povodí) v rámci tří subpovodí Kopaninského potoka. Výpočty byly provedeny pro každé subpovodí zvlášť (P6, P52, P53) a každou živinu zvlášť ($N–NO_3^-$ a P_{tot}). Do modelů vstupovala průměrná denní data z kontinuálního monitoringu (graf 84) bez započítání mimořádného vzorkování v průběhu významných srážkoodtokových událostí. Všechny regresní modely (celková regrese) dosáhly hladiny významnosti $p < 10^{-6}$, takže jsou vysoce průkazné.

Vysvětlující proměnné by neměly být mezi sebou příliš vysoce korelovány, neboť to je porušením požadavku na absenci multikolinearity. V analyzovaných datech korelace přítomná je, protože koncentrace $N–NO_3^-$ má vždy průkaznou korelaci s objemem odtoku a koncentrace P_{tot} ve dvou případech ze tří, nicméně korelace jsou dosti slabé.

Prostřednictvím standardizovaných regresních koeficientů beta (tabulka 69) byla určena relativní síla vlivu jednotlivých proměnných na proměnnou vysvětlovanou. Jedná se v podstatě o parciální regresní koeficienty, pokud by byla původní data podrobena standardizaci.

Součet beta koeficientů v každém regresním modelu není roven číslu 1, ale je o něco větší. Tento fakt je způsoben výše zmiňovanou přítomností multikolinearity dat. Přesto lze snadno vysledovat, že daleko významnějším faktorem ovlivňujícím odnos látek je objem odtoku vody ze subpovodí, a to u $N–NO_3^-$ i P_{tot}. Přesná kvantifikace sice není možná, ale podle beta koeficientů lze usuzovat, že

Tabulka 69: Přehled standardizovaných parciálních regresních koeficientů (beta koeficient) u statisticky průkazných mnohonásobných regresních modelů

Měrný profil	Analyt	Vysvětlující proměnná	Beta koeficient
P6	$N–NO_3^-$	objem odtoku	0,92
		koncentrace analytu	0,22
	P_{tot}	objem odtoku	0,77
		koncentrace analytu	0,52
P52	$N–NO_3^-$	objem odtoku	0,97
		koncentrace analytu	0,23
	P_{tot}	objem odtoku	0,75
		koncentrace analytu	0,40
P53	$N–NO_3^-$	objem odtoku	0,94
		koncentrace analytu	0,13
	P_{tot}	objem odtoku	0,94
		koncentrace analytu	0,10

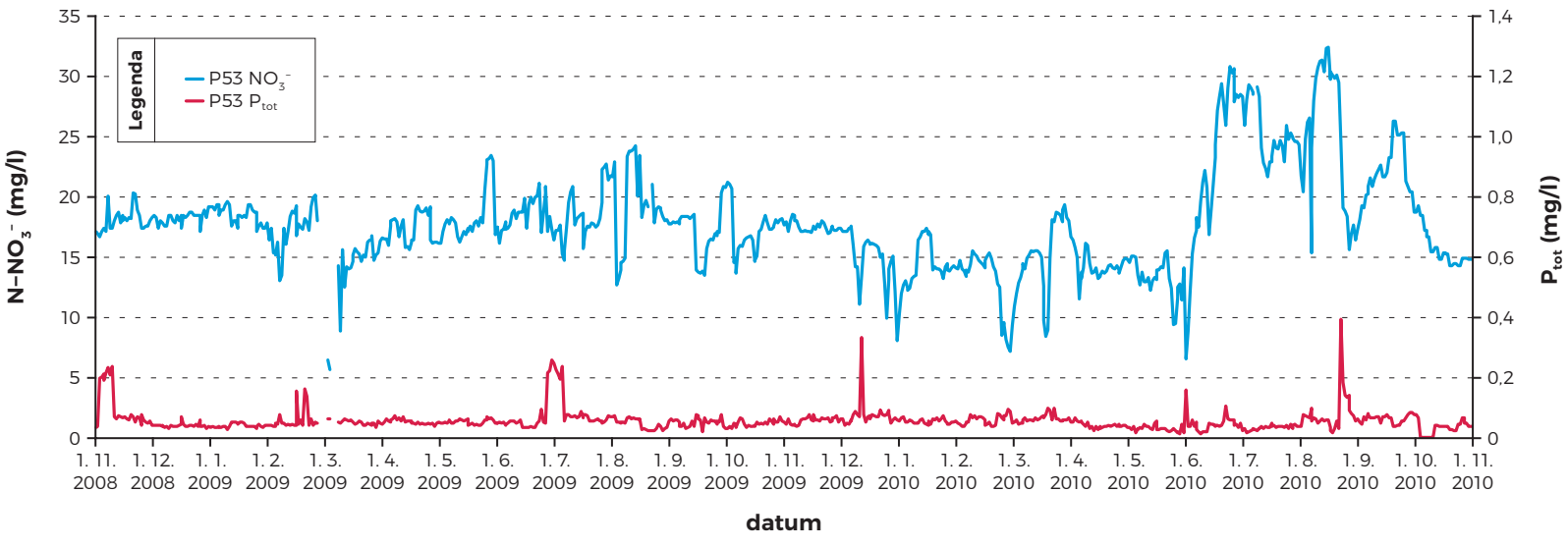
Tabulka 70: Statisticky průkazné (α = 0,05) korelační koeficienty R mezi odnosem látek ($N–NO_3^-$ a P_{tot}) a objemem odteklé vody na třech sledovaných měrných profilech

Měrné profily	R ($N–NO_3^-$)	R (P_{tot})
P53	0,932	0,949
P52	0,932	0,793
P6	0,955	0,812

Tabulka 71: Statisticky průkazné (α = 0,05) korelační koeficienty R mezi odnosem látek ($N–NO_3^-$ a P_{tot}) a jejich koncentracemi ve vodě na třech sledovaných měrných profilech

Měrné profily	R ($N–NO_3^-$)	R (P_{tot})
P53	0,071	0,148
P52	-	0,475
P6	0,387	0,58

Graf 84: Denní chod koncentrací dusičnanového dusíku a celkového fosforu na měrném profilu P53 – drenáž – kontinuální monitoring.



relativní síla vlivu proměnné „objem odtoku“ je okolo či přes 90 % u $N–NO_3^-$.

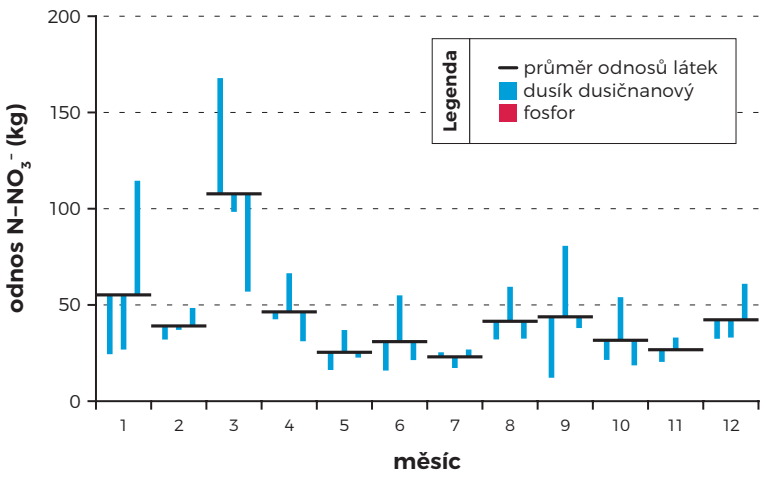
Stejná proměnná má nižší vliv u P_{tot} (přes 70 %), přesto je tento vliv podstatně vyšší než vliv proměnné „koncentrace analytu“ (stejně jako u $N–NO_3^-$). Výsledky z mnohonásobných regresních analýz potvrzují i provedené prosté lineární regrese mezi odnosy látek a objemy odteklé vody a mezi odnosy látek a jejich koncentracemi (tabulka 70 a 71).

Z tabulek je patrné, že míra závislosti je podstatně vyšší mezi odnosem a odtokem než mezi odnosem a koncentracemi příslušných látek. Na měrném profilu P52 byl dokonce korelační koeficient mezi odnosem $N–NO_3^-$ a koncentrací $N–NO_3^-$ ve vodě statisticky neprůkazný na hladině významnosti $\alpha = 0{,}05$. To je způsobeno tím, že koncentrace $N–NO_3^-$ na tomto měrném profilu průkazně negativně koreluje s odtokem (byť velmi slabě), tzn. se vzrůstajícím odtokem klesá koncentrace $N–NO_3^-$. Toto lze považovat taktéž za důkaz toho, že hlavním faktorem ovlivňujícím odnos látek je odtok vody ze subpovodí.

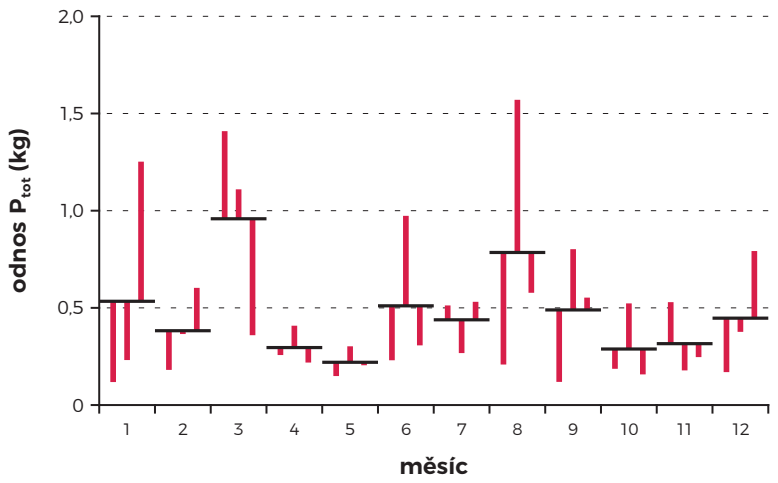
Denní chod koncentrací (graf 84) i sezonní průběh odnosu dusičnanového dusíku a fosforu (graf 85–90) dokumentuje zjištěné výsledky, že stěžejním parametrem odnosu je odtok. Jestliže koncentrace denního chodu dusičnanového dusíku a fosforu byly odlišné, u odnosu je zřetelně vidět podobný sezonní chod.

Grafy 85–90: Sezonní průběh chodu odnosu dusičnanového dusíku a celkového fosforu.

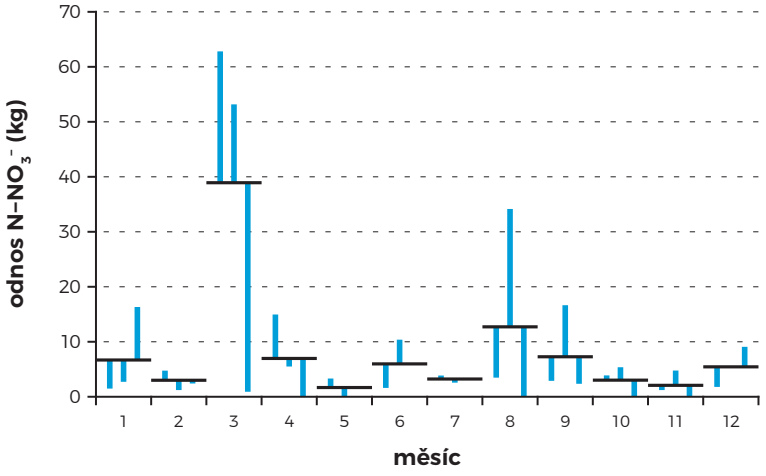
Graf 85: Měrný profil P52. Legenda platí pro grafy 85–90



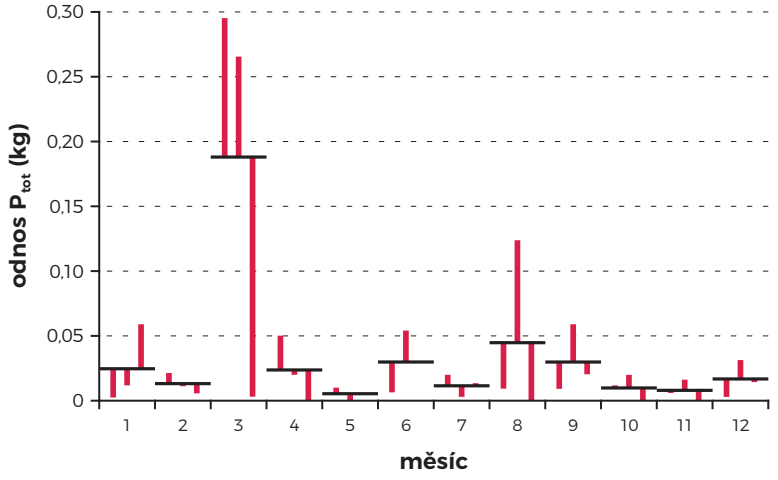
Graf 86: Měrný profil P52.



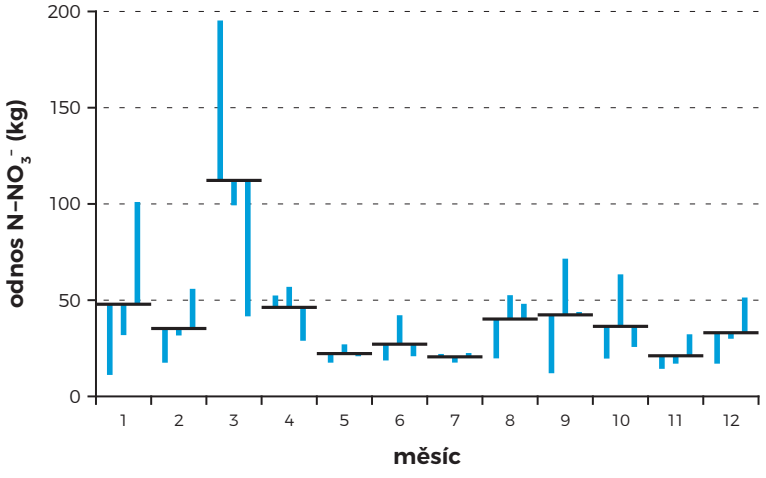
Graf 87: Měrný profil P53.



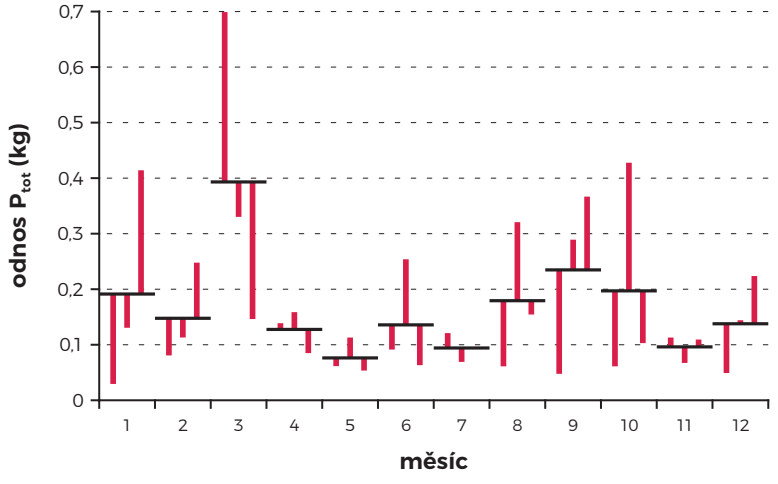
Graf 88: Měrný profil P53.



Graf 89: Měrný profil P6.



Graf 90: Měrný profil P6.



Mezi odnosem látky a objemem odtoku existuje výrazná autokorelace, která je tím vyšší, čím je méně variabilní koncentrace látky. Koncentrace se mění obvykle v rámci jednoho řádu, kdežto průtok v rámci III. až IV. řádu. Vliv velikosti odtoku na odnos je tedy nutně vždy vyšší než vliv koncentrace.

A protože v rámci daných geografických a klimatických podmínek v ČR je nereálné pomocí zásahů do akumulace a retence vody v půdě ovlivnit odtokový koeficient více než v malých jednotkách procent, nabízí se využití především retenčních technických opatření na zemědělském půdním fondu, které jsou schopny velmi výrazně ovlivňovat odnos látek.

Klasifikace významnosti rizika znečištění podpovrchovými vodami

Toto zhodnocení navazuje na výzkumné poznatky uvedené v této kapitole. Lze konstatovat, že nejvýznamnějšími faktory hodnocení rizika znečištění povrchových vod vodami drenážními v povodích IV. řádu a ve vodních útvarech jsou dva parametry:

- podíl zornění půdy,
- podíl ploch odvodnění.

a. Klasifikace významnosti rizik podle podílu orné půdy (Index vlivu zornění – I_{orna})

Klasifikace je založena na stanovení indexu vlivu zornění vyjadřujícím rizika znečištění drenážních vod:

$$I_{orna} = \frac{F_{\Sigma\ staveb\ odvodnění\ v\ rámci\ plošné\ jednotky}}{F_{\Sigma\ orné\ půdy\ v\ rámci\ plošné\ jednotky}}, \quad (19)$$

kde F_{Σ} *staveb odvodnění v rámci plošné jednotky* – plochy odvodnění (ha);
kde F_{Σ} *orné půdy v rámci plošné jednotky* – evidované plochy orné půdy (ha);
I_{orna} nabývá hodnot v rozpětí < 0; ∞ > a vztahuje se vždy ke zvolené, hydrologicky vymezené plošné jednotce (povodí IV. řádu nebo vodnímu útvaru).

Hodnocení poskytuje informaci o intenzitě zemědělského hospodaření ve zvolené plošné jednotce korigované mírou ovlivnění vodního režimu stavbami odvodnění.

Čím je I_{orna} větší, tím je menší riziko příspěvku znečištění drenážních vod na jakost vod povrchových, neboť se zmenšuje vliv odvodnění orné půdy na režim odtoku. Přitom je respektována kladná korelace mezi podílem orné půdy a zhoršující se jakostí drenážních vod.

Podle výsledné hodnoty I_{orna} je provedeno zařazení do kategorie stupně rizika (tabulka 72).

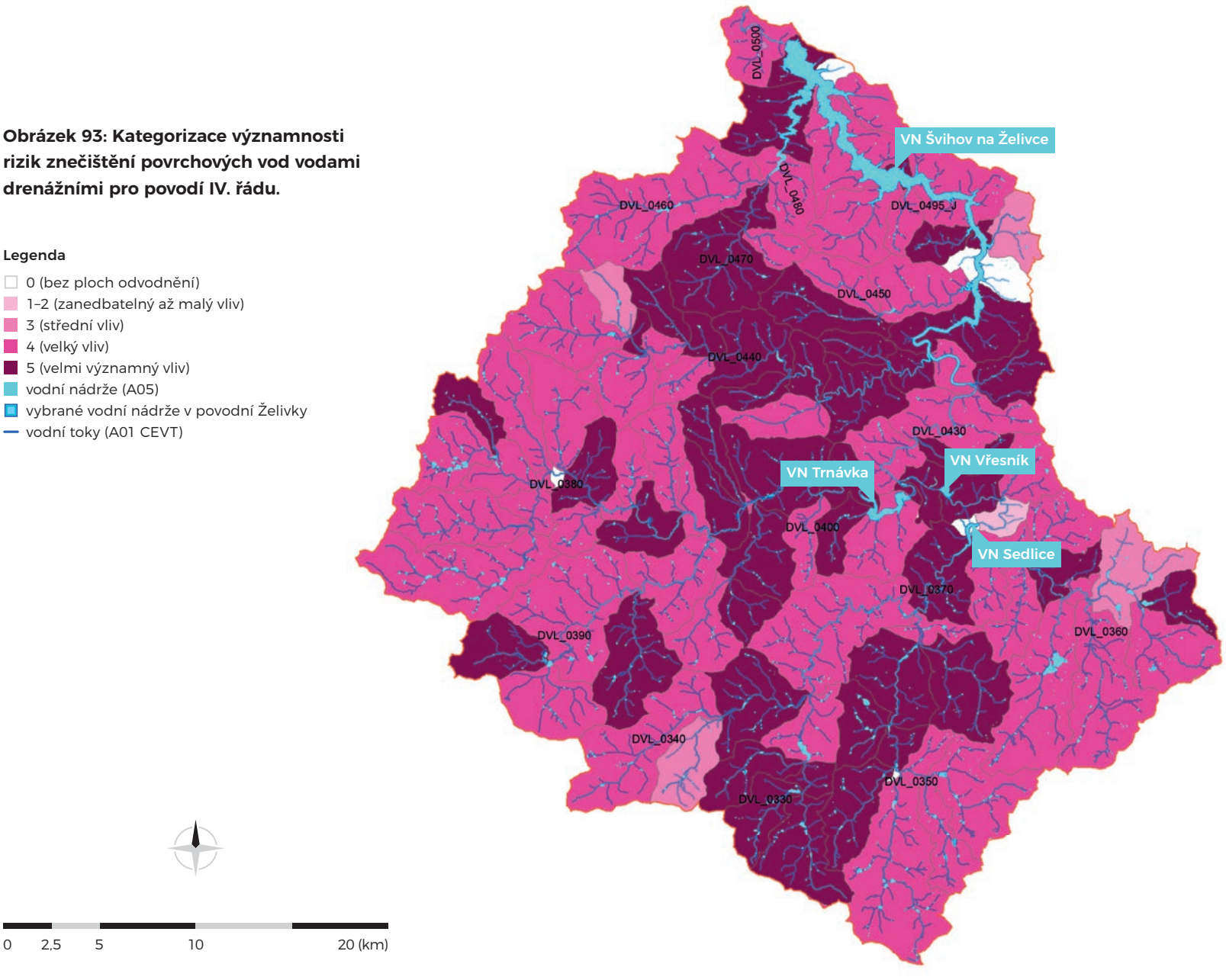
Tabulka 72: Klasifikace stupně rizika indexu zornění (SR–I_{orna})

SR–I_{orna}	I_{orna}	Slovní zhodnocení
1	3,0 a více	Zanedbatelné riziko
2	1,0–3,0	Malé riziko
3	0,3–1,0	Střední riziko
4	0,1–0,3	Velké riziko
5	0,0–0,1	Velmi významné riziko

Poznámka
Hranice tříd indexu odpovídají podmínkám povodí VN Švihov na Želivce.

b. Klasifikace významnosti rizik podle podílu ploch odvodnění (Index plochy – I_{ploch})

Klasifikace vychází z předpokladu, že čím je podíl odvodněných ploch v rámci posuzované plošné jednotky (vodní útvar nebo povodí IV. řádu) větší, tím je významnější i vliv



Obrázek 93: Kategorizace významnosti rizik znečištění povrchových vod vodami drenážními pro povodí IV. řádu.

odvodnění na režim odtoku vod a tedy i větší riziko negativního ovlivnění povrchových vod potenciálně kontaminovanými vodami drenážními. Index plochy je vypočítán podle vzorce:

$$I_{ploch} = \frac{F_{\Sigma\ staveb\ odvodnění\ v\ rámci\ plošné\ jednotky}}{F_{\Sigma\ plošné\ jednotky}}, \quad (20)$$

kde F_{Σ} *staveb odvodnění v rámci plošné jednotky* – v čitateli jsou plochy odvodnění (ha);
kde F_{Σ} *plošné jednotky* – odpovídá celkové ploše posuzované hydrologické jednotky (ha);
I_{ploch} nabývá hodnot v rozpětí < 0; 1 > a vztahuje se vždy ke zvolené, hydrologicky vymezené plošné jednotce (povodí IV. řádu nebo vodnímu útvaru).

Podle výsledné hodnoty I_{ploch} je provedeno zařazení do kategorie stupně rizika podle tabulky 73.

Toto hodnocení minimalizuje náročnost na vstupní data, poskytuje však výsledky odpovídající této citlivosti zpracování větších plošných jednotek. Naopak jednotlivá stavba, resp. drenážní skupina musí být analyzována s uplatněním hlavních modelů původních příčin zamokření až v dalším kroku. Hodnocení bylo provedeno párovou maticí rizik.

Tabulka 73: Klasifikace stupně rizika indexu plochy (SR–I_{ploch})

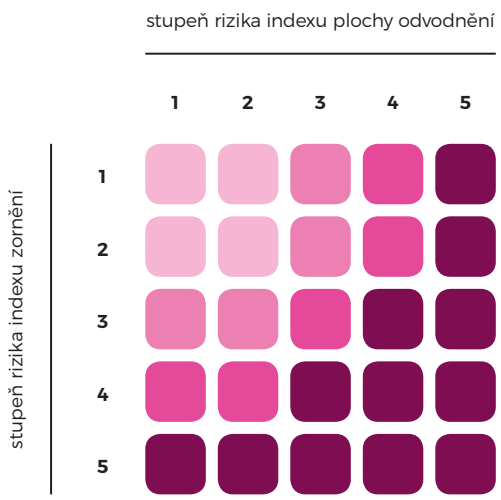
SR–I_{ploch}	I_{ploch}	Slovní zhodnocení
1	0,00–0,05	Zanedbatelné riziko
2	0,05–0,10	Malé riziko
3	0,10–0,20	Střední riziko
4	0,20–0,30	Velké riziko
5	0,30–1,00	Velmi významné riziko

Poznámka
Hranice tříd indexu odpovídají podmínkám povodí VN Švihov na Želivce.

Tento způsob hodnocení respektuje princip mechanismu odnosu rizikových látek z povodí (koncentrace × odtok). Dílčí výsledné hodnoty obou faktorů jsou kategorizovány opět do pěti kategorií a souhrnný stupeň rizika je pak stanoven na základě matice hodnocení (obrázek 94). Toto hodnocení umožňuje vyjádřit vztah mezi parametry dominantně ovlivňujícími odtok a koncentrace látek neboli množství a jakost vod.

Výsledná kategorizace významnosti rizik zemědělského znečištění z drenážních vod v celém povodí VN Švihov na Želivce je znázorněna na obrázku 93 a 95.

Obrázek 94: Postup stanovení významnosti rizik znečištění z drenážních vod



Legenda
- 1–2 (zanedbatelný až malý vliv)
- 3 (střední vliv)
- 4 (velký vliv)
- 5 (velmi významný vliv)

Obrázek 95: Kategorizace významnosti rizik znečištění povrchových vod vodami drenážními pro vodní útvary.

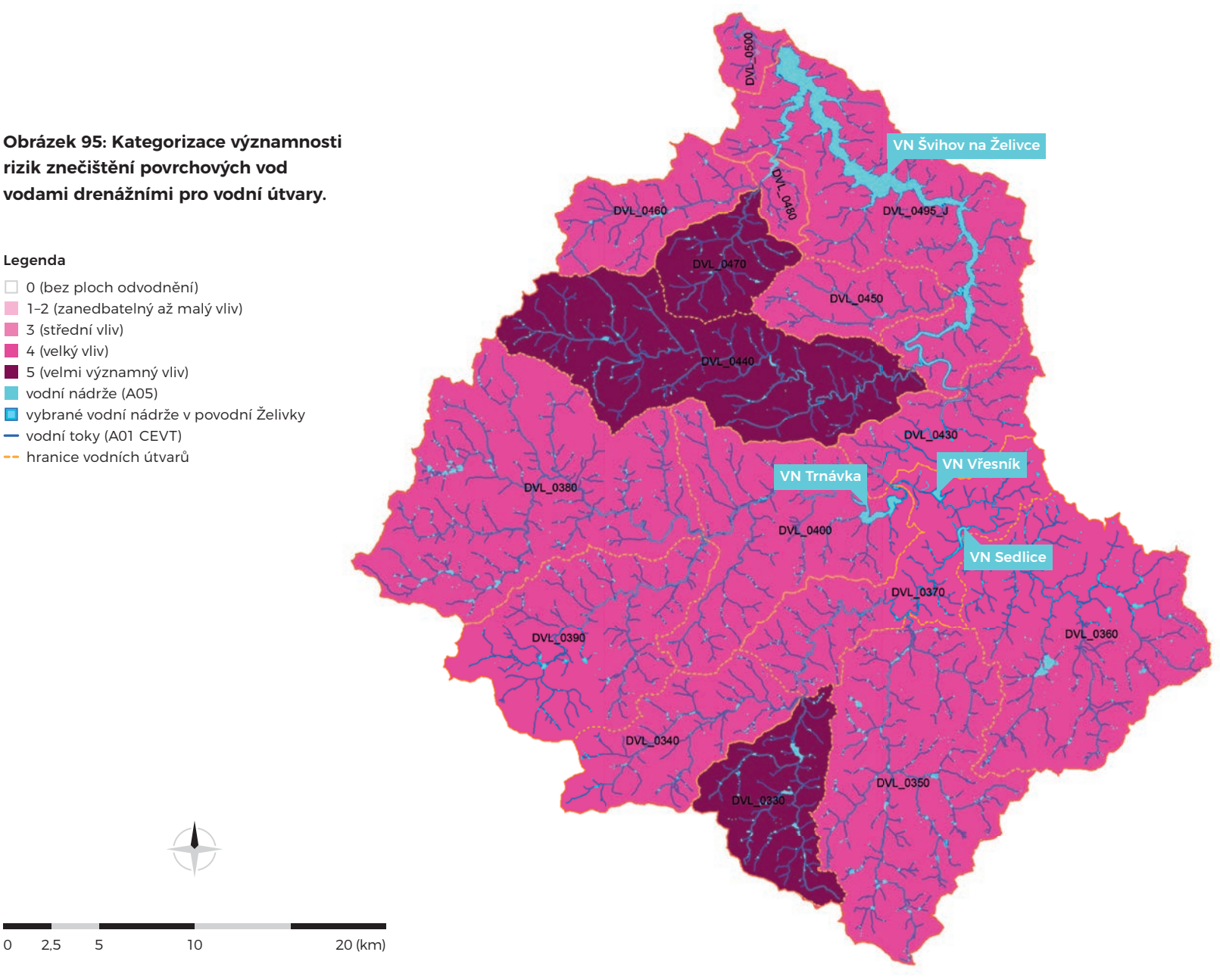


Foto 76: Les je garantem jakosti povrchové i podzemní vody.
Zdroj: Kvítek T.

3.4 Svatopluk Šeda

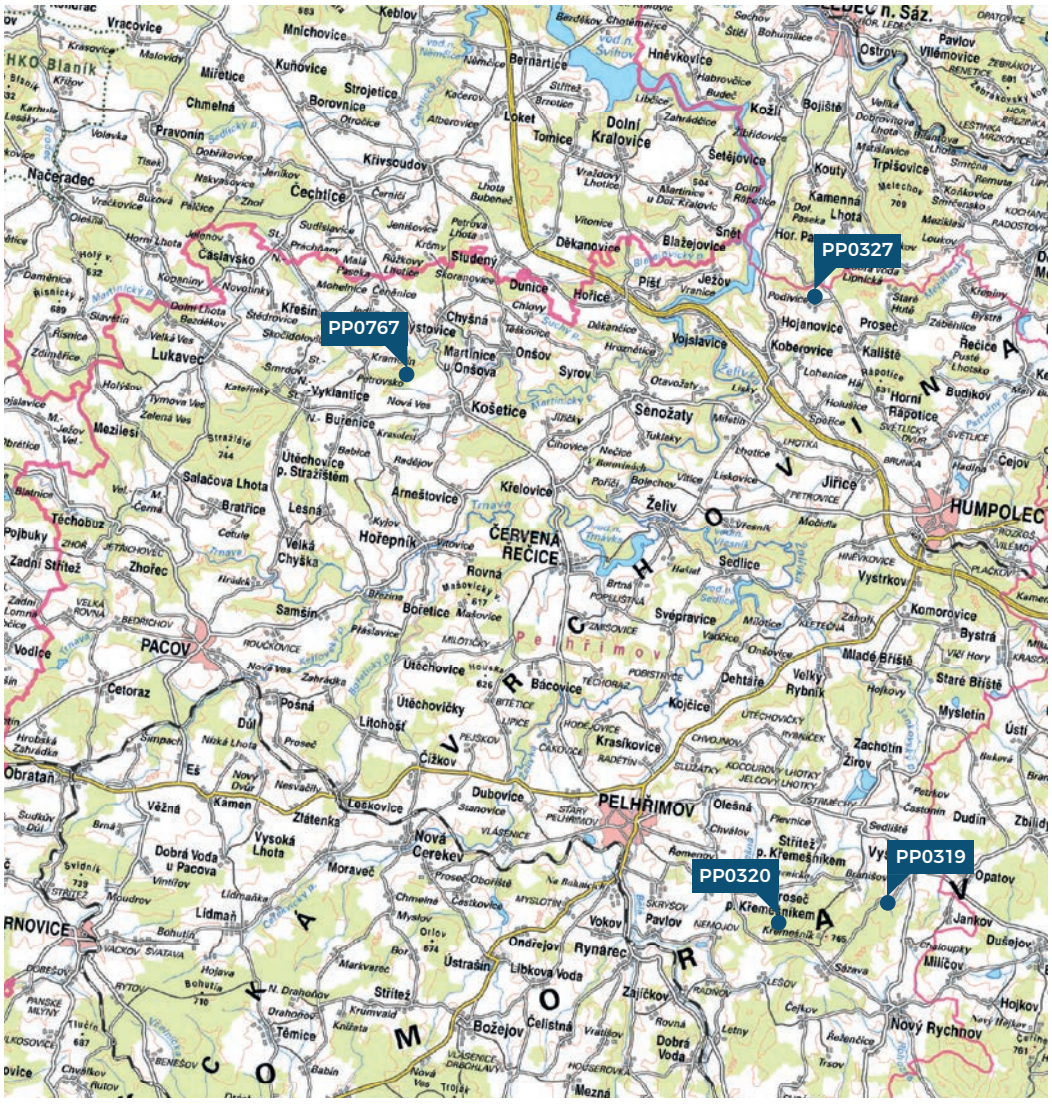
Jakost podzemních vod

Voda je mnohem rozumnější než lidé, ta kašle na hranice.

Marianne Fredriksson
Švédská spisovatelka a novinářka

Vodárenská nádrž Švihov na Želivce využívá zdroj povrchové vody a dlouhodobě tak existuje značná disproporce mezi stavem poznání režimu tzv. rychlého odtoku (povrchového i podpovrchového) a středně rychlého hypodermického odtoku na straně jedné a pomalého až velmi pomalého odtoku základního na straně druhé. Síť přímých pozorovacích objektů do prostředí průběhu základního odtoku z míst infiltrace do míst akumulace a přírodní drenáže podzemní vod je řídká (obrázek 96), většinou zachycuje podzemní vodu mělké zvodně, vázané na kvartérní pokyv a pásmo připovrchového rozpojení puklin skalního podkladu, a jen zcela ojedinělé jsou pozorovací objekty zahloubené do hlubších zvodní. Protože však zdejší horninové prostředí je ve srovnání s vodárensky významnějšími sedimentárními komplexy v ČR poměrně monotónní, lze podzemní vodu v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce i přes minimum monitorovacích objektů poměrně spolehlivě charakterizovat. Jedná se zpravidla o vodu nízce, výjimečně středně mineralizovanou, slabě kyselé až neutrální reakce, kalcium-natrium-hydrogenuhličitanového typu, v mělčích zónách pak vody kalcium-natrium-sulfátového typu a tam, kde je oběh podzemní vody pomalejší a dostává se do redukčního prostředí zpomalené výměny, zvyšují se v podzemní vodě koncentrace železa a manganu. Průvodním jevem hlubšího oběhu jsou potom i zvýšené koncentrace radonu, případně hodnoty α aktivity. Umístění těchto objektů v povodí je patrné z následujícího obrázku.

S ohledem na nedostatek objektů účelového monitoringu jakosti podzemní vody se tak proto pro posouzení plošného i časového režimu jakosti podzemních vod obvykle používají provozní data vodárenských nebo výrobních společností, které sledují jakost vody ve svých jímacích objektech podzemní vody. V povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce existuje více než 100 jímacích objektů podzemní vody, které mají povolení k nakládání s vodami a jejichž odběr je větší než 6 000 m^3/rok. Pouze asi 20 jímacích území však má povolený odběr vyšší než asi 30 000 m^3/rok. Jejich umístění v povodí a kategorizace jejich vydatnosti jsou patrné z obrázku 97, přičemž zkratka VHB s číslem znamená označení objektu ve vodohospodářské bilanci evidované na podnicích Povodí.



Obrázek 96: Situace pozorovacích objektů ČHMÚ s dlouhodobě dokumentovanou jakostí podzemní vody.

Legenda

- pozorovací objekty ČHMÚ

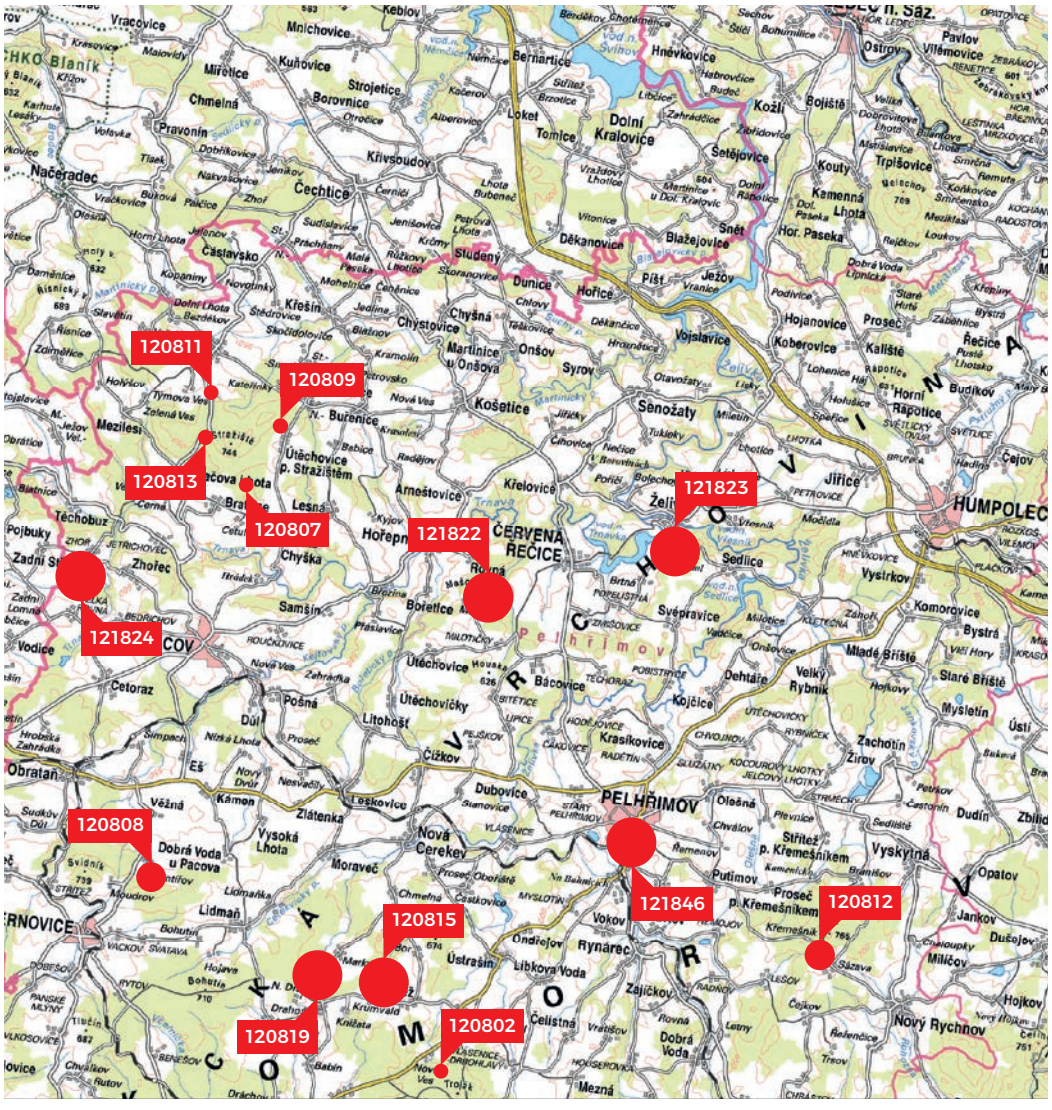
0 2,5 5 10 (km)

Obrázek 97: Situace vodárenských objektů VHB s dlouhodobě dokumentovanou jakostí podzemní vody v závislosti na jejím odebíraném množství (vydatnost v roce 2015 v l/s).

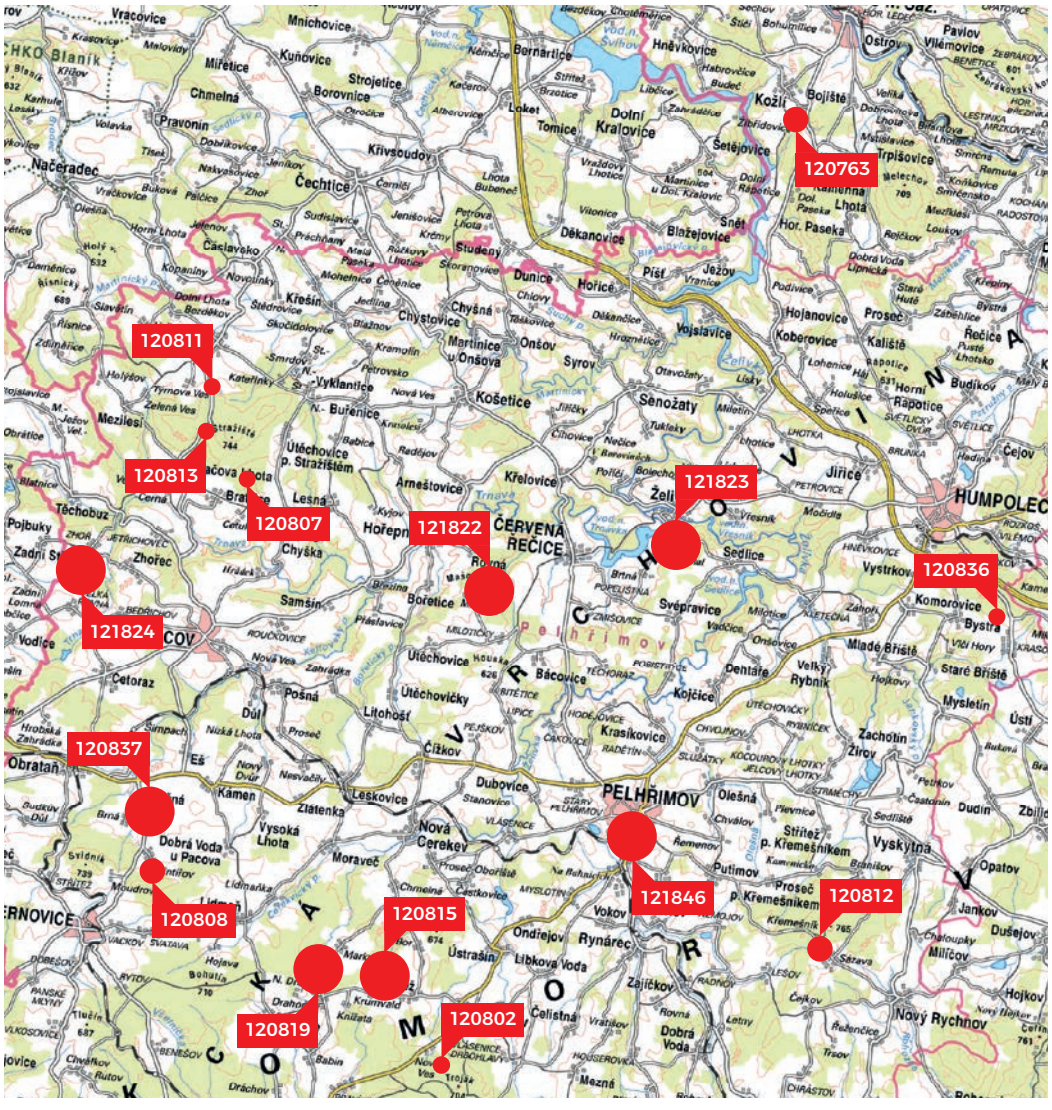
Legenda

- 0,5–2,0 (l/s)
- 2,1–5,0 (l/s)
- 5,1–10,0 (l/s)
- 10,1–20,0 (l/s)

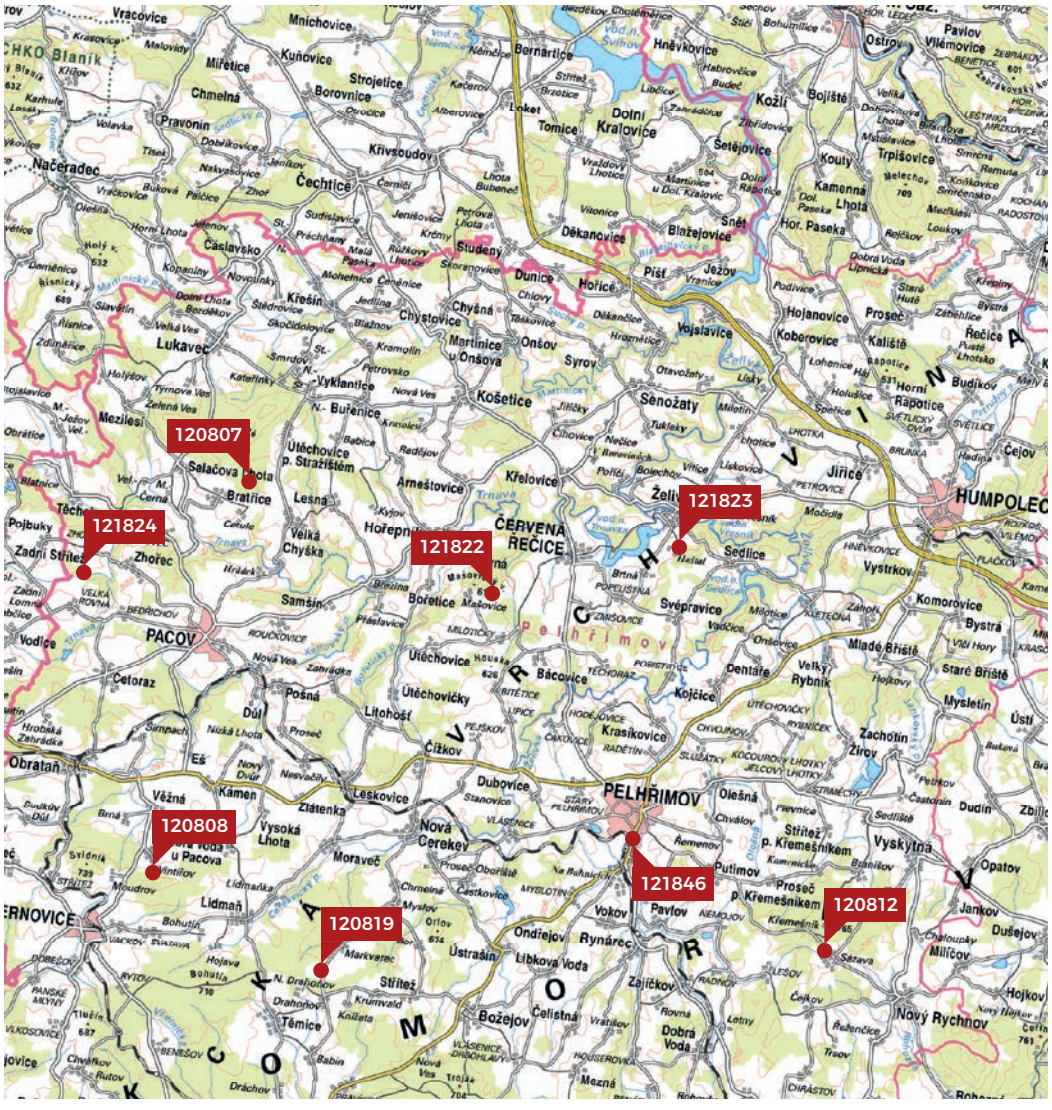
0 2,5 5 10 (km)



Obrázek 98: Dokumentované jímací objekty VHB koncentrace dusičnanů v období vyšších vodních stavů hladiny podzemní vody (rok 2010).



Obrázek 99: Dokumentované jímací objekty VHB koncentrace dusičnanů v období nižších vodních stavů hladiny podzemní vody (rok 2015).



Obrázek 100: Situace objektů vybraných pro grafický vývoj koncentrací antropogenních ukazatelů jakosti vody.

Legenda

- dokumentované jímací objekty ČHMÚ

Z obrázku 97 současně vyplývá, že vydatnosti jímacích objektů ve vyšších jednotkách l/s jsou zcela ojedinělé. Převahu naopak mají objekty s vydatností kolem 1 l/s. Pro hodnocení jakosti vody je tento stav signifikantní, neboť ukazuje, že infiltrační velikost povodí většiny monitorovaných zdrojů je menší než 1 km^2 a oběh podzemní vody je tak plošně i časově omezený. Znamená to, že kontakt vody s povrchovou půdní vrstvou zatíženou antropogenní činností, ať již jsou to imisní spady, aplikace agrochemikálií, přípravků na ochranu rostlin, zimní údržbou vozovek apod., je rychlý. Na druhou stranu filtrační a sorpční schopnost půdní i podpovrchové vrstvy nad hladinou podzemní vody je obvykle s ohledem na granulometrii nezpevněných sedimentů velmi dobrá.

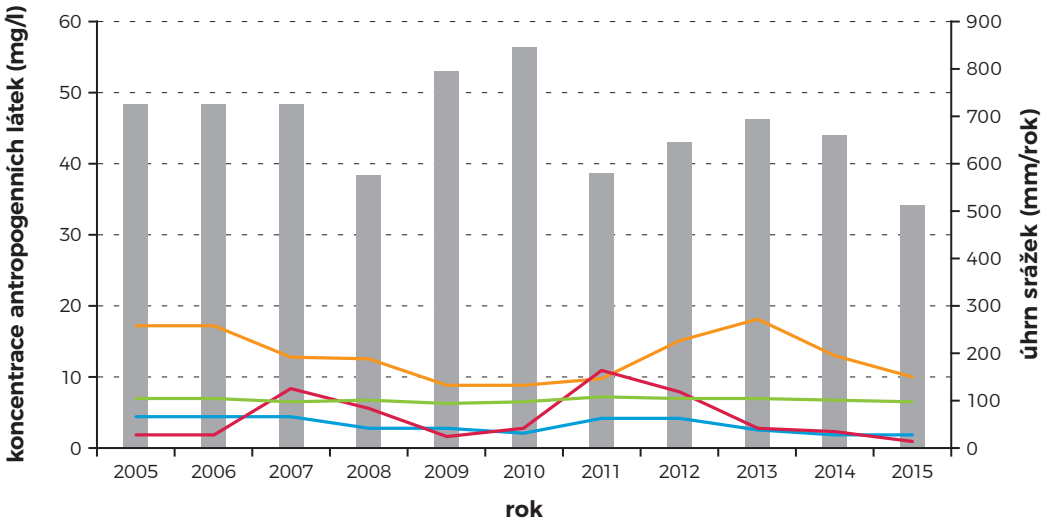
Na obrázcích 98 a 99 jsou znázorněny objekty, kde se dlouhodobě sleduje koncentrace dusičnanů a časový snímek z období „mokrého“ roku 2010 s nadprůměrným objemem srážek a „suchého“ roku 2015 ukazuje, že rozdíly v koncentracích jsou minimální. Jinými slovy, v malých povodích v podstatě každá větší srážka něco vyplaví a rychle dopraví do podzemní vody a protože voda rychle odtéká, nedochází v podzemní vodě k nějaké významné kumulaci kontaminantů.

Rychlý oběh podzemní vody a její permanentní výměna jsou důvodem, proč k výraznějším změnám jakosti podzemní vody nedochází ani v případě jiných složek. Z obrázku 100 je patrné umístění monitorovacích objektů, z kterých byl sestaven dlouhodobější vývoj hodnoty pH a koncentrace vybraných antropogenních složek, konkrétně dusičnanů, síranů a chloridů.

Z grafů 91 až 98 vývoje koncentrací jednotlivých jakostních složek pak lze vyvodit tyto poznatky:

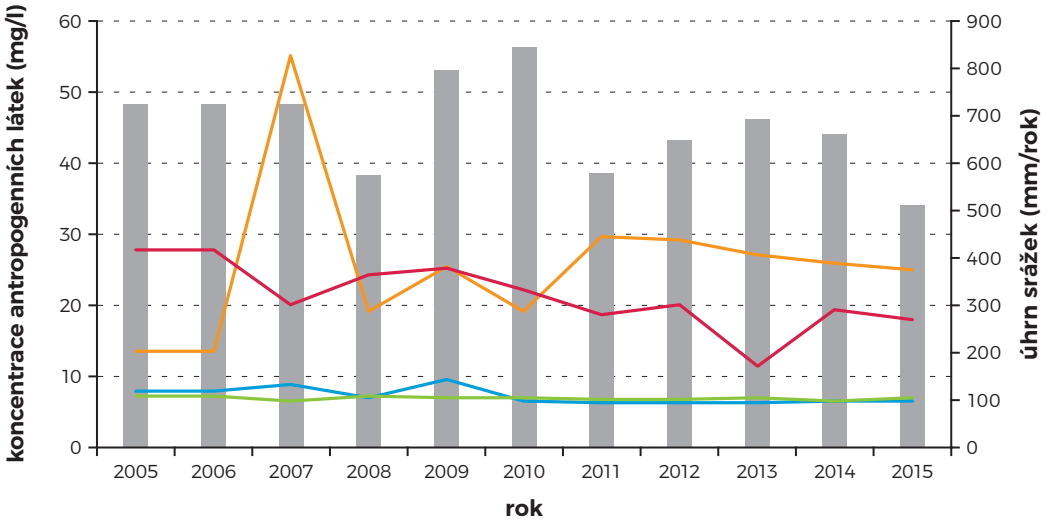
- Koncentrace chloridů, které patří mezi nejpohyblivější ionty v podzemní vodě, je víceméně konstantní bez ohledu na vodnost daného období a tak rozdíly v koncentracích v „mokrém“ roce 2010 a v „suchém“ roce 2015 jsou minimální. Totéž se týká hodnoty pH: Výraznější jsou změny v koncentracích síranů a dusičnanů, které patří rovněž k velmi pohyblivým iontům v podzemní vodě a jsou víceméně ukazatelem její zranitelnosti. Z grafů vyplývají tři typy trendů. První je charakterizován objektem VHB 120 812 (graf 92), který svou vydatností nad 10 l/s patří mezi absolutně nejvydatnější zdroje podzemní vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Desetiletý monitoring dokládá v podstatě setrvalý pokles jak síranů, tak dusičnanů a tento trend je signifikantní pro podzemní vody hlubšího oběhu. Opakem jsou údaje z objektů VHB 120 819 (graf 93), VHB 120 822 (graf 97) nebo VHB 120 823 (graf 96), kde vydatnější srážky zpravidla generují rychlý nárůst koncentrace síranů a dusičnanů a jejich následný stejně rychlý pokles. Objekty této druhé skupiny patří mezi málo vydatné zdroje (kolem 1 l/s) s rychlým a mělčím oběhem podzemní vody a jsou umístěny především ve střední a západní části povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. A konečně třetím typem je objekt VHB 120 824 (graf 95) s vydatností asi 2 l/s, kde od vodného roku 2010 koncentrace síranů a dusičnanů v podstatě setrvale stoupá, což může být způsobeno masivním vyplavováním „zásob“ síranových a dusičnanových iontů ze svrchní části horninového prostředí.

Kromě antropogenních iontů se na monitorovacích objektech sledují i další složky, jako jsou specifické organické látky typu chlorovaných a polyaromatických uhlovodíků, stopové kovy, pesticidy aj. Prakticky všechny rozbory vzorků vody ukazují, že podzemní vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce jsou extrémně „čisté“, až na ojedinělé výjimky nejsou překračovány limitní hodnoty pro pitnou vodu a zpravidla není dosažena ani mez detekce analytických metod. Pesticidy, které jsou v mnohých oblastech ČR zaznamenávány ve zvýšených koncentracích, se v podzemních vodách v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce vyskytují jen zcela ojediněle, a to výhradně v pramenech či vrtech mělkého oběhu podzemní vody. Sem patří např. pozorovaný pramen ČHMÚ č. PP 0319 Výskytná (obrázek 96), kde byl detekován



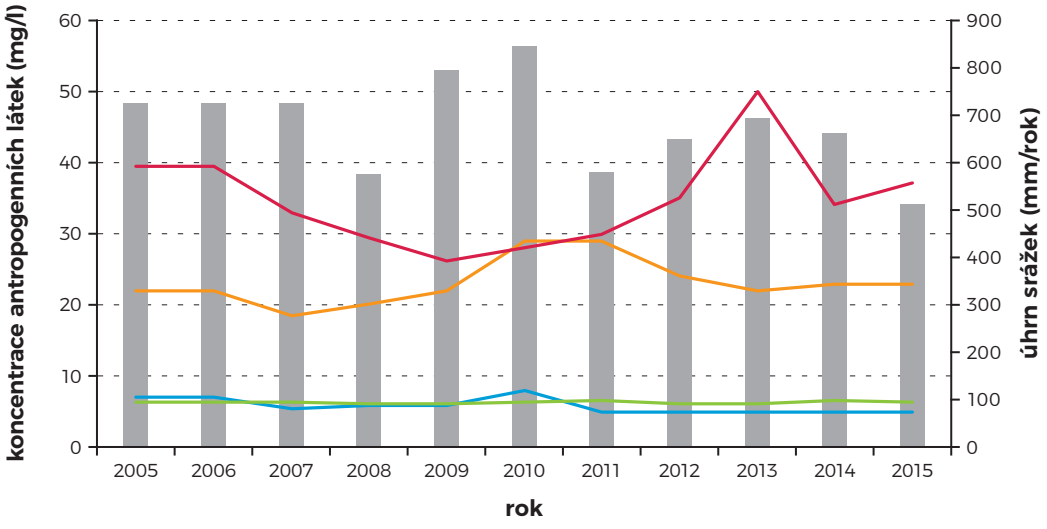
Graf 91: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 120 807



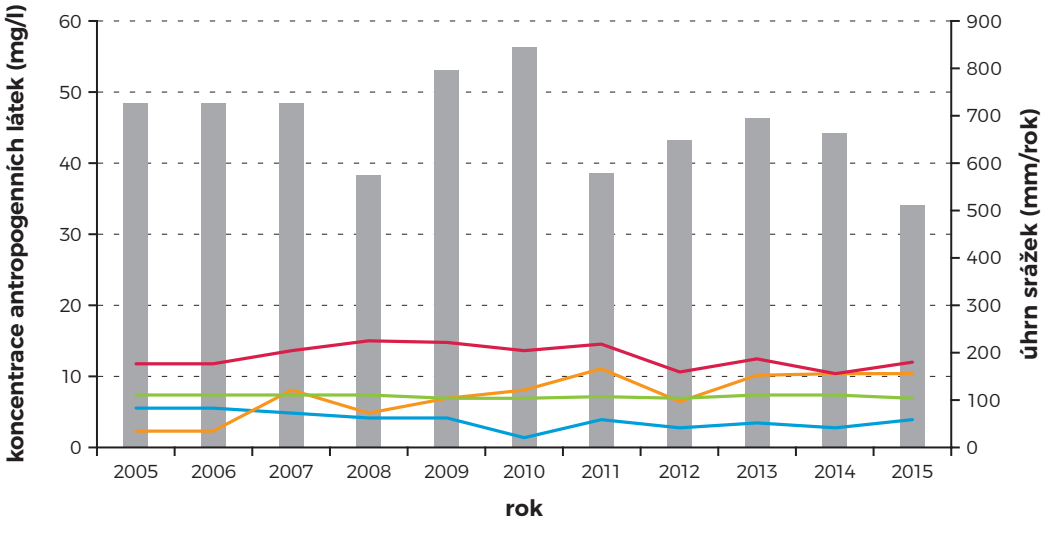
Graf 92: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 120 812



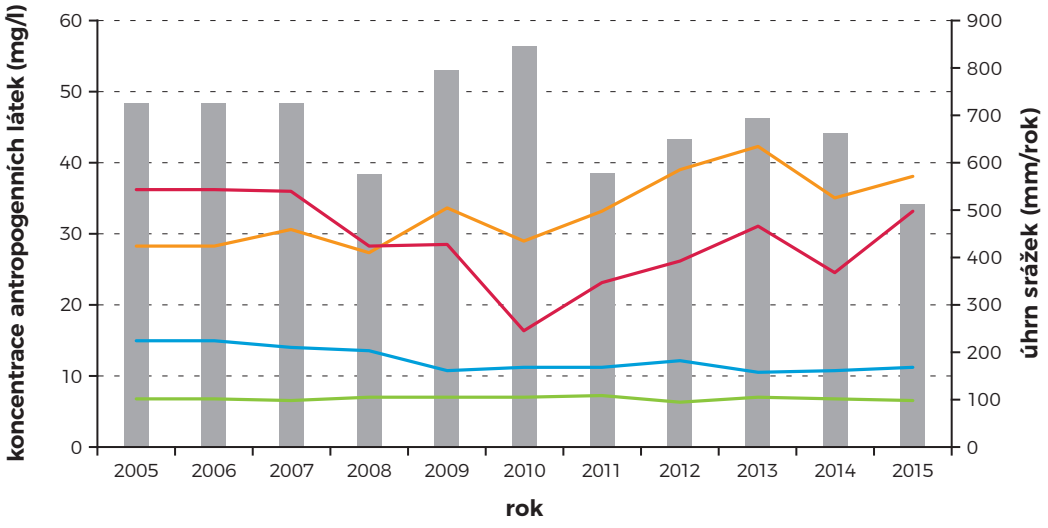
Graf 93: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 120 819



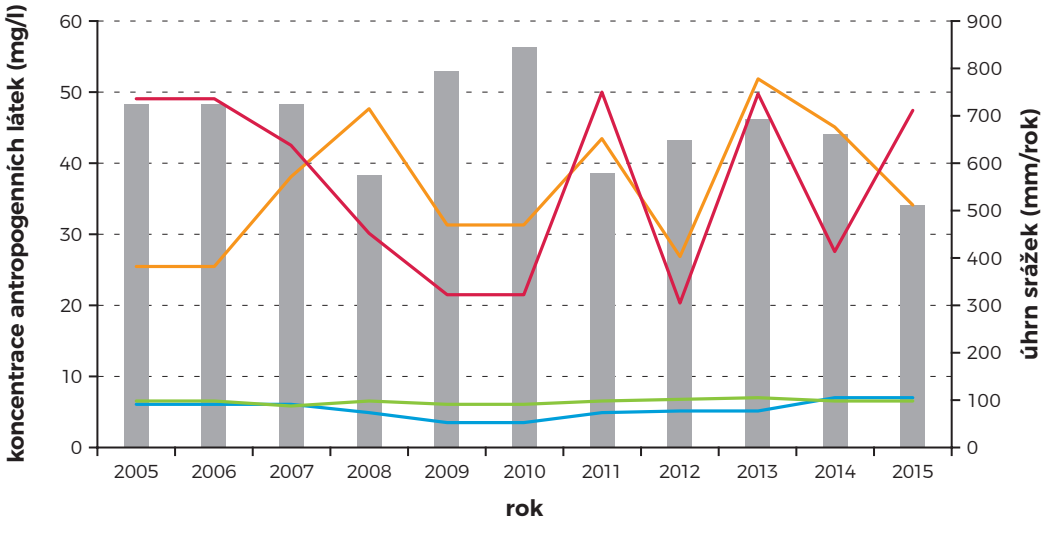
Graf 94: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 120 808



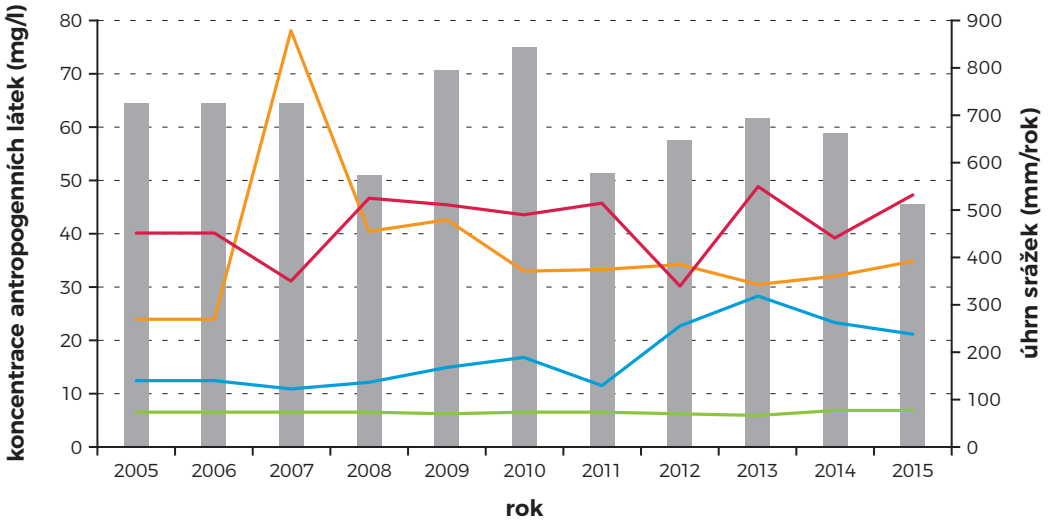
Graf 95: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj VHB 120 824



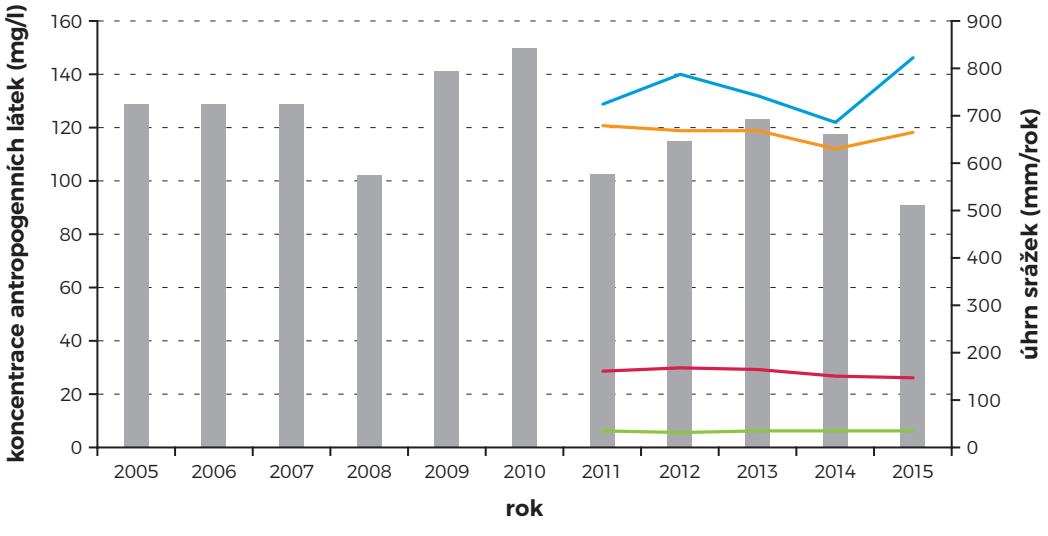
Graf 96: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 121 823



Graf 97: Koncentrace antropogenních složek v podzemních vodách v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 121 822



Graf 98: Koncentrace antropogenních složek v podzemní vody v období 2005–2015.

Zdroj: VHB 121 846

hexazinon v koncentraci až 44 ng/l a alachron ESA v koncentraci 247 ng/l nebo vrt VP 1326 Chabeřice, kde byly ověřeny metachlor ESA v koncentraci 382 ng/l, acetochlor ESA v koncentraci 153 ng/l a metazachlor ESA v koncentraci 332 ng/l. Nejvyšší koncentrace pesticidů byla ověřena na pramenu PP 0327 Podivice (obrázek 96) poblíž přehradní nádrže, kde byl ověřen acetachlor ESA v koncentraci 483 ng/l, naopak zcela bez detekce pesticidů je pozorovaný pramen PP 0320 Sázava (obrázek 96) v oblasti významně zvodněných metamorfitů v okolí Křemešníka.

Jakost podzemní vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce, právě tak jako množství podzemní vody v celém zdejším povodí jsou naprosto klíčové pro dlouhodobou funkci vodárenské nádrže. V době klimatických změn, kdy se zvětšuje výskyt srážkových i teplotních extrémů jsou právě podzemní vody garantem toho, že minimální průtok vody v příslušné jakosti v Želivce bude minimálně zachován. Samozřejmě za podmínky, že v celém povodí nedojde k dramatické změně odtokových poměrů nebo, že podzemní vody nebudou zatíženy vnosem cizorodých látek. Prezentované údaje a jakosti podzemních vod jsou dokladem toho, že horninové prostředí v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce umožňuje vznik vody mimořádně příznivé jakosti, antropogenní zatížení vody je ve srovnání s jinými oblastmi ČR nízké a způsob využívání území v podstatě koresponduje s mimořádným vodohospodářským významem území. Přesto je nutno důrazně upozornit, že tento stav není nezvratný a zachování množství podzemní vody a její jakosti jsou spojitými nádobami.

Závěrem ke kapitole jakost podzemních vod je možno říci, že pouze zachování množství podzemní vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce umožní i zachování její současné příznivé jakosti a že ve vztahu k dlouhodobě nekoliznímu vodárenskému využití území nemá alternativu.

Foto 77: Smíšený les umožňuje rychlejší infiltraci vody do půdy než les pouze jehličnatý. Zdroj: Kvítek T.

3.5

Kateřina Neudertová Hellebrandová
Václav Lochman
Jakub Dobiáš
Věra Fadrhonsová
Zora Lachmanová

Jakost vody lesních porostů

Lesní studánka

Znám křišťálovou studánku,
kde nejhlubší je les,
tam roste tmavé kapradí
a vůkol rudý vřes.

Tam ptáci, laně chodí pít
pod javorový kmen,
ti ptáci za dne bílého,
ty laně v noci jen.

Když usnou lesy hluboké
a kolem ticho jest,
a nebesa i studánka
jsou plny zlatých hvězd.

Josef Václav Sládek
Český spisovatel, básník, novinář a překladatel

Soustavné sledování působení lesních porostů a hospodářských zásahů v nich na chemismus vody probíhá v povodí Pekelského potoka (ČHP 1-09-03-0030-0-00) již od roku 1973, a to na monitorační ploše s názvem Želivka. Od tohoto roku je sledován obsah rozpuštěných látek ve srážkové a půdní gravitační vodě a také v povrchových vodních zdrojích.

Působení lesních ekosystémů na srážkovou vodu při jejím odtoku do vodních zdrojů je ve značné míře závislé na charakteru porostů a odlišuje se od procesů v bezlesí. Vodní bilanci lesních ekosystémů a vliv lesa na látkové složení (chemismus) srážkové vody při průtoku částmi těchto ekosystémů jsou zcela rozdílné od zemědělských ploch.

V okamžiku vstupu srážek do lesního ekosystému dochází k jejich významné diferenciaci. Část srážek je zachycena v korunách stromů a na povrchu ostatní vegetace, neúčastní se odtoku a je následně odpařena zpět do atmosféry (intercepce), část stéká po kmenech a část proniká k půdnímu povrchu (podkorunové srážky).

Intercepce představuje významnou zápornou složku vodní bilance lesních ekosystémů. Zejména při nízkých denních srážkových úhrnech má tento jev na celkový hydrologický režim lesního povodí výrazný vliv. Koruny smrků mohou zadržet a do ovzduší zpětně odpařit i srážku o hodnotě 2 mm. Srážky zachycují zejména mladší husté smrkové porosty a to i tuhé (sněhové) srážky, které potom podle slunečního svitu a proudění vzduchu částečně sublimují.

V teplém období let 1974 až 1986 byla na 10 výzkumných plochách v oblasti vodárenské nádrže Švihov na Želivce ve smrku měřena intercepce srážek. Ta se pohybovala v rozpětí

od 22,8 % srážek volné plochy při zakmenění porostu 0,5, do 45 % srážek volné plochy při zakmenění porostu 1,4. Krečmer a Fojt (1981) uvádějí, že v mladších, pěstebně zanedbaných a přehoustlých porostech smrku (tyčovinách a bidlovinách) může intercepce přesáhnout 50 % srážek volné plochy a v porostech s uvolněným zápojem (pod 0,6) může klesnout k 15 % srážek volné plochy.

Opadavé dřeviny, zejména po opadu listů, vykazují podstatně nižší hodnoty intercepce. Další zápornou složku vodní bilance v lesních porostech tvoří výpar z půdního povrchu, vytvářeného humusovým horizontem. Ten probíhá zejména při větší vlhkosti pokryvného humusu. Vyschnutí horizontu, vzhledem k charakteru humifikační vrstvy, omezuje doplňování vody z půdního profilu. Na sečích jsou srážky místo z půdního povrchu odpařovány z povrchu paseční vegetace, která se zpravidla velmi rychle rozvíjí. V mýtných porostech je více či méně vyvinuta v závislosti na stupni prosvětlení porostu. Intercepce, výpar a transpirace paseční vegetace, zejména travní, není výrazně nižší než tyto složky vodní bilance dříve smýcených nebo sousedících lesních porostů.

Transpirace jehličnanů a listnáčů je během roku odlišná. Smrk transpiruje (a asimiluje) i v obdobích, kdy nejsou listnáče olistěny (nemají zelené listí). Buky však za vysokých teplot v letních měsících spotřebují více vody a také mohou vodu čerpat hlouběji než smrky. Je to dáno hlubším prokořeněním buku v půdním profilu. V jarních měsících bývá půdní profil listnatých lesů středních a nižších nadmořských výšek vlhčí než sousední profil ve smrkovém porostu. To se však mění při suché periodě na konci léta a na začátku podzimu, kdy je zásoba vody v půdním profilu pod buky nižší.

Stanovení celkové evapotranspirace smrkového porostu měřením fyzikálních veličin na gradientové věži probíhalo v povodí Pekelského potoka v roce 1986. Hodnota transpiračního výparu ve sledovaném období dosahovala 36 % jeho potenciální hodnoty.

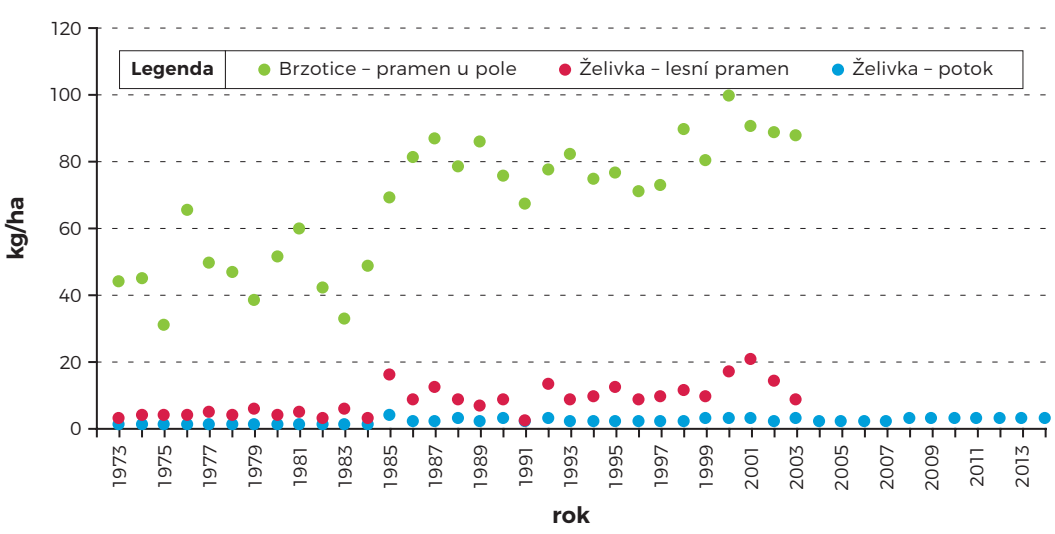
Kořeny stromů vytvářejí v půdním profilu preferenční cesty pro rychlý odtok do spodiny (do zvětralinového pláště). Tato charakteristická vlastnost lesní půdy zůstává zachována po smýcení porostu po dalších 10 a více let a při zetlívání kořenů se ještě zvyšuje. Povrch lesní půdy je výškově nevyrovnaný, a proto i při intenzivních srážkách dochází jen k lokálnímu povrchovému odtoku do depresí, kde pak voda infiltruje do půdy. Při vyšších srážkách dochází vedle jejího pronikání do hlubších vrstev půdy i k podpovrchovému odtoku, který však i na prudkých svazích (okolo 40 %) nepřekračuje několik procent celkových srážek za pozorované období. Jsou však mimořádné situace, např. při tání sněhu na zamrzlé půdě nebo při intenzivních srážkách, zejména v horských oblastech (Beskydy roku 1997, Orlické hory 1998), kdy může nastávat přímý (povrchový) odtok vody spojený s odnosem materiálu pokryvného humusu nebo i eroze minerální půdy v porostech. Podmínkou

Foto 78: Intercepce na povrchu větví buku lesního. Zdroj: Kvítek T.

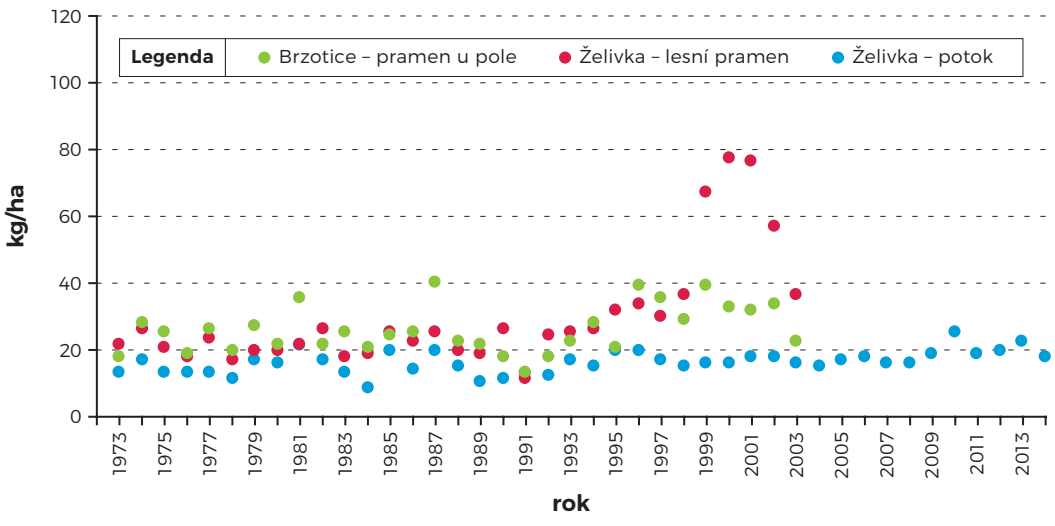
je překročení kapacity odtoku preferenčními cestami do zvětralinového pláště a naplnění vodní kapacity povrchových horizontů půdy. Během roku však převažuje vyrovnaný podzemní odtok ze zvodnělého horizontu do vodního toku. To se projevuje i ve vyrovnaných koncentracích sledovaných látek (iontů) ve vodě povrchových zdrojů v lesních povodích (grafy 99 a 100).

V ekosystémech nižších a středních nadmořských výšek s hlubšími půdními profily a vyšším obsahem jílových částic neprobíhá promyvný vodní režim, který je u horských půd

Graf 99: Průměrné roční koncentrace NO_3^- v povrchových vodách v povodí Pekelského potoka na monitorační ploše Želivka.



Graf 100: Průměrné roční koncentrace SO_4^{2-} v povrchových vodách v povodí Pekelského potoka na monitorační ploše Želivka.



příčinou vymývání pohyblivých iontů, zejména dusičnanů, do vodních zdrojů. V půdách pahorkatin probíhá střídavé „zvlhčování“ a „vysychání“ rhizosféry a odčerpávání biogenních prvků z půdní vody.

V povodí Pekelského potoka byl zjišťován vliv smrkových porostů a výchovných zásahů na genezi odtoku. Měření přímého odtoku ve smrkových porostech se sklonem terénu do 15 % ukázalo, že při srážkovém úhrnu 361 mm (v období IV–IX 1983) dosahoval nejvyšší přímý odtok v jednom porostu 2,52 mm. Při sklonu terénu do 48 % na zabuřenělé seči dosahoval přímý odtok maximálně 4,63 mm při úhrnu srážek v letním období 302 mm. Ve smrkovém porostu o sklonu 44 % byl zjištěn při srážkách 361 mm spadlých v letním období přímý odtok 4,05 mm. V případě plně nasyceného povodí vyvolala přímý odtok již srážka 4,2 mm. V zimních obdobích při periodách tání nebyl podzemní odtok pozorován, přímý odtok je tvořen odtokem povrchovým, případně humusovým horizontem po zamrzlé minerální vrstvě půdy.

Dále je popsán vliv jednotlivých složek lesních ekosystémů na chemické složení srážkové vody odtékající do vodních zdrojů. Působení korun stromů na složení podkorunových srážek závisí na imisním zatížení ovzduší, velikosti biomasy korun a exponovanosti porostů vůči proudění vzduchu. Proto vykazují podkorunové srážky v jehličnatých lesích celkově vyšší koncentrace imisních látek než okapová voda zachycená pod listnatými porosty (pod opadavými dřevinami), které mají v mimovegetačním období (kdy je i ovzduší více znečištěno) podstatně nižší povrch biomasy korun. V podkorunových srážkách má také v zimě větší podíl průniková voda, která nemá kontakt s biomasou korun a není kontaminována látkami zachycenými v korunách stromů. Vedle smývání imisních látek z povrchu biomasy probíhalo v minulém století při působení kyselých srážek i vymývání draslíku, hořčíku a manganu z povrchových tkání listů (jehlic) stromů. Nejvyšší koncentrace a vymývání imisních látek byly zjišťovány v podkorunových srážkách zachycovaných v okrajových zónách porostů exponovaných prouděním vzduchu.

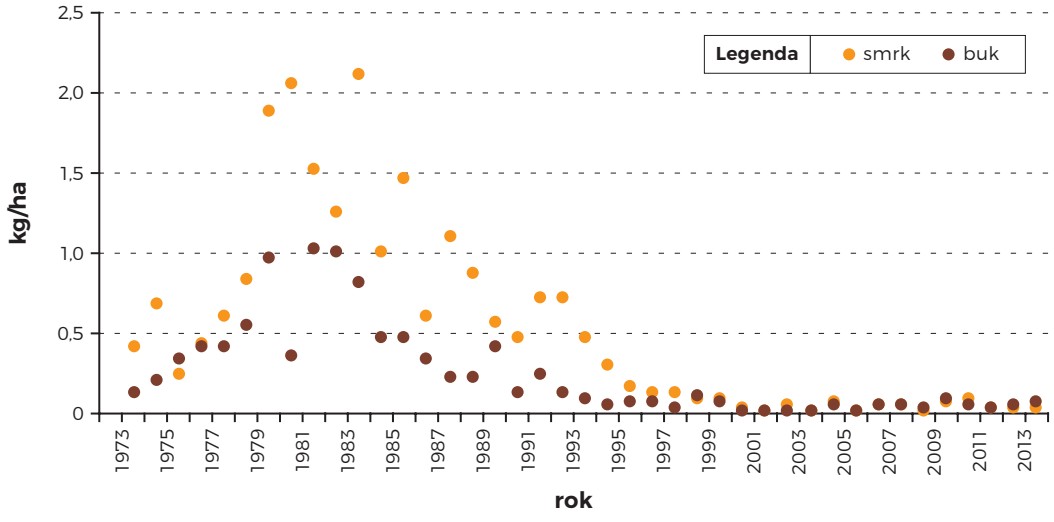
Podkorunové srážky jsou obohacovány o všechny sledované ionty, nejvíce však o K, Mn, SO_4^{2-} a F. S postupným snižováním obsahu znečišťujících látek v ovzduší se rozdíl mezi koncentracemi iontů ve srážkách na volné ploše a pod porostem snižuje (grafy 101–103).

Nejvyšší nárůst spadu H^+ iontů byl zaznamenán od roku 1979 do roku 1983 (Pekelský potok). Po roce 1983 spad protonů (H^+) poněkud poklesl, ale ve srážkách narůstaly koncentrace NO_3^-, NH_4^+, Cl^-, F a v podkorunových srážkách i Mg, PO_4^{3-} a kovů.

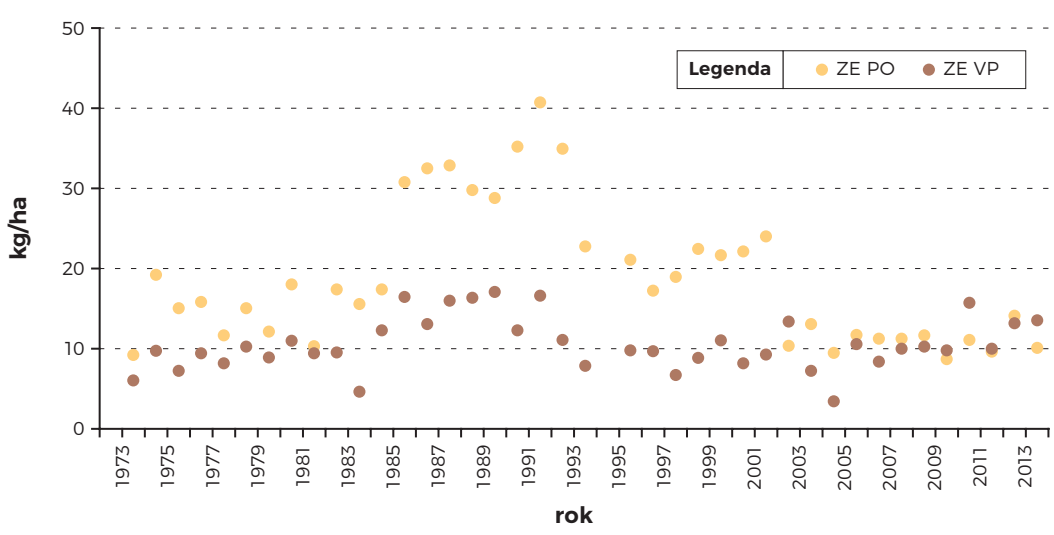
V bukovém porostu probíhalo sledování chemismu srážkových vod v letech 1989–2001. V podkorunových srážkách byly zjišťovány vyšší hodnoty pH než ve srážkách zachycených na volné ploše. V okapové vodě zachycené pod korunami buku docházelo k nižšímu nárůstu koncentrací iontů Mn, F, NH_4^+, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} než ve srážkách pod korunami smrku.

V lesních porostech se vytváří z opadu a přízemní vegetace (bylinného a mechového patra) pokryvný humus. V lužních a listnatých porostech nízkých vegetačních stupňů vzniká sezonní vrstva opadu, která je během vegetačního období přeměňována do organického horizontu mullu. V jehličnatých a listnatých porostech (dubu a buku) nižších

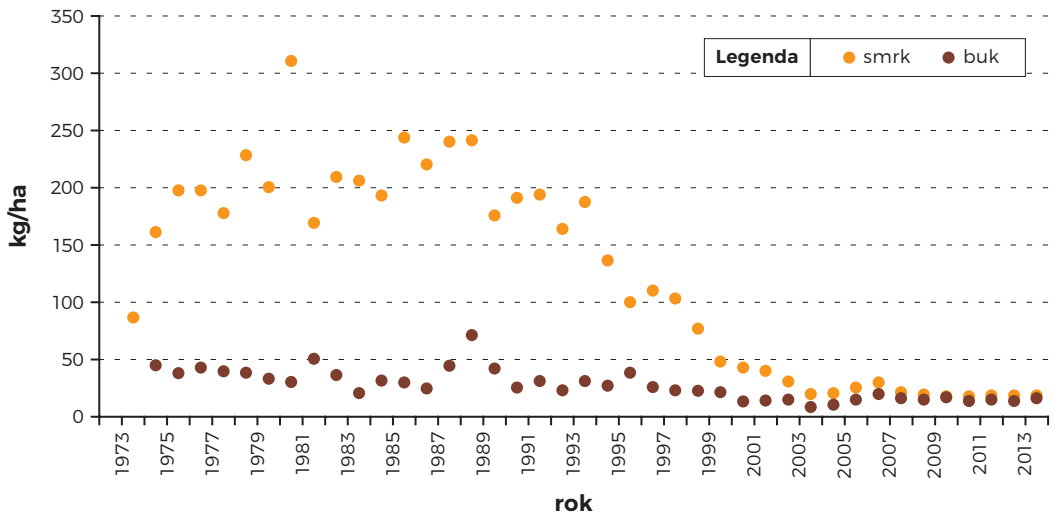
Graf 101: Roční depozice H^+ na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka – ZE PO – srážky pod smrkovým porostem (throughfall), ZE VP – srážky na volné ploše (bulk).

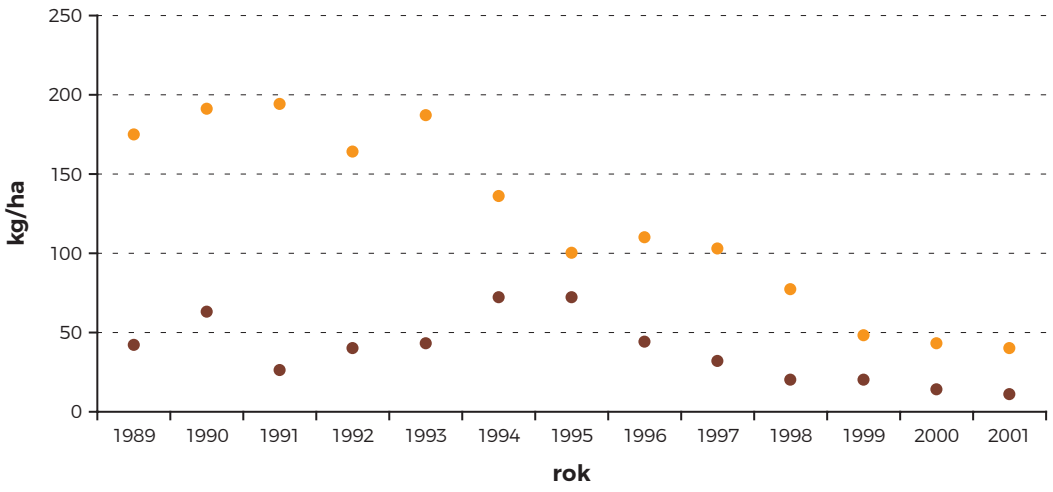


Graf 102: Roční depozice N (NO_3^-+NH_4^+) na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka – ZE PO – srážky pod smrkovým porostem (throughfall), ZE VP – srážky na volné ploše (bulk).



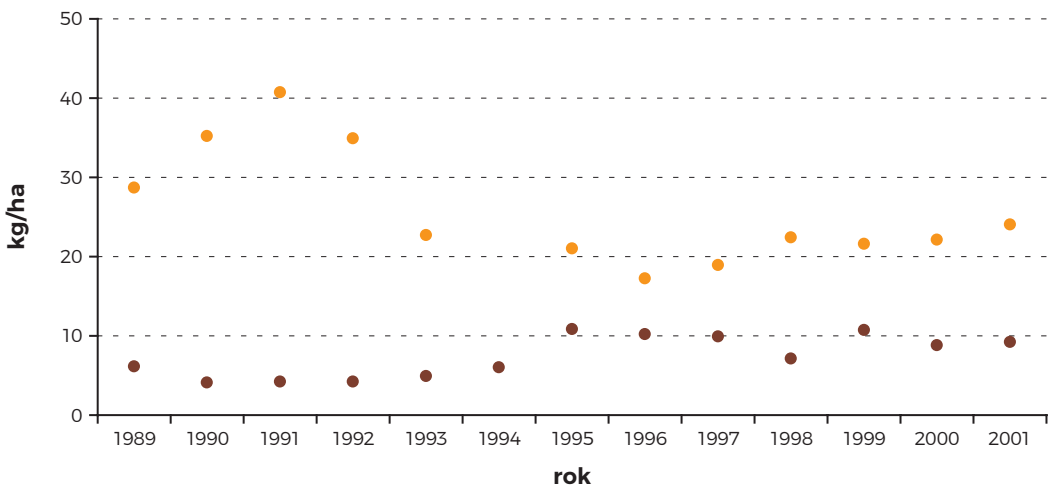
Graf 103: Roční depozice SO_4^{2-} na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka – ZE PO – srážky pod smrkovým porostem (throughfall), ZE VP – srážky na volné ploše (bulk).





Graf 104: Roční depozice SO_4^{2-} na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka – ve smrkovém a bukovém porostu.

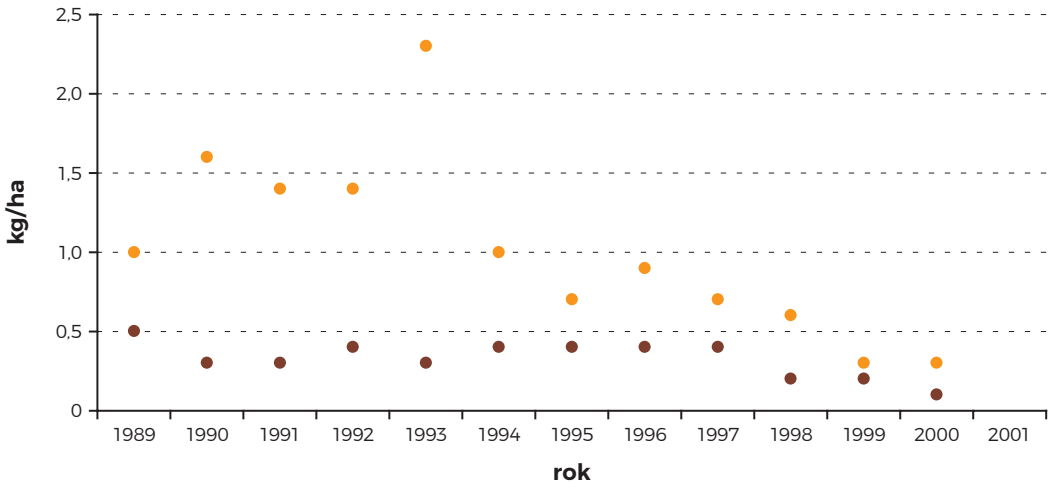
Legenda	smrk	buk



Graf 105: Roční depozice N (NO_3^-+NH_4^+) na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka – ve smrkovém a bukovém porostu.

Legenda	smrk	buk

Foto 79: Zalesněné svahy nad hladinou VN Švihov na Želivce s dvojmostem u obce Píšť. Zdroj: Kvítek T.



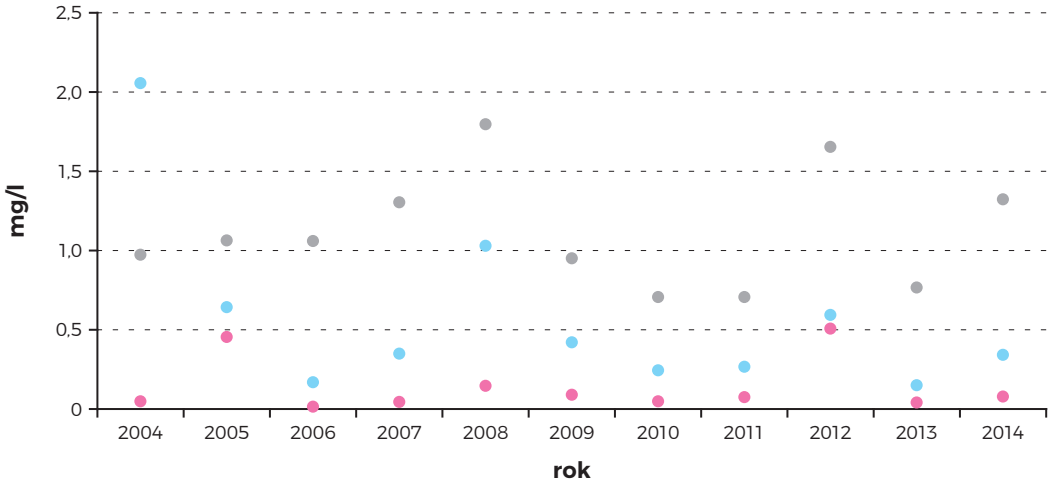
Graf 106: Roční depozice F na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka – ve smrkovém a bukovém porostu.

a středních vegetačních stupňů zůstává ležet opad (o mocnosti několika málo centimetrů) v různém stupni rozkladu po celý rok. Do humifikační vrstvy tohoto pokryvného humusu zasahují zpravidla kořínky stromů. Na rozkladu organické hmoty se podílí zejména mezoedafon. Ve vyšších vegetačních stupních nebo na chudých či zamokřených stanovištích se hromadí mohutnější humusový horizont mor o mocnosti často překračující 10 cm. Na rozkladu organické hmoty se velkou měrou podílejí houby. Prostředí je zpravidla velmi kyselé a humusová, případně fermentační vrstva humusového horizontu je hojně prokořeněna. Tato humusová forma je spojena s podzolizačním procesem způsobeným odtokem pohyblivých nízkomolekulárních produktů rozkladu organické hmoty do minerálního profilu půdy, kde se váží na sloučeniny železa nebo manganu.

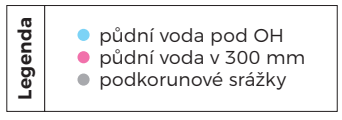
Na změnu chemismu vody (koncentrace iontů a organických látek) má při průtoku vody humusovým horizontem vliv intenzita rozkladných procesů a přítomnost kořenů vegetace. Ty ve vodě protékající humusovým horizontem i svrchní vrstvou minerální půdy snižují koncentrace biogenních prvků, nejvíce u sloučenin dusíku, draslíku, hořčíku, vápníku, manganu, zinku a fosforu. Nárůsty koncentrací se zpravidla projevují u Na, Cl^-, SO_4^{2-}. Při vysokém zatížení půdy H^+ ionty a poklesu pH půdního profilu pod 4,2 nastává uvolňování oxidů hliníku z půdních jílů a při vysoké přítomnosti iontů SO_4^{2-} tvorba reverzibilních alumofosfátů, nestálých sloučenin síranů a hliníku.

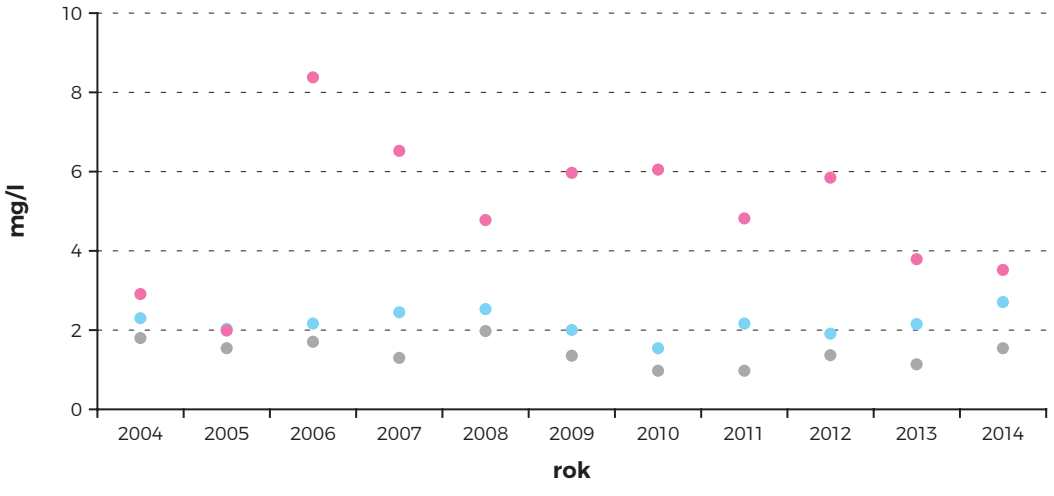
V povodí Pekelského potoka působí horizont pokryvného humusu ve smrkovém porostu v perkolující vodě na zvyšování koncentrací humusových látek a dalších prvků jako Mg, Ca, Mn, Fe, Al. Současně tento horizont ovlivňuje snižování koncentrací NH_4^+, NO_3^-, Zn. V minerální půdě je z gravitační vody odlučována většina sledovaných prvků s výjimkou Na, Cl^-, SO_4^{2-} (graf 107–109).

Od konce 19. století do poloviny 80. let minulého století, kdy vrcholilo imisní zatížení, vzrostly v Evropě sedmkrát emise síry (SO_2), zatímco emise dusíku se zvýšily téměř pětkrát. Podobný vzestup byl zaznamenán u kyselých atmosférických depozic (Schöpp et al., 2003). Zvýšené atmosférické depozice mohou negativně ovlivňovat lesní ekosystémy, působí eutrofizaci dusíkem a vedou k acidifikaci půd

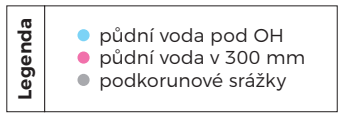


Graf 107: Průměrná roční koncentrace NH_4^+ v podkorunových srážkách, v půdní vodě pod organickým horizontem (OH) a v půdní vodě v hloubce 300 mm na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka ve smrkovém porostu.

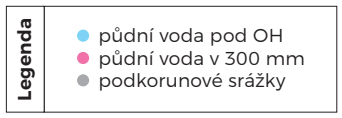




Graf 108: Průměrná roční koncentrace SO_4^{2-} v podkorunových srážkách, v půdní vodě pod organickým horizontem a v půdní vodě v hloubce 300 mm na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka ve smrkovém porostu.



Graf 109: Průměrná roční koncentrace Al v podkorunových srážkách, v půdní vodě pod organickým horizontem a v půdní vodě v hloubce 300 mm na monitorační ploše Želivka v povodí Pekelského potoka ve smrkovém porostu.



Tabulka 74: Průměrné průtokem vážené koncentrace v odtoku a průměrné množství vážené koncentrace ve srážkách v období 2000–2010

Odtok (mg/l)			Srážky na VP (mg/l)		
$N–NH_4^+$	$N–NO_3^-$	$S–SO_4^{2-}$	$N–NH_4^+$	$N–NO_3^-$	$S–SO_4^{2-}$
0,03	0,52	5,99	0,72	0,69	0,70

Tabulka 75: Výsledky sezonního Mann-Kendall testu pro koncentrace $S–SO_4^{2-}$ a obě formy anorganického N v odtoku

Období	$S–SO_4$		$N–NO_3$		$N–NH_4$	
	P	trend	p	trend	P	trend
2000–2010	< 0,0001	↑	0,736		0,357	
1995–2010	< 0,0001	↑	0,039	↓	< 0,0001	↓

Tabulka 76: Průměrné roční vstupy a výstupy na sledovaných povodích v období 2000–2010

Odtok (kg/ha rok)				Celková depozice (kg/ha rok)			
$N–NH_4^+$	$N–NO_3^-$	N	$S–SO_4^{2-}$	$N–NH_4^+$	$N–NO_3^-$	N	$S–SO_4^{2-}$
0,0	0,4	0,4	4,5	5,2	5,1	10,3	5,2

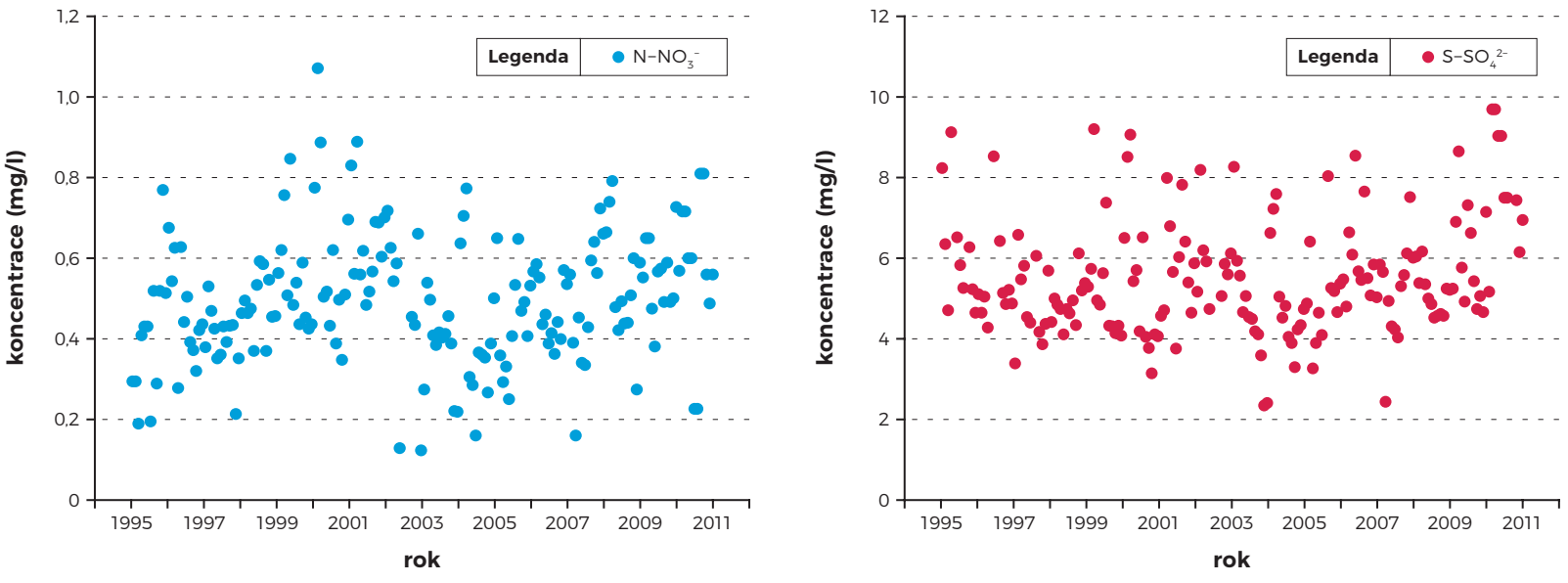
a povrchových vod. Díky redukci emisí SO_2 došlo v minulých dekádách k výraznému snížení depozice S, podobný pokles ale nebyl pozorován u depozice N (EEA, 2011, Lorenz and Becher, 2012). Ekosystémy dlouhodobě vystavené chronicky vysoké depozici N mohou být N saturovány (Aber et al., 1989). Jedním ze symptomů N saturace je zvýšené vyplavování NO_3^- z ekosystému.

Tabulka 74 sumarizuje průměrné koncentrace ve srážkách a odtoku v povodí Pekelského potoka v období 2000–2010. Průběh měsíčních koncentrací $N–NO_3^-$ a $S–SO_4^{2-}$ naměřených ve vodoteči v letech 1995–2010 ukazuje graf 110.

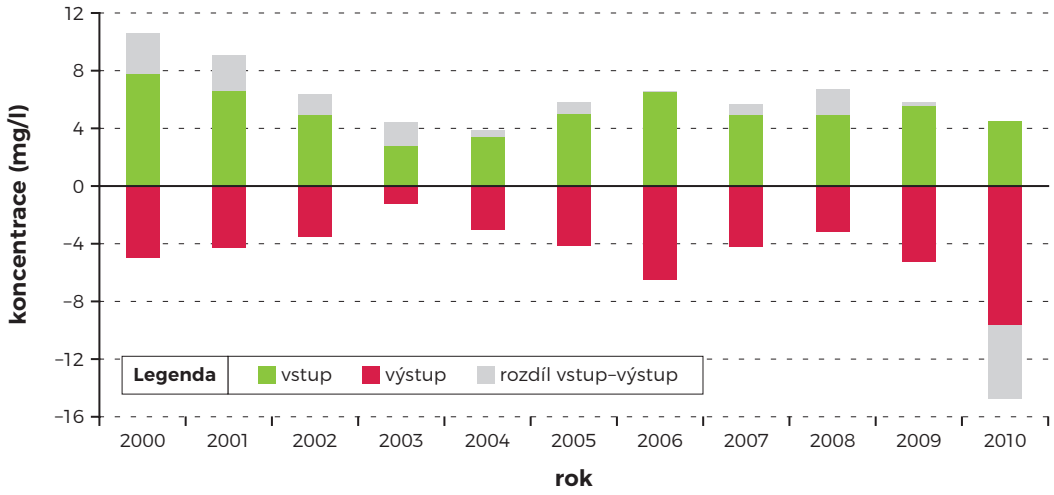
V povodí se projevuje sezonní průběh koncentrace $N–NO_3^-$ spojený s táním sněhu a biologickými retenčními procesy. Ve vztahu k čtyřem progresivním fázím saturace ekosystému dusíkem (0–3), která je založena na změnách sezonnosti a hodnotách $N–NO_3^-$ vyplavovaných v odtékající vodě, patří povodí Pekelského potoka do fáze 1, kdy se projevuje silná sezonnost v koncentracích $N–NO_3^-$, během vegetační sezony jsou patrné nízké koncentrace a v zimním období dosahují koncentrace $N–NO_3^-$ maximálně 1 mg/l.

Koncentrace $N–NO_3^-$, $N–NH_4^+$ a $S–SO_4^{2-}$ v odtoku vykazují rozdílné dlouhodobé

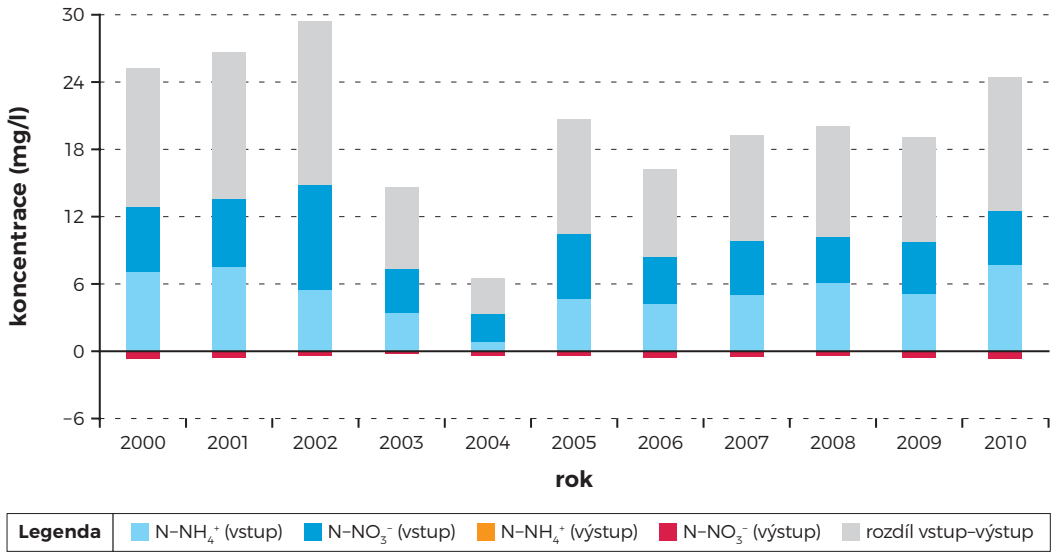
Graf 110: Měsíční koncentrace $N–NO_3^-$ a $S–SO_4^{2-}$ ve vodě odtékající z povodí Pekelského potoka.



Graf 111: Celková depozice a odtok $S–SO_4^{2-}$ (kg/ha) v povodí Pekelského potoka v období 2000–2010.



Graf 112: Celková depozice a odtok N (kg/ha) v povodí Pekelského potoka v období 2000–2010.



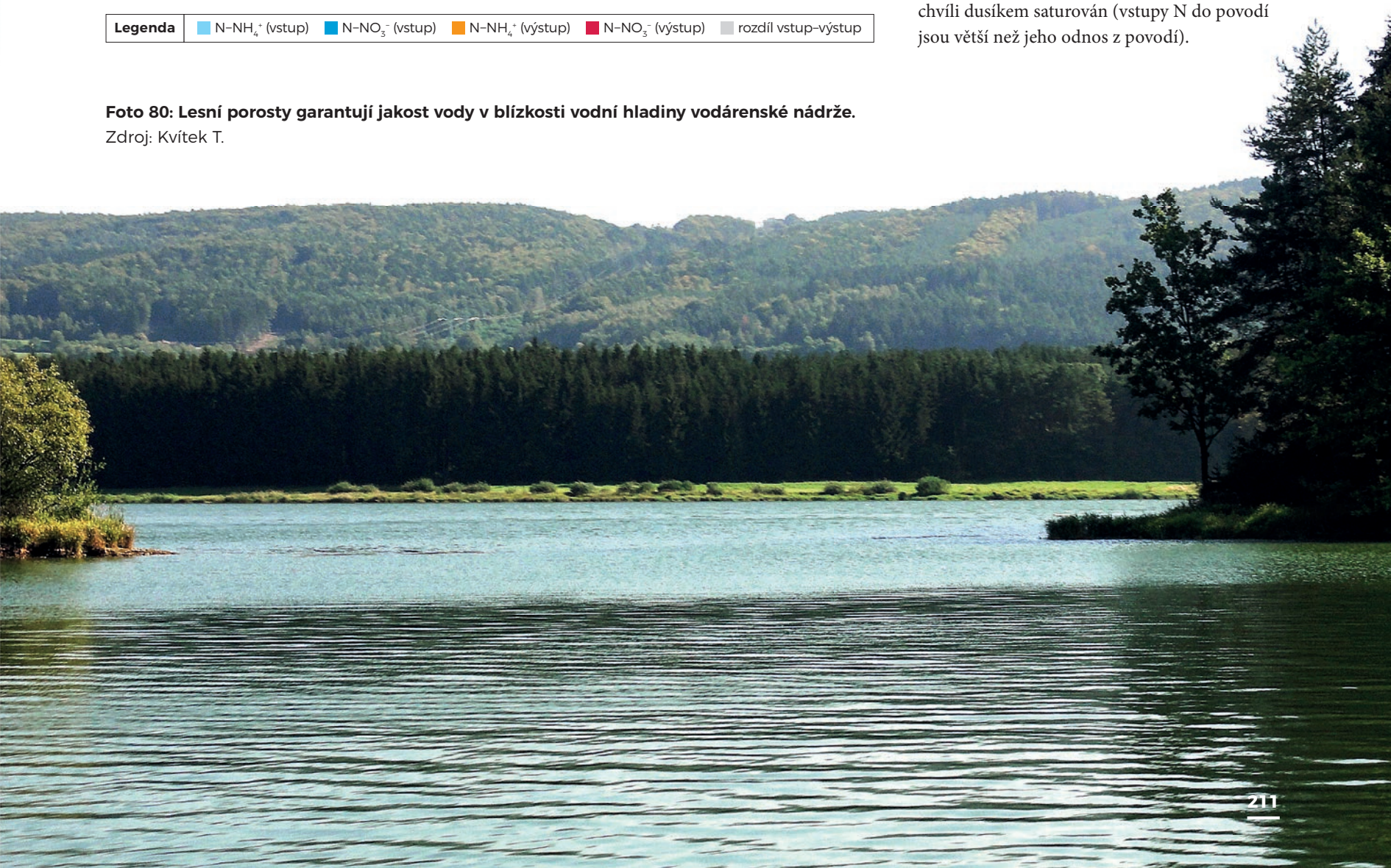
trendy (tabulka 76 a graf 110). V období 1995–2010 byl zjištěn signifikantně rostoucí trend koncentrací $S–SO_4^{2-}$, což může souviset se opožděným vyplavováním S, která byla absorbována během minulých dekád. Signifikantně významný pokles koncentrací $N–NO_3^-$ a $N–NH_4^+$ v odtoku byl potvrzen na povodí v období 1995–2010.

Vypočtené průměrné roční toky S a N jsou uvedeny v grafu 111 a 112. Jako vstup do povodí byl uvažován tok látek ve srážkách na volné ploše, platnost tohoto předpokladu je však omezena v případě prvků, které jsou významně zachycované v korunách stromů, jde hlavně o $S–SO_4^{2-}$.

Během období 2000–2010 byl tok síry relativně nízký a konstantní a vstupy z atmosféry převažovaly nad odnosem z povodí, s výjimkou roku 2010 (graf 111). V depozici dusíku byla větší roční variabilita a nebyl pozorován žádný zřetelný dlouhodobý trend. Variabilita celkové depozice N byla jasně spojena s roční variabilitou množství srážek.

Koloběhu dusíku v lesních ekosystémech je stále věnovaná pozornost, s ohledem na jeho význam pro výživu lesních porostů. Nejvyšší depozice dusíku byly v povodí Pekelského potoka zjišťovány v podkorunových srážkách v porostech s clonnou sečí, nižší v mladém smrkovém porostu, nejnižší v porostu buku. V bukovém porostu však připadá významný podíl depozic imisních látek na stok po kmeni, což způsobuje plošně nerovnoměrné zatížení půdy. V povodí Pekelského potoka dochází v současné době k zadržování dusíku v povodí (graf 112), vodní ekosystém tedy není v tuto chvíli dusíkem saturován (vstupy N do povodí jsou větší než jeho odnos z povodí).

Foto 80: Lesní porosty garantují jakost vody v blízkosti vodní hladiny vodárenské nádrže.
Zdroj: Kvítek T.



Tabulka 77: Parametry různých druhů vod v povodí

Druh vod	Cesty odtoku	Stáří vody	Projev v korytě toku po srážce	Změna teploty vody	Odezva na srážku	Nasycenost prostředí
Povrchová voda	Plošný povrchový odtok	Nová voda – srážková	Rychlý	Rychlá v závislosti na teplotě srážky	Přímý odtok	Nenasycené prostředí
	Povrchový odtok soustředěný o malé hloubce					
	Povrchový odtok soustředěný v korytě					
Podpovrchová voda	Půdní voda	Různé	Pomalý až rychlý	Pomalá až rychlá	Různá, podle nasycenosti povodí a půdních charakteristik	Nenasycené prostředí
	Preferenčními cestami	Nová voda – srážková	Rychlý	Rychlá v závislosti na teplotě srážky	Přímý odtok	
	Svahová	Středně stará	Středně rychlý, po srážkách často rychlá odezva	Pomalá změna v závislosti na období roku	Interflow	
	Pramenní (z mělkých zvodní)	Stará i nová voda po srážkách	Pomalý, po srážkách často rychlá odezva	Teplota kolísá okolo průměrné roční teploty vzduchu, po srážkách často prudká změna	Základní odtok, často s rychlou odezvou na srážku (preferenční cesty v cestách výronu vody)	
Podzemní voda	Mělká hladina	Středně stará	Pomalý	Pomalá změna v závislosti na období roku, kopíruje průběh dlouhodobé průměrné teploty vzduchu	Základní odtok	Nasycené prostředí
	Hluboká hladina	Stará voda		Teplota stabilní		

Poznámka
Kategorie vyjadřují parametry druhů vod a z didaktických důvodů jsou znázorněny schematicky. V terénu může docházet k míchání jednotlivých druhů vod.

Příklady
1. V pramenním vývěru lze nalézt středně starou i starou podzemní vodu. V pramenním vývěru odvodňujícím mělké podzemní vody lze často po srážkách nalézt vodu půdní, srážkovou (která prošla preferenčními cestami), vodu svahovou.

2. V drenážních systémech lze najít mělkou i hlubokou podzemní vodu. Po srážkách lze často nalézt také vodu půdní, srážkovou (která prošla preferenčními cestami), svahovou a vodu z podchycených pramenních vývěrů.

3. V korytě toku (v období bez srážek) je možné nalézt vodu drenážní, z mělkých i hlubokých podchycených zvodní a pramenů, vodu podpovrchovou – svahovou. Během srážek se tato voda směšuje s vodou povrchovou, půdní a tou, která prošla preferenčními cestami.

4. KAPITOLA

Shrnutí důvodů pro zvyšování retence vody na zemědělském půdním fondu

Tomáš Kvítek

Člověk, jenž nikdy nemění své názory,
je jako stojatá voda a plodí plazy mysli.

William Blake
Anglický romantický básník

Foto 81: Trvalé travní porosty plní velmi účinně funkci přímé ochrany povrchových i podzemních vod. Zdroj: Kvítek T.

Shrnutí důvodů pro zvyšování retence vody se v této kapitole ve velké míře shoduje s texty uvedenými v předchozích kapitolách. Záměrem editora bylo, zachovat texty specializovaných pracovníků na odborné úrovni, a proto je nechal v nezměněné formě.

Předkládané výsledky jednotlivých interakcí mezi srážkami – půdou – hospodařením na půdě – jakostí vody v povodí se netýkají jen jedné vodárenské nádrže, ale celého zemědělského půdního fondu České republiky (ZPF). Vodárenská nádrž (VN) Švihov na Želivce je nejvýznamnější vodárenský zdroj v České republice. Účelem díla je zásobování hlavního města Prahy, středočeské oblasti a části jihočeské a východočeské oblasti pitnou vodou. Toto vodní dílo se nachází v intenzivně využívané zemědělské krajině a to přináší někdy i zásadní střety mezi jednotlivými přírodními složkami a antropogenními vlivy. V současném období jsou poskytovány jednotlivými odborníky a institucemi katastrofické scénáře změny klimatu, ukazuje se, že je třeba i na tyto „skutečnosti" reagovat.

Klimatologie území

V celém povodí vodárenského zdroje jsou pozorovány změny v intenzitách srážek, výskyt těchto vyšších denních úhrnů srážek v jednotlivých letech značně kolísá, na začátku 21. století je obecně vyšší. Zvyšuje se však meziroční variabilita výskytu těchto extrémních hodnot. Zatím zde nebyl potvrzen očekávaný pokles výšky sněhu ve střední Evropě. Teplota vzduchu postupně narůstá a zvyšuje se i potenciální evapotranspirace, vzestup srážek však v oblasti není v posledních letech zaznamenáván. Vláhový deficit je však v povodí VN Švihov na Želivce periodicky dorovnáván jednotlivými srážkově bohatšími roky.

Zemědělství

Jak již bylo řečeno, VN se nachází v intenzivně obhospodařované krajině a vývoj jakosti vody v povodí tak velmi dobře odráží změny celkového systému hospodaření na zemědělském půdním fondu za bezmála 70 let.

Již po roce 1950 dochází ke změnám v dosud pestré skladbě plodin pěstovaných na orné půdě. Snižuje se výměra extenzivnějších plodin, jako je např. žito či oves. Začíná se naopak rozšiřovat pěstování náročných, ale intenzivních a výnosných plodin. Prakticky se zdvojnásobí plochy pšenice. Od 60. let dochází k postupnému nástupu pěstování kukuřice jako hlavní glycidové pícniny, stabilizující zimní krmnou dávku skotu. Tento systém sebou přinesl i narůstající problémy s výběrem vhodných pozemků a s erozí půdy na svažitých pozemcích. Po odvodnění a vzhledem k intenzivní výrobě obilnin i dalších plodin na orné půdě dochází k rozorávání travních porostů. Ve snaze o dosažení maximálních výnosů, často neodpovídajících klimatickým ani půdním podmínkám, byly aplikovány neúměrně vysoké dávky živin a chemických přípravků. Důsledky všech těchto k přírodě nešetrných postupů se projevily nejenom ve zvýšené erozi, utužení půdy, zatížení půdy a podzemních vod živinami, ale mj. také díky přerušením dlouhodobých vlastnický vztahů v odtržení člověka od půdy. Půda a krajina začala být chápána jen jako výrobní prostředek.

S intenzivní výrobou obilnin a dalších plodin souvisí také další rozvoj chemizace v ochraně rostlin. Především se jednalo o široké uplatnění herbicidů a desikantů při pěstování obilnin. Rychle vzrůstal rozsah jejich plošné aplikace a s tím spojené případy bodového znečištění zdrojů povrchové i podzemní vody v důsledku nedostatků technologické kázně i nedostatků samotného strojového parku aplikačního zařízení a letecké aplikace. V 60. letech bylo zavedeno hodnocení rizik přípravků na ochranu rostlin pro vodní zdroje a byla zavedena klasifikace z hlediska jejich přípustného použití v PHO vodních zdrojů pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. V tomto období se začínají projevovat i ekologická rizika používání DDT a postupně dochází k omezení jeho používání. Jako náhrada za DDT se začaly používat estery karbamátů (především carbaryl), které jsou biologicky odbouratelné a tudíž nezatěžují životní prostředí. DDT bylo v ČR zakázáno používat od roku 1974.

V návaznosti na stupňující se koncentraci a specializaci v rostlinné výrobě se také zvyšuje plocha kukuřice v systému monokulturního několikaletého pěstování na stejném pozemku při opakované vysoké dávce triazinových herbicidů (atrazinu), s negativními důsledky pro vodní zdroje v důsledku nedostatečně zhodnocené perzistence a bioakumulace této látky. Nutno poznamenat, že se také zvyšuje rozsah chemických zásahů k usnadnění mechanizované

sklizně či pěstební technologie s úsporou ruční práce v zájmu produktivity a rentability. Zvyšující se rozsah používání pesticidů si vyžádal vyšší koncentraci poskytovaných služeb a vedl k postupnému zakládání agrochemických podniků, popřípadě středisek ochrany rostlin u specializovaných podniků. Vyšší koncentrace skladování a manipulace s pesticidy vedly k nárůstu případů počtu bodového a lokálního znečištění nejen zemědělské krajiny, ale i sídelních obcí včetně zdrojů podzemních vod. S rozvojem vědy a výzkumu je neustálý pokrok zaznamenáván i ve vývoji nových účinných látek a přípravků na ochranu rostlin. Tento fakt souvisí i s neustále se zvyšujícím počtem škodlivých organismů, proti kterým musí být prováděna ochrana rostlin. Téměř 40 let kolektivizovaného zemědělství však způsobilo příliš dlouhé přerušení zemědělské tradice v řadě rodin, a tak je tato tradice obnovována jen částečně. Navíc nastupuje působení volného trhu a zemědělství začíná tvrdě doplácet na odtržení od zpracování a výroby potravin během uplynulých 40 let. Rostoucí dovozy zahraničních potravin postupně začínají likvidovat nepružný potravinářský průmysl, který problémy následně přenáší na své dodavatele surovin v podobě nízkých výkupních cen obilí, masa i mléka či špatnou platební morálku. Do toho přichází současné zvyšování cen vstupů. Rozevírající se cenové nůžky a tím dlouhodobě nepříznivá ekonomická situace rovněž odrazuje začínající soukromé zemědělce, a proto i přes příznivý trend v počátku 90. let tak zůstává po většinou zachována zemědělská velkovýroba, založená na velkých podnicích, které o něco lépe absorbují tyto změny.

V důsledku výše popsaných negativních ekologických trendů došlo od roku 2015 ke změně systému zemědělských dotací z EU a mnohem větší důraz je kladen na ekologické aspekty zemědělství v krajině na tzv. „greening“. Jedná se o speciální platbu pro zemědělce, dodržující zemědělské postupy příznivé pro klima a životní prostředí. Je třeba dodržet určitou diverzitu pěstovaných plodin a vyčlenit minimálně 5 % z rozlohy orné půdy daného zemědělského subjektu jako plochu využívanou v ekologickém zájmu (EFA). I přes určité kontroverze a nedostatky tohoto opatření lze v zatím jen velmi krátkém období jeho účinky na zemědělskou praxi na obhospodařování orné půdy hodnotit spíše pozitivně.

Období po vstupu ČR do EU vyžadovalo implementaci agroenvironmentální politiky, politiky životního prostředí a harmonizovaných technických standardů EU. Horizontální plán rozvoje venkova (HRDP) stanovil hranice a cíle hlavních agroenvironmentálních opatření. Zahrnul i podporu k omezení degradace půd (ochrana před půdní erozí, zhutňováním, dehumifikací a vysycháním) a znečištění vody – zvýšení ochrany kvality vod, k ochraně biodiverzity, péče o krajinu jako kulturní dědictví a k podpoře činností spojených s ochranou životního prostředí. Státní politika životního prostředí pro období 2004–2010 usilovala o dosažení dalších cílů, jakým je i omezení znečištění vod včetně znečištění způsobeného zemědělskou činností. Lze konstatovat, že některé cíle se nedaří naplňovat, a to dlouhodobě. Jedná se především o degradační procesy půdy, ochranu a množství jakosti povrchových a podzemních vod a zvyšování retence vody v zemědělské krajině.

Zemědělec v povodí VN hospodaří ve stanovištních podmínkách, které mají daleko k ideálnímu teoretickému stavu (mírně sklonité území, mírné a stabilní srážky, hlinitojílovitá půda s dobrou retencí vody, dostatečné zastoupení luk a lesů), kdyby nedocházelo k výrazné kontaminaci vody různými látkami ze ZPF. Původní vývoj svahů jako součást zarovnávání reliéfu se po odlesnění díky erozi, acidifikaci s debazifikací, zhutnění a dalším negativním vlivům urychluje a vychyluje přirozený vývoj půd i zastoupení jednotlivých půdních představitelů nejen proměnou jejich fyzikálně chemických parametrů, jako jsou kyselost, sorpční komplex, humóznost, pufrace, zrnitost, štěrkovitost, hloubka půd, ale ve výsledku dochází k proměně půdního krytu z hlediska zastoupení půdních jednotek, jejich velikosti i tvaru.

Vodní režim subpovodí

V podmínkách Českomoravské vrchoviny převládají kambizemě, které jsou často mělké a dále lesní půdy (s hrabankou na povrchu). Preferenční proudění je zde podstatnou složkou při formování odtoku ze zdrojových malých povodí. Povrchový odtok překročením infiltrační kapacity půd se zde vyskytuje jen po srážkách extrémnějších intenzit či srážkových úhrnů nebo při dopadu významné srážky na zmrzlou půdu. Výsledkem pak bývá eroze půdy a velmi rychlá povodňová odezva, často spojená s odnosem velkého objemu ornice. Daleko častějším a významnějším než odtok povrchový, je odtok podpovrchový (hypodermický), často jen v ornici a podorničí, resp. těsně pod drnovými a humusovými horizonty. Zdrojem hypodermického odtoku mohou být i pramenní vývěry (samostatné nebo v prameništích). V případě nasycení půdního profilu může být přes tento mělký podpovrchový odtok superponován ještě povrchový odtok nasyceného typu. Výsledky separace odtoku v povodích na Českomoravské vrchovině prokázaly, že podíl hypodermického odtoku na celkovém odtoku je v průměru 40%; v obdobích beze srážek je odtok tvořen podpovrchovou a podzemní částí odtoku.

Odvodnění zemědělské půdy a jeho význam pro zemědělství

Velmi kontroverzní, zatím odborně nedořešenou kapitolou ve vývoji půdního krytu, bylo období masivního odvodňování pozemků v šedesátých až osmdesátých letech minulého století. Neměnilo se jím druhové nebo typové složení půd, ale především jejich vodní (zejména retence vody) a vzdušný (zvrat z redukčního na oxidační) režim. Ovlivněno však bylo více půdních vlastností, např. úbytek organických látek v půdě jejich zvýšenou mineralizací, pozměněná rychlost denitrifikace apod. Intenzivní zemědělské využívání krajiny však klade specifické nároky na vodní režimy půd. V klimatických podmínkách Českomoravské vrchoviny nevyhovuje kulturním plodinám zejména krátkodobý přebytek vody na pozemku, vyskytující se nejčastěji v jarním období, a současně i trvalý přebytek vody z vyvěrajících pramenních vývěrů ve svahu, zamokřující níže položené svahové oblasti, z vysoké hladiny podzemní vody v úzkých, v současnosti nesklízených nivách a z nižší infiltrační schopnosti půd oglejených. Proto patřilo odvodňování pozemků v těchto oblastech mezi tradičně využívaná hydromeliorační opatření (mělké, povrchové stružky po spádnici, ručně prováděné, odvádějící vodu do recipientu, nevyhovující intenzivní zemědělské výrobě). Kritika staveb odvodnění však přichází až v období, kdy více jak čtvrtina zemědělských půd je již odvodněna. Přitom tyto systémy jsou z převážné části nadále funkční a zemědělec je pro tvorbu výnosu potřebuje. Lokálně se vyskytující poruchy jsou často příčinou dlouhodobě nedostatečné údržby hlavních odvodňovacích zařízení. Argumentem o potřebnosti odvodnění pro udržení zemědělských aktivit v krajině jsou snahy zemědělců tyto závady podle možností odstraňovat, a to bez jakékoli vnější podpory. Zřejmě jiná kritika by zaznívala v období, kdy tyto systémy vybudovány nebyly a kdy by zamokření pozemků způsobovalo jejich nepřístupnost pro techniku a výrazně snižovalo výnosy zemědělských plodin, způsobovalo i výrazný odtok vody. Je otázka, zda by Česká republika byla od roku 1960, za stavu velké výměry zamokřených půd, soběstačná v rostlinné výrobě, ve výrobě potravin a zda by současné kritizované dovozy zboží na velké vzdálenosti nebyly ještě masivnější. Nastavené tendence v demokratické společnosti dlouhodobě přetrvávají. A to se týká jak odvodnění, tak i zamokřených půd. Zamokřená půda ve sklonitých podmínkách obvykle nemá dostatečnou retenční kapacitu pro zasakování srážkové vody a velmi snadno pak i na trvalých travních porostech nastává povrchový odtok a v oblasti soustředěného odtoku také eroze půdy. Po vybudování drenážního systému a scelení pozemků došlo k zaklesnutí hladiny podzemní vody, praktické eliminaci zamokřených ploch a také povrchového odtoku. Výsledky ukazují, že odtok vody ze subpovodí je výhradně tvořen podpovrchovým odtokem, ten je určován prouděním preferenčními cestami v půdě, částečně hypodermickým prouděním a přítokem mělké podzemní vody do trubní drenáže, jakmile dojde k zvýšení hladiny díky příspěvku z aktuální srážky.

Odtok vody

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že odtok mělké podpovrchové (zejména drenážní) vody v zájmovém regionu představuje komplexní problém, kdy se na odtoku podílí více různých složek v různém poměru. Odtok dotovaný z hladiny podzemní vody a svahovým tokem má delší dobu zdržení v povodí v řádu měsíců až let. Nicméně často je v průběhu srážkoodtokových událostí ředěn různým podílem vody pocházející z příčinné srážky, která dosáhne drenážního odtoku již velmi brzy (v desítkách minut až jednotkách hodin) po začátku srážky. Její podíl závisí na velikosti zdrojové oblasti, množství preferenčních cest (zejména ve zdrojové oblasti), výskytu puklin v podloží a množství pramenů a jejich napojení na sledovaný drenážní systém či jiný vodní útvar a samozřejmě i na nasycenosti povodí.

Experimentálně byly zjištěny výrazné změny teploty vody drenážního odtoku za srážkoodtokových situací. Prokázalo se, v závislosti na intenzitě srážky, že se jedná o srážkovou vodu, která se do drenážního systému dostala v řádu minut, tedy o rychlou vodu. Z výsledků sledování doby zdržení vody v systému půda–hornina vyplývá, že střední doba zdržení základního (baseflow) a hypodermického (interflow) odtoku je v zájmové oblasti značně variabilní. Na měrných profilech drenážních skupin se pohybovala mezi 2,3–3,3 roku, přičemž doba zdržení neměla souvislost s velikostí plochy drenážní skupiny. Nejvíce záleželo na hloubce oběhu a podílu povrchových vod, které mohou často rychle a v relativně velkém množství pronikat do mělkého podpovrchového odtoku. Pokud dochází k zachytávání především svahové vody (část odtoku stékající vadózní zónou svahem po nepropustném podloží), byla zjištěna výrazně větší doba zdržení, a to sedm let. Naopak v případě profilu se smíšeným napájením podzemní i povrchovou vodou byla zjištěna výrazně kratší doba zdržení, a to pouhé čtyři měsíce. Sledované mělké vrty a pramenní vývěr, který slouží jako lokální zdroj podzemní vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou, měl střední dobu zdržení od 6,1 do 8,9 let. V případě stáří vody ve vrtech a pramenech záleží především na hloubce vrtu a případně také na množství preferenčních cest urychlujících pohyb infiltrující vody do sledované zvodně.

Foto 82: Lesy, které se nacházejí na pozemcích podél vodárenských nádrží, tvoří přirozenou přímou ochranu jakosti vody. Zdroj: Páral P.

Infiltrační oblasti, jejich vliv na vodní režim a jakost vody

Infiltrační neboli zdrojové oblasti představují z hydrogeologického a z hydrologického pohledu části povodí, na kterých dochází k infiltraci srážek, které mohou být využity pro doplnění hladiny podzemní vody. Infiltrační oblast má přirozenou návaznost na další svahové zóny v povodí, tj. na transportní a výtokovou oblast. Rozmístění jednotlivých svahových zón (infiltrační, transportní, výtokové) v krajině souvisí i s rozložením půdních typů a druhů, resp. zásob a dynamiky vody v půdě. V přirozených povodích teče voda podpovrchovým (hypodermickým) odtokem z infiltračních oblastí do výtokových oblastí. Infiltrační oblasti zaujímají nejčastěji nejvyšší oblasti povodí poblíž rozvodnice, vrcholky a hřbety, nicméně se v souladu s místními podmínkami mohou nacházet i v nižších polohách. Jsou zde předpokládány mělčí, kamenité půdy s vyšším obsahem písku a s velkou schopností infiltrace vody. V infiltračních oblastech dochází k formování množství a jakosti zdrojů podzemních vod v závislosti na fyzikálních a chemických vlastnostech půd, obhospodařování a vegetačním pokryvu půdy. Vzhledem k jejich rovinnému charakteru jsou tyto polohy intenzivně využívány zemědělsky a díky „bezproblémovému“ vodnímu režimu zemědělci oblíbeny. Důsledkem je vyplavování živin a pesticidů do drenážních vod, pramenů, mělkých studen.

Vodní režim infiltračních oblastí se však může zásadně lišit, pokud jsou zde pěstovány výrazně odlišné plodiny / typy porostů i v případě, že se jedná o rok s dostatečnou zásobou vody v půdě. Např. zařazení jetele lučního s relativně hlubokým kořenovým systémem do osevního postupu infiltrační oblasti malého, převážně zemědělského, částečně odvodněného subpovodí způsobilo výrazné zvýšení čerpání půdní vody evapotranspirací ve srovnání s travním porostem. Zvýšená evapotranspirace porostu jetele lučního se adekvátně odrazila na snížené infiltraci vody do půdy, její zásobě v půdě i nižším drenážním odtoku. Rozdíl v evapotranspiraci mezi méně odlišnými typy porostů (travní porost a pšenice ozimá) byl v infiltrační oblasti výrazně nižší. Tyto poznatky jsou nesmírně důležité pro pochopení hospodaření s vodou v české krajině. Je nutno je intenzivně propagovat a vysvětlovat. Plodiny náročné na vodu by se měly pěstovat v těch geomorfologických zónách a pak i v těch zemědělských oblastech, kde je dostatek vody. Kde není dostatek vody v půdě, nelze pěstovat to, co běžně pěstuje zemědělec na svazích s půdou s vyšší retencí nebo v oblastech na srážky příznivějších. Hospodaření s „virtuální vodou“ prozatím nikoho nezajímá, protože zemědělský trh je deformován dotační politikou státu a EU.

Na příkladu analýzy jakosti vod drenážních systémů, charakteru zastoupených půd a způsobu využití půdy v jejich mikropovodích, vybudovaných ve svažitých podmínkách krystalinika ČR, byla prokázána platnost hypotézy o vlivu způsobu využití infiltračně nejzranitelnějších lokalit mikropovodí zemědělských drenážních systémů na hodnoty koncentrací dusičnanů v drenážních vodách. Touto analýzou bylo dokázáno, že největší vliv na hodnoty koncentrací dusičnanů v drenážních vodách má zastoupení orné půdy v infiltračně nejpropustnějších okrscích mikropovodí drenáže a zastoupení TTP.

Výsledky dalšího experimentu prokázaly, že zatravnění může představovat účinné opatření pro snížení dusičnanové zátěže, ale i snížení pesticidů ve vodách, pokud je cíleno do správného místa v subpovodí. Zatímco travní porost situovaný ve výtokové oblasti přímo nad drenážním systémem neměl na koncentrace dusičnanů v drenážních vodách žádný vliv, mělké, hrubozrnné půdy ve zdrojových oblastech s vysokou infiltrační kapacitou se ukázaly jako plochy velmi vhodné pro zatravnění. Travní porost situovaný do těchto

oblastí kromě zlepšení jakosti vody také zvýší polní vodní kapacitu půd a umožní infiltraci většího množství srážek v porovnání s ornou půdou, zejména v případě větších srážkoodtokových událostí. Správně vymezená zdrojová (infiltrační) oblast tak představuje efektivní a relativně nenákladný způsob, jak ovlivnit jakost mělkých podzemních vod, resp. jakost místních zdrojů podzemní vody sloužící pro zásobování obyvatel malých obcí pitnou vodou. Jinak se vystavujeme přílišnému omezení produkční funkce krajiny, které by jinak ve vztahu k jakosti vody bylo velmi přínosné.

Pesticidy ve vodách

Současné poznatky o vyplavování pesticidů zachycené pomocí podrobného monitoringu množství, složení drenážního odtoku a koncentrací pesticidních látek prokazují, že drenážní systémy představují potenciálně velmi významnou cestu vyplavování pesticidů do povrchových vod, především v období vyšších srážkoodtokových stavů. Přítomnost těchto látek v odtoku je závislá na momentální hydrologické situaci v povodí. Metabolity pesticidů jsou v drenážních vodách přítomny permanentně, často ve vysokých koncentracích. Jejich vyplavování je vázáno zejména na základní a svahový odtok. Přítomnost metabolitů látek, které byly aplikovány dlouho před odběrem, souvisí jak s vysokou perzistencí těchto metabolitů, tak i s relativně dlouhou dobou zdržení pomalých složek drenážního odtoku. V průběhu srážkoodtokových událostí jejich koncentrace klesají, pokud se do drenážního odtoku dostane voda z příčinné srážky, která jejich koncentrace „naředí“, anebo rostou, pokud je drenážní odtok v průběhu události tvořen především starou vodou, tj. rychle mobilizovaným mělkým podpovrchovým odtokem. Naopak vyplavování mateřských látek je vázáno téměř výhradně na srážkoodtokové události. Podmínkou k vyplavování mateřských látek je, aby srážkoodtoková událost nastala krátce po jejich aplikaci a s velkou pravděpodobností také přítomnost „nové“ vody v odtoku. Pokud nastanou současně tyto situace, koncentrace pesticidů v drenážních vodách bývají značně vysoké.

Eroze půdy

Způsob současného zemědělského obhospodařování často podporuje rozsáhlou erozi zemědělské půdy a její sedimentaci v tocích a nádržích. Důsledkem rozsáhlé zemědělské činnosti jsou zejména zvýšené koncentrace dusičnanů a pesticidních látek v drenážních a povrchových vodách. Spolu s živinami v odpadních vodách se do toků dostávají i další cizorodé látky, jako jsou např. léčiva, hormonální přípravky, kosmetické přípravky, antikoroziva, bisfenol A a další. Pesticidní látky i léčiva se mění na jednotlivé metabolické produkty, které ve vodě v různých formách přetrvávají.

Výslednou koncentraci pesticidů a jejich metabolizovaných forem ve vodách ovlivňuje množství faktorů, mezi které patří především velikost aplikované dávky, období a způsob aplikace. Významnou roli hraje i charakter povodí (zejména svažitost terénu, půdní a hydrogeologické podmínky či přítomnost a funkčnost zemědělského odvodnění), dále také hydrologická situace v daném roce. V zemědělské praxi se pesticidy aplikují obvykle v jarním a podzimním období. Následný výskyt těchto látek v povrchových vodách pak závisí na srážkoodtokové situaci. Pokud jsou pesticidy aplikovány v období častých nebo intenzivních srážek, dochází k jejich smyvu povrchovým odtokem, rychlému vymývání z půdního profilu či transportu preferenčním prouděním. Povrchovým nebo podpovrchovým odtokem pronikají pesticidy do vodních toků, kde se vyskytují ve vyšších koncentracích, ale po kratší časové období. Výrazně nižší koncentrace pesticidů bývají naopak zaznamenány v suchých letech. To opět poukazuje na to, že většina látek splavovaných a vyplavovaných je spojena především s odtokem vody.

Podzemní vody a jejich jakost

Prostorový i časový režim podzemních vod v povodí VN Švihov na Želivce je v důsledku strukturní roztříštěnosti území, heterogenity horninového souboru a jeho filtrační anizotropie sice velmi obtížně sledovatelný, ale přesto lze alespoň rámcově popsat hlavní zákonitosti oběhu podzemní vody a vymezit několik typů hydrogeologických oblastí s obdobným prostorovým režimem podzemních vod. Mezi nejzákladnější poznatky patří ten, že zdejší údolí, byť erozivní, zpravidla sledují tektonicky porušená pásma a navíc v nich působí efekt zvyšující propustnosti horninového souboru vlivem prostředí. Na povrchu terénu viditelná říční síť tak má svou obdobu i v podzemí, ve kterém se nacházejí plošně omezené zóny privilegovaného proudění podzemní vody, jakési „podzemní vodoteče“ a okolní rozsáhlé oblasti hydrogeologického masívu vedoucí podzemní vodu ve významnější míře jen ve své propustnější zvětralinové části v míře časově proměnlivé, tedy se sezonními maximy a minimy. Další poznatek pak souvisí s tím, že oběh, akumulace a drenáž podzemní vody mohou ve významnější míře probíhat jen v zóně tzv. aktivní výměny podzemní vody, jejíž plošná rozloha je obvykle funkcí terénního reliéfu a jejíž hloubka je pak funkcí zonální propustnosti horninového souboru.

Zásoby podzemní vody v povodí VN Švihov na Želivce jsou až na nevýznamné zdroje tvořeny přírodními zdroji podzemní vody. Ty vznikají jednak přímým vsakem srážkové vody do nasycené zóny horninového souboru a jednak vsakem nepřímým, ke kterému dochází tak, že voda se do saturované zóny dostává z těles povrchové vody (řeky, rybníky, zaplavené terénní sníženiny apod.). Pro dané povodí je základní veličinou tzv. specifický odtok podzemní vody udávající, jaké množství vody vzniklé vsakem srážkových vod se podílí na podzemním odtoku.

Jakost podzemní vody v povodí VN Švihov na Želivce, právě tak jako množství podzemní vody v celém zdejším povodí jsou naprosto klíčové pro dlouhodobou funkci vodárenské nádrže. V době klimatických změn, kdy se zvětšuje výskyt srážkových i teplotních extrémů, jsou právě podzemní vody garantem toho, že minimální průtok vody v příslušné jakosti v Želivce bude minimálně zachován. Samozřejmě za podmínky, že v celém povodí nedojde k dramatické změně odtokových poměrů nebo, že podzemní vody nebudou zatíženy vnosem cizorodých látek. Prezentované údaje o jakosti podzemních vod jsou dokladem toho, že horninové prostředí v povodí VN Švihov na Želivce umožňuje vznik vody mimořádně příznivé jakosti. Antropogenní zatížení vody je ve srovnání s jinými oblastmi ČR nízké a způsob využívání území v podstatě koresponduje s mimořádným vodohospodářským významem území. Přesto je nutno důrazně upozornit, že tento stav není nezvratný a zachování množství podzemní vody a její jakosti jsou spojitými nádobami.

Změny myšlení i systému přírodě blízkých a technických opatření

Nikde, v žádných subpovodích, systematicky (povrchově či regulací odtoku vody v podzemní) nezadržujeme vodu vytékající po celý rok z drenážních systémů, která má zvýšené hodnoty koncentrací živin a pesticidů. Ve většině subopovodí nejsou systematicky projektována a ihned realizována technická opatření k retenci povrchové vody, v kombinaci s přírodě blízkými opatřeními. V mnoha případech je za extrémnějších srážek překročena infiltrační kapacita půdy a vždy nastává povrchový a i podpovrchový odtok. Proto záměr, který je směrován pouze na zlepšení hospodaření na zemědělském půdním fondu (změna osevních postupů), není dostatečně efektivní ve vztahu k retenci vody (suchu a povodním), jakosti vody, erozi půdy, výšce hladin podzemních vod. Zemědělské hospodaření na půdním fondu je pouze částí celého problému retence a akumulace vody v krajině. Samozřejmě podporujeme všechna opatření ke zvýšení půdní úrodnosti a zvýšení obsahu organické hmoty v půdě, ale jen touto cestou současné problémy komplexně nevyřešíme. K zadržení velkých objemů vody chybí v krajině zejména vodohospodářská technická opatření (záchytné průlehy, záchytné příkopy, malé vodní nádrže a další) na zemědělském půdním fondu.

5. KAPITOLA

Přírodě blízká a technická opatření ke zlepšení jakosti vody na zemědělském půdním fondu

Otázka Proč? Je položena mylně.
Spíše bychom se měli ptát: Proč ne?

George Bernard Shaw
Anglický dramatik, prozaik a esejista irského původu,
nositel Nobelovy ceny za literaturu

Tomáš Kvítek

Jak již bylo konstatováno v předchozích kapitolách, trvalé travní porosty jsou nejúčinnějším opatřením při ochraně jakosti vody. Na travní porosty nejsou aplikovány pesticidy (chybí důvody pro jejich použití). Trvalé travní porosty snižují celkovou mineralizaci půdního profilu vlivem celkového obsahu organické půdní hmoty a mikrobiálního života půdy. Z toho důvodu jsou schopny absorbovat bez vyplavování i vysoké dávky dusíku (ten většinou však není aplikován, je drahý a sena je dostatek). Protierozní účinky trvalých travních porostů není třeba zmiňovat. Co však „neumějí dokonale", je zadržení vody při přívalových srážkách. I kdyby byla celá Česká republika zatravněna, zalesněna (taková je často představa mnoha ekologických odborníků) nebo takto exploatovány dílčí subpovodí, tak by byl koeficient odtoku (poměr objemu vody, která odteče, oproti objemu vody, který spadl ve srážkách) ze subpovodí na hodnotách od 0,10 do 0,20. Např. při jednodenní srážce s pravděpodobností výskytu N = 100 (pro stanici Pelhřimov = 99,8 mm) by pak byl celkový odtok vody z 1 ha 100–200 m^3! Malé subpovodí má plochu asi 50–100 ha. Z nich pak tedy nekontrolovatelně odtéká voda o objemu minimálně 5 000–20 000 m^3 (objem vody pro jedno velké koupaliště). A současně se jedná o vodu, která pak v subpovodích často chybí a nese sebou rozpuštěné a nerozpuštěné látky. A to jsou tyto stručné výpočty provedeny pouze pro zatravněnou plochu povodí, ne pro ornou půdu, kde koeficient odtoku při srážkoodtokových událostech může nabývat hodnot 0,25–0,55, a roste s intenzitou srážky. Proto záměr, který je směrován pouze na zlepšení hospodaření na zemědělském půdním fondu (změna osevních postupů), není dostatečně efektivní ve vztahu k retenci a jakosti vody.

Vzhledem ke zjištěným skutečnostem je zřetelné, že i jakost vody lze ve velké míře řešit pomocí retence vody v povodí na pozemcích zemědělského půdního fondu. Odtud voda přece odtéká, proto je třeba ji i zde zadržet (foto 83). Ve vztahu k jakosti vody je třeba uplatňovat následující teoretickou zásadu: „Ze zemědělského subpovodí by měla odtékat, i za extrémních hydrologických podmínek, voda v dobré kvalitě a v neškodném množství" (Kvítek a Krátký, 2015). Propojená ochrana množství a jakosti vody, tedy aplikace pojmů retence a akumulace vody na zemědělském půdním fondu do zemědělské praxe, by pak mohla významně snížit zatížení vodních toků a vodních nádrží. S ohledem na veřejné zájmy při zajišťování retence, akumulace a jakosti vody v zemědělsko-lesní krajině je třeba uplatňovat následující tři teoretické zásady:

1. **Je třeba zachytit vodu ještě na zemědělských pozemcích, nejlépe v jejich horních nebo středních částech subpovodí**, např. pomocí záchytných liniových technických prvků (záchytné příkopy, záchytné průlehy apod.) s pásy trvalých travních porostů. Zde dojde k sedimentaci a infiltraci vody. Tato technická opatření musí mít minimálně pasivní systém regulace odtoku vody, aby voda nebyla po zachycení rychle odváděna do vodních toků, rybníků a vodních nádrží.

2. Navazujícím opatřením musí být převod zachycené povrchové vody přes travní porosty a mokřady, kde dojde k využití, resp. transformaci zachycených rozpuštěných látek v půdě a ve vodním prostředí. Zde by měly být vyústěny i drenážní systémy.

3. **Následně je možné akumulovat vodu** k jejímu dalšímu využití. S tím souvisí i problematika vodních nádrží, rybníků, zasakování vody do hydrogeologické struktury, různé formy závlah, včetně podzemní závlahy podmokem, popř. jiné její využití přečerpáváním do horních částí subpovodí, kde může voda infiltrovat za vhodných podmínek do hydrogeologické struktury.

Foto 83: V zemědělské krajině se nachází velmi málo účinných retenčních a spolu propojených přírodě blízkých a technických opatření. Zdroj: Páral P.

5.1

Tomáš Kvítek
Václav Mazín
Bohumír Janský
Svatopluk Šeda

Výběr vhodných lokalit a retenčních opatření ke zlepšování jakosti vody na zemědělském půdním fondu

Buď jako gejzír, který překypuje,
ne jako kašna, která jen zadržuje vodu.

Paulo Coelho
Brazilský textař a spisovatel

Meskimenův zákon:
Nikdy není dost času na to,
aby se to udělalo dobře.
Ale vždycky je dost času na to,
aby se to udělalo znovu.

Edward A. Murphy
Americký letecký inženýr

V současné době jsou opatření na zemědělském půdním fondu často členěna na:
a. protierozní,
b. vodohospodářská,
c. krajinářská, resp. ekostabilizační,
d. zpřístupňovací,
e. doprovodná.

Protierozní, hydromeliorační a vodohospodářská opatření na zemědělském půdním fondu byla na území České republiky prováděna od samého vzniku oboru kulturních inženýrů před 150 lety. Principy navrhování těchto opatření se v podstatě nezměnily. Co se však změnilo, jsou způsoby zemědělského využívání krajiny a v posledním období i podnebí. Aplikace opatření pro ochranu jakosti vody je složitější v tom, že je nutno použít více opatření najednou v jednom subpovodí, tedy pokusit se splnit tři deklarované teoretické zásady uvedené v úvodu kapitoly 5.

Eliminovat povrchový odtok a zadržet podpovrchový odtok jak za extrémních srážek, tak i zlepšovat jakost podpovrchového odtoku za běžných odtokových stavů. To znamená, že je třeba opatření členit podle geomorfologického hlediska, pokud chceme řešit retenci, akumulaci a jakost vody současně. Je třeba zdůraznit, že opatření jsou navrhována pro subpovodí, která jsou součástí povodí IV. řádu.

Návrh opatření v horních a středních částech svahů subpovodí

Zatravnění infiltračních oblastí na rozvodnicích
Infiltrační oblasti se nacházejí na nejvyšších místech kopců. Často zahrnují i sedla, jsou snadno mechanizačně přístupné, méně svažité

a s mělkým půdním profilem. Jsou často tvořena i přioraným podložím půdního profilu, včetně skeletu (kamenů a štěrku). Z těchto důvodů jsou pro zemědělce výhodné pro pěstování obilovin, včetně kukuřice nebo brambor. Hlavní funkcí a přínosem tohoto opatření pro retenci vody a jakost vody je podpora vsaku a zároveň vyšší retence srážkové vody v půdě, eliminace použití hnojiv a ochranných látek, snížení vyplavování živin a pesticidů do podpovrchových vod. Současně plní i vedlejší funkce v krajině, jedná se o interakční prvek. Ochranné zatravnění v ploše je trvalé zatravnění celých pozemků, kterým se zkrátí délka svahu a podpoří vsak povrchové vody do půdy (foto 84).

Foto 84: Zatravnění infiltrační oblasti. Zdroj: Kvítek T.

Zasakovací travní pás v rámci bloku orné půdy

Toto opatření je možno navrhovat v málo morfologicky členitém terénu, kde nejsou dráhy soustředěného odtoku nebo údolnice a úžlabí. Nacházejí se zde zorněné dlouhé, pozvolné svahy obdělávané po spádnici na neúměrně velkých půdních blocích, které jsou bez jakýchkoliv retenčních opatření (foto 85). Hlavní funkcí a přínosem pro retenci vody je zpomalení povrchového odtoku a odnosu erodovaných částic, rozdělení půdního bloku po vrstevnici. Efekt zasakovacích pásů je ve snížení nepřípustné délky mírných svahů (foto 85). Zatravněné zasakovací pásy se navrhují po vrstevnici, šířky 50–60 m (násobky sklízecí lišty), minimálně však 20 m šířky, jsou situovány na středních nebo nižších částech svahu (bloku orné půdy). Je nezbytné zabezpečit nebo realizovat opatření pro samostatné zpřístupnění zatravněného pozemku obklopeného ornou půdou. Efekt zasakování a zadržení vody závisí na infiltrační schopnosti dané půdy, šířce pásu a sklonu pozemku. Při sklonech nad 7° je nezbytné pás doplnit záchytným příkopem nebo záchytným průlehem. Samostatné zasakovací pásy plní beze zbytku svou funkci do návrhové srážky s pravděpodobností výskytu N = 2.

Foto 85: Dostatečně široký travní pás. Zdroj: Mazín V.

Foto 86: Pás s trvalým travním porostem s nedostatečnou retenční funkcí i pro nižší návrhové srážky. Zdroj: Kvítek T.

Zatravnění drah soustředěného odtoku povrchových vod

Na velkých půdních blocích se vždy vyskytují nevýrazné dráhy soustředěného odtoku (foto 87), které při extrémní srážce a velkém

Foto 87: Plošný odtok na přechodu z horních partií svahu do střední části. Zdroj: Mazín V.

povrchovém odtoku působí erozní brázdy, erozní rýhy až výmoly. Délka a intenzita těchto erozních projevů závisí na tom, jak daleko od rozvodnice je první překážka převážně v podobě silnice nebo odvodňovacího kanálu.

Povrchový odtok se při extrémní srážce soustředí do nevýrazných, ale dlouhých drah soustředěného odtoku. V případě, kdy je svah přerušen liniovou stavbou (polní cesty, silnice nebo železnice), limituje bezpečný odtok průtočná kapacita propustků v křížení s dráhou soustředěného odtoku (foto 88).

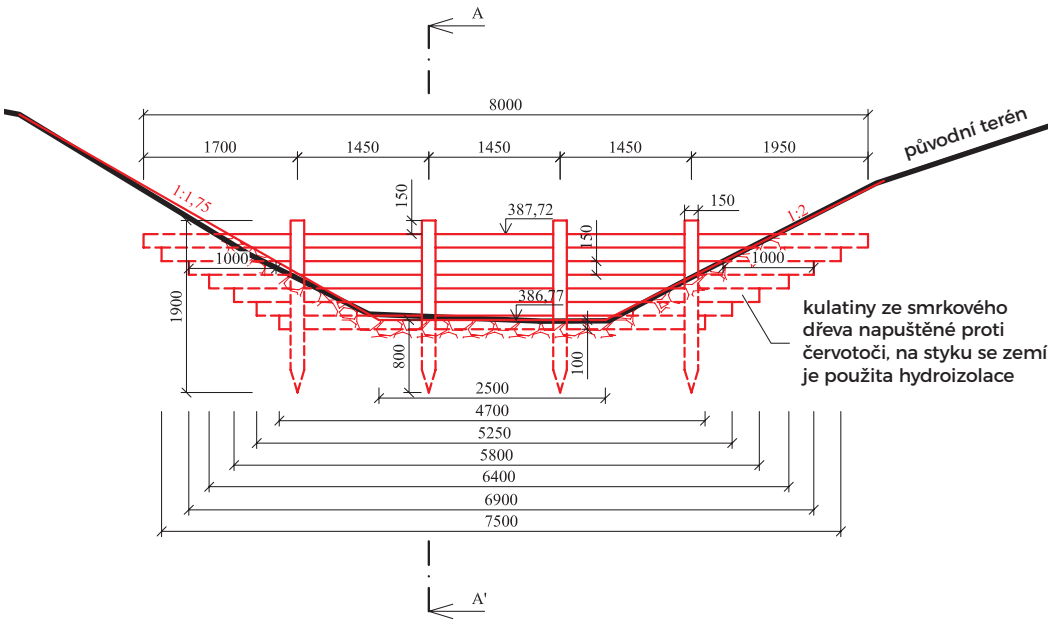
Foto 88: Konfliktní křížení dráhy soustředěného odtoku v kritickém profilu silničního propustku. Zdroj: Mazín V.

Přehrážky v úžlabí a stržích

Samotné zhlaví bývalé polní cesty, rokle nebo strže je kritický bod odtoku, který funguje jako dráha soustředěného odtoku vod ze zemědělského půdního fondu. Tyto odtokové dráhy je nutné stabilizovat a eliminovat, tedy jak kinetickou energii soustředěného odtoku, tak i snížit kontaminaci vod vodních toků. Přehrážky eliminují vysoké a rychlé průtoky v úžlabí a stržích, dochází zde k usazování zeminy a současně zmírňují proudovou erozi způsobenou extrémními srážkami. Vedlejší funkcí v krajině je i částečné zasakování vody. Velká část plochy tohoto prvku je nevyužívána, tvořena často mokřady a travními porosty (foto 89).

Při zanesení přehrážky splaveninami klesá její retenční schopnost a přehrážka působí jako stupeň (obrázek 101, foto 90).

Obrázek 101: Příčný řez přehrážkou (PŘE 8 N). Zdroj: Mazín V.



Zasakování vod povrchových do půdy a hydrogeologické struktury

Pro zasakování povrchových či podpovrchových vod do hydrogeologické struktury platí určitá pravidla. Převod povrchových,

Foto 89: Detail úvozu, zamokřená lokalita se skřípinou lesní, sloužící pro odtok soustředěné vody z přilehlých bloků orné půdy. Zdroj: Kvítek T.

Foto 90: Balvanitý skluz pod vybudovanou přehrážkou. Zdroj: Mazín V.

resp. podpovrchových vod do vod podzemních musí vždy splňovat následující parametry, které není možno často dodržet.

1. **Dostatečná infiltrační schopnost půdy** – koeficient nasycené hydraulické vodivosti musí být vyšší jak 1×10^{-7} m/s.
2. **Dostatečná hloubka hladiny podzemní vody pod terénem** – více než 2 m.
3. **Musí být vyloučeno nebezpečné znečištění mělké podzemní vody** (domovní studny, ale i veřejné zdroje – přítomnost ochranného pásma, I. a II. stupně) – vody nesmí být kontaminovány.
4. **Blízkost budov a sklepů** – zamokření základů budov.
5. **Možnost inicializace svahových pohybů.**

Pokud není možno z různých důvodů vodu zasakovat, je třeba, aby větší záchytné, resp. zasakovací průlehy a záchytné příkopy měly vždy regulační zařízení – přepad a regulaci odtoku. Vodu je třeba zachytit jen na dobu nezbytně nutnou (doba extrémní srážky) a pak regulovaně (samočinně) uvolnit objem záchytného opatření pro další srážku. Vodu je třeba odvádět přes trvalé travní porosty a mokřady do akumulačních nádrží. Je třeba uvažovat i o systému přepouštění vody mezi retenčními (horní část subpovodí) a akumulačními oblastmi (dolní část subpovodí), mezi dvěma malými vodními nádržemi v těchto oblastech.

Foto 91: Soustava zasakovacích jam. Zdroj: Mazín V.

Vyústění vod drenážních systémů do záchytných retenčních opatření

Podpovrchový odtok v drenážních soustavách je mírně opožděný oproti povrchovému odtoku, ale i jeho součástí je rychlá složka odtoku. Tato voda má často vysoký obsah látek používaných pro výživu a ochranu kulturních plodin. Pokud tomu tak je, neměla by takováto voda být používána pro zasakování a pro regulaci odtoku vody v drenážních systémech. Existuje zde vždy možnost kontaminace hlubších podzemních vod a tomu je třeba vždy zabránit. Proto doporučujeme, jako jednu z možností regulace odtoku vody z drenážních systémů, její vyústění do záchytných příkopů a průlehů, rybníčků s litorálem a její převod přes trvalé travní porosty, mokřady do malých vodních nádrží a do vodních toků.

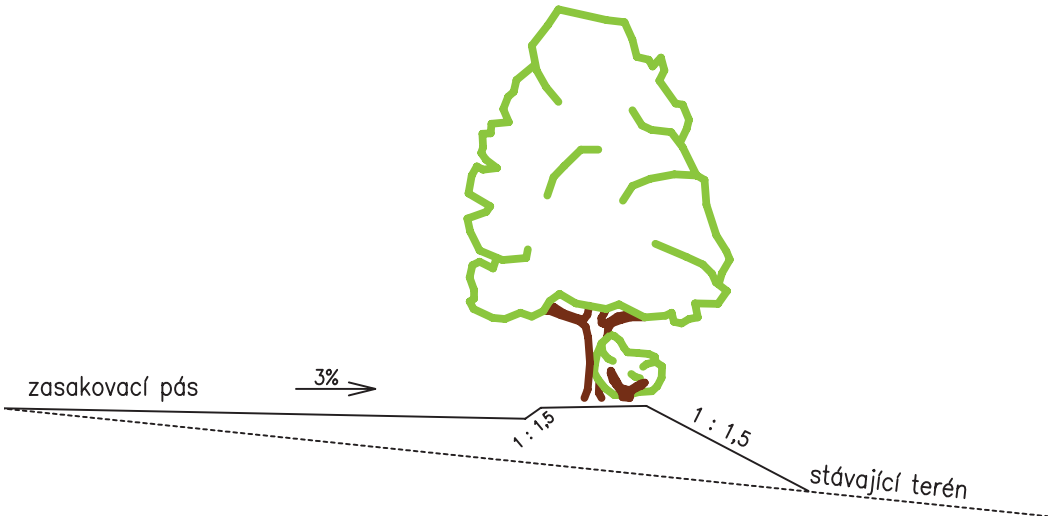
Zasakovací jámy napájené z drenážních systémů

Tato opatření je možno navrhovat v příhodných podmínkách rovin a depresí jak v horních a středních částech svahu, tak i v dolních částech. Převedením podpovrchového odtoku vody z drenážních systémů a odvodňovacího kanálu na povrch terénu dochází k využití dusíku, fosforu a pesticidů a jejich částečnému odstraňování. Vedlejší funkci v krajině má pak související biokoridor, krajinný prvek vytvářející krajinný ráz. Toto opatření může být navrhováno i jako soustava jam na revitalizovaném podpovrchovém kanálu, který měl funkci hlavního odvodňovacího zařízení. V místě jámy je kanál vyveden na povrch a zaústěn do jámy. Jáma má přepad a miskovitý příkop zaústěný do jámy v nižší poloze. Jámy jsou většinou celoročně naplněny vodou a působí jako tůně s funkcí biologické čistírny. Jámy mají mít pozvolné břehy (1 : 3–5), aby nebyly pastí pro volně žijící živočichy. Toto řešení má současně odvodňovací i retenční funkci, pozitivně ovlivňuje biodiverzitu krajiny a její budování je levnější než klasické revitalizace vodních toků (foto 91).

Mez se záchytným průlehem a zasakovacím pásem

Dlouhé svahy 8–15 % sklonité se vyznačují projevy plošné nebo rýhové eroze. Linie průlehu vzniká samovolným, dlouhodobým přioráváním půdy na hranici pozemku, anebo je uměle založena terénní úpravou. Je vždy zatravněná a doplněná výsadbou křovin a dřevin. Nad mezí nebo pod mezí by měl být vždy záchytný průleh nebo příkop. Příkop pod mezí může být doplněn zasakovací drenáží. Nad mezí je vždy zatravněný zasakovací pás se sedimentační funkcí. Mez je většinou neobdělávatelná a nepřejezdná, proto se musí v určitých intervalech budovat přejezdy. Odklon od vrstevnice je do 3 %, stupeň sklonu 1 : 1,5, výška 1–1,5 m, strmý svah je zatravněn nebo osázen dřevinami, místy snosy kamene. Efekt zadržet a přerušit povrchový odtok je malý, pokud není mez doplněna příkopem, průlehem nebo pásem. Podélný sklon je 2–5 %. Průlehy by měly být vybaveny přepadem a regulací odtoku vody z nich (obrázek 102, 103 a foto 92).

Obrázek 102: Situace umístění záchytného průlehu. Zdroj: Mazín V.



Obrázek 103: Příčný řez záchytným průlehem. Zdroj: Mazín V.

Foto 92: Záchytný průleh osázený stromy. Zdroj: Mazín V.

Foto 93: Záchytný příkop. Zdroj: Mazín V.

Foto 94: Záchytný příkop podél polní cesty se stromořadím. Zdroj: Mazín V.

Záchytný příkop se zasakovacím pásem
Cílem je zachytit a odvést vodu v místech s překročením přípustné ztráty půdy v případě eroze půdy a i převedení povrchového odtoku na podpovrchový. Příkopy jsou menší umělá koryta, zachycují nebo bezpečně odvádějí vodu z pozemku a chrání další pozemky před proniknutím cizí vody (foto 93, 94). Záchytné příkopy mohou být bez opevnění, s podélným sklonem do 1 %. Hloubka od 0,5 do 2 m, šířka podle svahů 1,5–5 m. Případné přejezdy je nutné navrhovat jako propustky, což komplikuje údržbu. Vzhledem k údržbě je vhodné je navrhovat zpravidla nezpevněné. Dimenzování profilu koryta příkopu se provádí na Q20 až Q50, ale i na Q100 podle stupně ochrany celého území. Pro návrh se využívá přirozená hydrografická síť, příkopy jsou často navrhovány jako doprovod polních cest. Musí být napojeny na hydrologickou síť v povodí (svodné příkopy, kanály, vodní toky). Navrhují se s lichoběžníkovým nebo trojúhelníkovým profilem. Jsou doplňujícím prvkem v rámci soustavy hydrografické sítě sloužící k zachycení a odvedení povrchové vody a splavenin. Záchytné příkopy (obvodové) mají funkci ochrany pozemků před přítokem vnějších vod, zejména z lesů. Z funkčního hlediska se příkopy dělí na:

a. záchytné obvodové, proti cizím vodám, např. z lesa;
b. záchytné sběrné, zachycující smyv ze zemědělských pozemků (mírný sklon do 1 %) s regulací odtoku;
c. ochranné na hranici intravilánu.

Zasakovací průleh se zasakovacím pásem
Jedná se o mělký profil (trojúhelníkový, lichoběžníkový, parabolický) do max. hloubky 1,5 m, s mírnými sklony 1 : 5 až 1 : 10. V případě větší infiltrace vody do půdy je podélný spád nulový, max. 0,5 %. Díky svým rozměrům je účinnější a efektivnější než příkopy. Zachytává vodu z krátkodobého povrchového odtoku z přívalových dešťů a jarního táni sněhu (foto 95). Je třeba je vybavovat i regulačními objekty pro zachycení vody v době přísušku. Většinou jsou místně naznačeny mikrodepresí (úlehem).

Foto 95: Zasakovací průleh s propustkem. Zdroj: Mazín V.

Z funkčního hlediska se navrhují jako záchytné, sběrné (vsakovací) tam, kde je vyšší infiltrační schopnost půdy, odváděcí a svodné v místě drah soustředěného odtoku. Záchytné se navrhují především tam, kde je nepřípustná délka svahu. Svodné průlehy slouží k odvedení krátce trvajících odtoků z přívalových srážek. Vždy by však

Obrázek 104: Situace umístění zasakovacího průlehu. Zdroj: Mazín V.

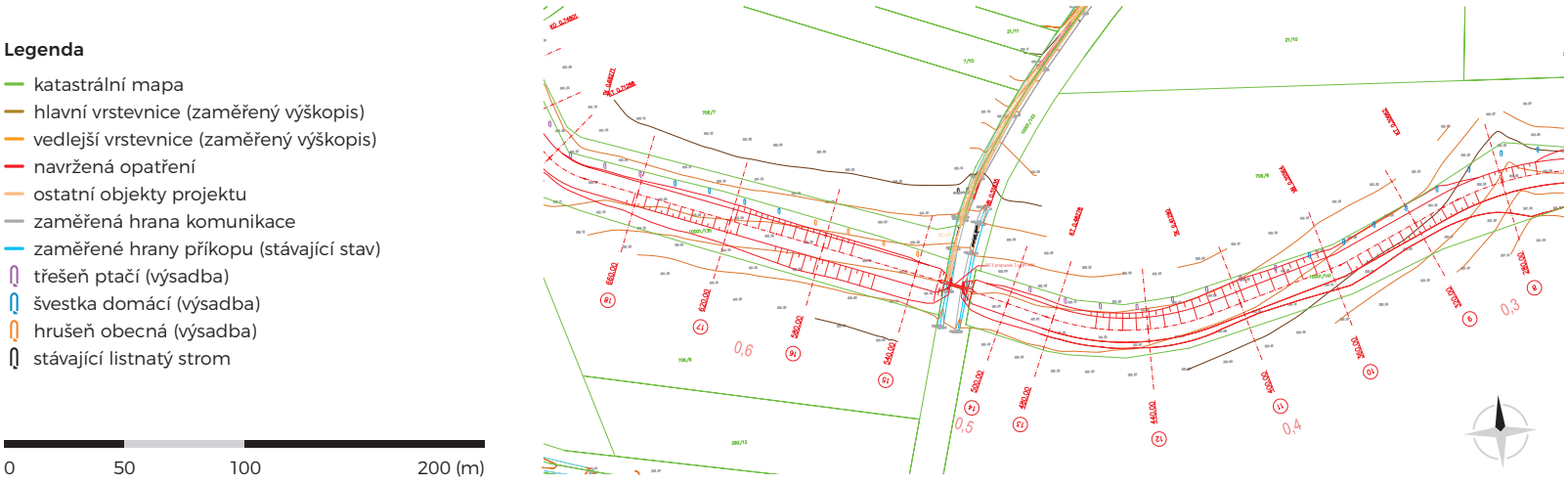
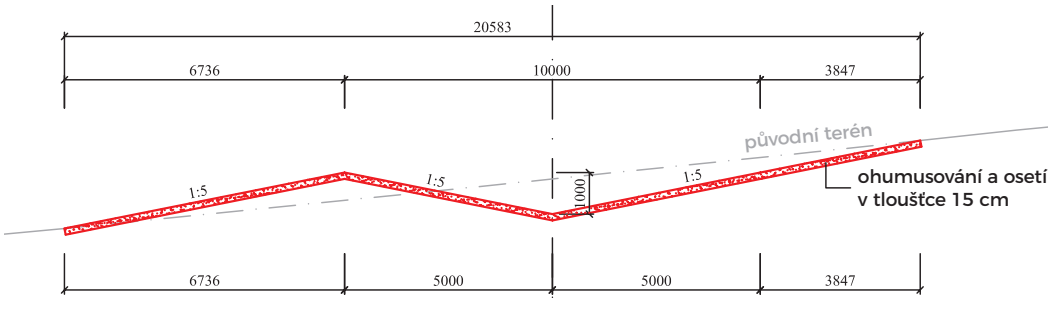


Foto 96: Nefunkční malá vodní nádrž ve střední části svahu subpovodí.
Zdroj: Kvítek T.

Obrázek 105: Příčný řez zasakovacím průlehem. Zdroj: Mazín V.



měly být svodné průlehy, z hlediska ochrany jakosti vody, zaústěny od záchytných technických retenčních objektů. Pokud jsou navrženy s trvalými travními porosty, předpokládá se jejich obhospodařování, mohou být odvodněny drenáží v případě, že není možno vodu zasakovat, nebo mělkými prohlubněmi ve dně pro vytvoření mokřadních společenstev. Vždy by měly být vybaveny bezpečnostním přepadem a regulací odtoku vody (obrázek 104 a 105).
Z funkčního hlediska se průlehy dělí na:

a. záchytné odváděcí, tj. mírně odkloněné od vrstevnice, většinou používané na těžších půdách a zvlněném terénu s větším podélným sklonem;
b. záchytné vsakovací, tj. přesně vrstevnicové, ale jen na lehkých propustných půdách;
c. záchytné kombinované se budují na velmi dlouhých svazích na středně těžkých půdách, pro ochranu opatření je vhodná výsadba stromů na hranici zasakovacího pásu.

Obnova a výstavba malých vodních nádrží

I v podmínkách horních a středních částí svahů subpovodí je možno nalézt lokality, kde byly, nebo by mohly být umístěny malé vodní nádrže (foto 96 a 97), které by měly retenční funkci. Byly by propojeny s malými vodními nádržemi v dolních částech svahu a mohlo by mezi nimi docházet k přečerpávání povrchové vody, např. pro závlahu, zasakování, napájení dobytka, případně i odběr povrchové vody atd.

Foto 97: Detail nefunkční malé vodní nádrže ve střední části subpovodí. Zdroj: Kvítek T.

Jednoduchá zařízení k zachycení povrchové vody napájená drenážní soustavou

Zadržení odtékající podpovrchové vody v horní části subpovodí řeší zdržení vody v povodí, současně plní i funkci mikrobiálního odstranění polutantů a dále i zasakování zadržené povrchové vody a zlepšení vlhkostních poměrů místa a krajinné struktury. Jedná se o drobnou, mělkou nádrž nedosahující parametrů malé vodní nádrže (maximální hloubka k hladině je 9 m, akumulační objem po hladinu ovladatelného prostoru je menší než 2 mil. m^3) – foto 98. Na tuto drobnou stavbu nejsou kladeny nároky z hlediska větší retence a bezpečnosti provozu. Přesto může mít toto jednoduché zařízení přepad na odvedení přebytku zachycené povrchové vody. Jednoduché zařízení má efekt především z hlediska zachycení drenážní vody a jejího pozdržení v nejvyšších místech subpovodí.

Foto 98: Jednoduché zařízení k zachycení povrchové vody na jednotlivých pozemcích (parcelách) v horní části subpovodí. Zdroj: Mazín V.

Foto 99: Zasakovací galerie na svodných a záchytných příkopech. Zdroj: Mazín V.

Zasakovací galerie na svodných a záchytných příkopech

Polní cesta, úžlabí nebo svodný příkop, jako součást hydrografické sítě, odvádí vodu ze subpovodí ve směru spádnic a urychluje tak odtok vody ze subpovodí. Cílem opatření je zadržení odtoku vody a částečná infiltrace do podzemního odtoku. Základním konstrukčním prvkem je jáma, do které se instalují jednotlivé díly (krabice z PVC) vsakovací galerie (foto 99). Ta vyplní jámu a instaluje se vpustní objekt, do kterého se zaústí svodný nebo sběrný příkop. Galerie je překryta folií proti zanášení jemnozemí (foto 100). Před vpustním objektem je usazovací nádržka na splaveniny, kterou je potřebné pravidelně kontrolovat a čistit.

Foto 100: Zasakovací galerie pod ornou půdou. Zdroj: Mazín V.

Foto 101: Zatravněná údolnice. Zdroj: Mazín V.

Návrh opatření v dolních částech subpovodí

Zatravněná údolnice

Nerespektování přirozených drah soustředěného odtoku vody na rozsáhlých, dlouhých, půdních blocích vede k soustředěnému odtoku povrchových vod, který směřuje do údolnice (foto 101). Jedná se o spádnice, ve kterých při výraznějších a delších srážkách po nasycení povrchu vody dochází k erozním jevům typu rýžek, brázd a rýh, výjimečně výmolů. Zatravnění musí sledovat celou šířku údolnice. Jestliže je údolnice v příčném sklonu strmější, je vhodné navrhnout v nejnižším místě příkop, nejlépe opevněný, nebo zához z kamene. Zatravněním drah soustředěného odtoku se snižují náklady na sanaci rýh a výmolů, sníží se plošná eroze, zpomalí se odtok povrchové vody. Současně dochází k ochraně i podpovrchové vody před cizorodými látkami a před kontaminací podzemní vody. Na hranicích pozemku je vhodné vysázet linii stromů, aby nedošlo k rozorání (výsadba dřevin jen v případě, že se na lokalitě nevyskytují drenáže a podzemní vedení).

Foto 102: Jednoduché zařízení k zachycení povrchové vody – umělý mokřad. Zdroj: Kvítek T.

Jednoduché zařízení – umělý mokřad v údolnici na vlhkém stanovišti

Paušálně odvodněné údolnice v nižších polohách svahů byly dříve využívány intenzivně jako louky nebo dokonce jako orná půda. V současnosti představují převlhčené stanoviště s poruchami odvodňovacích soustav a trvale zamokřenou zemědělskou půdu, která leží ladem. Zachycení vody je v místě mokřadu dostatečné. Pro zlepšení jakosti vody z drenážních systémů je třeba do těchto míst vyvést na povrch drenážní vody a nechat je přeronovat po svahu přes trvalé travní porosty do jednoduchých zařízení na zachycení povrchové vody na jednotlivých pozemcích nebo do malých vodních nádrží. Mokřady (foto 102) představují mělké jámy v depresích na stanovištích typických vlhkých luk mírných svahů a údolnic do hloubky 0,6 m, s hladinou podzemní vody do 0,2 m pod povrchem půdy.

Foto 103: Víceúčelová hrázka v údolnici. Zdroj: Karásek P.

Foto 104: Víceúčelová hrázka s vypouštěcím objektem. Zdroj: Mazín V.

Foto 105: Malá vodní nádrž s ochrannou buffer zónou. Zdroj: Mazín V.

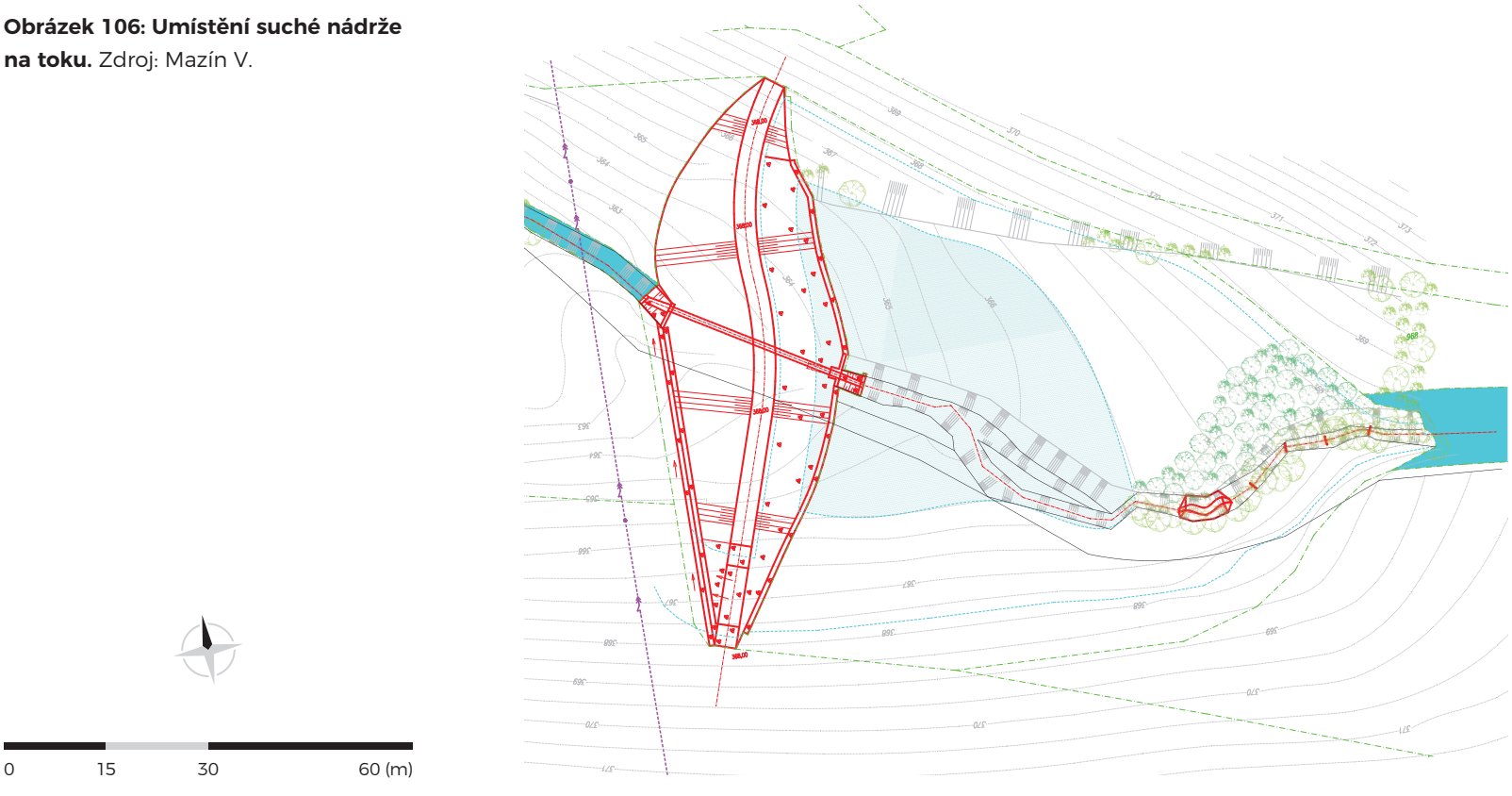
Víceúčelové hrázky

Ve volné zemědělské krajině mají záchytnou a infiltrační funkci. Malé hrázky jsou spíše charakteru pomístního meliorančního opatření. Větší hrázky se na ZPF navrhují jako soustavy po vrstevnicích. Mají převažující protierozní funkci. Vzhledem k hlavní funkci jsou navrhovány na spodních okrajích půdních bloků ve směru vrstevnic, tak aby ochránily dolní partie před cizí vodou (foto 103). Přesto mají efekt pro retenci a zasakování vody. Jejich výška je 1–2 m, jsou zatravněné. Mají vypouštěcí objekt, který zajistí vypuštění relativně čisté vody po usazení splavenin (foto 104). Velmi vhodné je osazení v čele hrázky česlemi na betonové skruže. Pokud se navrhují, je vhodné, aby byly přejezdné. Příčný sklon svahů by měl být 1 : 5. Podélný sklon vzhledem k záchytné funkci je nulový. Podmínkou je půdní zrnitost, která musí být lehčí pro potřebnou rychlost infiltrace vody. Hrázky jsou kategorizovány také jako s úzkou základnou (0,8–1,5 m, výška do 0,3 m) a širokou základnou (2–4 m, výška do 0,9 m, ale i 2 m, pak ovšem se jedná spíše o mez). Délka je podle konfigurace terénu 300–400 m. Infiltraci vody při delších srážkách lze podpořit odvodněním ve dně, aby nedocházelo k nebezpečné akumulaci většího množství vody. Vzdálenost mezi hrázkami soustavy je daná přípustnou délkou svahu a odnosu půdy.

Sedimentační zatravněné pásy podél vodních útvarů (buffer zóny)

Hlavní funkcí a přínosem je sedimentace zeminy a cizorodých látek z polí a částečná infiltrace vody do půdy v akumulační zóně subpovodí před vstupem povrchové vody do vodního toku (foto 105). Při zvýšených srážkoodtokových situacích jsou však buffer zóny často soustředěným nebo plošných odtokem snadno překonány. Pokud nejsou v horních a středních částech svahů další opatření, tyto buffer zóny nepředstavují významnější překážku kontaminace povrchové vody ve vodních tocích, vodních nádržích. Jedná se o zatravněné sedimentační pásy okolo vodních toků a vodních nádrží šířky 40–60 m. Podle pravidel řádného hospodaření na půdě je v rámci přiznání dotací dostatečná šířka zóny 3 m při mnoha sřážkoodtokových situacích však nedostatečná.

Obrázek 106: Umístění suché nádrže na toku. Zdroj: Mazín V.



Jednoduché zařízení k zachycení povrchové vody – umělá tůně v nivách
Zásadní rozdíl od ostatních opatření je v tom, že nejsou tvořeny vybudovanou hrází, nebo vzdouvacím valem, a jsou nevypustitelné. Způsob jejich výstavby je hloubení. Většinou na rozdíl od jam jsou trvale zavodněny a v bezprostředním okolí se vytváří mokřadní společenstva (foto 106). Hloubka tůně 0,6 m a břehy musí být pozvolné (1 : 3–5). Mají velmi nízké pořizovací náklady a bezpečný provoz ve srovnání s nádržemi. Ve srovnání s malými vodními nádržemi mají menší životnost a menší účinnost. Mohou zde být vyústěny i drenážní systémy a jejich okolí musí být obhospodařováno exportem biomasy.

Nízké valy v rozlivných plochách niv
Toto opatření částečně napravuje rizikové a nevhodné hospodaření na půdě v horních částech povodí. Jde spíše o protipovodňové opatření pro zmírnění kulminačních průtoků v níže položených částech povodí. Vhodně však může doplňovat opatření, která nepojmou vodu v horních a středních částech povodí. Samostatně mají jen omezený efekt. Je možné je navrhovat v širších plochých nivách potoků a melioračních kanálů. Jedná se o nízké zemní valy s přepady vytvářející v době srážkoodtokových situací mělké laguny. Celý povrch je zatravněný a valy vysoké několik desítek centimetrů jsou přejezdné, takže nivní poloha s rozlivnou plochou je celkově využívaná jako louka.

Foto 106: Umělé tůně v nivách.
Zdroj: Mazín V.

Foto 107: Hráz suché nádrže v nivě.
Zdroj: Konečná J.

Foto 108: Hráz malé vodní nádrže.
Zdroj: Mazín V.

Foto 109: Rybník s přepadovou hranou o převýšení 0,25 m nad stálou hladinou.
Zdroj: Kvítek T.

Foto 110: Detail hráze rybníčku a malým retenčním prostorem nad stálou hladinou.
Zdroj: Kvítek T.

Polosuchá nebo suchá nádrž (poldry)
Polosuchá či suchá nádrž může být situována na místa, která uzavírají subpovodí. Hlavní funkcí a přínosem je retence vody při srážkoodtokových situacích a současně tedy i ochrana jakosti vody. Dochází zde k transformaci povodňové vlny do delšího časového úseku. Tento typ opatření má celou řadu účelů. Může být vícefunkční (polosuchá nádrž s retenčním prostorem), nebo naopak monofunkční (suchá nádrž, která slouží jako protipovodňová ochrana). Hlavní funkce je však protipovodňová. Nádrže jsou tvořeny hrázemi v depresních polohách, v dráhách soustředěného odtoku vody nebo přímo na vodním toku. Dělí se na průtočné vybavené větším retenčním prostorem a postranní, kterým tok neprotéká, ale v případě dosažení nebezpečné hladiny ve vodním toku, do suché nádrže přepadává. Tyto suché nádrže by neměly představovat hlavní prostředek pro zadržení vody v subpovodí. Mají náročné předpisy na bezpečný provoz, jejich suchá hráz není kontrolovaná stálým zadržením vody.

Malá vodní nádrž s retenčním prostorem
V malé vodní nádrži dochází k retenci vody a tedy i částečné transformaci menší povodňové vlny. Nádrž může sloužit k akumulaci vody pro období sucha s možností jejího využití pro závlahu zemědělských plodin (foto 108). Dochází v ní k zachycení sedimentů, živin a pesticidů. Současně se jedná také o biocentrum a krajinný prvek, který může mít rekreační funkci, může sloužit pro chov ryb i jako požární nádrž. Malá vodní nádrž má hloubku do 9 m a zadržený objem vody menší než 2 mil. m^3. Nádrž má výpustní regulovaný objekt a bezpečnostní přeliv podle ČSN 75 2410. Pro funkci akumulace, retence, retardace, infiltrace povrchového odtoku a zachycení splavenin i živin se navrhují jako závěrečný prvek soustavy protierozních a vodohospodářských opatření. Přestože se jedná o opatření na konci subpovodí, navrhují se tyto vodní nádrže také v horních částech subpovodí pro možnost využití vody pro závlahu. Pokud jsou situovány na drobném vodním toku s úzkou nivou, vyžaduje morfologie terénu vysokou hráz. Dosahuje se však malého záchytného objemu a dociluje se jen nízkého transformačního efektu povodňové vlny. Pro provoz je doporučeno mít provozní řád vodní nádrže, kvalifikovanou obsluhu a pravidelnou kontrolu výpustního objektu, údržbu, odbahnění, kosení ochranného travního pásu a je třeba pečovat o doprovodné dřeviny.

Úpravy staveb na malých vodních tocích
Nevhodně upravené dříve přirozeně meandrující vodní toky (foto 111) mají dnes napřímenou trasu a zvýšený podélný spád, který zapříčiňuje rychlý odtok vody ze subpovodí. Na malých vodních tocích jsou vybudovány i malé rybníky

a vodní nádrže, které při zvýšených srážkoodtokových situacích neplní retenční funkci (foto 109 a 110). Akumulační funkci plní dostatečně, ale retenční prostor zde absentuje. Proto by bylo třeba tyto stavby na vodních tocích modernizovat, vytvořit zde dostatečný retenční prostor pro zachycení návrhových srážek.

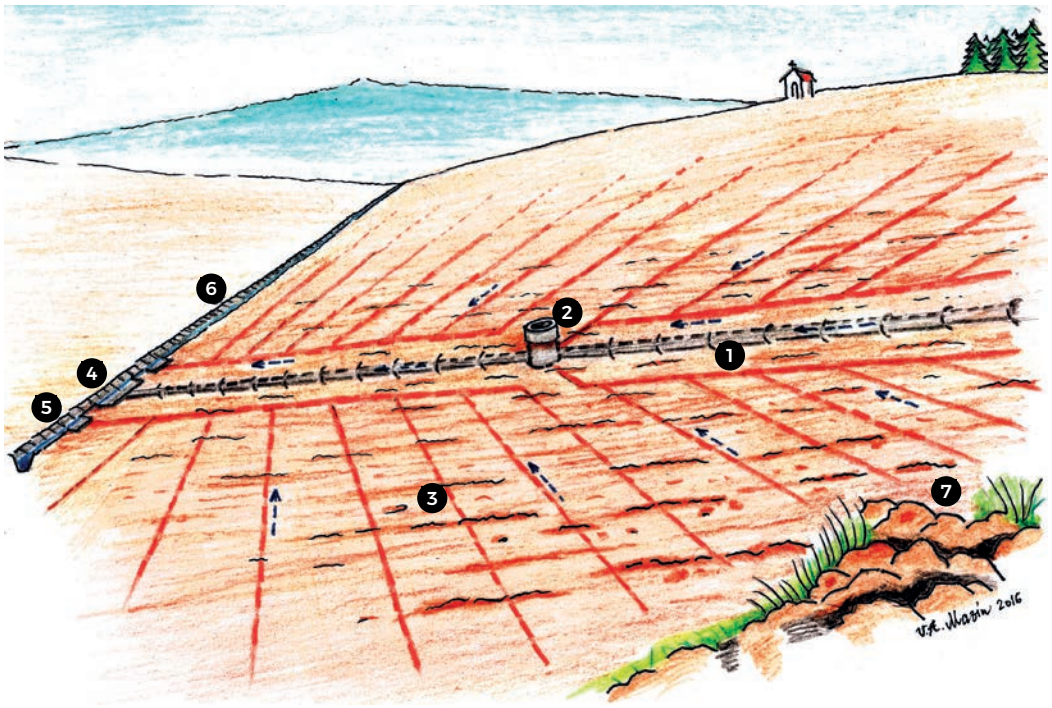
Malé vodní toky jsou přirozeným nebo uměle přetvořeným recipientem všech hydrografických sítí výše položených částí povodí. Tento typ opatření má vždy kombinovanou funkci vodohospodářskou a ekostabilizační. Konkrétní opatření mohou být: obnovení říčních a potočních pásem a mrtvých ramen, zdrsnění povrchu koryta, odstranění překážek v průtočném profilu a další. Nejedná se o jednoúčelovou revitalizaci z biologického pohledu, ale o vodohospodářskou revitalizaci sledující retenci a akumulaci vody za srážkoodtokových situací. Koryto by mělo mít miskovitý profil s menším sklonem břehů, tak aby mohlo docházet k rozlivům při větších průtocích do nivy. V nivách by měly být též budovány hrázky a tůně pro zvýšení akumulace vody v subpovodí.

Ideové ztvárnění principů retence vody na zemědělském půdním fondu dokumentuje obrázek 107 a 108.

Co je třeba při projektování tohoto systému opatření v subpovodí zohlednit? Jakou navrhovanou ochranu si zaslouží jakost vody odtékající z malých subpovodí? Důvody pro ekonomické řešení (např. na návrhovou srážku s pravděpodobností výskytu N = 20) jsou finanční zdroje státu. Důvody pro zvýšenou ochranu (např. N = 100) jsou však následující:

- Dochází ke změně distribuce srážek v průběhu ročních období! Extremita srážek vzrůstá. Existuje zvýšené riziko sucha a povodní, které se může i zvyšovat.
- Oprávněná je předběžná opatrnost, aplikace látek v zemědělství předbíhá o 1–2 roky výsledky monitoringu jakosti vody. Je tedy otázkou, jak si tedy ceníme zdraví obyvatel a to i těch, kteří nejsou napojeni na vodárenské soustavy a využívají buď domovní studny nebo mělké vrty pro zásobování pitnou vodou.
- Těžba sedimentů a skládkování – obojí značně zvyšuje provozní náklady!

Obrázek 107: Původní (současný) stav využívání zemědělského půdního fondu v subpovodí. Zdroj: Mazín V.



Legenda

1 – trubní kanál – hlavní odvodňovací zařízení pro meliorační detail.

2 – kontrolní šachta na kanálu se zaústěním hlavníků drenážních souřadů.

3 – drenážní souřad se systematickou drenáží.

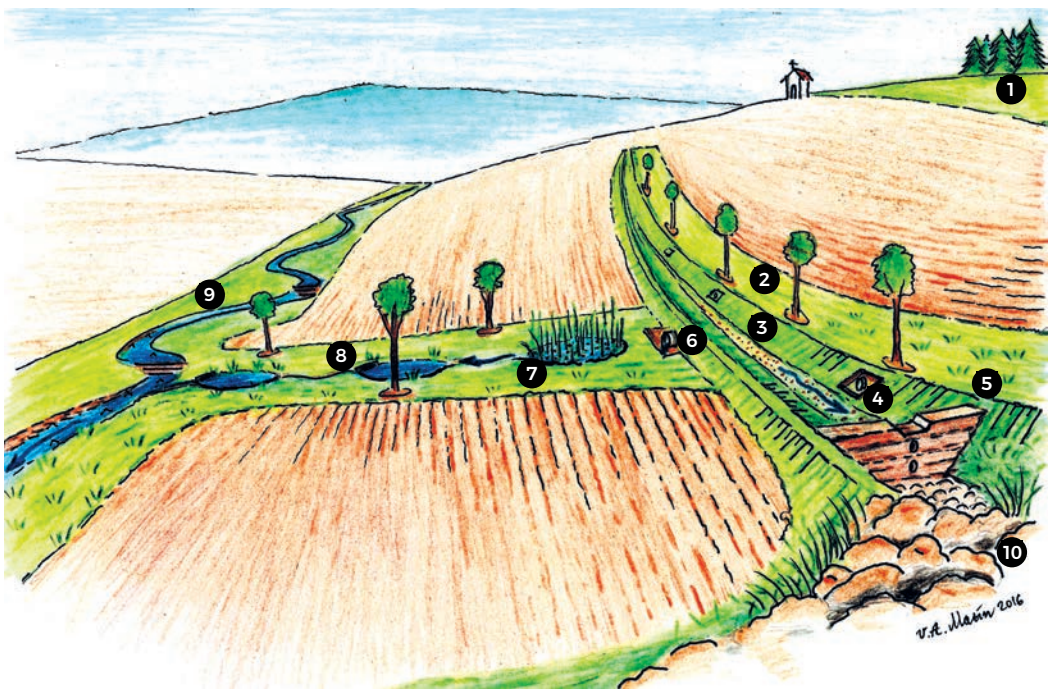
4 – vyústění kanálu do otevřeného odvodňovacího kanálu (před melioracemi drobný vodní tok).

5 – vyústění hlavních drénů do otevřeného kanálu.

6 – odvodňovací kanál z tvárnic (hlavní odvodňovací zařízení).

7 – rokle.

Obrázek 108: Navrhované komplexní řešení ochrany množství a jakosti vody ve stejném subpovodí. Zdroj: Mazín V.



Legenda

1 – plošné zatravnění infiltrační zóny na mělké, písčito-hlinité půdě (zasakování vody pro zvýšení množství a zlepšení jakosti hypodermických a podzemních vod, zkrácení erozně ohroženého svahu).

2 – ochranný zasakovací pás zatravněné půdy nad průlehem s funkcí sedimentace splachu zeminy při větších srážkách.

3 – nově vybudovaný záchytný průleh se zasakovací a retenční funkcí.

4 – výusť přerušeného hlavníku drenážního souřadu svedeného do záchytného průlehu (funkce zlepšení jakosti drenážních vod).

5 – retenční přehrážka s bezpečnostním přepadem na konci průlehu (funkce retence a kumulace vody).

6 – přerušený trubní kanál.

7 – jednoduché zařízení na zachycení povrchové vody na jednotlivých pozemcích – umělý mokřad s funkcí kořenové čistírny pro odstraňování cizorodých látek z drenážních vod.

8 – jednoduchá zařízení na zachycení povrchové vody na jednotlivých pozemcích – rybníčky s vysokou retenční funkcí v zatravněné spádnici s odtrubněným kanálem a zatravněním (vedlejší funkce vloženého biocentra).

9 – revitalizovaný odvodňovací kanál s retenčními přehrážkami a zatravněnou údolnicí (vedlejší funkce biokoridoru).

10 – rokle jako bezpečný recipient záchytného průlehu při extrémní srážce.

Změna systému komplexních opatření na půdě, ale i změna myšlení

Eroze půdy a s tím související odtok vody, jakost vody je v ČR řešena již více jak 50 let a výsledky jsou stále stejné: opakující se smyvy půdy, bahno a voda na náměstích, sedimenty ve vodních tocích, rybnících a ve vodních nádržích. Pro výpočet eroze a návrh opatření se v současnosti užívá hodnota R faktoru = 40 a výpočet je realizován modelem USLE. Model určuje průměrný dlouhodobý smyv půdy. Je to přístup analogický situaci, kdy by protipovodňová ochrana Prahy byla prováděna na dlouhodobý průměrný roční průtok. V případě eroze se jedná o plošný povrchový smyv z pozemku a o smyv, který neohrožuje mocnost půdy. Tento výpočet však ani v nejmenším nezohledňuje ochranu ostatních složek přírodního prostředí. A to, i když se použije vyšší hodnota R faktoru. Jedná se o teoretický výpočet, podle kterého by návrh opatření na zemědělském půdním fondu měl zadržet nadměrný odnos půdy (nad 4 t/ha). Ze 100 ha půdního bloku tedy může odnos činit 400 t. Tento limit jistě ovlivňuje i mnoho přírodních procesů a dějů. Tento výpočet vychází z předpokladů, které nejsou v souladu s intenzitou a úhrny srážek, za kterých vzniká nejvíce „problematických" událostí, tedy za extrémních srážek. Janeček a kol. (2012) uvádí, že hodnota R faktoru byla stanovena pro 31 ombrometrických stanic ČHMÚ. Průměrný počet srážek vyvolávajících erozi půdy za různě dlouhá období (19–74 let) je zde vyjádřen hodnotou 2,4. To znamená, že na každé ombrometrické stanici se v průměru za jeden rok vyskytují dvě nebo tři erozní srážky. Hodnoty R faktoru pro ČR, pro jednotlivé přívalové deště podle četnosti jejich výskytu, jsou uvedeny dále: výskyt deště jednou za dva roky má hodnotu R = 42, jednou za 10 let R = 69, jednou za 25 let R = 82, jednou za 50 let R = 117. Lze vyvodit, že hodnota R faktoru je tedy v současnosti každý druhý rok pravděpodobně překročena. Změna stavu, zvýšení hodnoty R faktoru ve výpočtu znamená snížení pravděpodobnosti výskytu erozních událostí, ale neznamená odstranění příčin všech dnešních problémů.

Pro pochopení významu problematiky povrchového odtoku vody (tedy i eroze půdy) a hospodaření na zemědělském půdním fondu byly provedeny výpočty přímého odtoku, celkového odtoku a koeficientu odtoku vody pro meteorologickou stanici Pelhřimov modelem CN v experimentálním subpovodí Dehtáře. Toto subpovodí je v monografii velmi kvalitně popsáno. Pro popisovaný výpočet bylo pracováno s výměrou 58,1 ha zahrnující pouze ornou půdu v rozsahu 41,5 ha a trvalé travní porosty v rozsahu 16,6 ha. Zatravnění v subpovodí činí 28,5 %! Většinou v údolní části subpovodí. Tabulka 78 je rozdělena do dvou základních sloupců, kde jsou definovány stanovištní podmínky. Současné nevyhovující zahrnují: utužení půdy, nerespektování podmínek ochrany půdy (např. setí širokořádkových plodin do předplodiny, výskyt srážkoodtokové události v období ne zcela zapojeného porostu, omezený přísun organické hmoty do půdy). Jedná se o extrémní případ hodnocení, de facto potenciální případ souhry mnoha negativních vlivů. Celé povodí bylo modelově exploatováno vždy pouze jednou plodinou (druhý sloupec tabulky 78). Pro přesnější hodnocení by bylo možno provést kombinace mnoha podmínek, ale bylo naším cílem především ukázat dva extrémy: negativní a optimální podmínky, které mohou u různých úhrnů srážek ovlivnit odtok vody a tím i erozi půdy. Srážky byly voleny pro stanici Pelhřimov s pravděpodobností výskytu N = 2 roky, 5 let, 10 let, 20 let, 50 let a 100 let (tabulka 78). Optimální způsob hospodaření na půdě zahrnoval veškerá půdoochranná agrotechnická opatření v současnosti leckde používaná, srážka dopadne na zcela zapojený porost, půda má dostatek organické hmoty, popř. na sklizené půdě zůstanou rostlinné zbytky (mulč). Jedná se o extrémní případ hodnocení, de facto potenciální případ souhry všech pozitivních vlivů.

Při výpočtech odtoku vody ze subpovodí vychází, že již při dvouleté a vyšší srážce je odtok vody ze současně obhospodařované zemědělské půdy objemově tak velký, že je možno jej zadržet pouze technickými opatřeními, které by měly být především budovány na zemědělském půdním fondu (Kvítek a kol., 2016). Ani zatravnění (16,6 ha), tedy plocha skoro třetiny subpovodí, není schopno eliminovat odtok vody a vyšší kulminační průtok. Při optimálním způsobu hospodaření lze konstatovat, že při dvouleté srážce dosahujeme výrazně lepších výsledků. Výrazné objemy odtoku nastávají

Tabulka 78: Parametry modelu CN pro různé N-leté srážky v experimentálním subpovodí Dehtáře

Pravděpodobnost výskytu srážky v letech (N/jednodenní úhrn srážek)	Půdní podmínky	Současné půdní podmínky			Optimální půdní podmínky		
	Parametry srážkoodtokové události/ způsob využití půdy (hodnoty CN pro současné/optimální podmínky v subpovodí)	Přímý odtok	Koeficient odtoku	Celkový odtok	Přímý odtok	Koeficient odtoku	Celkový odtok
		mm	(%)	(m³)	mm	(%)	(m³)
N = 2/35,5 mm	Širokořádkové plodiny (CN = 77/69)	4,29	0,12	2 495	1,27	0,04	736
	Úzkořádkové plodiny (CN = 74/66)	2,91	0,08	1 693	0,62	0,02	361
	Trvalé travní porosty (CN = 61/60)	0,06	0,02	32	0,02	0,00	9
N = 5/52,4 mm	Širokořádkové plodiny (CN = 77/69)	12,25	0,23	7 120	6,09	0,12	3 537
	Úzkořádkové plodiny (CN = 74/66)	9,64	0,18	5 603	4,38	0,08	2 545
	Trvalé travní porosty (CN = 61/60)	2,18	0,04	1 265	1,83	0,03	1 062
N = 10/63,3 mm	Širokořádkové plodiny (CN = 77/69)	18,68	0,30	10 852	10,60	0,17	6 157
	Úzkořádkové plodiny (CN = 74/66)	15,34	0,24	8 911	8,21	0,13	4 768
	Trvalé travní porosty (CN = 61/60)	4,92	0,08	2 857	4,36	0,07	2 532
N = 20/74,8 mm	Širokořádkové plodiny (CN = 77/69)	26,24	0,35	15 245	16,27	0,22	9 450
	Úzkořádkové plodiny (CN = 74/66)	22,19	0,30	12 890	13,18	0,18	7 656
	Trvalé travní porosty (CN = 61/60)	8,75	0,12	5 083	7,97	0,11	4 630
N = 50/88,8 mm	Širokořádkové plodiny (CN = 77/69)	36,26	0,41	21 067	24,17	0,27	14 044
	Úzkořádkové plodiny (CN = 74/66)	31,42	0,35	18 258	20,27	0,23	11 779
	Trvalé travní porosty (CN = 61/60)	14,50	0,16	8 426	13,46	0,15	7 817
N = 100/99,8 mm	Širokořádkové plodiny (CN = 77/69)	44,70	0,45	25 925	31,01	0,31	18 016
	Úzkořádkové plodiny (CN = 74/66)	39,23	0,39	22 793	26,51	0,27	15 404
	Trvalé travní porosty (CN = 61/60)	19,73	0,20	11 463	18,48	0,19	10 736

vždy u vyšších úhrnů srážek, a to jak u optimálních variant hospodaření na půdě, tak obzvláště při současném nevyhovujícím systému ochrany půdy.

Uvedené výsledky v tabulce 78 nemusí být absolutně přesné, jsou však řádově odpovídající. Výsledky vycházejí z modelu CN, který je odbornou veřejností protichůdně diskutován. Též si dovolujeme konstatovat, že předložené varianty využití půdy nemusí vždy v terénu nastat. Jistě se při většině extrémních srážkoodtokových událostí budeme pohybovat mezi dvěma naznačenými variantami. Na obou extrémních variantách jsme chtěli především dokumentovat, že bez technických opatření na zemědělském půdním fondu se neobejdeme, pokud chceme opravdu účinně řešit jakost vody, sucho, povodně, snižování hladin podzemních vod a to vše současně, abychom účelně a hospodárně využívali finanční zdroje.

V integrované ochraně množství a jakosti vody je třeba důrazně rozlišovat požadavky na retenci a akumulaci vody v povodí. V současnosti se v popředí zájmu společnosti objevuje nová strategie integrované ochrany množství a jakosti vody v zaměření na postupné zvyšování retenční kapacity povodí včetně jeho pramenních oblastí. Na tom se dnes již shodují jak badatelé přírodovědného, tak technického zaměření. K dosažení tohoto cíle vedou rozmanité postupy, které souvisí se současným i budoucím využíváním krajiny. Jedná se především o hospodaření na zemědělské a lesní půdě, které může zásadním způsobem modifikovat mechanismus odtoku vody v krajině.

Přirozený odtokový proces je ovlivňován člověkem již u samého jeho zrodu, tedy i v pramenních oblastech toků, kde lze realizovat četné postupy související se zpomalováním odtoku a zvyšováním retence vody v území (Janský, 2003). Retenční opatření mají přitom v pramenních oblastech, na středních a dolních tocích svá specifika. Obecným cílem našeho snažení by tedy měla být realizace tzv. integrované ochrany, která se může uplatnit právě především v horních a středních částech povodí. Uvedenou problematikou se zabývali například Janský a Kocum (2007, Kocum a Janský 2007, 2008).

V 70. a 80. letech minulého století jsme byli svědky realizace řady opatření, která ovlivnila zrychlení odtoku vody z krajiny. Došlo k rozsáhlým melioračním úpravám lesních i zemědělských pozemků. Byly vysušovány mokřady v říčních nivách na středních a dolních úsecích vodních toků, došlo ke zhoršení retenční kapacity půdy vlivem řady nevhodných agrotechnických opatření, zhoršil se zdravotní stav lesních porostů. Dnešní filozofie ovlivňování odtoku je zcela odlišná, někdy i protikladná. Vodu v krajině chceme zadržet a odtokový proces mimo intravilány obcí zpomalit. K tomu by měly sloužit nové legislativní nástroje, které dávají rámec rozmanitým krajinným úpravám a do budoucna ovlivní i způsob hospodaření na zemědělské a lesní půdě. Přes všechny snahy o zvyšování retenční kapacity a při realizaci veškerých sanačních opatření je však třeba brát v úvahu, že přírodní jevy jsou přirozenou součástí říční dynamiky a plná ochrana není možná, a to zejména při mimořádných situacích.

Vedle tradičních opatření aktivní protipovodňové ochrany, jako jsou výstavba ochranných hrází, popřípadě výstavba některých nových a obnova starých retenčních nádrží, je třeba v současné době realizovat i opatření a zásahy, které co nejvíce přispívají k zachování přirozené retence krajiny. Vedle celé řady možností a praktických opatření, kterými se zabývá podstatná část této monografie, by měla být respektována následující pravidla:

- Říční nivy ponechat v nejvyšší možné míře jejich přírodnímu vývoji a pohlížet na ně především jako na přirozené zátopové území.
- Eventuální využití inundačních území musí brát v úvahu povodňové události.
- Sídelní a výrobní prostory často ohrožované povodněmi by měly být přemístěny do bezpečnějších částí inundačního území nebo by z něj měly být zcela odstraněny.
- Využití inundačního území pro jakékoli stavební a hospodářské aktivity omezit úpravou existující legislativy a respektovat již existující nařízení (např. zákony č. 254/2001 Sb., č. 183/2006 Sb).
- Řádně udržovat zásobní prostory existujících rybníků či rybničních soustav, popřípadě uvážit obnovu některých rybníků zaniklých (Janský, 2003). Zaměřit se i na zvýšení retenční funkce rybníků pomocí regulace odtoku za výrazných srážkoodtokových událostí, aby s „velkou“ vodou neodcházely i rozpuštěné a nerozpuštěné látky.

Z ekologického hlediska, ale často i z hlediska hospodářského, jsou tato opatření většinou velmi účinná. V oblasti retence a akumulace vody lze uplatnit zejména existující retenční prostory, které je třeba nejen zachovat, ale

Foto 111: Meandrující vodní tok s přímou ochranou vody trvalým travním porostem.
Zdroj: Kvítek T.

Foto 112: Protipovodňová ochrana intravilánu na vodních tocích s průtočnou malou vodní nádrží plní ochranu jakosti vody za významných srážkoodtokových situací pouze částečně. Zdroj: Páral P.

v mnoha případech obnovit. To platí zejména pro revitalizaci mokřadů.

V pasivní integrované ochraně mají dále značný význam některá velkoplošná ekologická opatření, která zpomalují proces povrchového odtoku a přispívají ke zvýšení retence krajiny. Jak už bylo v předchozím textu knihy zmíněno, jedná se např. o nástroje protierozní ochrany zemědělské půdy, o postupnou změnu struktury využití půdy směrem k trvalým porostům (nahrazování orné půdy loukami a pastvinami, vysazování rychle rostoucích dřevin) a zvyšování podílu lesů charakteristických pro daný krajinný typ (např. nahrazování smrkových monokultur lesem smíšeným).

Integrovaná ochrana množství a jakosti vody má v určitých souvislostech svá specifika. Pro zvýšení retence vody v horních částech toků je kromě jiného potřeba detailně analyzovat hydrologickou funkci celého území. Zhodnotit vliv mokřadů s neregulovatelnou retenční funkcí, mělkých rybníků bez retenční funkce, rašeliništních lokalit a lokalit s odvodněním, které mají být vyřazeny z provozu, zatravněny a následně zamokřeny na odtokový proces. Také další hydrografické a klimatické charakteristiky by měly být posuzovány detailním porovnáním odtokových režimů v povodích s velmi rozdílnými poměry těchto ploch. Otázka hydrologické funkce těchto lokalit není přes řadu tuzemských i zahraničních projektů a mnohé spory vedené v odborných kruzích doposud uspokojivě vyřešena. Tzv. „houbová teorie“, která byla v domácí i světové literatuře uznávána přibližně do 60. let 20. století (platí i pro zemědělský půdní fond), předpokládala, že např. rašeliniště zadržují vodu při vysokých srážkách (povodňových průtocích) a naopak v období sucha průtoky nadlepšují a podílejí se tak na vyrovnávání odtoku. Od 70. let 20. století se objevují práce, které retenční funkci rašelinišť zpochybňují, a za jedinou možnost zvýšení jejich retenční kapacity doporučují snížení hladiny podzemní vody pomocí odvodnění. Tyto meliorační zásahy byly poté provedeny v řadě horských oblastí na území České republiky.

Všimneme-li si odborné literatury, která se této problematice hojně věnovala již ve druhé polovině 19. století, pak lze zaznamenat určitý vývoj v názorech odborníků rozmanitého zaměření. Detailní rozbor změny pohledu na tuto problematiku podal např. Ferda (1960). Tzv. „houbová teorie“ poukazující na význam rašelinišť jako významných zásobáren vody a regulátorů průtoků byla prosazována již Alexandrem von Humboldtem, poté Hochstetterem (Ferda a kol., 1971) a u nás např. Sitenským (1886).

Do tábora odpůrců této teorie se na sklonku 19. a počátkem 20. století zařadili např. Purkyně, Hagen, Fleischer a další (Ferda, 1960), později se k nim přiřadili rovněž Schreiber (1927), Dittrich (1936) či Říha (1938). Podle jejich názoru se vodní režim rašelinišť výrazně zlepšuje vlivem odvodnění a zkulturnění. Tento poznatek byl potvrzen výsledky dalších výzkumných prací na území našeho státu v 50. a 60. letech minulého století, které byly prováděny v některých povodích s vyšším zastoupením rašelinišť. Poměrně velký rozsah výzkumu byl tehdy motivován připravovanou výstavbou přehradních nádrží (Lipno, Orava, Fláje), přičemž šlo o posouzení vlivu rašelinišť na odtokový režim toků, např. Mařan a Lhota (1953 a 1955), Ferda (1960 a 1963) a kvalitu vody v tocích a nádržích, např. Novák (1955 a 1959), Onderíková a Štěrbová (1956), Fiala a Sládečková (1961).

Výsledky těchto prací prokázaly, že vodní toky odvodňující rašeliniště mají značnou rozkolísanost průtoků a význam rašelinišť z hlediska vyrovnávání odtokového režimu byl v minulosti přeceňován. Byl zjištěn poměrně malý vliv zimních sněhových srážek při nadlepšování průtoků v letní polovině roku a naopak výrazné uplatnění letních přívalových dešťů. Při naplnění horských vrchovišť na plnou vodní kapacitu byl přitom registrován rychlý vzestup odtoků. Rovněž při déletrvajícím období sucha

se rašeliniště neprojevují hydrologicky pozitivně, to znamená, že nenapájejí vodní toky. Naopak tyto práce konstatují zlepšení hydrologického režimu vodních toků po provedeném odvodnění a zkulturnění rašelinišť.

Jako jednoznačně negativní je hodnocen vliv rašelinišť na kvalitu vody ve vodních tocích, přičemž intenzita ovlivnění souvisí s jejich rozlohou a kubaturou v povodí. Ještě větším problémem je ovlivnění jakosti vody ve vodních nádržích, při jejichž napouštění došlo k zatopení rašelinišť a slatin.

O míře zapojení rašelinišť do odtokového procesu lze uvažovat i s přihlédnutím k ovlivnění jakosti vody, resp. iontovému složení vod v periodách nízkých či vysokých průtoků. V suchých obdobích klesá nebo téměř ustává odtok vody z rašelinišť, což se projevuje ve zlepšení jakosti vody v tocích, které je drénují nebo jsou z nich zásobovány občasnými přítoky. To potvrdily výsledky nejen ve zmíněné studii (Ferda a kol., 1971), ale i novější práce (Hruška et al., 1996 a 1999, Oulehle a Janský, 2003). V případě, že by tedy rašeliniště v suchých obdobích nadlepšovala průtoky, jak to uváděli někteří autoři, muselo by se to projevit ve změněné jakosti vody.

Naopak ke změně jakosti vody ve vodních tocích dochází během letních dešťových period či jarního tání sněhu, kdy jsou rašelinná ložiska plně saturována vodou a ta přetéká z jejich okrajů do koryt toků. Svědčí o tom i výrazná změna iontového složení vod v povrchových tocích, což potvrdily i některé novější výzkumy (Hruška et al., 1996 a 1999, Oulehle a Janský, 2003, Vlček et al., 2016).

Proto je třeba být u jednostranně, monomanicky podporovaných velkoplošných, čistě „ekologických“ opatření velmi nestrannými odborníky. Velmi detailně prozkoumat předkládané názory, že „mokřady podél vodních toků“ a „revitalizace drenáží“ ucpáním drenážních šachtic, přerušením odtoku na svodných drénech, či likvidace drenážních vyústí vyřeší současné problémy české krajiny (sucho, povodně).

Pokud chceme v dlouhodobém časovém horizontu zlepšit jakost vody a zabránit dalším negativním změnám jakosti povrchových, podpovrchových a podzemních vod, je nezbytné respektovat limity území: při veškeré urbanistické, stavební, zemědělské či jiné činnosti je nezbytné zachovat, případně snížit povrchový odtok a maximum vody zadržet a následně vsakovat do horninového prostředí. To umožní zachovat přirozený hydraulický gradient i v případech dlouhodobého klimatického sucha. Tento gradient totiž podmiňuje současnou aktivní výměnu podzemní vody, která je základním předpokladem zachování její dosud příznivé jakosti. Jak však dokladují výsledky monitoringu jakosti vody v ČR na pesticidy, je pouze otázkou času, kdy budeme mít i zde vážné problémy. Kodeš (2017) dokládá, že u vodárenských zdrojů ČR (39 objektů) byl v roce 2013 v 54 % překročen limit 0,1 µg/l pro jeden pesticid, u 41 % objektů je překročen limit 0,5 µg/l pro sumu pesticidů. U ostatních monitorovaných objektů je v 353 z 660 (53 %) překročen limit alespoň pro jeden pesticid. V roce 2016 byl v 33 ze 46 vodárenských objektů (72 %) nalezen alespoň jeden pesticid.

Nesmírně důležité pro jakost vody je i zachování přirozené hydrogeologické stratifikace horninového prostředí, neboť se nám v celém povodí vyskytují vody mělkého a hlubšího oběhu. Jestliže se v povrchových a mělkých podzemních vodách logicky objevují antropogenní látky jakost vody zhoršující, je třeba hlubší oběh podzemní vody před vnikem těchto látek maximálně chránit už jenom proto, že obrovská masa této permanentně se doplňující podzemní vody je základním předpokladem pro zachování vodnosti říční sítě a jakosti povrchové vody v nich v suchých obdobích. V celém povodí VN Švihov na Želivce je proto nezbytné v maximální možné míře eliminovat zásahy do horninového prostředí, které by podzemní vody mělkého a hlubšího oběhu propojovaly. Jedná se především o vrtané studny, jejichž počet se v souvislosti s cenou vody významně zvyšuje, o exponenciální vzrůst počtu vrtů pro tepelná čerpadla, jejichž konstrukce je často přímou instruktáží narušení toho, co příroda po statisíce let formovala, ale náležejí sem i hlubší stavební zásahy typu pilot, terénních zářezů, tunelů apod. Všude tam je třeba ve stavebních či jiných dílech funkčně oddělovat podzemní vody mělkého a hlubšího oběhu, čemuž samozřejmě musí odpovídat jejich složitější a dostatečně dimenzovaný konstrukční návrh.

Do kategorie minimálně stejné důležitosti patří i péče o půdu a rostlinný pokryv, které jsou pro zachování jakosti povrchové, podpovrchové a podzemní vody v povodí jedním z nejdůležitějších faktorů (viz Evropská vodní charta). Přestože v území probíhá intenzivní zemědělská výroba, dlouhodobý monitoring jakosti podzemní vody naznačuje, že při optimalizačních opatřeních, mezi které patří i regulace množství vody v půdě pomocí melioračních staveb, je koexistence zemědělského a vodohospodářského využití krajiny nejenom možná, ale dokonce žádoucí. Jestliže se dnešní zemědělství neobejde bez hnojiv a přípravků na ochranu rostlin, udržení optimální vlhkosti půdy bez vytvoření preferenčních cest a letních zátekových trhlin je tou nejlepší ochranou podzemní vody před znečištěním.

A konečně velmi významnou roli musí mít monitoring jakosti vody. Jestliže dlouhodobě sledujeme velké množství objektů povrchového, malé počty objektů hypodermického odtoku, pak významně menší je množství objektů zahloubených do mělkých zvodní v celém povodí. V podstatě absentují dlouhodobě monitorované objekty hlubšího oběhu. A to přestože je tento oběh pro funkci VN Švihov na Želivce z dlouhodobého hlediska klíčový.

Ochrana jakosti vody z plošných zemědělských zdrojů prozatím nebyla v mnoha souvislostech řešena. Podstatným novým poznatkem v ochraně jakosti vody je skutečnost, že vyplavování dusičnanů, pesticidů a částečně i fosforu z půdy a vznik eroze, je vždy vázáno především na odtok vody. Dominujícím faktorem v odnosu látek (odtok × koncentrace) z povodí je vždy odtok. Při ochraně jakosti vody řešíme současně také: kulminační průtoky i celkové množství odteklé vody ze zemědělského subpovodí, odnos zeminy z eroze půdy, množství sedimentů ukládaných ve vodních tocích, rybnících a vodních nádržích, sucho všech kategorií a s tím související i problematiku nízké infiltrace. Spojovací článkem všech těchto negativních jevů je rychlý odtok vody ze zemědělského půdního fondu. Za komplexního přístupu k dané problematice pak jistě dojdeme k poznání, že ekonomické aspekty dovolují řešit ochranu půdy, retenci a akumulaci vody na zemědělském půdním fondu na stoleté srážky. V současné době jsou však jednotlivé dotační tituly (sucho, povodně, jakost vody) vyhlašovány odděleně a zvlášť, neřeší se tedy komplex problémů a ekonomické aspekty tedy převažují nad vodohospodářskou problematikou. U řady těchto ad hoc opatření tak může docházet k neúčelně vynakládaným dotačním i jiným finančním prostředkům. Podstatné tedy je, aby při návrhu opatření na zemědělském fondu byl uplatněn komplexní systém opatření, nikoli pouze jednotlivá, svými účinky oddělená opatření.

ZÁVĚREČNÁ ÚVAHA

Michal Krátký
Tomáš Kvítek

Má vlast

Ta země, která rodí kacíře
a uhrančivě krásné zlatovlásky,
kde všichni věří jen své nevíře
a gramofony chrčí Škoda lásky,
kde místo zlata třpytí se jen kyz,
kde příliš radost hořkne v hoře,
odvěká kořist hrabošů a krys,
kde všechny cesty vedou k Bílé hoře,
kde sprostá lež se veze v kočáře
a pravdu s láskou táhnou cestou pěší,
dědičná země kata Mydláře,
kde mřít je těžko a žít ještě těžší –

A přece si jí čím dál blíž,
i když ji zapřeš. Nemáš na vybranou.
Neseš ji v sobě, věčný kříž –
svou zemi krásnou, zemi milovanou.

Jiří Žáček
Český spisovatel, překladatel, básník, sběratel a tvůrce aforismů,
ale též vzděláním vodohospodář

Mimo jiná zla patří k hlouposti i toto: začíná růst vždy znovu.

Seneca
Římský stoický filozof, dramatik, básník a politik

Prof. MUDr. Cyril Höschl, Dr.Sc., FRC Psych. Director Prague Psychiatrie Center, u příležitosti udělení hodnosti profesor v Karolinu 24. září 1991 ve svém projevu ex abrupto mimo jiné uvedl, aniž to bylo projevem univerzitní povýšenosti a sarkasmu, jak sám zdůraznil, následující suché konstatování skutečnosti – citujeme: „Třetina obyvatel této země je slabá duchem, každý sedmý občan je debilní nebo dementní nebo alkoholik.

Zhruba polovina obyvatel v této zemi má podprůměrný intelekt. Jestliže jedinec, který je v této intelektové kategorii, má nějakým způsobem rozumět světu, má-li se v něm nějak pohybovat a má-li ho nějak uchopit, musí si ho drasticky zjednodušit. Těmto lidem, a je to tedy polovina národa, uniká ona složitá mnohotvárnost, komplementarita, mnohoznačnost světa, a to co z tohoto světa v jejich očích zbývá, se dá rozdělit na celkem jednoduché, většinou protipólné elementy. Někdy se tomu říká černobílé myšlení. Něco je buď dobré, nebo špatné. Dobré je pouze to, čemu rozumíme – a toho není mnoho. A to čemu nerozumíme, je špatné. Odtud filozofie je nesmysl, matematika je k ničemu, kybernetika je pavěda, genetika je rovněž pavěda.

Foto 113: Rozmanité formy na sebe navazujících retenčních opatření mohou pomoci zlepšit jakost vody a zvýší i biodiverzitu zemědělské krajiny. Zdroj: Páral P.

Z tohoto intelektového zázemí potom pramení tzv. lidové pravdy. Každý cikán krade, každý žid je lichvář, každý zrzavý je zákeřný – a ty mají často nacionální charakter. K tomu se přidává určitá sugestibilita. Jestliže tato morálka nebo černobílé vidění světa je ještě spojeno, a to bývá, s neschopností rychlejších pohybů v sémantickém poli, s neschopností propadat se z jedné sémantické roviny do druhé, vede to k nedostatku smyslu pro humor. Jestliže mám nedostatek smyslu pro humor a ti druzí se smějí, nutno si zákonitě myslet, že se smějí mně. To vede k ostražitému, číhavému, nepřátelskému postoji vůči světu, podezřívavosti a k neustálé snaze dokázat a proklamovat svoji chytrost a ke strachu, aby ze mne někdo neudělal hlupáka“ – konec citace.

Do výše uvedené filozofické úvahy tohoto významného našeho i světového psychiatra zapadá i doposud jednoduché černobílé zacházení se zemědělskou půdou, které podle autorů této knihy trvá v České republice již více jak 50 let. Navíc, po zásadních změnách naší společnosti po roce 1989, již více jak 25 let trvající diskuze na úrovni ústředních orgánů státní správy k problematice hospodaření na zemědělské půdě, je tato jen zdánlivě odborná, protože je především více politická a bohužel tím i velice zjednodušená z hlediska věcných odborných závěrů i přijatých opatření.

Diskuze o tom, aby v zemědělské krajině nedocházelo ke zhoršování vodních poměrů, zejména ke zhoršování odtokových poměrů, zvyšování odnosu půdy vlivem erozní činnosti a také ke zhoršování jakosti vody z drenážních systémů realizací opatření blízkých přírodě nebo technických, jsou dosud velmi zavádějící z hlediska jejích závěrů. Ty tuto problematiku řeší zjednodušeně ad hoc „po jednotlivých často protipólných elementech“ a nikoliv komplexně, jak to vyžaduje „složitá mnohotvárnost“ zemědělské krajiny.

Je podstatné, aby byl v budoucnu konečně uplatněn komplexní systém opatření, nikoliv pouze jednotlivá, svými účinky oddělená opatření. Při koncepčním propojeném řešení je možné zajistit péči o zemědělské pozemky tak, aby nedocházelo ke zhoršování jakosti vody, odtokových poměrů, zvyšování odnosu půdy vlivem erozní činnosti vody, odtokem vody z drenážních systémů a bylo tak dbáno především o zlepšování retenční schopnosti krajiny.

Autorský kolektiv vysoce fundovaných odborníků v této publikaci zcela zásadně mění dosud zažitý pohled na předmětnou problematiku. Navíc ukazuje na skutečnost, že s využitím dosud platné zemědělské dotační politiky, je velmi obtížné a spíše nereálné dosáhnout realizace konkrétních technických a přírodě blízkých opatření, vzájemně propojených a provázaných, vedoucích ke zlepšení jakosti vody a současně ke zvyšování retence a akumulace vody na zemědělském půdním fondu.

Dovolujeme si zakončit své malé zamyšlení vycházející z vlastních celoživotních zkušeností opět slovy Seneky z knihy Další listy Luciliovi: „Dovést nějakou věc k dokonalosti, to se podaří, a ještě stěží, jen neustálou bdělostí a pozorností“. Kéž by konečně, po více než půlstoletí nekompetentních rozhodnutí v „péči“ o zemědělské pozemky, nebyla tato problematika jen předmětem další dlouhé a nekonečné diskuze, bez skutečné realizace komplexního systémového řešení. Je třeba, aby snaha o realizaci opatření nedopadla tak, jak komentoval podobné věci expremiér Ruska Černomyrdin: „Chtěli jsme to udělat co nejlépe, dopadlo to jako vždy“.

Mementem a současně odkazem našich snah o změnu myšlení nechť je pro budoucí generace kostel svatého Víta, románsko-gotická stavba s věží, pozůstatek zástavby obce Zahrádka na pravém břehu VN Švihov na Želivce.

Závěrem přejeme této publikaci dlouhý život a zejména její praktické používání všemi osobami, které chtějí nebo dokonce mají povinnost se předmětným problémem zabývat ku prospěchu celé naší společnosti.

Foto 114: Kostel svatého Víta, románsko-gotická stavba s věží, na pravém břehu VN Švihov na Želivce.

SEZNAM ZKRATEK

A

AMPA – Aminomethylphosphonic acid (Kyselina aminomethylfosfonová)
ANOVA – Analysis of variance (Analýza rozptylu)
AV ČR – Akedemie věd České republiky
AZV – Agentura pro zemědělství a venkov

B

BPEJ – Bonitovaná půdně ekologická jednotka
BREB – Metoda energetické bilance a Bowenova poměru

C

c – Latinsky concentrare (Koncentrace)
c-q hystereze – vztah průtoku a koncentrace látek
C/I – Capacity inflow ratio (Dlouhodobé zdržení)
CCC – Chlormequat chlorid – regulátor růstu
CEREPA – Papírna CEREPA Červená Řečice
Cfw – Průtokově vážená koncentrace
CIPC – Chlorpropham – herbicid
CLIDATA – Klimatologická databázová aplikace
Cn – Koncentrace izotopu v nové vodě (srážkové)
CN – Model pro výpočet transportu sedimentu
Cs – Koncentrace izotopu ve staré vodě
CWSI – Crop water stress index (Plodinový stresový index)

Č

ČAZV – Česká akademie zemědělských věd
ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav
ČHP – Číslo hydrologického pořadí
ČOV – Čistírna odpadních vod
ČR – Česká republika
ČSAZV – Československá akademie zemědělských věd
ČSN – Česká technická norma
ČSR – Československá republika
ČSSR – Československá socialistická republika
ČSÚ – Český statistický úřad
ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální
ČVUT – České vysoké učení technické

D

2,4-D – Kyselina dichlorfenoxyoctová – herbicid
DAM 390 – Kapalné dusíkaté hnojivo
DDT – Dichlorodiphenyltrichloroethane – insekticid
DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat
Dig. – Digestát
DIN – Dissolved inorganic nitrogen (Rozpuštěný anorganický dusík)
DMR 4G – Digitální model reliéfu České republiky čtvrté generace
DMT – Digitální model terénu
DNBP – Di-n-butyl ftalát – Polymerizační inhibitor
DPS – Dissolved phosphorus solutions (Rozpuštěný fosfor); Degree of phosphorus saturation (Stupeň nasycení fosforem)
DPZ – Dálkový průzkum země
DSP – Doktorský studijní program
DRASTIC – Depth to water table, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography (slope), Impact of vadose zone media, (aquifer hydraulic) Conductivity. Metoda pro posuzování zranitelnosti podzemních vod
DRP – Dissolved reactive phosphorus (Rozpuštěný reaktivní fosfor)
DVL_ – ID vodního útvaru
DZES – Dobrý zemědělský a environmentální stav

E

EEA – European environment agency (Evropská agentura pro životní prostředí)
EF – Evaporativní frakce
EFA – Ecological focus area (Plocha využívaná v ekologickém zájmu)
EO – Ekvivalentní obyvatel je definovaný produkcí znečištění 60 g BSK_5/den.

EPA – Environmental protection agency (Agentura pro ochranu životního prostředí) nebo také US EPA – United States Environmental protection agency
ES – Ekologický stav; Evropské společenství; Směrnice Evropského parlamentu a Rady; Směrnice Rady
ESA – Ethan sulfonic acid (Deriváty sulfonové kyseliny)
ETA – Evapotranspirace
ETRS – European terrestrial reference system (Evropský terestrický referenční systém)
EU – Evropská unie

F

F – Fungicid
FAO – Food and agriculture organization of the United Nations (Organizace pro výživu a zemědělství v OSN)
FWC – Flow-weighted concentration (Průtokově vážené koncentrace)

G

γ – Psychrometrická konstanta
G – Tok tepla do půdy
GAČR – Grantová agentura České republiky
GIS – Geografický informační systém
GLm – Glej modální
GPS – Global positioning system (Globální polohový systém)
GROUND – Metoda separace drenážního odtoku
GUS Index – Groundwater ubiquity score index (Hodnota vyjadřující poločas rozpadu pesticidů)

H

2H – Deuterium
h – Hlinitá půda
H – Hydrogenium (Vodík); Herbicid; Tok zjevného tepla
HCH – Hexachlorcyklohexan – insekticid
HMZ – Hlavní meliorační zařízení
HOZ – Hlavní odvodňovací zařízení
hp – Hlinitopísčitá půda
HPa – Hnědá půda kyselá
HPJ – Hlavní půdní jednotka

HPV – Hladina podzemní vody
HR – Hydrologický rok
HRDP – Horizontální plán rozvoje venkova
Hs – Úhrn srážek v mm
HVB – Vodohospodářské bilance (uvádí se s číslem označení objektu)

I

IGU-LUCC – International geographical Union – Commission on land use (Mezinárodní geografická unie – Komise pro využití půdy)
IHP UNESCO – International Hydrological Programme (Mezinárodní hydrologický program UNESCO)
IHPVI – Technical Documents in Hydrology – International Hydrological Programme UNESCO
IO – Infiltrační oblast
IOR – Integrovaná ochrana rostlin
IP – Ilimerizovaná půda
IPC – Isopropyl-N-fenylkarbamát – herbicid
ISCO – Automatický vzorkovač vod
ISPA – Instrument for structural policies for pre-accession (Fond, ze kterého mohly čerpat pouze kandidátské země; specializoval se na oblasti životního prostředí a dopravy).
IUGG – The international Union of Geodesy and Geophysics (Mezinárodní unie geodetická a geofyzikální)

J

J – Jih (JZ – jiho-západ, JJV – jiho-jiho-východ); Tok tepla na ohřev povrchů
jh – Jílovitohlinitá půda
JP – Jiné plochy
jv – Jílovitá půda
JZD – Jednotné zemědělské družstvo

K

K – Koeficient (součinitel) hydraulické vodivosti
KA – Kambizem
KAd – Kambizem dystrická
KAg – Kambizem oglejená
KAm – Kambizem modální
KAma' – Kambizem modální kyselá
KAmg' – Kambizem modální slabě oglejená
KAs – Kambizem rankerová
KN – Katastr nemovitostí
Koeficient Ks – Hodnotí souměrnost povodí, porovnává plochu pravostranných a levostranných přítoků; Koeficient nasycené hydraulické vodivosti (m/s)
KO – Koluvizem
KP – Kryptopodzolem
KP – PZ – Kryptopodzol s podzolem
KPP – Základní půdní mapy
KPZP – Komplexní průzkum zemědělských půd
KUS – Program zemědělského aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 2012–2018.

L

l – Lehké
L – Skupenské teplo výparu
LE – Tok latentního tepla výparu
LFA – Less favoured areas (Méně příznivé oblasti)
LP – Lesní plocha
LPIS – Land parcel identification system (Veřejný registr půdy)
LUm – Luvizem modální
LUg – Luvizem oglejená

M

M – Metabolit
MCPA – Kyselina 4-chloro-o-tolyloxyoctová – herbicid
MIKE SHE – Hydrologický model pro simulaci povrchového a podzemního odtoku
Moč. – Močůvka
MPGM – Modifikovaná početně-grafická metoda separace drenážního odtoku
MRT – Mean residence time (Průměrná doba zdržení)
MVE – Malá vodní elektrárna
MVN – Malá vodní nádrž
MZe ČR – Ministerstvo zemědělství České republiky
MŽP ČR – Ministerstvo životního prostředí České republiky

N

n – Není údaj; Nehodnoceno
N – Nitrogenium (Dusík); Počet monitorovacích profilů
NAP – Národní akční plán
NDVI – Normalized difference vegetation index (Normalizovaný diferenční vegetační index)
NL – Nerozpuštěné látky
NPK – Hnojivo složené z dusíku, fosforu, draslíku
NPR – Národní přírodní rezervace

O

^{17}O, ^{18}O – Izotopy kyslíku
OA – Deriváty karboxylové kyseliny
OP – Orná půda
OPVZ – Ochranné pásmo vodního zdroje
OPŽP – Operační program Životní prostředí
OV – Odpadní vody

P

P – Phosphorus (Fosfor); Tok tepla spotřebovaného při fotosyntéze
PCA – Principal component analysis (Analýza hlavních komponent)
PGm – Pseudoglej modální
ph – Písčitohlinitá půda
pH – Pondus hydrogenia (Potenciál vodíku)

PHARE – Poland and Hungary aid for restructuring of the economy (Fond pro financování projektů, které napomáhaly překlenout hospodářskou a politickou propast mezi zeměmi bývalého východního bloku a západní Evropy)
PHO – Pásmo hygienické ochrany vod
POR – Evidence přípravků na ochranu rostlin
POZ – Podrobné odvodňovací zařízení
PP – Partikulární fosfor
PřF UK – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
PVC – Polyvinylchlorid
PVK – Pražské vodovody a kanalizace, a. s.

Q

Q – Průtok m^3/s, l/s
Qt – Celkový průtok
Qn – Průtok nové (event) vody, **Q event** – Podíl „nové" vody v průtoku
Qs – Průtok staré (pre-event) vody, **Q pre_event** – Podíl „staré" vody v průtoku

R

RG – Regozem modální (arenická)
Rl – Tok dlouhovlnné radiace
RRP – Rozpuštěný reaktivní fosfor
Rs – Tok krátkovlnné radiace
Rn – Celková čistá radiace
RVHP – Rada vzájemné hospodářské pomoci
RVK – Retenční vodní kapacita

S

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
s – Střední
S – Sever (SV – severovýchod, SSZ – severoseverozápad)
SAPARD – Special accesion programme for agriculture and rural development (Speciální předvstupní program pro zemědělství a rozvoj venkova)
SDR – Sediment delivery ratio (Poměr odnosu sedimentů)
SELČ – Central European summer time (Středoevropský letní čas)
SN – Sněhová pokrývka
SOE – Srážkoodtokové epizody
SOWAC-GIS – Soil and water conservation geographic information system (Geografický informační systém ochrany půdy a vody)
SRP – Soluble reactive phosphorus (Rozpustný reaktivní fosfor)
SRA – Denní úhrn srážek
SÚJ – Srovnatelné územní jednotky
SZN – Státní zemědělské nakladatelství
SZP – Společná zemědělská politika

T

T – Teplota
$\mathbf{T_{max}}$ – Maximální teplota
$\mathbf{T_{min}}$ – Minimální teplota
TNV – Technická norma vodního hospodářství
TP – Total phosphorus (Celkový fosfor)
TTP – Trvalé travní porosty

U

U – Unášecí síla vody
UK – Univerzita Karlova; United Kingdom
UNESCO – United nations educational, scientific and cultural organization (Organizace OSN pro vzdělání, vědu a kulturu)
USA – United States of America (Spojené státy americké)
USLE – Univerzální rovnice ztráty půdy
USLE2D – Univerzální rovnice ztráty půdy vyčíslují mezirýhovou i rýhovou erozi (zohledněním velikosti odtokové plochy v každém bodě)
UTC – Coordinated universal time (Koordinovaný světový čas)

Ú

ÚAZK – Ústřední archív zeměměřictví a katastru
ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

V

V-SMOW – Vienna standard mean ocean water (Mezinárodní agentura pro atomovou energii ve Vídni)
VHB – Vodohospodářská bilance
VN – Vodárenská nádrž; Vodní nádrž
VO – Výtoková oblast
VŠCHT – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
VT – Vodní tok
VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.
VÚV TGM – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

W

WATEM/SEDEM – Empirický distributivní model erozních a transportních procesů

Z

ZABAGED – Základní báze geografických dat
ZDOVZ – Zóny diferencované ochrany vodního zdroje
ZE PO – Throughfall (Srážky pod smrkovým porostem)
ZE VP – Bulk (Srážky na volné ploše)
ZM 10 – Základní mapa České republiky v měřítku 1 : 10 000
ZOD – Zranitelné oblasti dusičnany
ZP – Zemědělská půda
ZPF – Zemědělský půdní fond

SLOVNÍK POJMŮ

A

Agrotechnická opatření – Opatření proti erozi zahrnují půdoochranné obdělávání, protierozní orbu (hrázkování nebo důlkování), protierozní setí kukuřice, protierozní ochranu brambor, výsev do ochranné plodiny, mulče, strniště, ponechání posklizňových zbytků na poli, zatravnění meziřadí.

Akumulační prostor – Prostor mezi hladinou stálého zadržení a dnem rybníka nebo vodní nádrží.

Akumulační zóna – V dolních částech svahů a v údolní nivě se často nacházejí mocnější vrstvy hlinitého až jílovitého materiálu, které jsou méně propustné. Hladina podzemní vody zde bývá blíže povrchu. Půdní profil je rychleji nasycen a může zde docházet k vratnému odtoku, povrchovému odtoku nebo k přímému napojení podpovrchového odtoku do vodoteče.

Antinutriční látky – Látky, které snižují chutnost a příjem krmiva, zhoršují využitelnost živin.

Antropogenní eroze – Eroze způsobená lidskou činností, zejména ničením přirozeného vegetačního krytu půdy, zhoršováním půdních vlastností i pěstováním nevhodných plodin.

Artéská zvodeň – Zvodeň shora uzavřená nepropustným stropem (izolátorem, artéským stropem) s napjatou hladinou. Po provrtání stropního izolátoru vystoupí voda na příslušnou piezometrickou tlakovou hladinu, jež je nad úrovní terénu.

B

Biodegradace – Biologický rozklad látek realizovaný zejména prostřednictvím mikroorganismů, při němž dochází v důsledku jejich metabolické činnosti k přeměně různých látek (zejména organických) na jednodušší látky (např. biodegradace pesticidů).

Biotechnická opatření – Opatření proti erozi zahrnují terénní urovnávky, výstavbu příkopů, průlehů, teras, ochranných hrázek, protierozních nádrží, poldrů, výstavbu protierozních cest, zatravnění údolnice a drah soustředěného odtoku.

Bonitovaná půdně ekologická jednotka (BPEJ) – Základní oceňovací a mapovací jednotka bonitační soustavy. Každou BPEJ tvoří pětimístný kód. Je definována konkrétními agroekologickými podmínkami danými klimatickým regionem (první číslo kódu), hlavní půdní jednotkou (druhé a třetí číslo kódu), dále kombinací svažitosti a expozice (čtvrté číslo kódu) a hloubky a skeletovitosti (páté číslo kódu). Tento podklad byl vytvořen na základě výsledků Komplexního průzkumu zemědělské půdy (KPZP) a obohatil údaje o půdních poměrech o klima, reliéf, expozici a svažitost.

Břehový porost – Dřevinný a luční vegetační doprovod rostoucí na březích vodního toku, který mimo plnění ostatních funkcí vegetačního doprovodu zvyšuje nebo zajišťuje odolnost břehů.

C

Celek – Geomorfologická jednotka střední úrovně, která je součástí oblasti a obsahuje podcelky. Celky se zpravidla mezi sebou značně liší z hlediska geneze a vývoje reliéfu. Na území Česka se nachází 93 celků.

CLIDATA – Klimatologická databázová aplikace vyvinutá v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) a používaná ve více než 30 zemích světa.

Č

Část – Hierarchicky nejnižší úroveň geomorfologického členění Česka. Části se vyznačují specifickými znaky geneze a vývoje reliéfu.

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) – Národní meteorologická služba ČR pověřená výkonem státní správy v oborech meteorologie, klimatologie, hydrologie a čistoty ovzduší.

D

Dálkový průzkum Země – Věda i umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami či jevy nejsou v přímém kontaktu. Dálkový průzkum Země lze též definovat jako činnost k získávání informací o zemském a vodním povrchu, která využívá obrazových dat získaných z výškové perspektivy za využití elektromagnetického záření v jednom nebo více pásmech elektromagnetického vlnění odraženého nebo emitovaného zemským povrchem.

Darcyho zákon – Matematický vztah, který definuje rychlost průtoku kapaliny nasycenou zónou pevného porézního tělesa. Jedná se o lineární závislost mezi filtrační rychlostí kapaliny v_f (resp. průtočným množstvím Q) a piezometrickým (hydraulickým) gradientem I.

Databáze dlouhodobých změn využití ploch Česka (1845–2010) – Je odvozená z archivních katastrálních dat pro srovnatelné územní jednotky (SÚJ). Jsou v ní zaznamenány rozlohy sedmi kategorií využití ploch (orná půda, trvalé travní porosty, trvalé kultury, lesní plochy, vodní plochy, zastavěné plochy a ostatní plochy) v téměř 9 000 SÚJ pokrývajících celé Česko v letech 1845, 1896, 1948, 1990, 2000 a 2010. Více: http://web.natur.cuni.cz/ksgrrsek/lucc

Degradace půd – Změny ve vlastnostech půd, které vedou ke snížení jejich přirozené úrodnosti a schopnosti zajistit existenci ekosystémů. Patří mezi ně hlavně odnos půdních částic erozí, acidifikace, vyplavování živin (debazifikace), zhutnění, ztráta humusu, znečištění cizorodými látkami apod.

Denudace – Soubor procesů (zvětrávání, eroze a transportu) vedoucí ke snížení úrovně reliéfu.

Digestát – Typové organické hnojivo tekuté/polotekuté konzistence s rychle uvolnitelným dusíkem, které vzniká při výrobě bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích jako druhotný produkt anaerobní fermentace organické hmoty. Při nakládání s tímto hnojivem musí být splněny požadavky akčního programu nitrátové směrnice (Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, novela nařízení vlády č. 235/2016 Sb.) a vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva.

Disipace sluneční energie – Přerozdělení sluneční energie výparem a kondenzací, při kterém hraje významnou úlohu voda a vegetace v krajině. Ideální podmínky pro disipaci sluneční energie představují rozsáhlé plochy vegetace (mokřady, lesy, louky) s vysokým výparem, častými srážkami a doplňováním hladiny podzemní vody (tzv. malý vodní cyklus).

Dlouhodobý průměrný průtok – Průměrný průtok za celou dobu pozorování (m^3/s).

Doba koncentrace – Doba doběhu odtoku z hydraulicky nejvzdálenějšího místa povodí do uvažovaného profilu.

Dočasné louky – Dočasně zatravněná orná půda.

Dráha soustředěného povrchového odtoku – Přirozená linie v terénu, kde dochází k soustřeďování odtoku o malé hloubce. Vzniká z plošného povrchového odtoku.

Drén ojedinělý – Drén odvádějící vodu do odvodňovacího příkopu nebo odpadu z ojedinělého vývěru nebo místně zamokřené menší územní části.

Drén záchytný – Drén k zachycení cizí podzemní vody vedený po obvodě zájmového území.

Drenáž – Kryté odvodňovací zařízení upravující vodní režim pod povrchem (s výjimkou vsakovací drenáže). Drenáž tvoří drenážní rýha vyplněná dobře propustným materiálem a drenážní potrubí, které je uložené na dně rýhy. Podle vedení oproti vrstevnicím může být drenáž buď podélná, příčná nebo protisměrná.

Drenážní skupina – Sběrné a svodné drény náležející k jedné drenážní výusti nebo k jednomu zaústění do krytého odvodňovacího kanálu podpovrchového (trubního) zemědělského odvodnění. Může obsahovat několik drenážních souřadů.

Drenážní souřad – Nejmenší plošná jednotka podpovrchového (trubního) zemědělského odvodnění (resp. podrobného odvodňovacího zařízení). Obsahuje jeden svodný drén a několik do něj zaústěných sběrných drénů, případně jednu (zpravidla) drenážní výusť.

Drenážní šachtice – Stavební prvek na drenáži, kde jsou vyústěny svodné drény. Slouží jako kontrolní prvky nebo jako prvky snižující spád svodných drénů.

Drenážní výusť – Drenážní objekt umožňující vyústění hlavních drénů do odvodňovacího příkopu, kanálu nebo odpadu.

Druh pozemků – Orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, louky, pastviny, lesní pozemky, vodní plochy, zastavěné plochy a nádvoří, ostatní plochy. Druhy pozemků jsou charakterizovány v příloze vyhlášky Českého ústavu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK) č. 190/1996 Sb., kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem.

E

Ekosystém – Funkční soustava živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací, a které se vzájemně ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase.

Eroze – Rozrušování zemského povrchu vodou, větrem, sněhem, ledem a ostatními exogenními silami, popř. zesilované činností člověka, spojené s přemísťováním a ukládáním uvolněného materiálu.

Eroze boční – Působí hlavně na středním toku a vytváří zákruty, meandry a břehové nátrže.

Eroze hloubková – Působí převážně na horním toku a formuje strmé svahy údolí ve tvaru písmene „V".

Eroze plošná – Vodní eroze, při níž dochází k odnosu půdních částic určité velikosti (eroze selektivní), ke smyvu půdní vrstvy (eroze vrstvená), vytvoření husté sítě úzkých zářezů v půdním povrchu (eroze rýžková) nebo sítě mělkých širších zářezů o menší hustotě (eroze brázdová).

Eroze proudová – Eroze, při níž dochází k rozrušování dna a boků koryt vodním proudem (v řekách – eroze fluviální, v bystřinách – eroze bystřinná).

Eroze výmolná – Vodní eroze, při níž dochází v půdním povrchu ke vzniku zářezů různé hloubky (podle stupně vývoje – eroze rýhová, eroze výmolová, eroze stržová).

Erozně uzavřený celek – Souvislé území s lokálně uzavřeným erozním procesem, tj. denudací, transportem a akumulací půdy.

Erozní rýha – Více nebo méně hluboká rýha v povrchu půdy na svažitém terénu vzniklá erozní činností stékající srážkové vody.

Erozní sediment – Přemístěný erodovaný materiál usazený v nižších částech území na úpatí svahů nebo v hydrografické síti.

European Terrestrial Reference System (ETRS) – Geodetický referenční systém na celém území státu definovaný technologiemi kosmické geodézie a konstantami, které jsou součástí programů mezinárodních zpracovatelských center, referenčním rámcem vybraných bodů Systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a elipsoidem geodetického referenčního systému.

Evapotranspirace – Množství vody (ve formě páry) uvolněné do atmosféry rostlinami a z povrchu půdy. Skládá se z transpirace (dýchání rostlin) a evaporace (výpar z povrchu půdy). Nejčastěji se rozlišuje aktuální evapotranspirace (podle okamžitých meteorologických, půdních a vegetačních podmínek) a potenciální (nejvyšší možná při dostatku půdní vláhy).

Evapotranspirace aktuální – Souhrnný výpar vody z povrchu rostlin (transpirace) a z povrchu oceánů, vodních nádrží, toků a zemského povrchu (evaporace) do přilehlé vrstvy atmosféry. Závisí na momentálních meteorologických podmínkách, vegetačním období, stavu vegetace obecně a především pak na obsahu vody v půdě a její dostupnosti pro rostliny.

Evapotranspirace potenciální – Evapotranspirace daných atmosférických a půdních podmínek za předpokladu stálého dostatku půdní vláhy a optimálních podmínek pro vývoj rostlin (bez limitace vody v pletivech). Vzduch nad vypařujícím povrchem je nasycený vodní parou.

F

Fluviální – Říční.

Fugát – Tekutá složka separace digestátu s vysokým obsahem minerálního dusíku užívaná jako hnojivo v zemědělské výrobě.

Fungicid – Přípravek na ochranu rostlin určený k potlačování původců houbových chorob rostlin.

Fytofarmacie – Nauka zabývající se výzkumem a použitím účinných látek k ochraně rostlin.

G

Geografický informační systém (GIS) – **1.** informační systém zabývající se informacemi, které se týkají jevů přidružených k místu vztaženému k Zemi; **2.** funkční celek vytvořený integrací technických a programových prostředků, dat, pracovních postupů, obsluhy, uživatelů a organizačního kontextu zaměřený na sběr, ukládání, správu, analýzu, syntézu a prezentaci prostorových dat pro potřeby popisu, analýzy, modelování a simulace okolního světa s cílem získat nové informace potřebné pro racionální správu a využívání tohoto světa.

Geomorfologická jednotka – Obecný termín pro hierarchickou úroveň geomorfologického členění Česka.

Geomorfologie – Věda zabývající se studiem tvarů, genezí a stářím zemského povrchu.

Glycidové pícniny – Pícniny s širším poměrem sacharidů a dusíkatých látek (trávy, kukuřice, obiloviny).

H

Herbicid – Přípravek na ochranu rostlin určený k potlačování plevelných rostlin.

Hladina podzemní vody – **1.** v geometrickém smyslu plocha horního ohraničení zvodně (volná hladina), napjatá hladina (viz hladina zvodně napjatá); **2.** v energetickém smyslu rovnovážná plocha odpovídající velikosti měrné energie podzemní vody, tj. plocha tvořená piezometrickými úrovněmi (statickými hladinami) myšlených vrtů do dané zvodně (výtlačná hladina, piezometrická hladina, potenciometrická hladina, volná hladina); **3.** hladina vody ve vrtu (statická hladina, dynamická hladina).

Hladina zvodně napjatá – Tlaková plocha horního omezení zvodně, kde se podzemní voda nalézá pod vyšším tlakem, než je tlak atmosférický.

Hladina zvodně volná – Hladina podzemní vody omezující shora nenapjatou zvodeň. Jde o plochu horního omezení zvodně, která je pod tlakem rovným tlaku atmosférickému.

Hlavní hydromeliorační zařízení (HMZ) – Soubor objektů pro: **1.** odvodnění – zařízení k odvádění nadbytečné vody z melioračního detailu do recipientu; **2.** pro závlahy – zařízení k odběru, přívodu, akumulaci a rozvodu závlahové vody.

Hlavní odvodňovací zařízení (HOZ) – Soubor objektů, které slouží k odvádění nadbytku povrchové a podzemní vody z pozemku, k provzdušňování půdy pozemku a k ochraně odvodňovaného pozemku před vnějšími vodami.

Hloubka drénů – Nejmenší svislá vzdálenost vnitřní spodní hrany drénů od půdního povrchu.

Hloubka hladiny podzemní vody – Svislá vzdálenost hladiny podzemní vody od terénu.

Hloubka půdního profilu – Je ohraničena hrubou zvětralinou, resp. maximální hloubkou dosahu pedogenetických procesů.

Holocén – Současná teplá poledová fáze, obdoba předešlých meziledových dob, která trvá přibližně 12 tisíc let.

Homogenita – Stejnorodost (např. půdy, horninového prostředí, kolektoru).

Hon – **1.** souvislá skupina pozemků v jednom katastrálním území obvykle označená pomístním jménem; **2.** základní článek (plošná jednotka), na kterém se pěstuje zpravidla jedna plodina.

Horizont půdní – Vrstva v půdním profilu vzniklá pedogenezí charakterizovaná shodnými morfologickými znaky s rozborovými hodnotami.

Hornina matečná – Hornina, z níž vzniká půda.

Horninové prostředí – Souhrn zemin (nejen půdy a zvětraliny, ale i antropogenní navážky), hornin, podzemní vody a půdního vzduchu v podloží zájmového území.

Horniny – Nerostné hmoty, z nichž je složena kůra zemská.

Hranice druhu pozemků – Hranice (spojnice lomových bodů) mezi pozemky různého druhu (např. orná půda, zahrada, trvalý travní porost, lesní pozemek, zastavěná plocha apod.).

Hydraulický gradient (sklon, spád) – Úbytek výšky tlakové čáry nad zvolenou srovnávací rovinou připadající na jednotku délky proudu ve směru proudění a vyjádřený sklonem tlakové čáry.

Hydrogeologická struktura – Část geologického prostředí, v níž nastává souvislý oběh podzemní vody. Určitá strukturní geologická jednotka (část geologického prostoru), která se liší od jiných částí geologického prostoru společným uceleným a spojitým oběhem podzemních vod (od oblasti napájení přes oblast tranzitu až po oblast odvodnění).

Hydrogeologický kolektor – Horninové těleso, jehož propustnost je ve srovnání s bezprostředně sousedícím horninovým prostředím o tolik větší, že se jím může gravitační voda pohybovat mnohem snadněji za jinak stejných hydraulických podmínek. Jde o prostředí umožňující významnou akumulaci, proudění či odběr podzemní vody. Existují jednoduché a složené kolektory.

Hydrogeologický objekt – Zpravidla vrt nebo studna, které zasahují do kolektoru podzemní vody a dají se využít k průzkumu nebo monitoringu podzemní vody nebo k jejímu čerpání.

Hydrografická síť – Soustava povrchových vodních útvarů v uvažovaném území.

Hydrologická bilance – Porovnání přírůstků a úbytků vody a změn vodních zásob v povodí, území nebo ve vodním útvaru za daný časový interval.

Hydromeliorace – Souhrn činností, staveb a zařízení zajišťujících zlepšení přírodních podmínek využívání půdy úpravou vodních poměrů v půdě. Hydromeliorace, coby součást meliorací, jsou vnímány jako multidisciplinární obor zahrnující problematiku odvodňování, závlah, protierozní ochrany půd, malých vodních nádrží a mokřadů, hrazení bystřin a strží, úpravy drobných vodních toků.

Hypodermický odtok – Podpovrchový odtok probíhající mělce pod povrchem terénu. Vzniká především díky vyšší hydraulické vodivosti a většímu množství pórů ve svrchních horizontech půdy. Převažující směr proudění je daný sklonem svahu (voda proudí paralelně s povrchem terénu). Rychlost proudění může být obdobná jako u povrchového odtoku. Může mít složku nenasyceného proudění i nasyceného proudění mělké podzemní vody.

CH

Charakteristika povodí α – Koeficient hodnotící tvar povodí (protáhlý, přechodný nebo vějířovitý).

I

Index změny – Představuje agregátní ukazatel hodnotící v daném území celkovou intenzitu vývoje využití ploch za řešené období. Zjednodušeně řečeno, udává, na kolika procentech daného území došlo mezi dvěma časovými horizonty ke změně využití ploch (nabývá hodnoty 0–100 %). Čím vyšší je výsledný index, tím byla změna struktury ploch v území intenzivnější.

Infiltrace – Obecně jde o proces vsakování vody skrze porézní materiál, zde především o proces vsakování do půdy, případně propustných hornin. Rychlost vsakování (infiltrace) v terénu závisí na sklonu, výskytu překážek, hydraulických charakteristikách povrchových a podpovrchových vrstev a také na okamžitém nasycení půdy (tedy aktuálním množství volných pórů). Měří se obvykle jako rychlost zasakování vody v m/s, m/den.

Infiltrační zóna – V horních částech subpovodí často bývá nižší sklon, půdní profil mělký a půdy spíše propustné. Předpokládá se proto, že zde převažuje infiltrace srážkové vody a svislé proudění do hlubších vrstev. Pohyb vody paralelně s povrchem svahu (povrchový i podpovrchový) je méně významný.

Insekticid – Přípravek na ochranu rostlin určený k potlačování živočišných škůdců rostlin ze třídy hmyzu.

Integrovaná ochrana rostlin (IOR) – Souhrn opatření, která po zvážení veškerých dostupných metod ochrany rostlin potlačují rozvoj populací škodlivých organismů, podporují přirozené mechanismy ochrany před škodlivými organismy a snižují rizika pro lidské zdraví a životní prostředí. IOR je součástí integrované produkce rostlin.

Inundační (záplavové) území – Území zasažené periodickým zaplavováním (inundací) během povodní vlivem vybřežení vody z koryta vodního toku.

Izolátor – Horninové těleso, jehož propustnost je ve srovnání s bezprostředně sousedícím horninovým prostředím o tolik menší, že gravitační voda se jím může pohybovat mnohem nesnadněji za jinak stejných hydraulických podmínek; je to horninové těleso s výrazně (řádově) nižší propustností, než je propustnost horninového prostředí v jeho bezprostředním sousedství.

Izotopická separace – Primární využití stabilních izotopů v hydrologii malých povodí. Jedná se o rozčlenění hydrografu na „starou vodu" (pre-event water), tj. vodu, která se v prostředí nacházela již před událostí a „novou vodu" (event water), tj. vodu, která pochází ze srážky, jež tuto událost vyvolala.

J

Jemná půdní frakce – Půdní částice menší než 2 mm. Dělí se na jílovité částice, prach, práškovitý písek a písek.

K

Kadomské (též assynthské) vrásnění – Orogenní cyklus probíhající ve starohorách (prekambrium) a prvohorách (paleozoikum), tedy mezi asi 750 a 530 miliony let.

Kanál – Otevřený nebo krytý umělý vodní tok.

Klasifikace obrazu – Způsob zjišťování objektů v obrazových datech a jejich přiřazení k určitému významu. Pomocí počítačového algoritmu, tzv. klasifikátoru, jsou v obrazových datech (letecké nebo družicové snímky) hledány objekty, např. plochy polí jednotlivých plodin, luk, pastvin, vodní plochy apod. Klasifikace obrazu může být buď řízená (je předem určen význam ploch určovaných v obraze), nebo neřízená (význam se přiřadí následně).

Koeficient (součinitel) hydraulické vodivosti K – Číselně se rovná darcyovské rychlosti při jednotkovém hydraulickém gradientu, má rozměr rychlosti a vyjadřuje se v m/s, již nepoužívaným synonymem je koeficient filtrace značený k, případně kf.

Koeficient antropogenního ovlivnění – Ukazuje míru lidského tlaku („vlivu“) na krajinu. Je spočítán jako poměr mezi výměrou ploch, jež jsou výsledkem intenzivní lidské činnosti (orná půda, trvalé kultury, zastavěné plochy a ostatní plochy) a ploch, které lze označit za bližší přírodě (lesy, louky, pastviny a vodní plochy).

Koeficient Ks – **1.** hodnotí souměrnost povodí, resp. porovnává plochu pravostranných a levostranných přítoků; **2.** vyjadřuje hydraulickou vodivost pro nasycené proudění a K(h) pro nenasycené podmínky.

Komplexní průzkum zemědělských půd (KPZP) – První systematický podklad zavádějící syntetické půdní jednotky a genetico-agronomickou klasifikaci. Pochází z 60. let a je základem pro Bonitovanou půdně ekologickou jednotku (BPEJ). Tímto základním půdoznaleckým podkladem jsou definovány tyto pojmy: genetický půdní typ (např. hnědá půda kyselá), půdní druh (zrnitost – např. písčitohlinitá), hloubka půdy (středně hluboká), skeletovitost půdy (kamenitost nebo štěrkovitost), vlhkost, resp. hydromorfismus.

Konfigurace terénu – Vertikální a horizontální členitost terénu.

Kontaminace – Přítomnost cizorodé nežádoucí látky (znečištění) v dané složce půdního nebo horninového prostředí (voda, půda, hornina, půdní atmosféra).

Kontaminant (polutant) – Cizorodá nežádoucí látka v dané složce půdního nebo horninového prostředí (voda, půda, hornina, půdní atmosféra).

Kulminační průtok – Největší vrcholový průtok u průtokové vlny.

L

Laktace – U skotu 305 dnů, období dojení od otelení po zaprahnutí před porodem dalšího telete.

Land cover – Popisuje stav krajinného (vegetačního) pokryvu Země.

Land use – Popisuje, jakým způsobem lidé využívají plochy a jejich socio-ekonomické činnosti v území. Důraz je kladen na funkční (ekonomické) využití prostoru člověkem.

Lesní půdní fond – Pozemky, které jsou podle příslušného obecně závazného předpisu trvale určeny k plnění funkcí lesa (tj. lesní porosty, pozemky, ze kterých byly lesní porosty dočasně odstraněny, pozemky bez lesních porostů sloužící lesnímu hospodářství, pozemky nad horní hranicí dřevinné vegetace s výjimkou pozemků zastavěných a jejich přístupových komunikací).

Louka – Pozemek porostlý travinami, z něhož hlavním výtěžkem je seno (tráva), i když se nahodile spásá nebo je za účelem zúrodnění rozorán.

M

Makroedafon – Soubor živočišných organismů, které žijí v půdě trvale (geobionti), po část vývojového cyklu, nebo náhodně (červi, měkkýši, členovci, obratlovci aj.).

Makropóry – Póry v půdě, které jsou významně větší (průřezovou plochou) než obvyklé póry v půdní matrici. Voda v nich proudí gravitačně (kapilární síly jsou nevýznamné). Běžný průměr makropórů je v řádech milimetrů – centimetrů. Nejčastěji to jsou chodbičky živočichů, odumřelé kořeny, praskliny v půdě apod.

Meandr – Zákrut řeky způsobený boční erozí se středovým úhlem oblouku větším než 180° (na rozdíl od zákrutu).

Mechanismy tvorby odtoku – Pro určité konkrétní povodí lze sledovat cesty vody od jejího dopadu na povrch až do okamžiku, kdy opustí plochu povodí jako odtok. Při tom se zkoumá, jak rychle, jakými cestami a podle jakých faktorů se odtok řídí. Z prostorového hlediska se rozlišují především mechanismy povrchového a podpovrchového odtoku, z hlediska časového pak rychlý odtok (bezprostředně při a po srážce) a pomalý odtok (po odeznění srážky a mezi jednotlivými srážkovými událostmi). Hlavní, převažující mechanismus tvorby odtoku pro dané povodí se může měnit v průběhu času i v závislosti na konkrétním místě v povodí.

Mechanizační přístupnost – Možnost použití zemědělské mechanizace s ohledem na velikost a tvar pozemku nebo honu a sklonitost terénu v souladu s předpisy o bezpečnosti práce.

Meliorace – Soubor biologických, technických a vodohospodářských opatření a činností směřujících k zachování nebo zlepšení půdních, vodohospodářských a mikroklimatických poměrů.

Meliorační detail odvodnění – Systém trubkové a krtčí drenáže, příkopů sběrných, svodných i záchytných daný rozchodem drenáže.

Meliorační kostra odvodnění – Jedná se o: **1.** vodní toky, které odvádějí povrchové i podzemní vody, a jejichž úprava kromě zúrodnění pozemků slouží i k jiným účelům (odvodnění obcí apod.), včetně objektů na nich (stupně, propustky apod.); **2.** čerpací stanice pro odvodnění; **3.** otevřené i kryté kanály odvádějící přebytečné vody ze sběrného území buď samostatně, nebo od drenážních systémů (trubková nebo krtčí drenáž, sběrné otevřené příkopy apod.), a to i na zavlažovacích pozemcích včetně objektů na nich.

Metabolit – Produkt látkové přeměny (metabolismu) určité látky (zde pesticidu), obvykle se jedná o malé molekuly nebo ligandy bílkovin, dělí se na primární a sekundární metabolity.

Mezirodová hybridizace – Vzájemné křížení různých rodů rostlin.

Mikroedafon – Rostlinné a živočišné mikroorganismy.

Mikropovodí drenážního systému – Oblast, ze které pochází voda transportovaná jednou nebo více drenážními skupinami. Rozvodnice mikropovodí většinou přibližně odpovídá orografické rozvodnici (rozvodnice povrchových vod) s přihlédnutím k místním morfologickým, hydrogeologickým, půdním a dalším podmínkám (související okolní přirozená/umělá drenáž). Velikost plochy mikropovodí se pohybuje od jednotek po desítky ha.

Mokřad – Lokalita s trvale vysokou hladinou vody charakterizovaná specifickou rostlinnou příp. živočišnou diverzitou.

Monitoring – Spojité nebo pravidelně opakované sledování vybraných parametrů, funkcí či změn určitého systému.

Monogastr – Zvíře s jednoduchým žaludkem (prasata, drůbež).

Morfografie – Kvalitativní (slovní) popis tvarů zemského povrchu nebo jejich zobrazení pomocí grafických prostředků (profily, fotografie atp.).

Morfometrie – Kvantitativní analýza tvarů zemského povrchu. Při morfometrické analýze jsou užity nejrůznější matematické, statistické a zobrazovací techniky – v dnešní době zejména v prostředí geografických informačních systémů (GIS). Příkladem je analýza sklonu svahů či jejich expozice vůči světovým stranám.

Mulčování – Rozdrcení a ponechání rostlinné hmoty na pokose.

N

N-letý průtok – Kulminační průtok, který je v uvažovaném profilu dosažen nebo překročen průměrně jednou za n let.

N-letá návrhová srážka – Množství vody v mm, s pravděpodobností výskytu 1× za n let, používaná pro návrh biotechnických opatření v povodí.

Nasycená zóna – Vrstva pod povrchem terénu, ve které jsou póry materiálu zcela zaplněny vodou. Tato vrstva je (zjednodušeně) vymezena shora hladinou podzemní vody a zdola nepropustnou vrstvou.

Návrhový průtok – Smluvený průtok použitý jako podklad pro navrhování vodohospodářských objektů, staveb, zásahů a opatření.
Nenasycená zóna – Vrstva pod povrchem terénu, ve které nejsou póry materiálu (půdy, substrátu, podloží) zcela zaplněny vodou. Tato vrstva je (zjednodušeně) vymezena shora povrchem terénu a zdola hladinou podzemní vody.
Neotektonika – Mladé tektonické pohyby, které působí na reliéf i v současnosti. Názory na časový rozsah neotektonických pohybů se liší, často se uvádí počátek těchto pohybů v mladších třetihorách (neogénu).
Niva – Plochá území podél vodního toku. Niva je charakterizována pedologicky a geomorfologicky (utvářením terénu), především však druhovým složením porostů, je spektrem typických (rostlinných) společenstev (doprovodné břehové porosty, společenstva vlhkomilných druhů rostlin – lužní lesy, pobřežní křoviny, rákosiny, porosty ostřic, nitrofilní společenstva vysokých bylin).

O

Oblast – Geomorfologická jednotka, hierarchicky nižší jednotka než subprovincie a zároveň vyšší než celek. Zpravidla je vymezena na základě morfostruktury a podobných orografických poměrů. V Česku existuje 28 geomorfologických oblastí.
Oblast klimatická – Přirozený region vymezený vlastnostmi podnebí podle základních klimatických charakteristik. V ČR je nejužívanější tzv. Quittova klasifikace a její variace.
Odtok celkový – Souhrn všech složek odtoku procházejících závěrovým profilem za daný časový interval; zpravidla se člení na přímý (tvořený povrchovým a hypodermickým odtokem), základní (tvořený vývěrem podzemních vod), případně odtokem přechodovým (tzv. interflow).
Odtok hypodermický – Složka celkového odtoku v hydrologické bilanci, která odtéká do sítě vodních toků bezprostředně pod povrchem terénu, aniž dosáhne hladiny podzemní vody.
Odtok podzemní vody – **1.** proudění podzemní vody vlivem hydraulického gradientu z oblasti napájení do oblasti výtoku; **2.** objem podzemní vody odteklé z povodí nebo z jiného územního celku za časovou jednotku.
Odtok povrchový – Složka celkového odtoku, která stéká z povodí do sítě vodních toků po povrchu reliéfu.
Odtokový koeficient – Poměr objemu vody odteklé (určitým profilem na vodním toku) vůči objemu vody ve srážce vypadlé na plochu povodí nad tímto profilem v určitém časovém úseku (např. jedna srážková událost a k ní vztažená odtoková vlna).
Odvodnění – Soubor opatření k odstranění nadbytku vody z půdy a jejího povrchu a k ochraně odvodňovaného území před zaplavením.
Odvodňovací kanál – Otevřený nebo krytý kanál odvádějící vodu z odvodňovaného území.
Odvodňovací příkop – Umělé otevřené odvodňovací zařízení k odvedení přebytečného množství povrchové nebo podzemní vody do odvodňovacího odpadu.
Ohrožená oblast – Oblast se zjištěným nadlimitním výskytem reziduí přípravků a jejich metabolitů v povrchové, podzemní nebo pitné vodě.
Ochrana půdy – Veřejný nadresortní zájem společnosti a státu, při kterém jde o racionální usměrnění hospodaření s tímto přírodním zdrojem, jenž má klíčovou roli v celém životním prostředí člověka. Z hlediska zemědělského jsou zvláště chráněné vysoce úrodné půdy (třídy ochrany), ale v současnosti jde o to, chápat ochranu půdy jako integrovaný, multidisciplinární obor, který vnímá půdu jako součást celých ekosystémů a přírodního prostředí.
Okrsek – Geomorfologická jednotka nižší úrovně, která je součástí podcelku a zahrnuje několik podokrsků. Je vymezen na základě stejné geneze a podobné nadmořské výšky. Některé okrsky se již dále nedělí. V Česku je vyčleněno 879 okrsků.
Orientace svahu – Základní morfometrická charakteristika. Vyjadřuje orientaci plochy svahu vůči světovým stranám, zpravidla ve stupních od severu ve směru hodinových ručiček.
Orná půda – Pozemky, na nichž se pravidelně pěstují zemědělské plodiny, pozemky dočasně zatravněné, pařeniště, skleníky a japany, pokud jsou na orné půdě.
Ortofotomapa – Mapa zachovávající fotografický obraz území tvořená jedním nebo montáží více ortofotosnímků (mozaikou) a opatřená dalšími náležitostmi mapy (souřadnicovou sítí, rámem mapy, popisem mapy atd.).
Osevní postup – Střídání plodin na orné půdě.

P

Parametry odvodňovacího detailu (návrhové) – Parametry, které musí splňovat stavba odvodnění, aby plnila svůj odvodňovací účinek; parametrem je zejména: rozchod souběžně vedených odvodňovacích prvků (drénů, příkopů), hloubka (příkopů nebo uložení drénů), sklon nivelety dna, průtočný profil, intenzita odvodnění (tj. schopnost odstranit nepříznivé zamokření v požadované době a s požadovanou zabezpečeností).
Pastvina – Pozemek porostlý travinami, který je určen k trvalému spásání.
Periglaciální procesy – Činitelé působící v blízkosti ledovce, tedy na našem území během pleistocénu. S těmito procesy je spojen vznik specifických tvarů reliéfu (tříděné půdy, mrazové sruby, kamenná moře apod.).
Perzistence – Schopnost chemického přípravku dlouhou dobu přetrvávat v původní aktivní formě až do vlastního rozpadu.
Pesticid – **1.** přípravek na ochranu rostlin, jak je definován v Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009; **2.** biocidní přípravek, jak je definován ve směrnici E Evropského parlamentu a Rady 98/8/ES ze dne 16. února 1998 o uvádění biocidních přípravků na trh. Jedná se o roztok složený ze dvou nebo více látek určený k tlumení a hubení rostlinných a živočišných škůdců. Může sloužit také k ochraně skladových zásob, technických produktů, bytů, domů, výrobních závodů nebo i zvířat a člověka. Nejvíce se pesticidy uplatňují v zemědělství.
Plaveniny – Jemnozrnné nerozpustné látky rozptýlené ve vodě, které jako produkty eroze a povrchového odtoku vstupují do povrchových vod a jsou neseny vodou.
Plošné odvodnění – Systematické odvodnění plošné, odvodnění souvisle zamokřeného území odvodňovacími prvky nebo jejich soustavou.
Podcelek – Geomorfologická jednotka střední úrovně, která je podřazená celku a nadřazená okrsku. Homogenita reliéfu je zpravidla vyšší než u celku. V Česku je vymezeno 256 podcelků.
Podokrsek – Geomorfologická jednotka nižší úrovně, která je součástí okrsku a zahrnuje několik částí. Výrazně se svým charakterem liší od okolních jednotek. Relativně velké množství podokrsků se již dále nedělí.
Podrobné odvodňovací zařízení (POZ) – Soubor objektů přímo na odvodněném pozemku: u podpovrchového odvodnění jde zpravidla o systém drenážního potrubí včetně objektů na něm – drenážních šachtic, drenážních výustí; u povrchového odvodnění jde o sběrné příkopy a objekty na nich atd.
Podzemní voda – Voda v kapalném skupenství přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení (v saturované zóně) v přímém styku s horninami; za podzemní vodu se považuje též voda protékající drenážními systémy a voda ve studních. Z hlediska hydrogeologie je za podzemní vodu obvykle považována i voda vyskytující se pod zemským povrchem mimo saturovanou zónu, tedy v kapilární třásni a v nesaturované zóně. Občas se používá nesprávný termín spodní voda.
Pokryvnost porostů – Podíl plochy zakryté porostem.
Potok – Vodní tok s říčním nebo bystřinným prouděním, pro který platí informativní vztahy: $Q90d < 0{,}6\ m^3/s$, $Q330d < 0{,}2\ m^3/s$.
Povodí – Území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká sítí vodních toků (případně jezer) do moře v jednom vyústění nebo deltě vodního toku (území ohraničené rozvodnicí, ze kterého odtéká voda jedním hydrologickým profilem; místo na toku, kterému zjištěné povodí přísluší).

Povrchová voda – Přirozeně se vyskytující voda na zemském povrchu. Tento charakter neztrácí, protéká-li přechodně zakrytým úsekem, přirozenou dutinou pod zemským povrchem nebo v nadzemním vedení. Srážková voda (plynná, tekutá nebo pevná) se stává vodou povrchovou až při dotyku s povrchem zemským. Povrchovou vodou je také voda tekoucí po povrchu země, zadržená v umělých nádržích či přirozených depresích.

Povrchové odvodnění – Odvodnění zamokřeného nebo zaplaveného území soustavou otevřených odvodňovacích příkopů a kanálů.

Pozemek – Část přirozeného zemského povrchu oddělená od sousedních částí správní, vlastnickou nebo užívací hranicí nebo hranicí druhu pozemku, popřípadě rozhraním způsobu využívání pozemku (pozemek tedy není parcela).

Pór (průlina) – Dutina přírodního původu v hornině. V širším slova smyslu jsou to všechny volné prostory v hornině (průliny, pukliny, kaverny); podle velikosti dělíme póry na gravitační obsahující gravitační vodu, kapilární s vodou vázanou kapilárními silami a subkapilární, kde převládá voda vázaná adsorpčními silami.

Pramen – Přirozený soustředěný vývěr podzemní vody na zemský povrch nebo pod hladinou povrchového hydrologického útvaru.

Prameniště – **1.** území se soustředěným výskytem pramenů, které jsou ve vzájemném hydrologickém vztahu; **2.** nevhodné označování jímacího území ve vodárenském slangu.

Pramenní jímka – Objekt zachycující ojedinělé pramenní vývěry, voda je z jímky odváděna drénem.

Preemergentní použití – Znamená použití herbicidu po zasetí a před vzejitím.

Preferenční cesty – (Obecně) relativně omezené zóny v půdě, kterými voda proudí výrazně rychleji než okolní půdou. Nejčastěji je tvoří makropóry (chodbičky živočichů, kořeny, praskliny), případně lokální spojité zóny propustnějšího materiálu.

Preferenční proudění – Preferenčními cestami voda proudí do hlubších vrstev významně rychleji než okolní půdní matricí. To má dopad na infiltraci vody do půdy a celkovou odtokovou odezvu. Preferenční proudění může převádět značný objem srážkové vody až k hladině podzemní vody, aniž by se významně měnila vlhkost ve většině objemu půdní matrice. Preferenční proudění (např. chodbičkami živočichů) může také vytvářet soustředěné podpovrchové proudění i na vzdálenosti desítek metrů.

Proplavené živiny – Živiny, které se rozpuštěné ve vodě vsákly hluboko do půdy, kde jsou rostlinám nedosažitelné a mohou znečišťovat podzemní zdroje vody.

Propustnost – Vlastnost půdy a horninového prostředí propouštět tekutiny účinkem hydraulického gradientu, vyjadřuje se v m^2.

Protierozní hrázka – Nižší hráz pro ochranu pozemků a objektů před zaplavením vodou a před smyvem půdy; v kombinaci s příkopem nebo průlehem zvětšuje záchytný prostor.

Protierozní mez – Mez vedoucí rovnoběžně s vrstevnicema sloužící protierozní ochraně.

Protierozní záchytný příkop – Příkop sloužící k zadržení a neškodnému odvádění povrchové vody a sedimentů; z funkčního hlediska se protierozní záchytné příkopy dělí na obvodové a sběrné.

Provincie – Geomorfologická jednotka vyššího řádu; sdružuje subprovincie a je součástí subsystému. V Česku jsou vymezeny čtyři subprovincie.

Průleh – Mělký široký příkop s mírným sklonem svahů, v němž se povrchově stékající voda a splaveniny zachycují a neškodně odvádějí; z funkčního hlediska se průlehy dělí na záchytné a svodné a vsakovací.

Průleh vsakovací – Mělký příkop s plochým sklonem svahů, v němž se zachycená povrchově stékající voda vsakuje do půdy.

Průtok – Množství vody protékající daným profilem za časovou jednotku (m^3/s, l/s), značí se Q.

Předsrážková „stará“ voda – Voda, která je přítomná v povodí před vypadnutím příčinné srážky. Především jde o vodu podpovrchovou (obsaženou v pórech a puklinách půdy, substrátu a podloží), která se případně může začít pohybovat a stát se součástí odtokové vlny. Rozlišuje se od „nové“ vody, tedy vody pocházející přímo z příčinné srážky.

Přehrážka – Příčný objekt z různých materiálů v korytě vodního toku nebo strže, vytvářející prostor pro zachycení splavenin a zmenšení sklonu dna nad objektem.

Příčiny zamokření – Činitelé způsobující zamokření půdy; mohou mít charakter místní, oblastní i kombinovaný (poměry hydrologické, orografické, geologické, morfologické, hydropedologické, hydrogeologické, agrobiologické, technické, klimatické apod.).

Příkop – Odvodňovací prvek, který slouží k podélnému odvodnění polní cesty a k odvedení povrchově odtékající vody z okolních pozemků. V některých případech může mít i funkci protierozního opatření.

Přípravek na ochranu rostlin – Směs nebo roztok složený ze dvou nebo více látek a určený pro použití jako přípravky na ochranu rostlin.

Přírodě blízká opatření – Využívají přirozeného potenciálu krajiny ke zvýšení retence a akumulace vody na zemědělském půdním fondu (ZPF). Mimo jiné zahrnují ozelenění, zatravnění, tvorbu mokřadů a celou škálu melioračních opatření.

Půda – Přírodní útvar vzniklý na rozhraní litosféry s atmosférou nebo s hydrosférou součinností pedogenetických faktorů.

Půdní blok – Dříve používaný termín pro zemědělský pozemek využívaný stejným způsobem a ve stejném druhu podle bývalé evidence nemovitosti střediska geodézie. Vznikl souhrnnými pozemkovými úpravami v letech 1960–1989 při snaze o co největší výměry pozemků bez respektování půdně ekologické diverzity půdního pokryvu. Půdní bloky lze v současné době zjednodušeně chápat jako pozemky jednoho druhu v mapě katastru nemovitostí (KN), které zachycují současný stav v terénu.

Půdní druh – Klasifikační jednotka půdy podle zrnitostního složení. Kategorie zrnitosti (textury) půdy se určuje podle zastoupení třech velikostních kategorií minerálních půdních částic – písku, prachu a jílu; např. lehké půdy v druzích písčité, hlinitopísčité, středně těžké půdy písčitohlinité a hlinité a těžké půdy jílovitohlinité a jílovité. Nejčastějším nástrojem k určení půdního druhu je zrnitostní trojúhelník.

Půdní kryt – Soubor půdních typů (subtypů) v prostoru, který se vyznačuje specifickým uspořádáním. Názvy půdních jednotek zobrazují půdní asociace, nazvané podle převažujícího půdního typu.

Půdní matrice – Lze ji zjednodušeně popsat jako půdní materiál (tvořený pevnými částicemi, vodou a vzduchem v pórech), ve kterém nejsou obsaženy makropóry a jiné významné singularity měnící charakteristiky proudění vody.

Půdní profil – Soubor genetických půdních horizontů patrných na svislém řezu půdou.

Půdní typ – Hlavní jednotka klasifikačního systému charakterizovaná určitými diagnostickými horizonty a jejich sekvencemi nebo diagnostickými znaky.

Půdní voda – Část podpovrchové vody obsažené v půdě bez ohledu na skupenství, zpravidla nevytváří souvislou hladinu; dělí se na vodu adsorpční, kapilární a gravitační; vytváří celkovou vlhkost půdy včetně volné vodní páry obsažené v půdních pórech.

Puklinová propustnost – Propustnost horninového prostředí daná existencí vzájemně propojených puklin, kterými může proudit tekutina pod vlivem hydraulického gradientu.

R

Rada vzájemné hospodářské pomoci (RVHP) – Obchodní organizace sdružující v době studené války socialistické státy sovětského bloku (1949–1991).

Relevantní metabolit – Metabolit se považuje za významný (relevantní), existuje-li předpoklad, že jeho přirozené vlastnosti jsou srovnatelné s vlastnostmi mateřské látky, pokud jde o účinek na biologický cíl nebo jestliže představuje pro organismy vyšší riziko než mateřská látka nebo riziko srovnatelné anebo když má určité toxikologické vlastnosti, jež jsou považovány za nepřijatelné.

Reliéf – Plocha, na níž dochází ke styku vnějších (exogenních) a vnitřních (endogenních) geomorfologických pochodů.

Retardace – Zpomalení odtoku z povodí vlivem přirozených nebo umělých faktorů. Retardační schopnost povodí ovlivňuje povodňové průtoky ve smyslu zmenšení okamžitých povodňových průtoků a prodloužení doby jejich trvání.

Retence vody – Je definována v ČSN 75 0101, Vodní hospodářství – Základní terminologie jako dočasné přirozené nebo umělé zadržení vody na povrchu terénu, v půdě, v korytě toku, vodní nádrži apod.; taktéž je tak nazýván objem vody takto dočasně zadržené. Obecně jde o rozdíl přítoku do uvažovaného prostoru a odtoku z něho za časovou jednotku. Celková přirozená retence vody v určitém povodí se skládá ze složky povrchové (voda zachycená na povrchu terénu a v korytě toku), půdní (voda zadržená v půdních pórech a infiltrující do hlubších vrstev), podzemní (voda zvyšující zásobu podzemní vody) a evapotranspirační (intercepce, transpirace z povrchu vegetace a výpar z povrchu půdy).

Retenční kapacita půdy – V literatuře lze nalézt různé přístupy a definice pojmu retenční kapacita půdy – podle kontextu oblasti lidské činnosti, ve které je pojem používán. Může znamenat schopnost půdy udržet určitý objem vody (ve smyslu hydrolimitů používaných v hydropedologii a agrotechnice). Může také označovat maximální objem vody v půdě při plném nasycení (plná vodní kapacita). Nakonec může také popisovat celkové množství vody, která infiltruje do půdy před tím, než začne odtok vody z daného půdního profilu.

Retenční vodní kapacita (RVK) – V rámci Komplexního průzkumu zemědělské půdy (KPZP) na území ČSSR byly stanovovány na půdních vzorcích hodnoty ukazatele (hydrolimitu) nazvaného Retenční vodní kapacita. Ten má charakterizovat množství vody, které zůstane zachyceno v půdních pórech poté, co z plně nasyceného půdního profilu odteče všechna voda uvolněná působením gravitace.

Reziduum – Látka přítomná v rostlinách či rostlinných produktech nebo na jejich povrchu, v jedlých produktech živočišného původu nebo v pitné vodě anebo jinde v životním prostředí v důsledku používání přípravků na ochranu rostlin, včetně metabolitů těchto přípravků a produktů vznikajících při jejich rozkladu nebo reakci.

Režim podzemní vody – Souhrn zákonitostí změn kvantitativních a kvalitativních charakteristik podzemní vody v čase a prostoru.

Rodenticid – Přípravek na ochranu rostlin určený k potlačování hlodavců jako škůdců rostlin.

Rozvodnice – Čára ohraničující povodí procházející nejvyššími topografickými body území, jedná se o hranici mezi dvěma povodími.

Rozvodnice podzemní vody – Myšlená linie procházející nejvyššími body piezometrické hladiny podzemní vody a rozdělující proudy podzemní vody; odděluje jednotlivá hydrogeologická povodí; může mít odlišný průběh od geografické (orografické) rozvodnice.

Ř

Řád vodního toku – Číslo udávající počet posloupných zaústění od moře.

Řádovost vodních toků podle Strahlera – Vyjádření hierarchie vodních toků v rámci říční sítě. Pramenné úseky jsou vodní toky prvního řádu. Vyšší řád vzniká na soutoku dvou vodních toků stejného řádu. Jedná se o relativní řádovost.

Řeka – Přirozený vodní tok. Ve srovnání s potokem má obvykle větší průtok, délku a rozlohu povodí. Tok řeky můžeme rozdělit do tří částí: horní tok (s převahou eroze, s minimem usazenin, říční údolí má tvar písmene „V"), střední tok (projevuje se zde eroze i sedimentace, říční koryto má tvar „U".), dolní tok (s převahou sedimentace, ploché údolí, vznikají zde rozsáhlé říční nivy).

S

Sběrný drén – Drén sbírající přebytečnou vodu ze zamokřeného půdního profilu a zaústěný do svodného drénu.

Sběrný odvodňovací příkop – Odvodňovací příkop sbírající vodu z přilehlého pruhu zamokřeného území; je vyústěn zpravidla do svodného odvodňovacího příkopu.

Sedimentační pás – Pás krytý porostem s omezenou účinností proti erozi a ochraně jakosti vody při méně intenzivních srážkách, při menších srážkových úhrnech zde dochází k zadržení smyvu půdy a usazování splavenin.

Sféricita (zakulacení) – Číslo, které vyjadřuje, do jaké míry je pozorovaná částice podobná kouli. U částic jehlovitého tvaru se hodnota blíží 0, u částic kulovitého tvaru dosahuje 1.

Sinuosita (křivolakost) – Poměr délky pozorovaného úseku toku k přímé spojnici počátku a konce pozorovaného úseku toku.

Sklon svahu – Základní morfometrická charakteristika. Úhel mezi plochou svahu a vodorovnou rovinou, nejčastěji ve stupních nebo procentech (vzácněji v radiánech).

Sněhová pokrývka – Souvislá vrstva sněhu charakterizovaná výškou v cm a vodní hodnotou v mm. Měření výšky probíhá minimálně jednou denně, v ČR v 7 hodin ráno, na všech srážkoměrných stanicích ČHMÚ, vodní hodnota je měřena minimálně jednou týdně na stanicích se souvislou sněhovou pokrývkou.

Snížení hladiny podzemní vody – Zvýšení hloubky hladiny podzemní vody pod terénem vlivem umělého zásahu, nejčastěji vlivem čerpání nebo drenáže.

Soustředěný povrchový odtok – Odtok srážkových vod po povrchu vytvářející rýžky, rýhy a strže. Místo nebo linie, spádnice, ve které dochází k odtoku vody z území nebo určitého geomorfologického útvaru.

Spektrální index – Aritmetická operace se dvěma nebo více spektrálními pásy (oblastmi elektromagnetického spektra). Využívají se pro zvýraznění, případně kvantifikaci určité vlastnosti povrchu nebo určitého jevu, jako je např. množství vegetace, vegetační stres, půdní vlastnosti apod.

Splaveniny – Hrubozrnné částice posunované a převalované po dně koryta vodním proudem.

Stabilní izotopy – Izotopy nepodléhající radioaktivnímu rozpadu. V hydrologii menších experimentálních povodí se dominantně uplatňují stabilní izotopy ^{18}O a ^{2}H, a to z několika důvodů: na rozdíl od rozpuštěných pevných látek a plynů jsou konzervativní. Především jejich sezonně proměnlivý vstup do hydrologického cyklu prostřednictvím srážek je závislý na řadě relativně snadno měřitelných meteorologických a geografických faktorů, mezi nimž je nejdůležitější teplota vzduchu. V neposlední řadě jsou důležité: jednoduchost odběru vzorků a relativně dostupné měření.

Stopovač – Stopovače jsou definovány jako hmota či energie unášená vodou, která je schopna podat informaci o směru a rychlosti toku vody stejně jako o toku látek, které mohou být vodou unášeny. Ideální stopovač je látka, která se ve zkoumaném systému chová stejně jako stopovaný materiál (s ohledem na zkoumané parametry) a zároveň má vlastnost, která ji odlišuje od stopovaného materiálu.

Struktura půdy – Uskupení základních půdních částic do agregátů, které se odlišují tvarem a svojí odolností k rozbití. Jako hlavní kategorie rozlišujeme strukturu kulovou, polyedrickou, prismatickou a destičkovou.

Střední část toku – Úsek vodního toku mezi horním a dolním tokem.

Střední doba zdržení – Průměrná doba, po kterou voda pobývá v povodí od infiltrace do jeho opuštění, resp. k místu odběru vzorku v některé části povodí. Její určení je společně se separací hydrografu klíčovou oblastí aplikace izotopových metod v hydrologii a zároveň oblastí, kde užití izotopů má rozhodující unikátní přínos pro poznání procesů, které v rámci běžných metod vodní bilance či simulace průtoků nejsou exaktně nebo vůbec měřitelné.

Subpovodí – Území vyznačené rozvodnicí. Jedná se o dílčí povodí povrchového vodního toku v rámci povodí IV. řádu. Velikost plochy

subpovodí se pohybuje od desítek po stovky jednotek ha, ze kterého odtéká povrchová voda do určitého místa (např. profilu měření na vodním toku). V tomto detailním prostorovém měřítku lze rozlišit jednotlivé mechanismy a příčinné vazby tvorby odtoku vody z povodí, které jsou v měřítku středních a velkých povodí překryty dalšími faktory a mechanismy.

Subprovincie – Geomorfologická jednotka obsahující oblasti; je součástí provincie. V Česku je vymezeno deset subprovincií.

Suk – Vyvýšenina různého tvaru a velikosti budovaná odolnější horninou a výrazně převyšující okolní reliéf.

Svodný drén – Svádí vodu ze sběrných drénů do hlavního nebo přímo do odvodňovacího kanálu nebo odpadu.

Svodný odvodňovací příkop – Odvodňovací příkop odvádějící vodu ze sběrných odvodňovacích příkopů do odvodňovacího kanálu nebo přímo do vodního recipientu.

Systém – Hierarchicky nejvyšší geomorfologická jednotka, v rámci níž se vyčleňují subsystémy. V Česku jsou vymezeny dva systémy.

Š

Štěrkovitost – Obsah štěrku v půdě vyjádřený v % objemu.

T

Teplota průměrná – Průměr teploty vzduchu měřené ve 2 m nad povrchem v meteorologické budce nebo ve speciálních zastíněných schránkách. Průměrná denní teplota je v ČR počítána ze tří měření v průběhu dne v 7, 14 a 21 hodin středního místního slunečního času.

Terasa – Umělý nebo přírodní terénní stupeň zmenšující sklon části svahu, umožňující jeho zemědělské využití a snižující nebezpečí vodní eroze; tvoří jej terasová plošina a terasový svah.

Tetraploidní odrůdy – Odrůdy s dvojnásobným počtem chromozomů, většinou vzrůstnější a výnosnější než běžné diploidní.

Toxicita – Vlastnost chemických sloučenin spočívající ve vyvolání otravy osob nebo zvířat, které látku požily, vdechly nebo vstřebaly kůží.

Transportní zóna – Ve střední části svahu je pohyb vody určován především sklonem terénu. Lze proto předpokládat, že převažuje proudění po povrchu a paralelně s terénem i pod povrchem.

Travopolní soustava – Extenzivní forma obdělávání půdy – pravidelné střídání polí a travnatých ploch, které převyšují plochy obdělávané. Pole se osévají několik let, ale kratší dobu, než po kterou leží ladem a regenerují (15–20 let). Uvedená soustava se rozšířila v oblastech, kde byl dostatek travnatých ploch přirozených nebo vzniklých činností člověka. Označuje se také jako přílohové zemědělství.

Trofismus půd – Minerální síla půd určovaná podle množství rostlinných živin v půdě, především obsahem přijatelných prvků Ca, Mg, P, K a Na.

Trojpolní hospodaření – Trojhonné hospodářství, trojhonný systém – způsob obdělávání půdy ve vrcholném a pozdním středověku. Veškeré polnosti se rozdělily na tři části. Na první části se zasely jařiny, na druhé ozimy a třetí část ležela ladem (úhor). Obdělávání polí se opakovalo v pravidelném cyklu a podřizovali se mu všichni hospodáři ve vsi.

Trvalé travní porosty – Louky a pastviny.

Tvorba odtoku – obecně jde o souhrn procesů, kdy srážková voda dopadající na plochu určitého povodí a voda, která se na území povodí již nachází, se v ploše povodí pohybují a nakonec z něj odtékají. Nejčastěji se uvažuje odtok povrchový, koncentrovaný ve vodních tocích (např. povodňová vlna), zatímco o odtoku podpovrchovém (proudění nenasycenou zónou a proudění podzemní vody) máme obvykle málo informací.

Typologie krajinných změn – (Tzv. Slovinská metodika) vyjadřuje čtyři základní typy změn využití ploch ve sledovaném období: **1.** zalesňování (největší přírůstek lesních ploch), **2.** zatravňování (největší přírůstek travních porostů), **3.** intenzifikace rolnictví (největší přírůstek orné půdy a trvalých kultur) a **4.** jiné změny (největší přírůstek zastavěných, ostatních a vodních ploch). Každý z uvedených čtyř typů můžeme dále rozlišit podle jeho síly/dominance v řešeném území: změna silná (více než 75 % přírůstků bylo daného typu), průměrná (50–75 %) a slabá (méně než 50 %).

Typologie sumárních kategorií – Zemědělský půdní fond (ZPF), lesní, jiné plochy nebo zemědělsky využívané plochy (orná půda, trvalé kultury, trvalé travní porosty) vychází z vyhodnocení přírůstku (včetně stagnace, +) či úbytků rozlohy (–) jednotlivých ploch a jejich kombinací. Vymezujeme hlavní typy proměn využívání krajiny ve sledovaném období.

Ú

Úhorový systém hospodaření – Střídání obiloviny, okopaniny a úhoru na jednom pozemku.

Úhrn srážek – Množství tekutých a/nebo pevných srážek spadlých na zemský povrch a vyjádřené v mm vodního sloupce (1 mm odpovídá 1 litru na m^2) za stanovený časový interval. V ČR je denní úhrn měřený v 7 hodin ráno následujícího dne.

Uložení do klidu (set-aside) – Dočasné zakonzervování půdy v období, kdy nemůže být z ekonomických důvodů využita pro produkci.

Unášecí síla vody – Síla, kterou proudící voda namáhá dno a boky koryta; jestliže je větší než odpor tření, dá se materiál koryta do pohybu. Označuje se písmenem „U“.

Úvoz – Polní cesta v obousměrném zářezu terénu.

V

Variské (též hercynské) vrásnění – Orogenní cyklus probíhající v prvohorách (paleozoiku), a to mezi devonem a permem (před 390–310 miliony let), během kterého vznikl pás pohoří táhnoucí se od jižní Anglie až po Český masiv.

Vegetační kryt – Souvislé rostlinné společenstvo pokrývající půdu.

Víceleté pícniny – Pícniny pěstované na více let vegetace (jeteloviny, trávy, jetelovinotravní směsi).

Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW) – Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni definovaná referenční hodnota poměru $^{18}O/^{16}O$ a $^{2}H/^{1}H$ ve vodě. Proměnlivost množství těchto izotopů ve sledované vodě je popsána jako relativní úbytek těžších izotopů vůči tomuto standardu, vyjádřený jako tzv. delta hodnoty.

Vodárenská nádrž – Vodní nádrž určená k zásobování pitnou a užitkovou vodou.

Vodní eroze – Rozrušování zemského povrchu vodou spojené s přemísťováním a ukládáním uvolněného materiálu.

Vodní nádrž – Vodní útvar vzniklý akumulací vody v přívodní prohlubni nebo uměle vytvořeném prostoru na zemském povrchu, ve kterém se zdržuje nebo zpomaluje odtok vody z povodí.

Vodní plocha – Pozemky na nichž jsou vodní toky, vodní nádrže, močály nebo bažiny.

Vodní tok – Vodní útvar, pro který je charakteristický stálý nebo dočasný pohyb vody v korytě ve směru celkového sklonu, a který je napájen z vlastního povodí nebo z jiného vodního útvaru (bystřiny, potoky, řeky, průplavy, vodní kanály, nádrže a slepá ramena vodních toků).

Vodní útvar – Vymezené významné soustředění povrchových či podzemních vod v určitém prostředí. Je charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrologického režimu. Vodní útvary se člení na útvary povrchových a útvary podzemních vod.

Vodní zdroj – Povrchové či podzemní vody, které jsou využívány nebo mohou být využívány pro uspokojování potřeb člověka, zejména pro pitné účely.
Vratný odtok – Povrchový odtok vody, která nejdříve proudila pod povrchem a poté byla nucena vystoupit na povrch terénu (např. v prohlubních terénu kvůli méně propustnému materiálu nebo kvůli úplnému nasycení určité oblasti v povodí).
Vsakovací pás – Pás krytý porostem s účinnou odolností proti erozi, na němž dochází jednak k zachycení vody stékající z území ležícího výše, jednak vody na tento pás spadlé.
Vsakovací příkop – Příkop k zachycení povrchové vody založený bez spádu nebo v mírném sklonu, v němž vsakuje voda do půdy.
Vydatnost pramene – Množství podzemní vody vyvěrající z pramene za časovou jednotku (obvykle sekundu).
Výpar – Objem nebo výška vrstvy vypařované vody vztažena k určitému časovému intervalu a určité ploše.
Vývěr – Jev nebo proces vytékání podzemní vody na zemský povrch.
Vývojový index – Vyjadřuje procentuální změnu rozlohy dané kategorie v období mezi dvěma zvolenými časovými horizonty. Pokud má index hodnoty vyšší než 100, tak došlo k nárůstu ploch sledované kategorie, při 100 – rozloha se ve sledovaném období nezměnila a pokud je index menší než 100, pak došlo k úbytku plochy sledované kategorie.

Z

Záchytný odvodňovací příkop – Otevřené odvodňovací zařízení, které slouží k podchycení a odvádění vnějších (cizích) vod přitékajících z přilehlých výše položených pozemků v povodí.
Základní báze geografických dat (ZABAGED) – Digitální topologicko-vektorový topografický model území České republiky, odvozený z mapového obrazu Základní mapy ČR 1 : 10 000 (ZM 10) v souřadnicovém systému JTSK a výškovém systému baltském – po vyrovnání.
Základní mapa ČR – Mapa měřítka 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000 nebo 1 : 200 000 vzniklá odvozením z topografického mapování České republiky z let 1957–1972; mapa je vyhotovena v souřadnicovém systému JTSK ve speciálním kladu mapových listů, odpovídajícímu usnesení vlády ČSSR č. 327/1968 Sb.
Zamokření půdy – Nadměrná vlhkost půdy, jejímž důsledkem je kvantitativní a kvalitativní poškození pěstovaných plodin; v rámci oboru odvodňování se stanovují příčiny a zdroje zamokření, dále i topografie zamokření a časový charakter zamokření.
Zaoblení – Vyjadřuje stupeň opracování hran klastů v sedimentu.
Zasakovací drén – Drén opatřený propustným zásypem do úrovně terénu umožňující infiltraci povrchové vody.
Zasakovací jímka – Objekt opatřený propustným zásypem do úrovně terénu umožňující infiltraci povrchové vody.
Zasakovací pás – Zatravněný pás orné půdy pro zpomalení stékající povrchové vody a umožnění jejího vsaku do půdy.
Zatravnění – Ochrana povrchu terénu travním porostem.
Zelený úhor – Porost cíleně založený pro uložení půdy do klidu.
Zemědělský pozemek – Pozemek zařazený do zemědělského půdního fondu.
Zemědělský půdní fond (ZPF) – Obhospodařovaná zemědělská půda, dále půda, která byla a má být nadále obhospodařovaná, ale dočasně je odňatá zemědělské výrobě, nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby (např. polní cesty, pozemky se zařízením důležitým pro polní závlahy, závlahové vodní nádrže apod.) a rybníky určené k chovu ryb a vodní drůbeže.
Zemina – Vrstva horniny na zemském povrchu, jejíž částice nejsou vzájemně pevně spojeny nebo zpevněny; jde o pojem nadřazený pojmu půda.
Změna druhu pozemku – Právní akt v návaznosti na katastr nemovitostí a agrotechnický nebo biologický zásah, který zásadně mění využívání půdy, trvalého porostu a celého geobiocénu vyplňujícího pozemek. Tato uvědomělá změna se děje na základě vymezených a uzákoněných limitů a kritérií.
Zoocid – Přípravek na ochranu rostlin určený k potlačování živočišných škůdců rostlin.
Zpoždění odtokové odezvy – Odtoková vlna, která je zaznamenána během srážkoodtokové události, obvykle dosahuje maxima (nejvyššího průtoku) s určitým zpožděním vůči průběhu srážky. Lze pak měřit časový rozdíl (zpoždění) času prvního zvýšení odtoku od začátku deště, nebo zpoždění kulminace odtoku vůči času nejvyšší intenzity srážky apod. Často se jako charakteristika zpoždění odtokové odezvy určitého povodí používá časový rozdíl mezi výskytem maximálního průtoku a časem odpovídajícím vypočtenému těžišti srážkového úhrnu.
Způsob využití pozemku – Skutečné využívání pozemku v rámci jeho druhu.
Zranitelnost půdy – Vyjadřuje její ekologickou schopnost nebo neschopnost odolávat vlivu degradačních procesů. Kvantifikace zranitelnosti jako kvality půdy je vyjádřená souborem vlastností půdy a stanoviště (erodovatelnost, ovlivnění podzemní vody dusíkem a pesticidními látkami, nebezpečí vstupu cizorodých látek do potravního řetězce, ztráta úrodnosti a další). Každá půda a stanoviště mají svoji reálnou mez snesitelné zátěže, do které je schopna plnit své rozhodující funkce.
Zvodeň – Souvislá akumulace podzemní vody v hornině vytvářející hydraulicky jednotné těleso (vodní útvar) v pásmu nasycení; zvodeň může být s volnou nebo napjatou hladinou.
Zvodeň s napjatou hladinou – Akumulace podzemní vody, která se vyznačuje vyšším hydrostatickým tlakem v úrovni hladiny, než je atmosférický tlak.
Zvodeň s volnou hladinou – Akumulace podzemní vody, jejíž hladina (svrchní omezení) je pod tlakem atmosférickým.

Ž

Živina – Látka, prvek nebo složka (zde zejména v půdě) potřebná pro růst a vývoj rostlin a živočichů.

SEZNAM LITERATURY

A

ABER, J. D., NADELHOFFER, K. J., STEUDLER, P., MELILLO, J. M., 1989. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *BioScience*, **39** (6), 378–386. ISSN 0006-3568

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M., 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper, 56. Rome: FAO. 301 p. ISBN 92-5-104219-5

B

BEVEN, K., 2001. *Rainfall-runoff modelling. The primer.* Lancaster University, UK: Wiley-Blackwell. 488 p. ISBN 978-0-470-71459-1

BEVEN, K., 1991. Modeling preferential flow. An uncertain future? In: GISH, T. J. and SHIRMOHAMMADI, A. (eds.). *Preferential flow. Proceedings of the National Symposium.* Chicago, Illinois, USA. 1–11.

BEVEN, K., ZOUNY, P., ROMANOWICZ, R., O'CONNELL, E., EWEN, J., O'DONNELL, G., HOMAN, I., POSTHUMU, H., MORFIA, J., HOLLIS, J., ROSE, S., LAMB, R., ARCHEM, D., 2008. Final report: *Analysis of historical datasets to look for impacts of land use and management change on flood generation.* FD2120. London: Defra R&D.

BIČÍK, I., 1995. Analýza dat o využití půdy k hodnocení dlouhodobých změn krajiny. *Geographia Slovaca*, 10, 25–29. ISSN 1210-3519

BIČÍK, I., JANČÁK, V., 2005. *Transformační procesy v českém zemědělství po roce 1990.* Praha: Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. 103 s. ISBN 80-86561-19-4

BIČÍK, I., KUPKOVÁ, L., 2002. Long term changes in land use in Czechia based on the quality of agricultural land. In: BIČÍK, I., CHROMÝ, P., JANČÁK, V., JANŮ, H. (eds.). *Land use / Land cover Changes in the Period of Globalization. Proceedings of the IGU-LUCC. International Conference, Prague, 2001.* Prague: Charles University, Faculty of Science, Department of Social Geography and Regional Development. 31–43. ISBN 978-80-86561-04-2

BIČÍK, I., GÖTZ, A., JANČÁK, V., JELEČEK, V., MEJSNAROVÁ, L., ŠTĚPÁNEK, V., 1996. Land use / Land cover changes in the Czech Republic 1845–1995. *Geografie – Sborník České geografické společnosti*, **101** (2), 92–109. ISSN 1213-1075

BIČÍK, I., JANOUŠEK, Z., JELEČEK, L., KABRDA, J., KUPKOVÁ, L., ŠTYCH, P., WINKLEROVÁ, J., 2015. *Land Use Changes in the Czech Republic 1845–2010. Socio-Economic Driving Forces.* Springer. 215 p. ISBN 9783319176703

BIČÍK, I., JELEČEK, L., KABRDA, J., KUPKOVÁ, L., LIPSKÝ, Z., MAREŠ, P., ŠEFRNA, L., ŠTYCH, P., WINKLEROVÁ, J., 2010. *Vývoj využití ploch v Česku.* Praha: Česká geografická společnost. 250 s. ISBN 978-80-904521-3-8

BIČÍK, I., JELEČEK, L., ŠTĚPÁNEK, V., 2001. Land use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries. *Land Use Policy*, **18** (1), 65–73. ISSN 0264-8377

BIO Intelligence Service 2014. *Soil and water in a changing environment.* Final Report prepared for European Commission (DG ENV), with support from HydroLogic. Dostupné z doi: 10.2779/20608

BROWN, C. B., 1944. Discussion of Sedimentation in Reservoirs by Witzig, B. J. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **109**, 1 080–1 086.

BROWN, C. D., VAN BEINUM, W., 2009. Pesticide transport via sub--surface drains in Europe. *Environmental Pollution*, **157** (12), 3 314–3 324. ISSN 0269-7491

BRUNE, G. M., 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Transactions, American Geophysical Union*, **34** (3), 407–418. ISSN 0096-3941

C

CONSTANTIN, J., BEAUDOIN, N., LAUNAY, M., DUVAL, J., MARY, B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: Test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **147** (1), 36–46. ISSN 0167-8809

CREMLYN, R. J. W., 1985. *Pesticidy.* Překlad: Seifert, R. Praha: SNTL. 244 s.

Č

ČSN 73 6510, 1985. Vodní hospodářství. Základní vodohospodářské názvosloví. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření. 36 s.

ČSN 73 6532, 1984. Vodní hospodářství. Názvosloví hydrogeologie. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření. 36 s.

ČSN 75 0101, 2003. Vodní hospodářství – Základní terminologie. Praha: Český normalizační institut. 28 s.

ČSN 75 0121, 2003. Vodní hospodářství – Terminologie vodních toků. Praha: Český normalizační institut. 36 s.

ČSN 75 2410, 2011. Malé vodní nádrže. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 48 s.

ČSN 75 4100, 1993. Průzkum pro meliorační opatření na zemědělských půdách. Základní ustanovení. Praha: Český normalizační institut. 12 s.

ČSN 75 4200, 1994. Hydromeliorace. Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním. Praha: Český normalizační institut. 72 s.

ČSN 75 5115, 2010. Jímání podzemní vody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 32 s.

Statistická ročenka republiky Československé 1948, 1948. Praha: Státní úřad statistický. 375 s.

D

DEMELA, J., 1955. *Praktické lukařství.* Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 242 s.

DENDY, F. E., CHAMPION, W., A., 1978. *Sediment Deposition in US Reservoirs. Summary of Data Reported Through 1975.* Hyattsville, Meryland: United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service. Miscellaneous publication no. 1362. 82 p.

DIKAU, R., BRABB, E. E., MARK, R. K., PIKE, R. J., 1995. Morphometric landform analysis of New Mexico. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, **101**, 109–126. ISSN 0372-8854

DOLEŽAL, F., KVÍTEK, T., 2004. The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **29** (11–12), 775–785. ISSN 1474-7065

DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., PETERKOVÁ, J., SOUKUP, M., TIPPL, M., 2003. Influence of drained lands on water quantity and quality in foothill agricultural basins of Bohemia. In: VERHOEST, N., HUDSON, J., HOEBEN, R., DE TROCH, F. *Monitoring and modelling catchment water quantity and quality. 8th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB). Ghent (Belgium), 27 – 29 September 2000. IHP-VI, Technical Documents in Hydrology*, 66, 29–35. Paris: UNESCO.

DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., KVÍTEK, T., SOUKUP, M., ČMELÍK, M., FUČÍK, P., NOVÁK, P., PETERKOVÁ, J., PILNÁ, E., PRAŽÁK, P., TIPPL, M., UHLÍŘOVÁ, J., ZAVADIL, J., 2006. Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. *Journal of Hydrology and Hydromechanics,* **54** (2), 217–229. ISSN 0042-790X

DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., KULHAVÝ, Z., 2003. Bilanční odhady příspěvku odvodňovacích soustav k průběhu povodní. I. teorie. *Soil and Water*, **2**, 7–20. Praha: VÚMOP, v. v. i.

DUFFKOVÁ, R., ZAJÍČEK, A., NOVÁKOVÁ, E., 2011. Actual evapotranspiration from partially tile-drained fields as influenced by soil properties, terrain and crop. *Soil and Water Research*, **6** (3), 131–146. ISSN 1801-5395

E

European Environment Agency, 2011. *Air Quality in Europe – 2011 Report. Technical Report, 12.* Copenhagen: EEA. 84 p. ISBN 978-92-9213-232-3

F

FAO, 2000. *Land-Water Linkages in Rural Watersheds. Electronic workshop. Conclusions and Recommendations.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FENELON, J. M., MOORE, R. C., 1998. transport of agrichemicals to ground and surface water in a small central Indiana watershed. *Journal of Environmental Quality,* **27** (4), 884–894. ISSN 0047-2425

FERDA, J., 1963. Hydrologický význam rašelinišť. *Vodní hospodářství*, 5, 162–165. ISSN 1211-0760

FERDA, J., 1960. Hydrologický význam horských vrchovištních rašelinišť. *Lesnictví – Sborník ČSAZV*, **10**, 835–856.

FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J., 1971. Odtokový režim a chemismus vod v povodí horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu*, 17, 22–126. Praha: Hydrometeorologický ústav. 192 s. ISBN 978-80-87577-27-1

FIALA, L., SLÁDEČKOVÁ, A., PORTOVÁ, E., 1961. Jakost vody v údolní přehradě Fláje v prvém roce napouštění. *Vodní hospodářství*, 5, 221–225. ISSN 1211-0760

FUČÍK, P., KVÍTEK, T., LEXA, M., NOVÁK, P., BÍLKOVÁ, A., 2008. Assessing the stream water quality dynamics in connection with land use in agricultural catchments of different scales. *Soil and Water Research*, **3** (3), 98–112. ISSN 1801-5395

FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., DUFFKOVÁ, R., KVÍTEK, T., 2015. Water quality of agricultural drainage systems in the Czech Republic – Options for its improvement. Dostupné z doi: 10.5772/59298. In: LEE, T. S.(ed.). *Research and Practices in Water Quality,* 11, 241–262. InTech. 270 p. ISBN 978-953-51-2163-3

G

GABROVEC, M., KLADNIK, D., 1997. Some new aspects of land use in Slovenia. *Acta Geographica – Geografski zbornik*, **37**, 7–64. ISSN 0373-4498

GABROVEC, M., PETEK, F., KLADNIK, D., 2001. Land Use Changes in the 20th Century in Slovenia. In: HIMIYAMA, Y. et al. (eds.). *Land Use/ Cover Changes in Selected Regions in the World*, **1**, 41–52. Asahikawa: IGU Commission on LUCC. Dostupné z http://www.historickageografie.cz/atlasy-lucc

Gemeindelexikon von Böhmen, 1905. Bd. IX, Bd. X, Mähren, Bd. XI. Wien: Schlesien. Dostupné z http://www.antikvariaty.cz/index.php?action=ShowImages&id=438725

GRAHAM, D. N., BUTTS, M. B., 2005. Flexible, Integrated Watershed Modelling with MIKE SHE. In: SINGH, V. P. and FREVERT, D. K. (eds.). *Watershed Models.* 245–272. 678. CRC Press, Taylor & Francis. ISBN 0-8493-3609-0.

GUSTAFSON, D. I., 1989. Groundwater Ubiquity Score: A Simple Method for Assessing Pesticide Leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **8** (4), 339–357. ISSN 0730-7268.

H

HAMMOND, E. H., 1964. Analysis of Properties in Land Form Geography: An Application to Broad-Scale Land Form Mapping. *Annals of the Association of American Geographers*, **54** (1), 11–19. ISSN 0004-5608.

HAUCK, J., SCHLEYER, CH., WINKLER, K. J., MAES, J., 2014. Shades of Greening: Reviewing the Impact of the New EU Agricultural Policy on Ecosystem Services. *Change Adaptation Socio-Ecological Systems*, **1**, 51–62. ISSN 2300-3669.

HEJNÁK, J., 2004. *Geologické podklady pro krajinotvorné programy.* Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. 148 s. ISBN 80-7212-321-1

HEJZLAR, J., KOPÁČEK, J., DOBIÁŠOVÁ, B., ŽALOUDÍK, J., 2004. Uplatnění ekohydrologických principů při řízení zemědělsky využívaného povodí podle rámcové Vodní směrnice EU (2000/60/EU). *Collection of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in České Budějovice. Series for Crop Sciences*, **21** (3), 261–264. ISSN 1212-0731

HELSEL, D. R., HIRSCH, R. M., 2002. *Statistical Methods in Water Resources. Book 4 – Hydrologic Analysis and Interpretation. Chapter A3. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey.* U. S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 510 p.

HENDL, J., 2004. *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat.* Praha: Portál. 583 s. ISBN 80-7178-820-1

HESS, T. M., HOLMAN, I. P., ROSE, S. C., ROSOLOVA, Z., PARROTT, A., 2010. Estimating the impact of rural land management changes on catchment runoff generation in england and wales. *Hydrological Processes*, **24** (10), 1 357–1 368. ISSN 0885-6087

HRNČÍŘ, M., ŠANDA, M., KULASOVÁ, A., CÍSLEROVÁ, M., 2010. Runoff formation in a small catchment at hillslope and catchment scales. *Hydrological Processes*, **24** (16), 2 248–2 256. ISSN 0885-6087

HRUŠKA, J., JOHNSON, CH. E., KRÁM, P., 1996. Role of organic solutes in the chemistry of acid-impacted bog waters of the western Czech Republic. *Water Resources Research*, **32** (9), 2 841–2 851. ISSN 0043-1397

HRUŠKA, J., KÖHLER, S. J., BISHOP, K., 1999. Buffering processes in a boreal dissolved organic carbon-rich stream during experimental acidification. *Environmental Pollution*, **106** (1), 55–65. ISSN 0269-7491

CH

CHURCHILL, M. A., 1948. Discussion of paper by Gottschalk, L. C. Analyses and Use of Reservoir Sedimentation Data. In: *Proceedings of the Federal Inter-Agency Sedimentation Conference.* U. S. Geological Survey, Denver, Colorado. 139–140.

J

JANČÁK, V., GÖTZ, A., 1997. *Územní diferenciace českého zemědělství a její vývoj.* Praha: Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy. 81 s.

JANDERKOVÁ, J., ŠEFRNA, L., MACKŮ, J., SÁŇKA, M., TOMÁŠEK, M., NOVÁK, P., 1999. *Systém komplexního hodnocení půd.* VaV/640/3/1999. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky.

JANEČEK, M., BOHUSLÁVEK, J., DUMBROVSKÝ, M., GERGEL, J., HRÁDEK, F., KOVÁŘ, P., KUBÁTOVÁ, E., PASÁK, V., PIVCOVÁ, J., TIPPL, M., TOMAN, F., TOMANOVÁ, O., VÁŠKA, J., 2005. *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Metodika. Praha: VÚMOP, v. v. i. 195 s. ISBN 80-86642-38-0

JANEČEK, M., DOSTÁL, T., DUMBROVSKÝ, M., HŮLA, J., KADLEC, V., KONEČNÁ, J., KOVÁŘ, P., KUBÁTOVÁ, E., KOBZOVÁ, D., KUDRNÁČOVÁ, M., NOVOTNÝ, I., PODHRÁZSKÁ, J., PRAŽAN, J., PROCHÁZKOVÁ, E., STŘEDOVÁ, H., TOMAN, F., VOPRAVIL, J., VLASÁK, J., 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí.* Metodika. Praha: Powerprint, s. r. o. 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9

JANGLOVÁ, R., KVÍTEK, T., NOVÁK, P., 2003. Kategorizace infiltrační kapacity půd na základě geoinformatického zpracování dat půdních průzkumů. *Soil and Water*, **2**, 61–82. Praha: VÚMOP, v. v. i.

JANSKÝ, B., 2003. Water retention in river basins. *Acta Universitatis Carolinae Geographica*, **38** (2), 173–183. ISSN 0300-5402

JANSKÝ, B., KOCUM, J., 2007. Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. 308–315. In: LANGHAMMER, J. (ed.). *Povodně a změny v krajině.* 307–316. Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a Ministerstvo životního prostředí ČR. 350 s. ISBN 978-80-86561-86-8

JELEČEK, L., 2006. Development of Modern Cadastre and Cadastral Mapping: Cadastre as Major Information Source of LUCC Research in Czechia. *Acta Geographica Universitatis Comenianae*, **49**, 37–51. ISSN 1338-6034.

JELEČEK, L., 1985. *Zemědělství a půdní fond v Čechách ve 2. polovině 19. století.* Praha: Academia. 284 s.

JIRKŮ, V., KODEŠOVÁ, R., NIKODEM, A., MÜHLHANSELOVÁ, M., ŽIGOVÁ, A., 2013. Temporal Variability of Structure and Hydraulic Properties of topsoil of three soil types. *Geoderma*, 204–205, 43–58. ISSN 0016-7061.

JŮVA, K., 1957. *Odvodňování půdy*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 526 s.

K

KETTNER, R., 1954. *Všeobecná geologie.* Praha: Nakladatelství Československé akademie věd. 462 s.

KLADIVKO, E. J., BROWN, L. C., BAKER, J. L., 2001. Pesticide transport to subsurface tile drains in humid regions of North America. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **31** (1), 1–62. ISSN 1064-3389

KLÍPA, V., ZUMR, D., SNĚHOTA, M., TACHECÍ, P., 2014. Comparison of Seasonal Changes of Unsaturated Hydraulic Conductivity on Two Agricultural Catchments. In: *21th International Poster Day: Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System.* Bratislava 13. 11. 2014.

KOCUM, J., JANSKÝ, B., 2008. Possibilities of headwaters retention potential enhancement – case study upper Otava River basin. In: BRILLY, M. and ŠRAJ, M. (eds.). *XXIV th Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management* [CD-ROM]. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP UNESCO. Bled, 13. ISBN 978-961-91090-2-1

KOCUM, J., JANSKÝ, B., 2007. Water retention in river headstream areas as an instrument of integrated flood protection and drought problem solving. In: *XXIV. General Assembly of IUGG. Earth: Our Changing Planet.* Perugia, Italy: USMA. 887 p. ISBN 978-88-95852-25-4

KODEŠ, V., 2017. Pesticidy v podzemních vodách ČR. Jablonné nad Orlicí: *Podzemní vody ve vodárenské praxi*. Dostupné z www.vak.cz/soubory/Sbornik2017/Kodes.pdf

KODEŠOVÁ, R., VIGNOZZI, N., ROHOŠKOVÁ, M., HÁJKOVÁ, T., KOČÁREK, M., PAGLIAI, M., KOZÁK, J., ŠIMŮNEK, J., 2009. Impact of varying soil structure on transport processes in different diagnostic horizons of three soil types. *Journal of Contaminant Hydrology,* **104**, 107–125. ISSN 0169-7722

KOMÁREK, S., 2015. *Evropa na rozcestí.* Praha: Academia. 400 s. ISBN 978-80-200-2510-4

KOUBOVÁ, D., 2005. Funkce půdy ve vztahu k fytotoxicitě herbicidů. *Agrochémia*, **9** (3), 10–13. ISSN 0002-1830

KRÁSA, J., 2004. *Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS.* Doktorská dizertační práce. Praha: ČVUT. 176 s.

KRÁSA, J., ROSENDORF, P., HEJZLAR, J., BOROVEC, J., DOSTÁL, T., DAVID, V., ANSORGE, L., DURAS, J., JANOTOVÁ, B., BAUER, M., DEVÁTÝ, J., STROUHAL, L., VRÁNA, K., FIALA, D., 2013. *Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy.* Certifikovaná metodika pro praxi. Praha: ČVUT. 58 s. ISBN 978-80-01-05428-4

KREČMER, V., FOJT, V., 1984. Intercepce smrčin chlumní oblasti. *Vodohospodářský časopis*, **29** (1), 33–49.

KULASOVÁ, B., ŠERCL, P., BOHÁČ, M., 2004. *Projekt QD1368 Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní.* Závěrečná zpráva. Praha: ČHMÚ. 127 s.

KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F., FUČÍK, P., KULHAVÝ, F., KVÍTEK, T., MUZIKÁŘ, R., SOUKUP, M., ŠVIHLA, V., 2007. Management of agricultural drainage systems in the Czech Republic. *Irrigation and Drainage*, 56, 141–149. ISSN 1531-0361. Dostupné z doi:10.1002/ird.339

KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F., SOUKUP, M., 2001. *Separace složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů.* Vědecké práce, 12, 29–52. Praha: VÚMOP, v. v. i.

KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P., TLAPÁKOVÁ, L., 2011. *Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v prioritních osách 1 a 6.* Metodická příručka pro žadatele OPŽP. Praha: VÚMOP, v. v. i.

KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P., TLAPÁKOVÁ, L., SOUKUP, M., ČMELÍK, M., HEJDUK, T., MARTÁK, P., STEHLÍK, M., PAVEL, M., 2013. *Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině.* Certifikovaná metodická příručka pro žadatele OPŽP. Praha: MŽP ČR a VÚMOP, v. v. i. 79 s. ISBN 978-80-7212-589-0

KUNG, K. J., STEENHUIS, T. S., KLADIVKO, E. J., GISH, T. J., BUBENZER, G., HELLING, C. S., 2000. Impact of preferential flow on the transport of adsorbing and non-adsorbing tracers. *Soil Science Society of America Journal*, **64** (4), 1 290–1 295. ISSN 0361-5995

KUPKOVÁ, L., 2001. *Analýza vývoje české kulturní krajiny v období 1845–2000.* Dizertační práce. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. 218 s.

KVÍTEK, T., 2015. Povodně, sucho, eroze, jakost povrchové a podzemní vody, hladiny podzemních vod a společný ukazatel – malá retence vody v krajině. *Pozemkové úpravy*, 12, 4–10. ISSN 1214-5815

KVÍTEK, T., 2013. Povodně a příliš rychlá voda. *Hospodářské noviny*, 25. 7. 2013.

KVÍTEK, T., KRÁTKÝ, M., 2016. Informace o projektu Povodí Vltavy, státní podnik k problematice plošných zemědělských zdrojů znečištění v procesu plánování v oblasti vod. *Vodní hospodářství*, 9, 19–21. 6319 ISSN 1211-0760

KVÍTEK, T., NOVÁK, P., 1995. *Rozpracování rozvahy rozsahu ochrany v povodí Želivky z titulu zvýšené ochrany vod.* Praha: VÚMOP, v. v. i. 31 s.

KVÍTEK, T., BÍLKOVÁ, A., DOLEŽAL, F., DUFFKOVÁ, R., FUČÍK, P., FIALA, J., GAISLER, J., HEJDUK, S., HRABĚ, F., JANGLOVÁ, R., KOUTNÁ, K., KOUTNÝ, R., LEXA, M., MICHLÍČEK, E., MRKVIČKA, J., NOVÁK, P., NOVOTNÁ, J., OBERHELOVÁ, J., PRAŽAN, J., SLAVÍK, J., SVOBODOVÁ, M., ŠANTRŮČEK, J., ŠPATKA, J., TACHECÍ, P., VACEK, J., VOLDŘICHOVÁ, J., ZAVADIL, J., 2005. *Uplatnění systému alternativního managementu ochrany půdy a vody v krajině.* Metodika. Praha: VÚMOP, v. v. i. 90 s. ISBN 80-239-5350-8

KVÍTEK, T., BÍLKOVÁ, A., DUFFKOVÁ, R., FUČÍK, P., LEXA, M., NOVÁK, P., VOLDŘICHOVÁ, J., 2004. *Zásady managementu využívání zón diferencované ochrany trvalými travnatými porosty v povodí vodárenských nádrží.* Praha: VÚMOP, v. v. i. 59 s. ISBN 80-239-3136-9

KVÍTEK T., BYSTŘICKÝ, V., DUFFKOVÁ, R., MORAVCOVÁ, J., PAVLÍČEK, T., PETERKOVÁ, J., POMIJE, T., TACHECÍ, P., ZAJÍČEK, A., ŽLÁBEK, P., 2012. *Modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentraci dusičnanů.* Metodika. Praha: VÚMOP, v. v. i. 89 s. ISBN 978-80-87361-17-7

KVÍTEK, T., FUČÍK, P., NOVÁK, P., NOVOTNÝ, I., KAPLICKÁ, M., ŽÍŽALA, D., 2008. *Identifikace potenciálních zdrojových lokalit plošného zemědělského znečištění – standardizovaný podklad pro projektování komplexních pozemkových úprav.* Metodika. Praha: VÚMOP, v. v. i. 34 s. ISBN 978-80-904027-3-7

KVÍTEK, T., HÁLOVÁ, G., MATĚJKOVÁ, J., MRKVIČKA, J., ŠANTRŮČEK, J., ŠEFRNA, L., RAIS, I., VAŇKOVÁ, L., 1995. *Zásady delimitace kultur a využívání travních porostů v útlumových extenzivních podmínkách.* Metodika. 15. Praha: VÚMOP, v. v. i. 36 s.

KVÍTEK, T., HEJNÁK, J., KNEŽEK, M., JUST, T., 1994. *Změna rozsahu a členění PHO.* Praha: VÚMOP, v. v. i. 42 s.

KVÍTEK, T., KULHAVÝ, Z., KOUTNÝ, L., TOMAN, F., 2016. Stanovisko Odboru vodního hospodářství České akademie zemědělských věd k některým názorům a současným problémům vodního režimu české krajiny. *Vodní hospodářství*, 3, 23–24. 6319 ISSN 1211-0760

KVÍTEK, T., NOVÁK, P., POCHYLÝ, J., 1995. *Výběr lokalit diferencované ochrany půdy a vody (vodárenská nádrž Švihov).* Praha: VÚMOP, v. v. i. 32 s.

KVÍTEK, T., NOVÁK, P., POCHYLÝ, J., 1994. *Studie uplatnění geografického informačního systému a jeho založení, včetně ekonomiky v povodí vodních zdrojů.* Praha: VÚMOP, v. v. i. 35 s.

KVÍTEK, T., NOVÁK, P., POCHYLÝ, J., HAMÁČEK, O., ZOHORNA, J., 1998. *Návrh ochranných pásem a zón diferencované ochrany půdy a vody v povodí VN Švihov – II. etapa.* Textová a mapová dokumentace. Praha: VÚMOP, v. v. i.

KVÍTEK, T., NOVÁK, P., POCHYLÝ, J. a kol., 1997. *Návrh zón diferencované ochrany půdy a vody v povodí VN Švihov – I. etapa.* Textová a mapová dokumentace. Praha: VÚMOP, v. v. i.

KVÍTEK, T., NOVÁK, P., ZAVADIL, J., 1995. *Založení GIS pro vodní hospodářství – vodárenské povodí Želivka.* Praha: VÚMOP, v. v. i. 70 s.

KVÍTEK, T., ŽLÁBEK, P., BYSTŘICKÝ, V., FUČÍK, P, LEXA, M., GERGEL, J., NOVÁK, P., ONDR, P., 2009. Changes of nitrate concentrations in surface waters influenced by land use in the crystalline complex of the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth*, **34**, 10. ISSN 1474–7065

L

LACEY, G. C., GRAYSON, R. B., 1998. Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology,* **204**, 231–250.

LEMKE, A. M., KIRKHAM, K. G., LINDENBAUM, T. T., HERBERT, M. E., TEAR, T. H., PERRY, W. L., HERKERT, J. R., 2011. Evaluating agricultural best management practices in tile-drained subwatersheds of the Mackinaw River, Illinois. *Journal of Environmental Quality*, **40** (4), 1 215–1 228. ISSN 0047-2425. Dostupné z doi:10.2134/jeq2010.0119

LEXA, M., KVÍTEK, T., HEJZLAR, J., FUČÍK, P., 2006. Vliv drenážních systémů na koncentrace dusičnanů v povrchových vodách v povodí VN Švihov. *Vodní hospodářství,* 8, 246–250. 6319 ISSN 1211-0760

LICHNER Ľ., ŠÍR, M., TESAŘ, M., 2004. Testování retenční schopnosti půdy. In: *Aktuality Šumavského výzkumu II: sborník z konference,* Srní, 4.–7. října 2004, Správa NP a CHKO Šumava, 63–67. ISBN802-394-3251

LIŠKA, M., FUČÍK, P., DOBIÁŠ, J., WILDOVÁ, P., KOŽELUH, M., VÁLEK, J., SOUKUPOVÁ, K., ZAJÍČEK, A., 2015. Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů. *Vodní hospodářství*, **1**, 1–6. 6319 ISSN 1211-0760

LIŠKA, M., SOUKUPOVÁ, K., KULE, L., METELKOVÁ, A., KOŽELUH, M., 2015. Výskyt farmak v povrchových a odpadních povodí Vltavy „ve světle" konference Water and Health – Ženeva/Annemasse 2015. *Vodní hospodářství*, **11**, 1–5. 6319 ISSN 1211-0760

LOLL, P., MOLDRUP, P., 2000. Stochastic Analyses of Field-Scale Pesticide Leaching Risk as Influenced by Spatial Variability in Physical and Biochemical Parameters. *Water Resources Research*, **36** (4), 959–970. ISSN 0043-1397

LORENZ, M., BECHER, G. (eds.), 2012. *Forest Condition in Europe, 2012 Technical Report of ICP Forests.* Work Report of the Thünen Institute for World Forestry 2012/1. Hamburg: ICP Forests. 165 p.

LYNE, V. D., HOLLICK, M., 1979. Stochastic Time-Variable Rainfall-Runoff Modeling. In: *Hydrology and Water Resources Symposium, Institution of Engineers, Australia.* Perth, Australia. 89–92.

M

MARSHALL, M. R., BALLARD, C. E., FROGBROOK, Z. L., SOLLOWAY, I., MCINTYRE, N., REYNOLDS, B., WHEATER, H. S., 2014. The impact of rural land management changes on soil hydraulic properties and runoff processes: results from experimental plots in upland UK. *Hydrological Processes*, **28** (4), 2 617–2 629. Dostupné z doi: 10.1002/hyp.9826

MAŘAN, B., LHOTA, O., 1955. Příspěvek k hydrologickému významu rašelinišť. *Sborník ČZAV – Lesnictví*, 1.

MAŘAN, B., LHOTA, O., 1953. Mikroklima a povrchové odtoky na rašeliništi a v lese. *Sborník ČSAZV – Lesnictví*, **26** (1).

MASSEY, H. F., JACKSON, M. L., 1952. Selective erosion of soil fertility constituents. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 16, 353–356.

MAŠEK, F., 1948. *Pozemkový katastr. Soupis, popis a geometrické zobrazení pozemků ČSR.* Praha: Ministerstvo financí. 223 s.

MATHER, A. S., 2002. The reversal of land-use trends: the beginning of the reforestation of Europe. In: BIČÍK, I. et al. (eds.). *Land Use/Land Cover Changes in the Period of Globalization.* Proceedings of the IGU-LUCC International Conference, Prague 2001. Prague: Charles University, 23–30.

MEALS, D.,W., DRESSING, S. A., DAVENPORT, T. E., 2010. Lag time in water quality response to best management practices: A review. *Journal of Environmental Quality*, **39** (1), 85–96. ISSN 0047-2425. Dostupné z doi:10.2134/ jeq2009.0108

MÜLLER, K., DEURER, M., HARTMANN, H., BACH, M., SPITELLER, M., FREDE, H. G., 2003. Hydrological characterisation of pesticide loads using hydrograph separation at different scales in a German catchment. *Journal of Hydrology*, **273**, 1–17.

N

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009 ze dne 21. října 2009 o uvádění přípravků na ochranu rostlin na trh a o zrušení směrnic Rady 79/117/EHS a 91/414/EHS. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 309, 24. listopad 2009, 1–50. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=OJ:L:2009:309:TOC

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1185/2009 ze dne 25. listopadu 2009 o statistice pesticidů (Text s významem pro EHP). In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 324, 10. prosince 2009, 1–22. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1510456224983&uri=CELEX:32009R1185

Nařízení Komise (EU) č. 547/2011 ze dne 8. června 2011, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009, pokud jde o požadavky na označování přípravků na ochranu rostlin (Text s významem pro EHP). In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 155, 11. června 2011, 176–205. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32011R0547

Nařízení Rady (EEC) č. 1760/1987 ze dne 15. června 1987, k zemědělským strukturám, úpravám zemědělstvím vzhledem k situaci trhu a zachování venkova. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 167, 26. 6. 1987, 1–8. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1501757424053&uri=CELEX:31987R1760

Nařízení Rady (EEC) č. 2328/91 ze dne 15. července 1991 ke zlepšování efektivity zemědělských struktur. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 218, 6. 8. 1991, 1–21. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1501678472655&uri=CELEX:31991R2328

Nařízení Rady Evropských společenství č. 797/1985 ze dne 27. března 1981, o zlepšování efektivnosti zemědělských struktur. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 82, 28. 3. 1981, 10–11.

Nařízení vlády č. 102/1976 Sb., ze dne 19. srpna 1976, o odstraňování ekonomické újmy socialistických zemědělských organizací. In: *Sbírka zákonů Československé socialistické republiky*, 1976, částka 20, 501–503. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=102/1976&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Nařízení vlády č. 235/2016 Sb., ze dne 11. července 2016, kterým se mění Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů a nařízení České republiky*, 2016, částka 92, 3 490. Dostupné z http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_narizeni-vlady-2016-235-novela-262-2012.html

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., ze dne 4. července 2012, o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. In: *Sbírka zákonů a nařízení České republiky*, 2012, částka 89, 3370. Dostupné z http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_narizeni-vlady-2012-262.html

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., ze dne 14. prosince 2015, o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 2015, stejnopis částky č. 166, 5 442–5 502. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=401/2015&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

Nařízení vlády České socialistické republiky č. 10/1979 Sb., ze dne 10. ledna 1979, o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Brdy, Jablunkovsko, Krušné hory, Novohradské hory, Vsetínské vrchy a Žamberk-Králíky. In: *Sbírka zákonů a sbírka mezinárodních smluv*, 1979, stejnopis částky č. 2, 27–30. Dostupné z https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1979-10/zneni-19790401

Nařízení vlády České socialistické republiky č. 40/1978 Sb., ze dne 19. dubna 1978, o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Beskydy, Jeseníky, Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory, Šumava a Žďárské vrchy. In: *Sbírka zákonů a sbírka mezinárodních smluv*, 1978, stejnopis částky č. 9, 165–166. Dostupné z https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1978-40

Nařízení vlády České socialistické republiky č. 85/1981 Sb., ze dne 24. června 1981, o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvartér řeky Moravy. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 1981, stejnopis částky č. 22, 465–467. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=85/1981&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

NATHAN, R. J., MCMAHON, T. A., 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, **26** (7), 1 465–1 473. ISSN 0043-1397

NĚMEČEK, J., ROHOŠKOVÁ, M., MACKŮ, J., VOKOUN, J., VAVŘÍČEK, D., NOVÁK, P., 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky.* Praha: ČZU. 78 s. ISBN 80-238-8061-6

NIEHOFF, D., FRITSCH, U., BRONSTERT, A., 2002. Land-Use Impacts on Storm-Runoff Generation: Scenarios of Land-Use Change and Simulation of Hydrological Response in a Meso-Scale Catchment in SW-Germany. *Journal of Hydrology*, **267** (1–2), 80–93. ISSN 0022-1694

NIKONOROW, M., 1983. *Pesticídy a toxicita prostredia.* Bratislava: Príroda. 203 s.

NOVÁK, M., 1959. Výzkum kvality vody v údolní nádrži Lipno. *Vodní hospodářství,* 9, 378–383. 6319 ISSN 1211-0760

NOVÁK, P., 2007. *Analýza a mapování infiltračních a retenčních schopností půd České republiky*. VaV 1D/1/5/05. Praha: VÚMOP, v. v. i. 28 s.

NOVÁK, P., VOPRAVIL, J., LAGOVÁ, J., VETIŠKOVÁ, D., 2007. *Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR*. DÚ 01 Analýza a mapování infiltračních schopností půd ČR. Závěrečná zpráva VaV 1D/1/5/05. Praha: VÚMOP, v. v. i. 52 s.

NOVÁK, Z., 1955. Huminové vody ve vodách údolních nádrží. *Vodní hospodářství*, 4, 127–128. 6319 ISSN 1211-0760

NOVÁKOVÁ, E., KAROUS, M., ZAJÍČEK, A., KAROUSOVÁ, M., 2013. Evaluation of ground penetrating radar and vertical electrical sounding methods to determine soil horizons and bedrock at the locality Dehtáře. *Soil and Water Research*, **8** (3), 105–112. ISSN 1801-5395

NOVOTNÝ, I., ROŽNOVSKÝ, J., DOSTÁL, T., 2013. *Vytvoření mapy Regionalizace faktoru erozní účinnosti deště pro potřeby GAEC 2.* Závěrečná zpráva úkolu MZe ČR, VÚMOP, ČHMÚ a ČVUT v Praze.

O

O'CONNELL, E., EWEN, J., O'DONNELL, G., QUINN, P., 2007. Is there a link between agricultural land-use management and flooding? *Hydrology and Earth System Sciences*, **11** (1), 96–107. ISSN 1027-5606

O'CONNELL, P. E., BEVEN, K. J., CARNEY, J. N., CLEMENTS, R. O., EWEN, J., FOWLER, H., HARTUS, G. L., HOLLIS, J., O'DONNELL, G. M., PACKMAN, J. C., PARKIN, A., QUINN, P. F., ROSE, S. C., SHEPHERD, M., TELLIER, S., 2004. Review of impacts of rural land management on flood generation. Impact study report. London: Defra R&D. Technical Report FD2114/TR.
OECD, 2008. Czech Republic. In: *Environmental Performance of Agriculture at a Glance*. OECD Publishing. 126 p.

ONDERÍKOVÁ, V., ŠTĚRBOVÁ, A., 1956. Príspevok k biologii a chemizmu Oravskej nádrže. *Vodní hospodářství*, **6** (2), 46–51. 6319 ISSN 1211-0760

OULEHLE, F., JANSKÝ, B., 2003. Limnologie a hydrochemismus v NPR Rejvíz. In.: JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol., 2003. *Jezera České republiky. Současný stav geografického výzkumu*, 2003. 93–108. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. 216 s. ISBN 80-86561-05-4

P

PETRÁNEK, J. a kol. Geologická encyklopedie [online]. Dostupné z http: //www.geology. Cz/aplikace/ encyklopedie/term.pl

PITTER, P., 1999. *Hydrochemie.* Praha: Vydavatelství VŠCHT. 568 s. ISBN 80-7080-340-1

R

REICHENBERGER, S., BACH, M., SKITSCHAK, A., FREDE, H. G., 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment*, **384**, 1–35. ISSN 0048-9697

Ř

ŘÍHA, V., 1938. Jihočeské rašeliny, jejich vztah k lesu a okolí. In: *Sborník Masarykovy akademie práce, 12*. Praha: Masarykovy akademie práce. ISSN 2336-2480

S

SERRANO, S. E., 1997. *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals.* Lexington: HydroScience Inc. 452 p. ISBN 9780965564397

SHARPLEY, A. N., 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, **24** (5), 920–926. ISSN 0047-2425

SCHÖPP, W., POSCH, M., MYLONA, S., JOHANSSON, M., 2003. Long-term development of acid deposition (1880–2030) in sensitive freshwater regions in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, **7** (4), 436–446. ISSN 1027-5606

SCHREIBER, H., 1927. Moorkunde nach dem gegewärtigen Stande des Wissens auf Grund 30jährigen Erfahrung. Berlin: Verlag Parey. 126 p.

SITENSKÝ, F. L., 1886. *O rašelinách českých ze stanoviska přírodovědeckého i hospodářského. Se zřením ku rašelinám zemí sousedních.* Praha: Disertační práce c. k. česká univerzita Karlo-Ferdinandova.

Slovník důležitých pojmů. Slovník je převzat z metodického pokynu Ministerstva životního prostředí – Základní principy hydrogeologie z roku 2010. 11 s.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 327, 22. prosince 2000, 1–73. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:31982R3272

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES ze dne 21. října 2009, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů.

Směrnice Ministerstva zdravotnictví ČSR č. 51/1979 o základních hygienických zásadách pro stanovení, vymezení a využívání ochranných pásem vodních zdrojů určených k hromadnému zásobování pitnou a užitkovou vodou a pro zřizování vodárenských nádrží.

Směrnice Rady č. 75/268/EHS ze dne 28. dubna 1975 o zemědělském hospodaření v horských a v některých znevýhodněných oblastech. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 93, 30. března 1985, 1.

Směrnice Rady č. 91/676/EHS ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů. In: *Úřední věstník Evropské unie*, L 375, 31. prosince 1991, 1–8. Dostupné z http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=LEGISSUM:l28013

SNĚHOTA, M., JELÍNKOVÁ, V., SOBOTKOVÁ, M., SACHA, J., VONTOBEL, P., HOVIND, J., 2015. Water and entrapped air redistribution in heterogeneous sand sample: Quantitative neutron imaging of the process. *Water Resources Research*, **51** (2), 1 359–1 371. ISSN 0043-1397. Dostupné z doi:10.1002/2014WR015432

STRECK, T., POLETIKA, N., JURY, W. A., FARMER, W. J. 1995. Description of simazine transport with rate-limited, two-stage, linear and nonlinear sorption. *Water Resources Research*, **31** (4), 811–822. ISSN 0043-1397

STROUHAL, L., ZUMR, D., DAVID, V., KAVKA, P. 2014. Experimentální sledování a numerické modelování podpovrchového odtoku po zhutnělé podorniční vrstvě. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. (eds.). *Hydrologie malého povodí 2014.* Praha: Ústav hydrodynamiky AV ČR, v. v. i. 441–448. ISBN 978-80-02-02525-2

Š

ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š., BRÁZDIL, R., 1985. Denné úhrny srážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. In: *Zborník prác SHMÚ*, 24, 9–112. Bratislava: Alfa.

ŠANDA, M., CÍSLEROVÁ, M., 2000. Observation of subsurface hillslope flow processes in the Jizera Mountains region, Czech Republic. In: ELIAS, V., LITTLEWOOD, I. G., 2000. *Catchment hydrological and biochemical processes in the changing environment. IHP-VI, Technical documents in hydrology*, 37, 265–272. Paris: UNESCO.

ŠANDA, M., CÍSLEROVÁ, M., 2009. Transforming hydrographs in the hillslope subsurface. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **57** (4), 264–275. ISSN 0042-790X

ŠÁLEK, M., KAPLICKÁ, M., KVÍTEK, T., 2008. Silná bouře na Pelhřimovsku dne 23. května 2005. *Metorologické zprávy*, **61** (4), 113–118. ISSN 0026-1173.

ŠEDA, S., 2014. Vrty pro tepelná čerpadla a jejich rizika pro hydrogeologickou stratifikaci. *Vodní hospodářství*, 8, 14–18. 6319 ISSN 1211-0760.

ŠEDA, S., 1972. *Hydrologické poměry okresu Pelhřimov.* Nepublikovaná zpráva, Vodní zdroje Bylany u Chrudimi.

ŠERCL, P., 2008. Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*, **61** (2), 33–43. ISSN 0026-1173

ŠÍR, M., TESAŘ, M., 2013.Water retention and runoff formation in the Krkonoše Mts. *Opera Corcontica*, 50, 97–106. Dostupné z https://www.researchgate.net/profile/Miloslav_Sir/publication/261706357_Water_retention_and_runoff_formation_in_the_Krkonose_Mts/links/0deec53516f2135600000000.pdf

ŠVIHLA, V., DAMAŠKOVÁ, H., KYNCLOVÁ, J., ŠIMŮNEK, O., 1992. *Výzkumný objekt Ovesná Lhota.* Praha: VÚMOP, v. v. i. 156 s.

T

TACHECÍ, P., KORYTÁŘ, M., KAIGLOVÁ, J., 2014a. Simulace vlivu urbanizace v povodí horního Botiče na povodňový odtok pomocí distribuovaného matematického modelu. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. (eds.). *Hydrologie malého povodí 2014.* Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. 590 s. ISBN 978-80-02-02525-2

TACHECÍ, P., KVÍTEK, T., ZAJÍČEK, A., DUFFKOVÁ, R., 2014b. Dopad změn využití území ve třech zónách malého zemědělského povodí simulovaný pomocí modelu MIKE SHE. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. (eds.). *Hydrologie malého povodí 2014.* Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. 590 s. ISBN 978-80-02-02525-2

TESAŘ, M., ŠÍR, M., LICHNER, L., 2003. Runoff formation in a small catchment. In: HOLKO, L., MIKLÁNEK, P. (eds.). *Interdisciplinary approaches in small catchment hydrology: Monitoring and research. IHP-VI, Technical Documents in Hydrology*, 67, 7–12. Paris: UNESCO. ISBN 92-9220-001-1

TESAŘ, M., ŠÍR, M., PRAŽÁK, J., LICHNER, Ľ, 2004. Instability driven flow and runoff formation in a small catchment. *Geologica Acta*, **2** (2), 147–156. Dostupné z http://dx.doi.org/10.1344/105.000001435

TESAŘ, M., ŠÍR, M., SYROVÁTKA, O., PRAŽÁK, J., LICHNER, L., KUBÍK, F., 2001. Soil water regime in head water regions – observation, assessment and modelling. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **49** (6), 355–375. ISSN 0042-790X

TIEMEYER, B., FRINGS, J., KAHLE, P., KÖHNE, S., LENNARTZ, B., 2007. A comprehensive study of nutrient losses, soil properties and groundwater concentrations in a degraded peatland used as an intensive meadow – Implications for re-wetting. *Journal of Hydrology*, **345** (1–2), 80–101. Dostupné z http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.08.002

TISSEAU, M., A., FAUCHON, N., CAVARD, J., VANDEVELDE, T., 1996. Pesticide contamination of water resources: a case study – the rivers in the Paris region. *Water Science and Technology*, **34** (7–8), 147–152. ISSN 0273-1223

TNV 75 4102 Pedologický průzkum pro meliorační opatření, 1995. Dostupné z http://shop.normy.biz/detail/165014

TNV 75 4112 Geologický průzkum pro zemědělské využívání krajiny, 2014. Dostupné z http://shop.normy.biz/detail/165146

TNV 75 4221 Regulace a retardace odtoku na zemědělských pozemcích odvodněných trubkovou drenáží, 2004. Dostupné z http://shop.normy.biz/detail/165104

TNV 75 4922 Údržba odvodňovacích zařízení, 2016. Dostupné z http://shop.normy.biz/detail/165153

TOLASZ, R. a kol., 2009. *Database Processing of Climatological Data.* Praha: Czech Hydrometerological Institute. 69 p. ISBN 978-80-86690-68-1

TOMÁŠEK, M., 2000. *Půdy České republiky.* Praha: Český geologický ústav. 68 s. ISBN 80-7075-403-6

Ú

Územní teploty a územní srážky v ČR, 2016 [online]. Praha: ČHMÚ. [Cit. 17. 1. 2016]. Doslupné z http://www.chmi.cz/portal/dt?Portal_lang=cs&menu=jsptabcontainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi&last=false.

V

VAN OOST, K., GOVERS, G., DESMET, P., J., 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, **15** (6), 577–589. ISSN 0921-2973. Dostupné z http://doi.org/10.1023/A:1008198215674

VAN ROMPAEY, A. J. J., VERSTRAETEN, G., VAN OOST, K., GOVERS, G., POESEN, J., 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, **26** (11), 1 221–1 236. ISSN 0197-9337. Dostupné z http://doi.org/10.1002/esp.275

VAŠKŮ, Z., 2011. Zlo zvané meliorace. *Vesmír*, **90** (7), 440. ISSN 0042-4544. Dostupné z https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2011/cislo-7/zlo-zvane-meliorace.html

VERSTRAETEN, G., VAN OOST, K., VAN ROMPAEY, A., POESEN, J., GOVERS, G., 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil Use and Management*, **18** (4), 386–394. ISSN 0266-0032. Dostupné z http://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00257.x

Vládní nařízení č. 89/1941 Sb., ze dne 5. prosince 1940, o kontrole prostředků na ochranu rostlin a rostlinných produktů proti škodlivým činitelům a o obchodu s nimi. In: *Stejnopis sbírky zákonů a nařízení Protektorátu Čechy a Morava*, 1941, stejnopis částky č. 26, 89–92. Dostupné z http://ftp.aspi.cz/opispdf/1941/026-1941.pdf

VLČEK, L., KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠEFRNA, L., BLAŽKOVÁ, Š., 2016. Influence of peat soils on runoff process: case study of Vydra River headwaters, Czechia. *Geografie – Sborník ČGS*, **121** (2), 235–253. ISSN1213-1075.

VOPRAVIL, J., DOSTÁL, T., KRÁSA, J., STŘEDOVÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T, KHEL, T., NOVOTNÝ, I., PORUBA, M., 2015. *Vliv očekávaných klimatických změn na půdy v ČR a hodnocení jejich produkční funkce.* Redakčně upravená roční zpráva řešení projektu KUS QJ1230056 za rok 2014. Praha: VÚMOP, v. v. i.

Vyhláška Českého báňského úřadu č. 22/1989 Sb., ze dne 29. prosince 1988, o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 1989, stejnopis částky č. 5, 148–229. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=22/1989&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního č. 190/1996 Sb., ze dne 19. června 1996, kterou se provádí zákon č. 265/1992 Sb., o zápisech vlastnických a jiných věcných práv k nemovitostem, ve znění zákona č. 210/1993 Sb. a zákona č. 90/1996 Sb., a zákon České národní rady č. 344/1992 Sb., o katastru nemovitostí České republiky (katastrální zákon), ve znění zákona č. 89/1996 Sb. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 1996, částka 55, 1 986–2 031. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=190/1996&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

Vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 501/2006 Sb., ze dne 28. listopadu 2006, o obecných požadavcích na využívání území. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 2006, částka 163, 6 953–6 960. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=501/2006&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 45/1966 Sb., ze dne 13. června 1966, o vytváření a ochraně zdravých životních podmínek. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 1966, stejnopis částky č. 17, 190–198. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=45/1966&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., ze dne 13. prosince 2000, o stanovení požadavků na hnojiva. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2000, částka 137, 7 494–7 537. Dostupné z https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=474&r=2000

Vyhláška ministra zemědělství a lesnictví č. 192/1944 Sb., ze dne 28. srpna 1944, o používání jedovatých a zdraví škodlivých prostředků na ochranu rostlin k postřiku a k poprašování. In: *Stejnopis Sbírky zákonů a nařízení Protektorátu Čechy a Morava*, 1944, stejnopis částky č. 93. Dostupné z https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=11527&Section=1&IdPara=1&ParaC=2

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č.137/1999 Sb., ze dne 10. července 1999, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 1999, částka 49, 2 972–2 976. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=137/1999%20&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zemědělství č. 5/2011 Sb., ze dne 20. prosince 2010, o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 2011, částka 2, 18–44. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=5/2011&typeLaw=vsechno&what=Cislo_zakona_smlouvy

W

WILSON, G. V., JARDINE, P. M., LUXMOORE, R. J., JONES, J. R., 1990. Hydrology of a forested hillslope during storm events. *Geoderma*, **46** (1–3), 119–138. ISSN 0016-7061

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, 537. Washington, DC: USDA, Science and Education Administration, U.S. Government Printing office. 58 p. Dostupné z https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50201000/USLEDatabase/ah_537.pdf

Z

ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., 2015. Rezidua pesticidů v drenážních vodách – zahraniční zkušenosti a první výsledky v České republice. *Rostlinolékař*, **26** (6), 32–35. ISSN 1211-3565

ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., 2014. Vliv pastvy na infiltrační schopnost půdy v různých svahových zónách. *Krmivářství*, **18** (1), 42–43. ISSN 1212-9992

ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., DUFFKOVÁ, R., MAXOVÁ, J., 2016. Zatravnění orné půdy, jakost drenážních vod a vybrané ekonomické ukazatele. *Úroda*, **LXIV** (10), 55–58. Dostupné z http://knihovna.vumop.cz/documents/1237

ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., 2013. Vliv cíleného zatravnění zdrojové oblasti na koncentrace dusičnanů v drenážních vodách. *Sovak*, **22** (9), 14–17. ISSN 1210–3039

ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., DUFFKOVÁ, R., TACHECÍ, P., 2013. Vliv využití půdy ve zdrojové oblasti na velikost drenážního odtoku. *Vodní hospodářství*, **63** (8), 274–278. 6319 ISSN 1211-0760

ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., KAPLICKÁ, M., DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., BYSTŘICKÝ, V., ŽLÁBEK, P., 2011. Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. *Hydrological Processes*, **25** (20), 3 204–3 215. ISSN 0885-6087. Dostupné z doi:10.1002/hyp.8039

ZAJÍČEK, A., POMIJE, T., KVÍTEK, T. 2016. Event water detection in tile drainage runoff using stable isotopes and a water temperature in small agricultural catchment in Bohemian-Moravian Highlands, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences*, **75** (9), article number 838. ISSN 1866-6280. Dostupné z doi:10.1007/s12665-016-5561-1

ZÁDOROVÁ, T., PENÍŽEK, V., ŠEFRNA, L., ROHOŠKOVÁ, M., BORŮVKA, L., 2011. Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terain analysis and fuzzy classification. *Catena*, **85** (1), 22–33. Dostupné z http://doi.org/10.1016/j.catena.2010.11.006

Zákon č. 14/1998 Sb., ze dne 7. ledna 1998, kterým se mění a doplňuje zákon č. 138/1973 Sb., o vodách (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1998, částka 4, 3 453–3 456. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=14/1998&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 20/1966 Sb., ze dne 13. března 1966, o péči o zdraví lidu. In: *Sbírka zákonů Československé socialistické republiky*, 1966, částka 7, 74–91. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=20/1966&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 40/1956 ze dne 1. srpna 1956, o státní ochraně přírody. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1956, částka 21, 76–78. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=40/1956&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 50/1976 Sb., ze dne 27. dubna 1976, o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů Československé socialistické republiky*, 1976, částka 9, 145–174. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=50/1976&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 114/1992 Sb., ze dne 19. 2. 1992, o ochraně přírody a krajiny. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1992, částka 28, 666–693. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=114/1992&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 138/1973 Sb., ze dne 31. října 1973, Zákon o vodách (vodní zákon). In: Sbírka zákonů *Československé socialistické republiky*, 1973, částka 35, 546–557. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=138/1973&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 165/1924 Sb., ze dne 2. července 1924, o ochraně výroby rostlinné. In: *Sbírka zákonů Československé republiky*, 1924, částka 82. Dostupné z https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=3646&Section=1&IdPara=1&ParaC=2

Zákon č. 183/2006 Sb., ze dne 14. března 2006, o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*, částka 63, 2 226–2 289. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=183/2006&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 254/2001 Sb., ze dne 28. června 2001, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2001, částka 98, 5 617–5 668. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=254/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 289/1995 Sb., ze dne 3. listopadu 1995, o lesích a o změně některých zákonů (lesní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*, 1995, částka 76, 3 946 – 3 968. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=289/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

Zákon č. 334/1992 Sb., ze dne 12. května 1992, o ochraně zemědělského půdního fondu. In: *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv*, 1992, částka 68, 1 881–1 893. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=334/1992&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

ZHENG, F. L., HUANG, CH. H., NORTON, L. D., 2004. Effects of near-surface hydraulic gradients on nitrate and phosphorus losses in surface runoff. *Journal of Environmental Quality*, **33** (6), 2 174–2 182. Dostupné z doi:10.2134/jeq2004.2174

ZUMR, D., DOSTÁL, T., DEVÁTÝ, J. 2015. Identification of prevailing storm runoff generation mechanisms in an intensively cultivated catchment. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, **63** (3), 246–254. Dostupné z doi:10.1515/johh-2015-0022

Tomáš Kvítek a kolektiv

RETENCE A JAKOST VODY V POVODÍ VODÁRENSKÉ NÁDRŽE ŠVIHOV NA ŽELIVCE

Vydal Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova 3178/8
150 00 Praha 5-Smíchov
www.pvl.cz

Editor prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.
Vědecký redaktor prof. Ing. Jan Vašák, CSc.
Recenzenti Ing. Miroslav Tesař, CSc.
prof. Ing. Jan Šálek, CSc.

Titulní fotografie Designed by welcomia / Freepik
Fotografie Ing. Renata Duffková, Ph.D.; Mgr. Petr Karásek; Ing. Jana Konečná, Ph.D.;
prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.; Ing. Josef Kučera; Ing. Václav Mazín, Ph.D.;
Petr Páral; Ing. Pavel Tachecí, Ph.D.; Katedra pícninářství a trávníkářství, FAPPZ ČZU v Praze;
Povodí Vltavy, státní podnik; Pražské vodovody a kanalizace, a. s.

Grafická úprava obálky Ondřej Pazdera, DiS.
Zlom a grafická úprava Jana Chocholoušová, DiS. a Ondřej Pazdera, DiS.
Textová korektura Mgr. Věra Hrušková, CSc.
Tisk a vazba Karel Pazdera & PBtisk a. s.

272 stran
První vydání
Praha, 2017

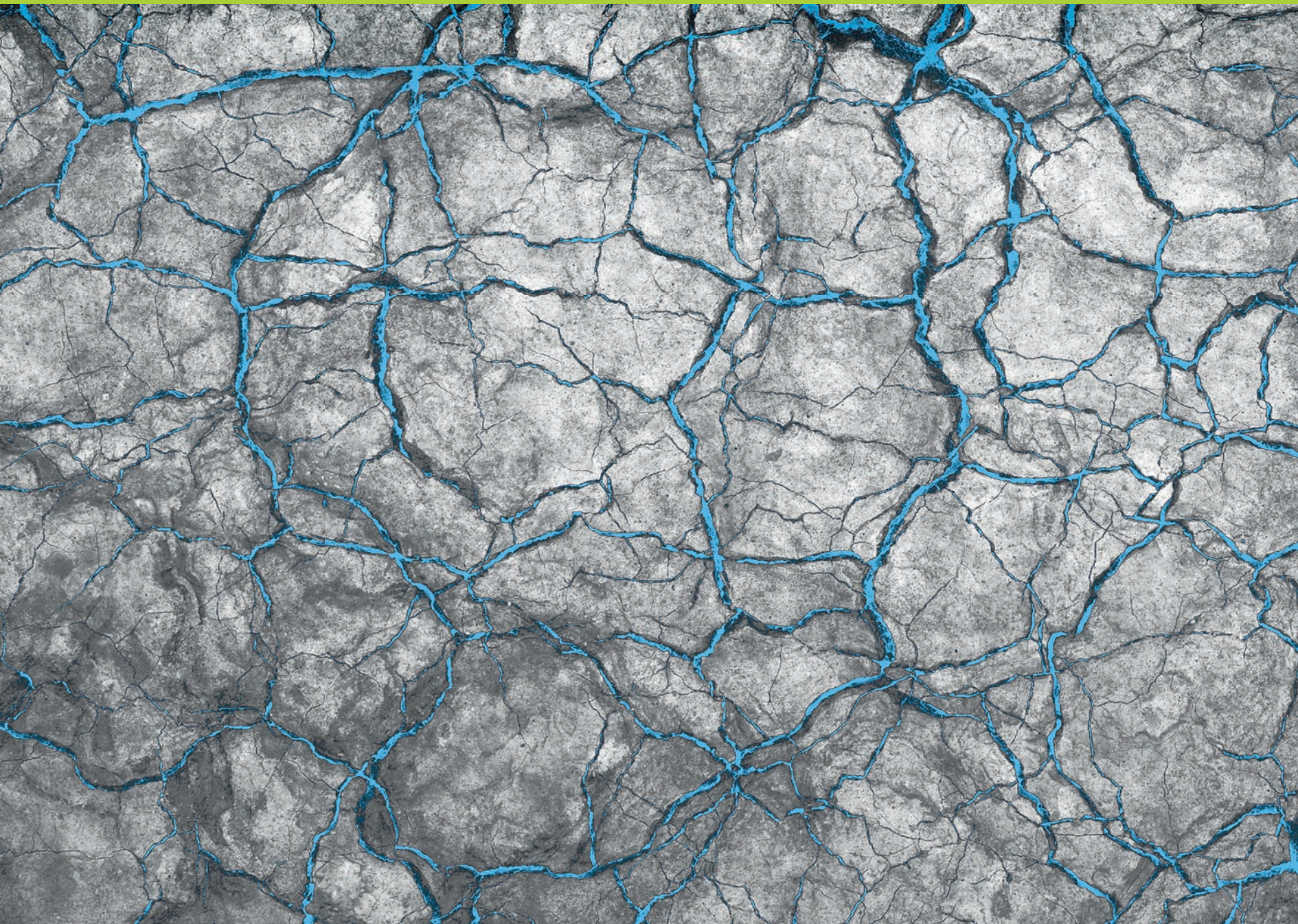
ISBN 978-80-270-2488-9

© Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, 2017
© prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc., Praha, 2017

Všechna práva vyhrazena.

Žádná část této publikace nesmí být kopírována nebo rozmnožována za účelem rozšiřování v jakékoliv formě či jakýmkoliv způsobem bez písemného souhlasu vydavatele.

Povodí Vltavy, státní podnik
Holečkova 3178/8
150 00 Praha 5-Smíchov
www.pvl.cz

© Povodí Vltavy, státní podnik, Praha, 2017
© prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc., Praha, 2017

ISBN 978-80-270-2488-9