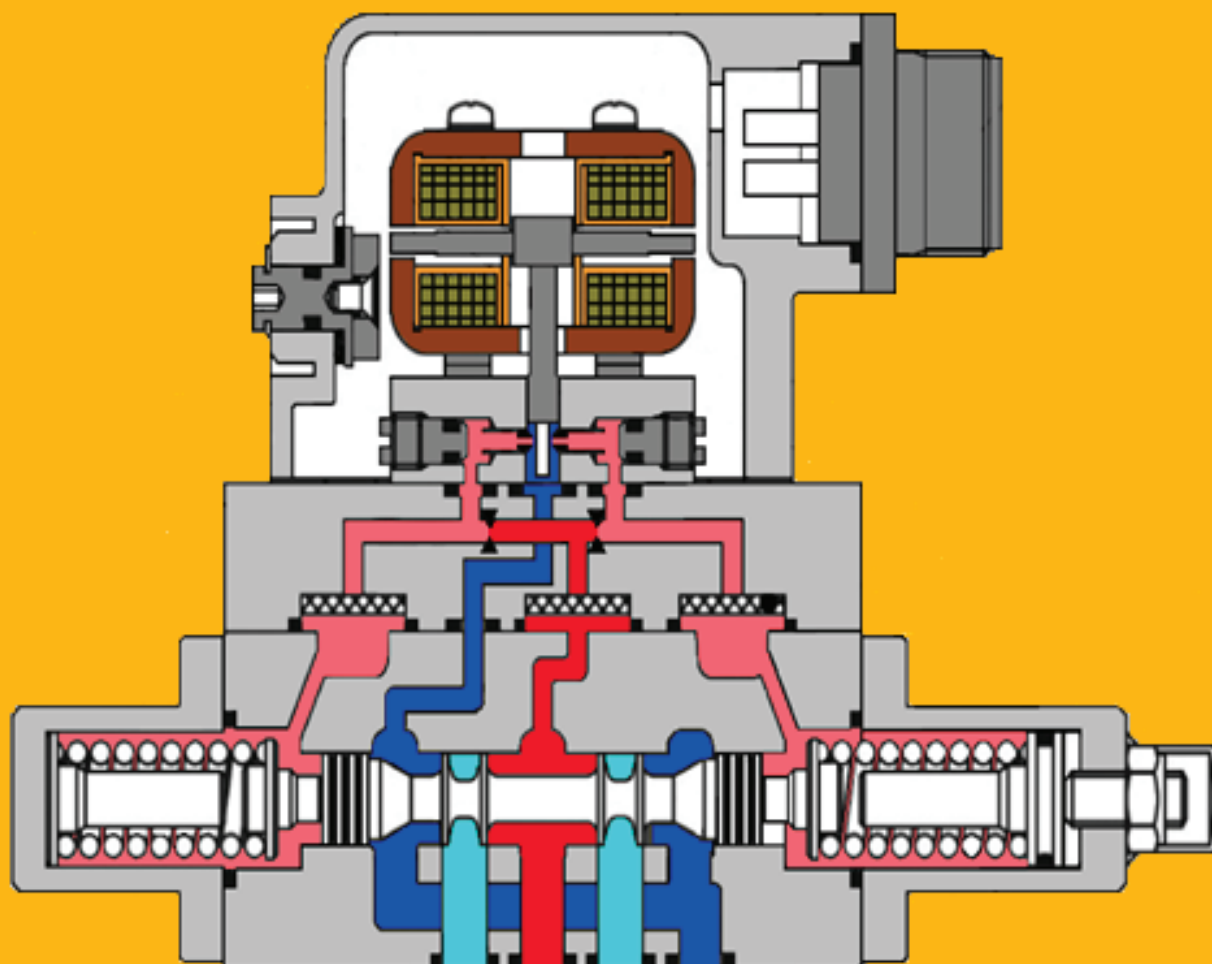


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



JOSEF CERHA

**HYDRAULICKÉ A PNEUMATICKÉ
MECHANISMY I.**

LIBEREC 2016

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní
Katedra výrobních systémů a automatizace



**HYDRAULICKÉ A PNEUMATICKÉ
MECHANISMY I.**

Josef Cerha

Liberec 2016

Recenzent: prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc., VUT v Brně
© doc. Ing. Josef Cerha, CSc.
ISBN 978-80-7494-294-5

Předmluva k třetímu vydání

Předložená skripta „Hydraulické a pneumatické mechanismy I.“ jsou určena studentům 3. ročníku fakulty strojní, kteří si zapíší předmět „Hydraulické a pneumatické pohony“ a studentům 2. ročníku, navazujícího magisterského studia oboru výrobní systémy, pro předmět „Dynamika hydraulických systémů“, a též studentům 1. ročníku navazujícího magisterského studia fakulty mechatroniky, kteří studují předmět „Hydraulické a pneumatické mechanismy“, jakož i studentům kombinovaného studia obou fakult. Samozřejmě, že se nekladou meze těm, kteří se hodlají s tímto druhem mechanismů seznámit z vlastní iniciativy nebo vnějšího popudu, který je dán např. potřebou zpracování semestrální, bakalářské či diplomové práce. Skripta přinášejí základní poznatky z oboru tekutinových mechanismů a je proto přirozené, že bychom v textu marně hledali něco zcela původního. Mým jediným úkolem bylo provést výběr témat, uspořádat je a vyložit. V této souvislosti mi byly užitečné zejména knihy nebo učební texty pánů doc. Prokeše, prof. Kopáčka, Ing. Dráždila a Ing. Zymáka a dalších odborníků.

Při výběru a uspořádání látky jsem měl na zřeteli,

- že hydraulické i pneumatické mechanismy pracují na stejném principu (tekutinové mechanismy) a jsou tedy vykládány souběžně, byť se v některých svých vlastnostech výrazně liší. Na odlišnosti je vždy poukázáno jak co do charakteristik prvků, výrazných konstrukčních rozdílů, řízení, tak použití,
- že projektant nebo konstruktér, který se rozhodne použít v koncepci stroje tekutinový mechanismus, nemusí konstruovat prvky, nýbrž provést výběr vhodných prvků, jež jsou dnes vyráběny specializovanými firmami v širokém sortimentu, a které sestaveny do obvodu splní požadavky nejen na funkci, ale i na statické a dynamické vlastnosti mechanismu.

Prvá část textu je věnována přenosu energie v hydraulických i pneumatických mechanismech, základním zákonům, které se při přenosu energie uplatňují a jejich interpretaci s poukazem na elektrohydraulické analogie. Čtenář se zde seznámí se základními pojmy a veličinami, které umožňují snadnější pochopení principu činnosti tekutinových mechanismů, jejich částí a některých souvislostí a v neposlední řadě jejich kvantitativní a kvalitativní posouzení. Celou řadu odstavců v kap. 3 lze chápat jako příklady, v nichž jsou využívány znalosti z mechaniky tekutin a termomechaniky.

V druhé části skript jsou pojednány hydraulické mechanismy. Kapitola čtvrtá je věnována výkonovým, řídicím a dalším prvkům: kapalinám, filtraci a filtrům, spojovacím částem atd. Z výše uvedených důvodů a i proto, že firemní literatura je v tomto smyslu velmi bohatá, je výklad pojat více méně encyklopedicky s důrazem na princip činnosti, matematický popis, základní (katalogové) údaje, statické charakteristiky, zajímavá konstrukční řešení a aplikace.

Pátá kapitola pojednává o řízení parametrů přenášeného výkonu. O zdrojích tlakové kapaliny, řízení tlaku a průtoku resp. řízení síly či momentu, řízení pohybové frekvence, změně smyslu pohybu a zastavení motorů s poukazem na typická řešení obvodů s konvenčními i proporcionálními prvky s vazbou na řídicí systémy.

Jsou rovněž představeny aplikace hydraulických mechanismů z oboru výrobních a zpracovatelských strojů a strojů mobilních.

Z uvedeného výčtu vidíme, že okruh zájmu je velmi široký, ale považoval jsem za potřebné všimnout si všech otázek spojených s funkcí a návrhem hydraulických mechanismů v takovém rozsahu, aby čtenář po prostudování textu získal nezbytné znalosti a dostatek informací pro samostatnou práci a případné další hlubší studium některých specifických problémů.

K tomuto účelu je připojen seznam literatury členěný na literaturu knižní, časopiseckou a firemní. Do souboru knih jsem zařadil tituly, které jsou více méně dostupné a mnohé, jež mi byly inspirací a z nichž jsem čerpal nejen poznatky, konkrétní údaje, ale též i některá schémata a obrázky. Uvedené články z časopisů byly použity jako podklady k dokreslení některých zvláštních skutečností. Firemní podklady, velmi bohaté, stále aktualizované a dostupné na internetových stránkách jednotlivých výrobců byly podkladem k celé řadě obrázků, jak se bude moci čtenář sám přesvědčit.

V celém textu jsem se snažil uplatňovat názvosloví a používat schematické značky zavedené normami ČSN ISO 5598 „Tekutinové prvky – Slovník“ a ČSN ISO 1219-1 „Hydraulika a Pneumatika – Grafické značky a obvodová schémata- Část 1: Grafické značky“. Musím se však přiznat, že ne všude se mi to zcela podařilo a mnohde jsem použil názvů a pojmů daných dříve platnou normou ČSN 11 9000 „Hydrostatické mechanismy - Názvosloví“. Domnívám se, že to není tak velký prohřešek, ale přesto se za něj omlouvám.

V textu není zahrnuto modelování hydraulických mechanismů. Domnívám se však, že v současné době jsou k dispozici publikace, např. [10], [53], [56], [77] a další, které jsou věnovány speciálně právě této problematice.

Popisu pneumatických prvků, jejich vlastnostem, konstrukčnímu řešení, popisu obvodů jejich řízení a příkladům aplikací jak ve výrobních strojích, tak i strojích mobilních, jsou věnována skripta: Cerha, J.: Hydraulické a pneumatické mechanismy II. 1. vydání. TU v Liberci 2008.

Můj dík patří panu prof. RNDr. Ing. Josefovi Nevrlému, CSc., který skripta v prvním a druhém vydání pečlivě pročetl. Jeho upozornění a připomínky, které jsem plně akceptoval, přispěly k srozumitelnosti a čistotě textu. Rovněž děkuji všem, z jejichž knih, článků a podkladů jsem čerpal.

Závěrem bych chtěl vyjádřit potěšení, že skripta „Hydraulické a pneumatické mechanismy I.“ vycházejí již ve třetím vydání a přeji všem, kterým přinesou poučení, úspěch ve studiu.

V Liberci, červenec 2016

Josef Cerha

OBSAH

1. ÚVOD	
1.1 Stručný historický vývoj hydrauliky a pneumatiky	11
1.2 Stručný přehled současného stavu	16
1.3 Vlastnosti hydraulických a pneumatických mechanismů	16
1.4 Technické parametry	18
2. PRINCIP ČINNOSTI A ROZDĚLENÍ HYDRAULICKÝCH A PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ	
2.1 Princip činnosti	19
2.2 Rozdělení hydraulických a pneumatických mechanismů	20
ČÁST I.	
TEORETICKÉ ZÁKLADY HYDRAULICKÝCH A PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ	
3. PŘENOS ENERGIE HYDRAULICKÝMI A PNEUMATICKÝMI MECHANISMY	
3.1 Idealizovaný tekutinový mechanismus	24
3.1.1. Přeměna energie ve vstupním a výstupním převodníku	24
3.1.2. Jednoduché tekutinové mechanismy, příklady	25
3.2 Přenos energie v reálných hydraulických a pneumatických mechanismech	29
3.2.1 Vzduch, nositel energie v pneumatických mechanismech	29
3.2.1.1 Hustota vzduchu	30
3.2.1.2 Viskozita vzduchu	30
3.2.1.3 Stlačitelnost vzduchu	31
3.2.2 Olej, nositel energie v hydraulických mechanismech	32
3.2.2.1 Linearizovaná stavová rovnice kapaliny	32
3.2.2.2 Objemový modul pružnosti kapaliny, oleje	33
3.2.2.3 Vliv nerozpuštěného vzduchu	34
3.2.2.4 Vliv poddajnosti stěn vymežujících uzavřený objem	35
3.2.2.5 Trubka zatížená vnitřním přetlakem	36
3.2.2.6 Viskozita kapalin, olejů	38
3.2.3 Porovnání základních vlastností vzduchu a minerálního oleje	38
3.2.4 Poznámky k teplotě, tlaku a průtoku	40
3.3 Odpor přímého úseku vedení a místní odpory	41
3.3.1 Odpor přímého úseku vedení	42
3.3.2 Místní odpory	44
3.3.3 Elektrohydraulické analogie 1	45
3.4 Průtok otvory	46
3.4.1 Průtok kapaliny otvory	47

3.4.2 Průtok vzduchu otvory	49
3.5 Průtok hydraulickými a pneumatickými prvky	51
3.5.1 Průtok hydraulickými prvky	51
3.5.2 Průtok pneumatickými prvky	52
3.5.2.1 Stanovení pneumatické vodivosti a kritického tlakového poměru	53
3.5.2.2 Popis průtoku prvky pomocí alternativních parametrů	54
3.5.2.3 Průtok prvky daný p - Q diagramem	56
3.6 Průtok štěrbinami	56
3.6.1 Průtok kapaliny prizmatickou štěrbinou	57
3.6.2 Průtok kapaliny štěrbinou ve tvaru mezikruží	58
3.6.3 Radiální průtok kapaliny štěrbinou ve tvaru mezikruží	59
3.6.4 Průtok vzduchu prizmatickou štěrbinou	61
3.7 Proměnné odpory	62
3.7.1 Proměnný odpor typu „hrana – vybrání“	63
3.7.1.1 Šoupátko s nulovým překrytím hran	64
3.7.1.2 Šoupátko s pozitivním překrytím hran	64
3.7.1.3 Šoupátko s negativním překrytím hran	64
3.7.2 Čtyřhranové symetrické šoupátko	65
3.7.2.1 Průtokové a tlakové charakteristiky čtyřhranového šoupátka	66
3.7.2.1.1 Průtokové charakteristiky	66
3.7.2.1.2 Tlakové charakteristiky	67
3.7.2.1.3 Ztrátový průtok čtyřhranovým šoupátkem v neutrální poloze	69
3.7.3 Geometrie proměnných odporů	70
3.7.4 Nesymetrický zesilovač „tryska – klapka“	73
3.7.5 Symetrický zesilovač „tryska – klapka“	75
3.8 Dynamické účinky proudící tekutiny	76
3.8.1 Stacionární složka hydrodynamické síly a síla tlaková	77
3.8.2 Nestacionární složka hydrodynamické síly	78
3.8.3 Hydrodynamické síly působící na válcové šoupátko	79
3.8.4 Hydrodynamické síly působící na kuželku a kuličku	81
3.8.5 Síly působící na klapku nesymetrického a symetrického zesilovače	82
3.8.6 Elektrohydraulické analogie 2	83
3.9 Tekutina v pracovních prostorech prvků a systémů	86
3.9.1 Energetická rovnice	86
3.9.2 Velikost akumulované energie	87
3.9.3 Zaplňování pracovního prostoru o konstantním objemu	89
3.9.4 Elektrohydraulické analogie 3	93
3.9.5 Tuhost motorů	93
3.9.6 Vlastní frekvence netlumených kmitů motorů	96
3.9.7 Poznámky k objemovému modulu pružnosti	96

ČÁST II. HYDRAULICKÉ MECHANISMY

4. PRVKY HYDRAULICKÝCH MECHANISMŮ	
4.1 Vstupní a výstupní převodníky	98
4.1.1 Hydraulické rotační převodníky	98
4.1.1.1 Princip činnosti hydraulických rotačních převodníků	98
4.1.1.2 Základní uspořádání hydraulických rotačních převodníků	100
4.1.1.3 Statické charakteristiky rotačních převodníků	109
4.1.1.3.1 Statické charakteristiky hydrogenerátorů	109
4.1.1.3.2 Statické charakteristiky rotačních hydromotorů	114
4.1.2 Přímočaré hydromotory (hydraulické válce)	119
4.1.2.1 Vybraná konstrukční řešení přímočarých motorů	120
4.1.2.2 Tlumení motorů v krajní poloze	122
4.1.2.3 Uchycení přímočarých motorů k rámu	125
4.1.2.4 Statické charakteristiky přímočarých hydromotorů	126
4.1.3 Hydromotory s kyvným pohybem	129
4.2 Řídicí prvky	130
4.2.1 Prvky pro řízení tlaku	131
4.2.1.1 Tlakové ventily	131
4.2.1.2 Redukční ventily	136
4.2.1.3 Připojovací a odpojovací ventily	139
4.2.2 Prvky pro řízení velikosti průtoku	140
4.2.2.1 Škrticí ventily	141
4.2.2.2 Škrticí ventily se stabilizací, regulátory průtoku	144.
4.2.3 Prvky pro hrazení a řízení směru průtoku	147
4.2.3.1 Jednosměrné (zpětné) ventily	147
4.2.3.2 Rozvaděče	151
4.2.3.2.1 Šoupátkové rozvaděče	153
4.2.3.2.2 Sedlové rozvaděče	155
4.2.3.2.3 Síly působící na šoupátko rozvaděče	156
4.2.3.2.4 Ovládání rozvaděčů	163
4.2.3.2.5 Skupinové rozvaděče	169
4.2.4 Dvoucestné vestavné ventily	172
4.2.5 Proporcionální prvky	174
4.2.5.1 Principy elektromechanických převodníků	176
4.2.5.2 Proporcionální magnety	178
4.2.5.3 Proporcionální tlakové ventily	180
4.2.5.4 Proporcionální redukční ventily	182
4.2.5.5 Proporcionální škrticí ventily	185
4.2.5.6 Proporcionální rozvaděče	188
4.2.6 Servoventily	194

4.3. Kapaliny	199
4.3.1 Minerální oleje	198
4.3.2 Biologicky snadno rozložitelné (odbouratelné) kapaliny	200
4.3.3 Klasifikace maziv	200
4.3.4 Těžko zápalné hydraulické kapaliny	201
4.4 Zásobníky kapalin	204
4.4.1 Nádrže	204
4.4.1.1 Velikost nádrže	204
4.4.1.2 Orientační tepelný výpočet nádrže	204
4.4.1.3 Konstrukce nádrží	206
4.4.1.4 Kontrola tlaku	209
4.4.2 Akumulátory	210
4.4.2.1 Plynové akumulátory	210
4.4.2.2 Akumulátory s přímým stykem plynu a kapaliny	210
4.4.2.3 Základní vztahy pro plynový akumulátor	211
4.4.2.4 Akumulátory vakové	213
4.4.2.5 Akumulátory membránové	213
4.4.2.6 Akumulátory pístové	214
4.4.2.7 Příslušenství akumulátorů	214
4.4.2.8 Použití akumulátorů	215
4.5 Filtry a filtrace	219
4.5.1 Posuzování úrovně čistoty hydraulických kapalin	219
4.5.2 Filtrační schopnost filtrů	220
4.5.3 Filtry	221
4.5.3.1 Umístění filtru v obvodu	221
4.5.3.2 Konstrukce filtrů	222
4.5.3.3 Příslušenství filtrů	223
4.6 Těsnění	224
4.6.1 Statická těsnění	225
4.6.2 Dynamická těsnění pro přímočarý pohyb	227
4.6.2.1 Těsnění prvky z elastických materiálů	227
4.6.2.2 Pasivní odpory	229
4.6.2.3 Stick – slip	231
4.6.2.4 Opatření těsnění	231
4.6.2.5 Těsnicí prvky z tvarově stálých materiálů	232
4.6.2.5.1 Těsnění pístními kroužky	232
4.6.2.5.2 Těsnění spárové	232
4.6.3 Dynamická těsnění rotačního pohybu	232
4.6.3.1 Radiální hřídelové těsnění	232
4.6.3.2 Axiální hřídelové těsnění	233
4.7 Vedení a spojovací části	234
4.7.1 Pevné vedení - trubky	237
4.7.2 Ohebné vedení – hadice	238
4.7.3 Šroubení	240
4.7.4 Přírubové spoje	242

4.7.5 Ztrátové součinitele šroubení a celkový tlakový úbytek na vedení	242
5. ZÁKLADNÍ HYDRAULICKÉ OBVODY	
5.1 Zdroje tlakové kapaliny	246
5.1.1 Zdroje tlakové kapaliny s hydrogenerátorem s konstantním geometrickým objemem	247
5.1.1.1 Zdroj tlaku	247
5.1.1.2 Zdroj průtoku	248
5.1.1.3 Odlehčení zdroje tlakové kapaliny	249
5.1.1.4 Zdroj průtoku s plynule regulovatelným pohonem	250
5.1.2 Zdroje tlakové kapaliny s hydrogenerátorem s proměnným geometrickým objemem	250
5.1.2.1 Přímé ruční nebo elektrické ovládání	253
5.1.2.2 Nepřímé ovládání závislé na průtoku	253
5.1.2.3 Nepřímé ovládání závislé na tlaku	254
5.1.2.4 Nepřímé ovládání závislé na tlaku a průtoku	254
5.1.2.5 Nepřímé elektrohydraulické ovládání	255
5.1.2.6 Hydrogenerátor s regulací tlaku	256
5.1.2.7 Hydrogenerátor s regulací průtoku	258
5.1.2.8 Hydrogenerátor s regulací tlaku a průtoku	259
5.1.2.9 Hydrogenerátor s regulací výkonu	260
5.1.2.10 Hydrogenerátor s elektrohydraulickým řízením	262
5.2 Řízení rychlosti hydromotorů	263
5.2.1 Řízení rychlosti škrcením	264
5.2.1.1 Řízení rychlosti škrcením – škrticí ventil v sérii na vstupu do hydromotoru	264
5.2.1.2 Řízení rychlosti škrcením – škrticí ventil v sérii na výstupu z hydromotoru	266
5.2.1.3 Řízení rychlosti škrcením – škrticí ventil paralelně na vstupu do hydromotoru	266
5.2.1.4 Použití škrticích ventilů se stabilizací tlakového spádu	268
5.2.1.5 Umístění škrticích ventilů vzhledem k motoru a rozvaděči	270
5.2.1.6 Účinnost při řízení rychlosti škrcením	271
5.2.1.7 Řízení rychlosti proporcionálními škrticími ventily, proporcionálními rozvaděči a servoventily	273
5.2.1.8 Stupňovitá změna rychlosti hydromotoru pomocí škrticích ventilů	276
5.2.1.9 Příklady řízení smyslu pohybu a rychlosti škrcením více hydromotorů připojených k jednomu zdroji	277
5.2.2 Objemové řízení rychlosti	282
5.2.2.1 Hydrogenerátor i hydromotor s konstantním geometrickým objemem	283
5.2.2.2 Hydrogenerátor s proměnným a hydromotor s konstantním geometrickým objemem	285

5.2.2.3 Hydrogenerátor s konstantním a hydromotor s proměnným geometrickým objemem	285
5.2.2.4 Hydrogenerátor i hydromotor s proměnnými geometrickými objemy	286
5.2.2.5 Uspořádání hydrostatického převodu a příklady použití	288
5.2.2.6 Sekundární regulace	292
5.2.2.7 Stupňovitá změna rychlosti hydromotoru pomocí objemového řízení	294
5.3 Paralelní a sériové řazení hydromotorů	296
5.4 Řízení smyslu pohybu a zastavení hydromotoru v požadované poloze	297
5.5 Řízení sekvence pohybu hydromotorů	300
5.6 Synchronizace pohybu hydromotorů	301
5.7 Příklady hydraulických obvodů	304
5.8 Postup při návrhu hydraulického obvodu	310
Literatura	315

1. ÚVOD

Do oboru tekutinových mechanismů spadají mechanismy, které k přenosu energie a informace využívají látek v tekutém stavu. Pokud je nositelem energie kapalina, jde o mechanismy hydraulické, je-li nositelem energie vzduch, pak jde o mechanismy pneumatické. Pro přenos energie mezi vstupním a výstupním převodníkem může být, podle Bernoulliho rovnice pro ustálený průtok a ideální tekutinu, využito energie kinetické, tlakové, případně polohové. Jsou-li převodníky zkonstruovány tak, že využívají kinetickou energii tekoucí tekutiny (turbíny, odstředivé kompresory), hovoříme o hydrodynamických strojích, u kterých se shledáváme s vysokými rychlostmi proudění při nízkých tlacích.

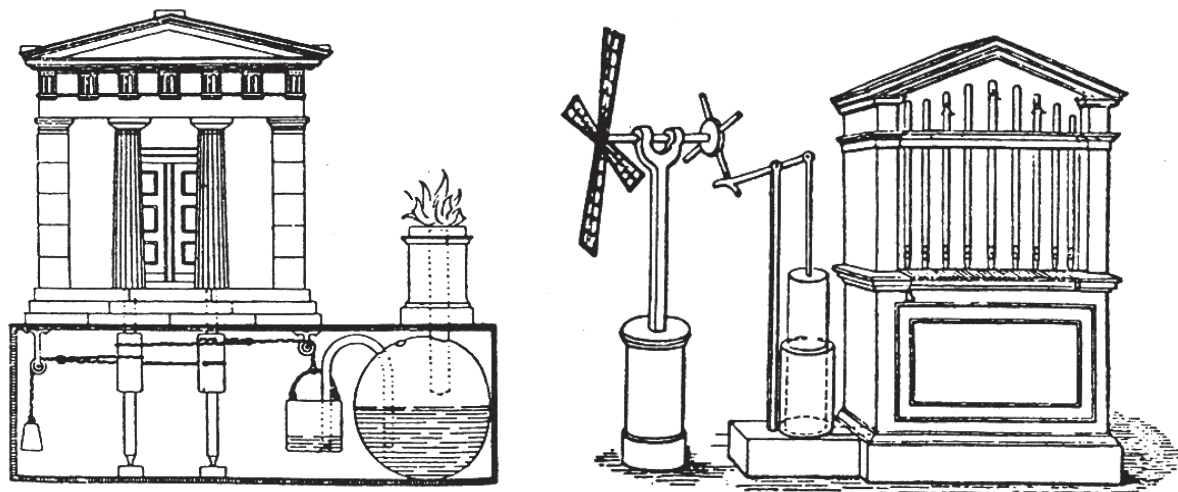
Tato skripta jsou věnována hydrostatickým a pneumostatickým systémům, ve kterých, se energie přenáší prostřednictvím statického tlaku a převodníky (tj. hydrogenerátory a hydromotory) pracují s vysokými tlaky při relativně nízkých rychlostech proudění. V dalším budou pro jednoduchost používány pojmy:

- hydraulické mechanismy nebo krátce hydraulika, resp.
- pneumatické mechanismy nebo krátce pneumatika.

Při výkladu budeme vycházet ze základů hydromechaniky a termomechaniky [18], [46], [54], [57], [72]. Zákony budeme aplikovat na hydraulické, resp. pneumatické prvky (hydraulická čerpadla, kompresory, ventily, rozvaděče, válce, rotační motory a příslušenství – vedení, filtry, nádrže atd.) spojené do obvodů a soustav se zřetelem na jejich vlastnosti.

1.1 Stručný historický vývoj hydrauliky a pneumatiky

Již déle jak dvě tisíciletí využívá lidstvo kromě síly svalů i energie vody a větru. Na příklad vodní kolo je známé asi od r. 200 před n. l. a udrželo se jako pohon mlýnů či hamrů až do nedávné doby a technicky se vyvíjelo až po vodní turbíny. Jsou zmínky, že již ve 3. století př. n. l. byly vyvíjeny stroje poháněné tlakem vzduchu (Archimedes ze Syrakus). Existuje obsáhlý popis (asi 1. století n. l.) otevírání chrámových dveří [50], které zhotovil alexandrijský mechanik Heron, (obr. 1.1). Před chrámem se nacházel dutý oltář, spojený



Obr. 1.1. *Využití energie stlačeného vzduchu [50]*

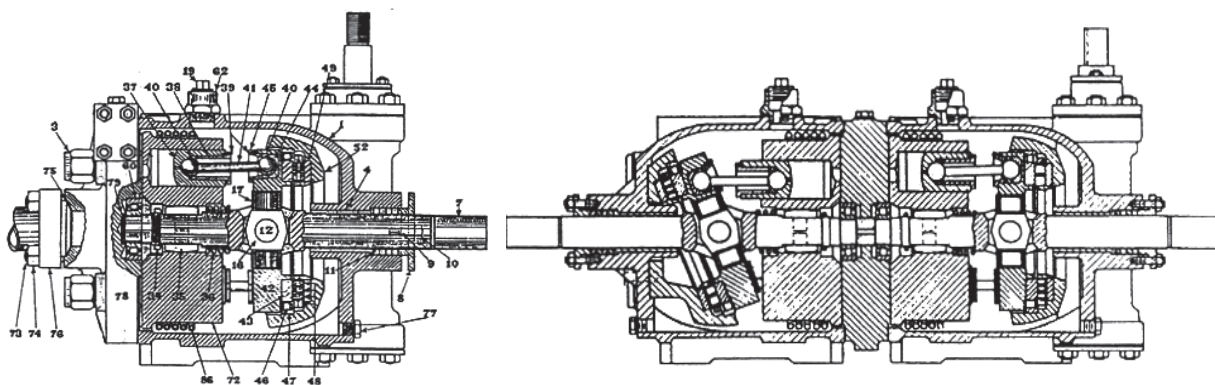
s podzemní uzavřenou jímkou s vodou. Teplo oltářního ohně ohřívalo vzduch v nádrži, který se rozpínal a vytlačoval vodu trubkou do vedle zavěšené nádoby, jejíž zvětšující se hmotnost způsobila pohyb řetězu zachyceného na prodloužených hřídelích dveří, které se tak otvíraly. Ochladil-li se oltář, vzduch v nádrži zmenšil svůj objem, vznikl podtlak a voda z nádoby byla odsávána zpět do jímky. V důsledku toho závaží zavěšené na opačné straně dveře zavíralo.

Heron podal rovněž návrh na pneumatický pohon varhan (obr. 1.1). Pomocí větrníku bylo poháněno pístové čerpadlo. Vzduch se nasával do vodou těsněného zvonu (šlo vlastně o první stejnotlaký vzdušník) a odtud proudil do příslušné píšťaly varhan. Od těchto prvních aplikací uplynulo mnoho století, aniž byla pneumatika nějak výrazně využita. Teprve ve 12. století se tato technika dostává z Persie na západ, kde se stavějí větrné mlýny.

V 16. století vynalezl Johannes Kepler (1571 – 1630) zubové čerpadlo, které však nemělo v té době využití. Pro rozvoj hydrauliky měly rozhodující význam práce Blaise Pascala (1623 - 1662), který objasnil princip hydraulického lisu, avšak průmyslově použitelný lis postavil až r. 1795 v Londýně Joseph Bramah (1749 – 1814) [13], [49]. Nositelem energie byla voda, píst ve válci byl těsněn pístními kroužky. Po vynálezu parního stroje Jamesem Watterem (1736 – 1819) byla v Anglii hydrostatika technicky využita k přenosu a přeměně energie formou vodních tlakových rozvodů (sítí). Tlaková voda byla získávána pomocí čerpadel poháněných parním strojem a výrobní zařízení bylo poháněno pístovým motorem. Ve druhé polovině 19. století vyvinul v Anglii W. G. Armstrong (1810 – 1900) mnohé hydrostatické stroje a prvky převážně využívané při stavbě lodí, jako kotevní navijáky a zvedáky. Z té doby jsou známa využití hydrauliky ve stavebnictví – vrtací stroje při stavbě tunelů, ale i pneumatiky – vrtací kladiva pro práci v dolech. V roce 1867 získává Američan G. Westinghouse patent na pneumatickou brzdu pro železniční dopravu. V této době byly také postaveny centrální hydraulické sítě, např. londýnská síť zásobovala energií zhruba 8000 hydraulických zařízení. V časopisu Svazu německých inženýrů (VDI), ročník 1899, je uvedeno několik zařízení pracujících se stlačeným vzduchem, např. formovací stroje, přestavování výhybek, stříkání barev, ovládání děl, torpéd, konečná úprava textilu, potrubní pošta atd.

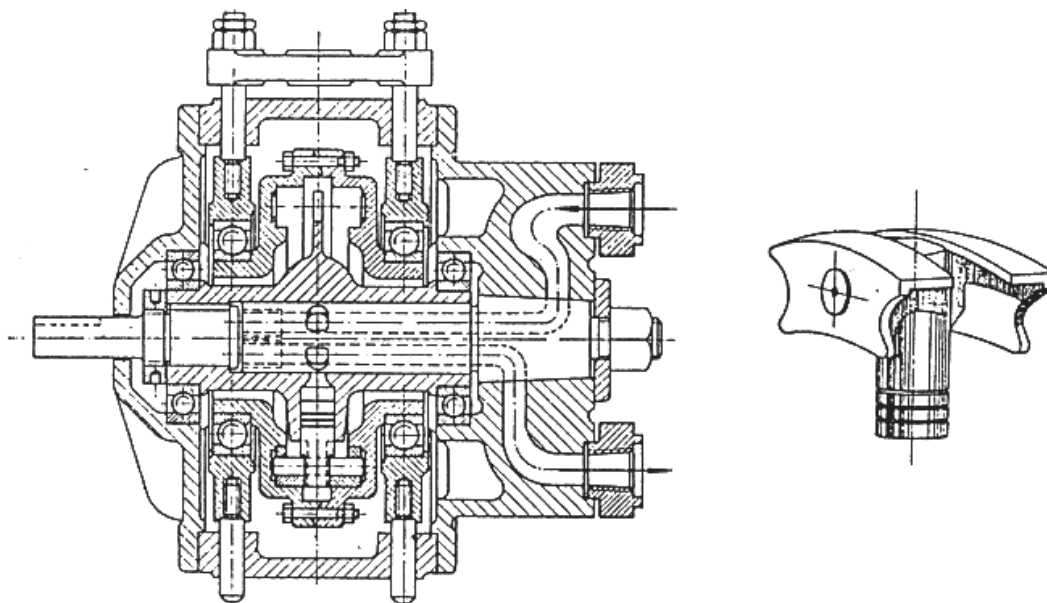
S rozvojem elektrického pohonu začátkem 20. století pozbývají hydraulika a pneumatika, resp. jejich centrální rozvody svůj předchozí technický význam, protože elektrická energie umožňuje podstatně jednodušší přenos. Později se objevily ruční rotační pneumatické nástroje, brusky, vrtáčky a šroubováky poháněné pneumatickým rotačním motorem, využívané zejména tam, kde se požadovala nízká hmotnost a vysoké otáčky, které nebyly dosažitelné elektromotorem.

Hydraulika dostala nový impuls v roce 1905, kdy R. Janney použil jako nositele energie olej. Na základě H. D. Williamsem upravené tzv. „Waterbury Pump“ (obr. 1.2) zkonstruoval Janney hydrostatický převod (obr. 1.3). Jde o zařízení postavené na principu axiálního pístového stroje s deskou s proměnným náklonem – regulační. V roce 1910 byl použit hydraulický regulátor k regulaci vodní turbiny a v tomtéž roce uvedla fa Hele – Shaw



Obr. 1.3. Hydrostatický převod Janney [13]

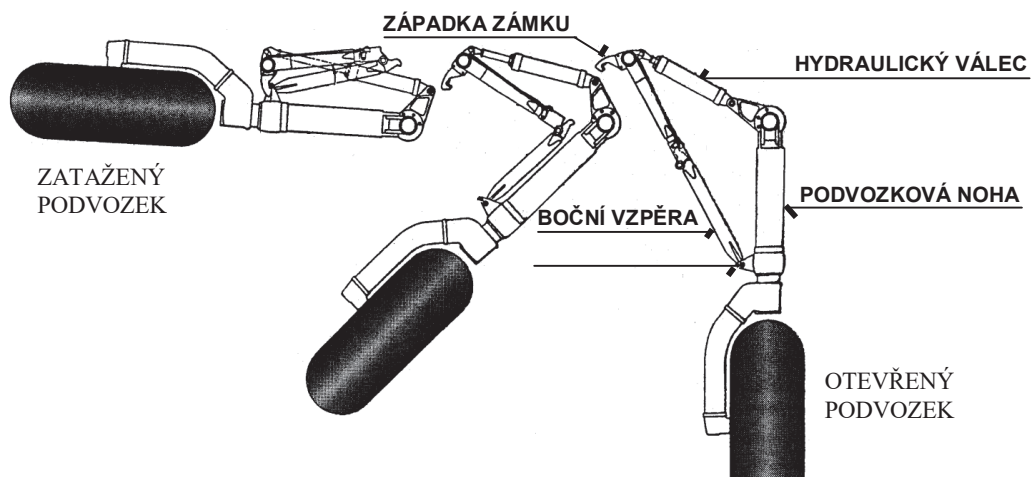
do provozu radiální pístový stroj (obr. 1.4). O další rozvoj pístových axiálních převodníků se zasloužil Hans Thoma. V roce 1936 přichází s řešením nepřímo řízeného tlakového ventilu Harry Vickers a r. 1950 staví Jean Marcier hydro-pneumatický akumulátor.



Obr. 1.4. Radiální čerpadlo Helle-Shaw spolu s detailem vedením pístu ve statorové dráze [62]

Využití pneumatických zařízení se omezovalo zprvu jen na několik průmyslových oborů, jejichž zvláštní provozní podmínky vyžadovaly použití stlačeného vzduchu, jako např. hornictví, stavebnictví (pneumatická kladiva a sekáče), nebo ve sklářství, kde se na automatech stlačeným vzduchem vyfukovaly lahve (lisofouk), u obráběcích strojů (upínání, hydro-pneumatická zařízení, řízení velikosti síly) apod.

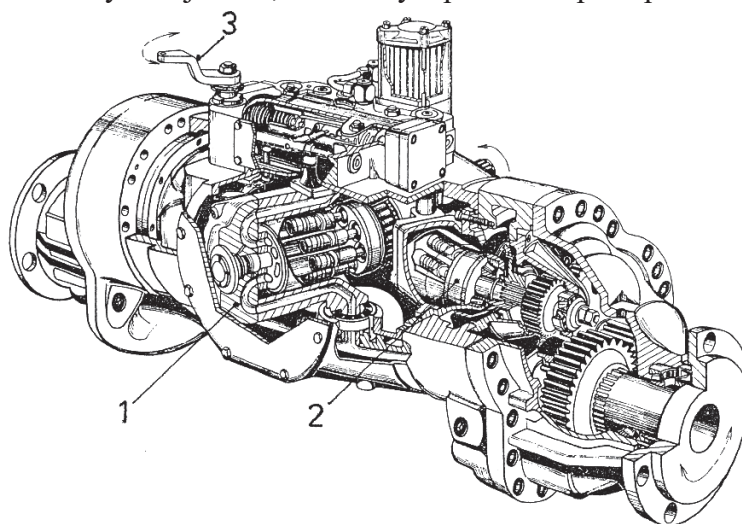
Během druhé světové války došlo k urychlení vývoje a nasazení zejména hydraulických mechanismů, které se uplatnily např. v těžkých zbraňových systémech k automatickému řízení střelby pro velmi krátké časové odezvy na vstupní signály, v letecké technice potom ještě pro příznivý poměr výkonu k hmotnosti, čímž bylo umožněno zvýšení rychlosti a doletu letounů (viz obr. 1.5). Zvláštní oblast tvoří palivové systémy vznětových a proudových motorů.



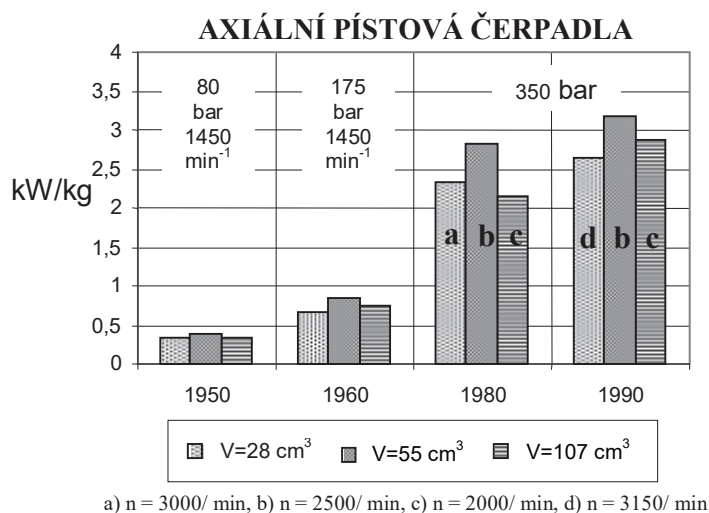
Obr. 1.5. Hydraulicky ovládaný podvozek letounu LIBERATOR

Po válce došlo k výraznému uplatnění hydraulických a pneumatických mechanismů v oblasti automatizace výrobních a zpracovatelských strojů a v oblasti pohonů mobilních a dalších strojů zejména potom, kdy bylo přikročeno k normalizaci a typizaci prvků (válců – průměry, zdvihy, ventily - světlosti a přípojovací rozměry atd.), tedy zhruba v padesátých letech minulého století. Z hydrauliky a pneumatiky se tak postupně vyvinuly samostatné

kompletační obory. Vznikly základní teoretické práce [3], byly ustaveny národní (v ČR nyní Česká strojnická společnost, odborná sekce Hydraulika a pneumatika) a nadnárodní odborné společnosti (CETOP – Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques - evropské sdružení národních asociací). Začali se profilovat i výrobci prvků, kteří je v minulých desetiletích dovedli k vysoké technické dokonalosti. Příkladem může být kompaktní hydraulická náprava (obr.1.6) tvořená axiálním pístovým čerpadlem (1) s nakloněným blokem a mechanicko-hydraulickou regulací (3) geometrického objemu, dvěma axiálními pístovými rotačními hydromotory (2) rovněž s nakloněným blokem avšak s konstantním geometrickým objemem, reduktory a přírubami pro upevnění kol vozidla.



Obr. 1.6. Kompaktní hydraulická náprava LINDE [64]



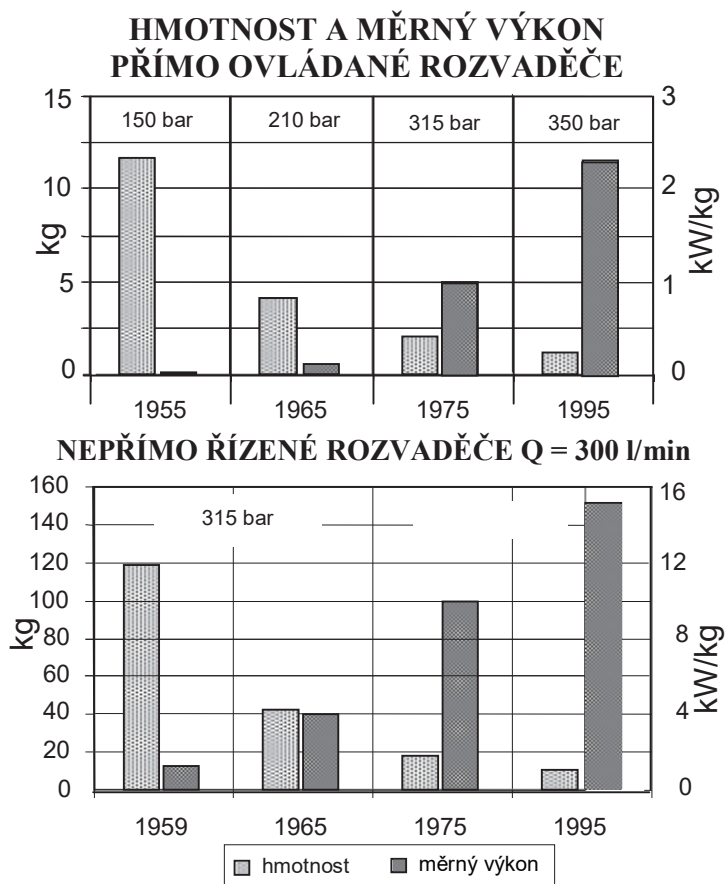
Obr. 1.7. Vývoj měrného výkonu u axiálních pístových čerpadel

Pohled na technický vývoj základních prvků hydrauliky – převodníků, ukazuje následující obrázek. Na obr. 1.7 je znázorněno zvyšování poměru výkonu k hmotnosti axiálních pístových čerpadel. Poměrný výkon je v první řadě ovlivněn otáčkami a úrovní pracovního tlaku, ale také zlepšenou účinností. Axiální pístové jednotky (převodníky) dosahují dnes celkové účinnosti kolem (92 až 94) % v širokém pracovním rozsahu. K tomuto výsledku přispěl jak vývoj v konstrukci, valivých ložiscích a používaných materiálech, tak vývoj

ve slévárství, v dokončovacích technologiích, resp. výrobě vůbec.

Byly zdokonalovány hydraulické sledovací mechanismy (servořízení vozidel, kopírovací suporty apod.) a v neposlední řadě bylo značné úsilí věnováno vývoji a výrobě elektrohydraulických polohových a rychlostních servomechanismů, které v době regulačních stejnosměrných elektromotorů s Ward-Leonardovým ústrojím byly jediným vhodným pohonem např. pro obráběcí stroje. Náležitá pozornost byla rovněž věnována vazbě

hydraulických a pneumatických mechanismů na elektrické, později elektronické, resp. číslicové řídicí systémy. V období, kdy převládala především tzv. „spínací technika“ byly



Obr. 1.8. Vývoj měrného výkonu, hmotnosti a tlaku u hydraulických rozvaděčů (obrázky 1.7 a 1.8 byly zpracovány podle [80])

podstatným článkem tekutinových obvodů rozvaděče, které svými odpory, průtoky a pracovními tlaky ovlivňovaly úroveň jimi přenášeného výkonu a účinnost obvodu. Představu o enormním zvýšení výkonu přenášeného rozvaděči, snížení jejich hmotnosti a zvýšení pracovního tlaku, které proběhlo koncem 19. a začátkem 20. století, dává obr. 1.8. K tomuto růstu výkonu přispěla zvláště zlepšená technologie lití těles rozvaděčů, konstrukční opatření vedoucí ke zmenšení hydrodynamických a radiálních sil, které působí na šoupátko a vývoj el.-magnetů. Vzhledem k tomu, že pneumatické mechanismy pracují s podstatně nižším tlakem než hydraulické, byly a jsou problémy spojené s propustností rozvaděčů předmětem trvalého řešení jak v oblasti konstrukce, tak v oblasti materiálů a technologie výroby, kterou v současné době můžeme pokládat za velkosériovou.

Zhruba od poloviny 80. let dvacátého století lze sledovat, že

se na inovaci hydrauliky a pneumatiky podílí zejména transfer technologií z jiných oborů – především jde o uplatnění elektroniky, resp. mikroelektroniky a sensoriky. Podstatné ovšem je, že se celkově mění pohled na koncepci prvků a uspořádání tekutinových mechanismů z konvenčního na mechatronický. Porovnání podstatných rozdílů v obou zmíněných přístupech k řešení technických úloh je stručně uvedeno v tab. 1.1, [12].

Tab. 1.1 Konvenční a mechatronický přístup k řešení technických úloh

KONVENČNÍ PŘÍSTUP	MECHATRONICKÝ PŘÍSTUP
složitě komponenty a proto často složitý mechanický systém	autonomní prvky, převedení mechanických funkcí do oblasti softwaru
přesnost je dosahována úzkými tolerancemi	přesnost je dosahována odměřováním a zpětnou vazbou
„tvrdé“ konstrukční uspořádání	„pružná“, a tím i lehčí konstrukce
komunikace - problémy s kabeláží	komunikace - využití fieldbus systémů
řízený (ovládaný) pohyb	programově řízený pohyb
neměřené veličiny jsou neovlivnitelné	výpočet a regulace neměřených veličin
jednoduchá kontrola mezních hodnot	kontrola formou diagnostiky chyb

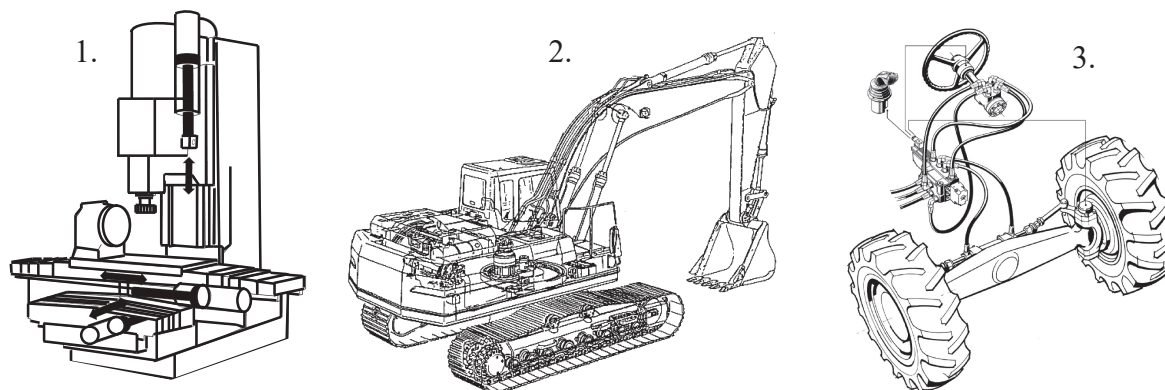
1.2. Stručný přehled současného stavu

V současné době je možné konstatovat, že všechny výše uvedené přístupy se promítají do konstrukce jednotlivých prvků nebo kompaktního uskupení prvků - bloků ve větší nebo menší míře jak v hydraulice, tak pneumatice. Tekutinové mechanismy tak disponují rozsáhlejšími funkčními možnostmi. Jsou komplexnější, výkonnější, ale současně hospodárnější a jednodušší pro použití. Proporcionální technika a regulační hydrogenerátory (hydraulická čerpadla) s integrovanou řídicí elektronikou v hydraulice a pneumatické rozváděčové (ventilové) ostrovy s individuálním nebo integrovaným elektrickým připojením jsou toho ne jediným příkladem. Vznikají komplexní stavební skupiny (moduly) - subsystémy, které výrobce kompletuje, zkouší, seřizuje, a distribuuje. Tato koncepce přináší úspory při montáži strojů, jejich instalaci, diagnostice i údržbě.

Tekutinové mechanismy tak získaly důležitý impuls pro další vývoj. Staly se důležitými kompletačními obory a jsou nedílnou součástí strojírenské výroby. Uplatňují se zejména v pohonech, v ovládání a řízení strojů a to jak stacionárních, tak mobilních, v upínacích a uchopovacích mechanismech a manipulační technice a v menší míře i v dalších oblastech.

Každá aplikace má svá specifika, která se promítají do konstrukce prvků, použitých materiálů jejich součástí, těsnění, ochrany proti okolním vlivům apod. Proto se dnes setkáme s tím, že se tekutinové mechanismy dělí (i z komerčního hlediska), na:

1. Mechanismy stacionárních strojů a zařízení tj. tzv. průmyslová hydraulika a pneumatika, typická je činnost v uzavřeném, pravidelně se opakujícím cyklu.
2. Mechanismy mobilních strojů a zařízení, tj. tzv. mobilní hydraulika a pneumatika, nemusejí se lišit ve své skladbě od předchozích mechanismů, avšak neppracují v pravidelných cyklech. Patří sem též hydrostatické převody užitě zejména v pohonu pojezdu mobilních strojů.
3. Hydraulické a pneumatické servomechanismy, tzn. mechanismy alespoň s jednou vnější zpětnou vazbou (polohovou, rychlostní nebo silovou či momentovou). Jsou zpravidla součástí jak stacionárních, tak i mobilních strojů.



Obr. 1.9. Průmyslová a mobilní hydraulika a pneumatika, servomechanismy

1.3. Vlastnosti hydraulických a pneumatických mechanismů

Nejprve si všimneme společných vlastností, které vyplývají především z principu jejich činnosti a při přenosu tlakové energie ve srovnání s elektrickými a tuhými mechanismy a posléze vlastností specifických.

K přednostem můžeme zařadit:

- 1) možnost spojitého i stupňovitého řízení parametrů přenášené energie, tj. průtoku a tlaku, tudíž řízení rychlosti, resp. pohybové frekvence, síly nebo točivého momentu

na výstupním členu mechanismu v širokém rozsahu při vhodném poměru výkonu a hmotnosti, s dobrou dynamikou, a to zejména ve srovnání se systémy, kde převládá přenos energie tuhými mechanismy,

- 2) snadné jištění proti přetížení, možnost zastavení či reverzace pohybu motoru při plném zatížení jednoduchými prostředky,
- 3) snadná vazba na řídicí systémy, ať již PLC nebo PC vč. využití moderních komunikačních prostředků, činí tyto mechanismy vhodnými pro automatizaci strojů,
- 4) snadná realizace přímočarých pohybů jednoduchými a spolehlivými motory – hydraulickými válci, bez nutnosti zařazení dalších transformačních členů,
- 5) možnost zástavby řídicích prvků do bloků, na desku, do ostrovů se společným připojením na tekutinový kanál a s odděleným či společným připojením komunikačních kanálů,
- 6) možnost snadného rozvodu tlakové energie i do méně přístupných míst strojů a zařízení, k různě orientovaným motorům, k uzlům strojů, které se vzájemně pohybují, a to i na poměrně značnou vzdálenost,

k nedostatkům patří:

- 7) ztráty na výstupním výkonu, jednak v důsledku disipace tlakové energie při průtoku tekutiny vedením (trubkami, hadicemi, tvarovými kusy a měnicemi se průtočnými průřezy), které jsou závislé na rychlosti proudění, viskozitě tekutiny, anebo kontrakci proudu a jednak v důsledku objemových ztrát, které jsou dány velikostí funkčních vůlí, event. případnými netěsnostmi, viskozitou a velikostí tlakového spádu; objemové ztráty lze výrazně ovlivnit přesností výroby a technickou a materiálovou úrovní ucpávek (těsnění),
- 8) citlivost na nečistoty je skutečnost, související úzce s předchozím odstavcem, vyžaduje filtraci kapaliny, resp. úpravu vzduchu,
- 9) stlačitelnost tekutiny se promítá do tuhosti a tudíž činnosti mechanismů při statických i časově proměnných jevech, při synchronizaci pohybu dvou a více motorů různě zatížených, promítá se do přesnosti polohy apod.; u pneumatiky je tento jev pronikavý a nelze jej řešit konvenčním způsobem,

k přednostem hydraulických mechanismů oproti pneumatickým lze přičíst:

- 10) podstatně větší tuhost a účinnost,
- 11) možnost dosažení velmi malých rychlostí a plynulého chodu díky dobrému mazání a tudíž malým pasivním odporům,
- 12) odvod tepla protékající kapalinou; zejména při přenosech velkých výkonů je potřeba zařadit do obvodu chladič,

k nedostatkům hydraulických mechanismů oproti pneumatickým patří:

- 13) nutnost samostatného zdroje tlakové kapaliny,
- 14) dosažení vysokých rychlostí pohybu motorů je obtížné, zaplňování pracovních prostorů je spojené s velkými tlakovými úbytky, viz bod 7,
- 15) výrazná změna viskozity s teplotou se promítá především do vnitřních objemových ztrát, což se projevuje změnou pohybové frekvence, účinnosti a přesnosti, viz bod 7,
- 16) nutnost zpětného vedení kapaliny,
- 17) hydraulické mechanismy využívají jako nositele energie ponejvíce minerální oleje, méně již syntetické oleje a emulze nebo nehořlavé kapaliny, nejčastěji látky, které mohou při netěsnosti obvodů nepříznivě ovlivnit životní prostředí,

k přednostem pneumatických mechanismů oproti hydraulickým lze přičíst:

- 18) možnost napájení z centrálního rozvodu vzduchu a to, že není potřeba zpětné vedení; centrální rozvod musí být dobře dimenzován co do průtočného průřezu vedení a spolehlivě utěsněn, nemá-li být zatížen příliš velkými ztrátami,
- 19) velmi rychlou odezvu na vstupní signál; možnost dosažení velmi vysokých frekvencí pohybu motoru, což souvisí s viskozitními vlastnostmi vzduchu, které dovolují vysokou rychlost proudění ve vedení s přijatelnou tlakovou ztrátou, viz bod 7,
- 20) možnost činnosti ve výbušném prostředí, vlhku, prostředí s nebezpečím vznícení apod.,

k nedostatkům pneumatických mechanismů oproti hydraulickým patří:

- 21) z energetického hlediska poměrně drahý provoz,
- 22) malá tuhost, viz bod 9,
- 23) obtížné udržení rovnoměrného pohybu výstupního členu mechanismu, zejména při malých rychlostech, což je důsledek malé tuhosti a proměnných pasivních odporů.

1.4. Technické parametry

Technické parametry hydraulických a pneumatických mechanismů podstatným způsobem ovlivňují jejich použití a aplikační možnosti. Základními parametry přenosu výkonu tekutinou jsou : tlak p a průtok Q , které spolu s velikostí plochy S přímočarého a geometrického objemu V rotačního motoru určují sílu $F = p.S$, moment $M = p.V/2\pi$, rychlost $v = Q/S$, úhlovou rychlost $\omega = Q/(V/2\pi)$, resp. otáčky $n = Q/V$ a výkon $P = F.v = M.\omega = p.Q$. Vzhledem k výrazně rozdílné stlačitelnosti olejů a vzduchu, která se promítá do velikosti akumulované energie a s tím spojené změny objemu při daném tlakovém spádu, jsou pracovní tlaky v pneumatice výrazně nižší.

Hydraulické mechanismy dnes pracují s tlaky v rozsahu do 35 až 45 MPa a průtoky od několika $\text{dm}^3\text{min}^{-1}$ do několika tisíc $\text{dm}^3\text{min}^{-1}$. Naproti tomu pneumatické mechanismy pracují vesměs s tlakem 0,63 MPa a průtokem nasávaného vzduchu řádově od 10 do $1.10^3 \text{dm}^3\text{min}^{-1}$. Na základě uvedených skutečností a vyráběných velikostí motorů, lze stanovit výstupní parametry hydraulického a pneumatického mechanismu – tab. 1.2, [42].

Tab. 1.2. *Parametry hydraulických a pneumatických mechanismů*

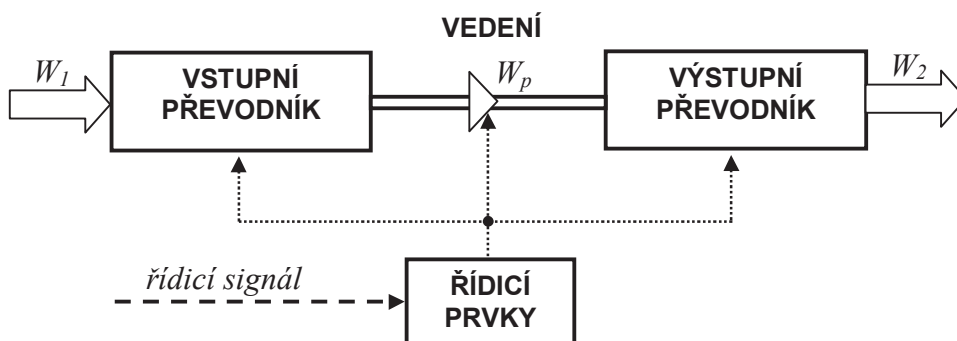
PARAMETR	HYDRAULICKÝ MECHANISMUS	PNEUMATICKÝ MECHANISMUS
	VELIKOST	
síla [N]	10 až 10^6	1 až 10^5
moment [N.m]	1 až 10^6	0,1 až 10^2
výkon [kW]	0,1 až 10^3	0.01 až 10
rychlost [m.s^{-1}]	0,01 až 0,5	0,01 až 5
otáčky [min^{-1}]	5 až 10^4	10^2 až 10^5

Z aplikačních oblastí hydrauliky lze jmenovat: stavební stroje a stavebnictví, obráběcí stroje, silniční, komunální a kolejová vozidla, dopravní stroje a zařízení, stroje na zpracování plastů a pryže, zemědělské a lesnické stroje, stroje pro hutní výrobu a tvářecí stroje. Pneumatika se uplatňuje: zejména při automatizaci výrobních, montážních a manipulačních procesů, a to zvláště ve strojírenství, elektrotechnickém, chemickém a metalurgickém průmyslu, v textilním a papírenském průmyslu, u tiskových a balicích strojů, v dopravě a stavebnictví.

2. PRINCIP ČINNOSTI A ROZDĚLENÍ TEKUTINOVÝCH MECHANISMŮ

2.1 Princip činnosti

Tekutinový mechanismus je mechanismus, který k přenosu energie a informace využívá jako nositele energie tekutinu. Zprostředkovává přenos energie mezi dvěma nebo více místy v prostoru a dovoluje ovládat parametry jejího toku podle zadaných požadavků. V průběhu tohoto procesu dochází k přeměně mechanické energie na energii tlakovou (obr. 2.1) a opačně.

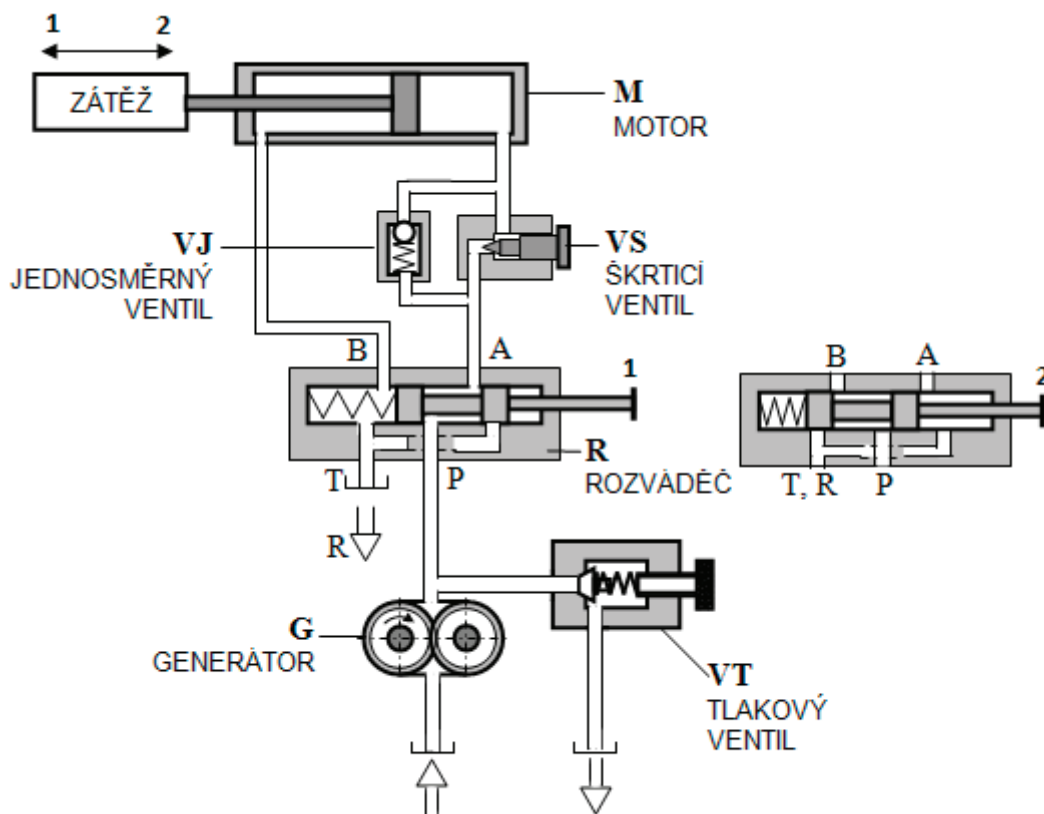


Obr. 2.1. Blokové schéma přenosu energie v tekutinovém mechanismu

Mechanická energie W_1 se ve **vstupním převodníku**, generátoru, převádí na energii tlakovou W_p , která je **nositelem energie**, uzavřeném v **přenosovém kanálu, vedení**, přivedena do **výstupního převodníku**, motoru, který ji převede na mechanickou energii W_2 . Tok tlakové energie je ovládán **řídícími prvky**, které jsou součástí generátoru, nebo motoru anebo jsou zastavěny ve vedení. Řídící signál může být spojitý, nebo diskrétní a různé fyzikální povahy. Řídící prvky jsou vlastně jistými druhy převodníků a plní v mnoha případech funkci zesilovačů. Činnost těchto prvků je řízena podle požadavků na funkci stroje, jehož komponentem tekutinový mechanismus je.

Na obr. 2.2 je funkční schéma jednoduchého tekutinového mechanismu, odkud je zřejmý princip jeho činnosti. Zjednodušeně řečeno: generátor **G**, **hydraulické čerpadlo nebo kompresor**, poháněný elektromotorem anebo jiným druhem motoru (např. spalovacím) nasává tekutinu z nádrže, nebo okolí a dodává její určitý objem za jednotku času - **průtok** do připojeného systému. Jestliže je **rozvaděč R** v poloze 1, držené pružinou, tekutina protéká rozvaděčem cestou $P \rightarrow A$, **škrticím ventilem VS**. Proto, že **jednosměrný ventil VJ** je uzavřen, vstupuje do pravého poloprostoru **přímočarého motoru M**, jehož píst se pohybuje ve směru 1 - tj. vysouvá se. Tekutina odtéká z levého poloprostoru motoru přes rozvaděč cestou $B \rightarrow T$ a vrací se zpět do nádrže, nebo vystupuje do okolí $B \rightarrow R$. **Tlak** na výstupu generátoru při pohybu motoru je udržován **tlakovým ventilem VT** na přibližně konstantní hodnotě. Rychlost pohybu je dána průtokem, který odpovídá otevření škrticího ventilu, vztaženým na činnou plochu pístu motoru. Přestaví-li se rozvaděč silou, působící na tlačítko, do polohy 2, protéká tekutina rozvaděčem cestou $P \rightarrow B$ a píst motoru se pohybuje ve směru 2 - zasouvá se. Tekutina odtéká z motoru přes jednosměrný ventil **VJ** a rozvaděč cestou $A \rightarrow T$, nebo $A \rightarrow R$. Motor se pohybuje rychlostí, která není ovlivněna škrticím ventilem. Najede-li píst motoru na jedno, nebo druhé víko, zastaví se a tekutina uniká z obvodu přes tlakový ventil. Tlak na tlakovém ventilu se nastavuje předpětím pružiny.

Schémata hydraulických a pneumatických mechanismů se ovšem nekreslí tak, jak je ukázáno na obr. 2.2, nýbrž formou, danou normou ČSN ISO 1219-1. Mechanismus uvedený na obr. 2.2, nakreslený pomocí grafických značek, je ve variantách hydraulického a pneumatického mechanismu na obr. 2.3.



Obr. 2.2. Funkční schéma tekutinového mechanismu

2.2 Rozdělení tekutinových mechanismů

Tekutinové mechanismy lze rozdělit, stejně jako i jiné mechanismy, podle různých hledisek, avšak v tomto případě je základním hlediskem druh nositele energie. Z tohoto pohledu dělíme tekutinové mechanismy:

- na **hydraulické** – nositelem energie je kapalina, v našem případě **olej** a
- na **pneumatické** – nositelem energie je plyn, v našem případě **vzduch**.

Se zřetelem k charakteru pohybu nositele energie ve vedení, rozlišujeme [64], [65]:

- mechanismy se **stejným** směrným průtokem nositele energie – **stejným** směrným,
- mechanismy se **střídavým** průtokem nositele energie - **střídavé**.

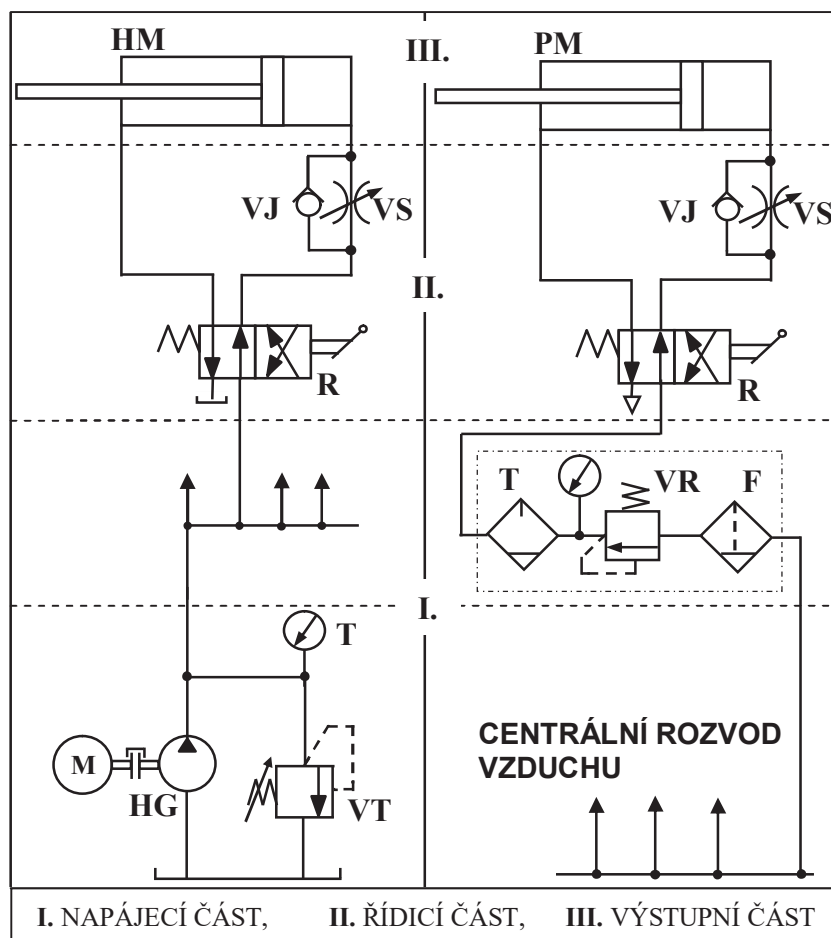
Mechanismy **stejným** směrným se vyznačují tím, že nositel energie protéká vedením stále ve stejném směru, tj. od generátoru k motoru. Ve **střídavých** mechanismech se mění periodicky směr průtoku nositele energie od generátoru k motoru a naopak. Kombinaci **stejným** směrným a **střídavých** mechanismů označujeme jako

- mechanismy **hybridní**.

Na obr. 2.3 je, na příkladu jednoduchého systému s přímočarým motorem s reverzací chodu a plynulým řízením jeho rychlosti v jednom směru pohybu, ukázána skladba **stejným** směrným hydraulického a pneumatického mechanismu. Činnost obou těchto mechanismů již byla souhrnně popsána (viz popis k obr. 2.2). Z obrázku vidíme, že základními částmi stavby obou mechanismů jsou **prvky**.

- **Prvkem** rozumíme zařízení, které plní určitou funkci při přenosu a transformaci tlakové energie.

HYDRAULICKÝ MECHANISMUS PNEUMATICKÝ MECHANISMUS

Obr. 2.3. *Hydraulický a pneumatický stejnosměrný mechanismus*

Prvky můžeme rozdělit do skupin a to na prvky:

- **výkonové** - převodníky, hydrogenerátory a motory,
- **řídící** - prvky pro řízení průtoku, tlaku a řízení směru a hrazení průtoku,
- **pomocné** – avšak nezbytné pro stavbu a funkci mechanismů, např.: čističe, těsnění, spojovací části, trubky, hadice atd.

Prvky se uspořádávají do obvodů,

- **obvod** je takové seskupení prvků, které zajistí požadované funkce,
- seskupení obvodů tvoří **soustavu**.

Mechanismus může pracovat:

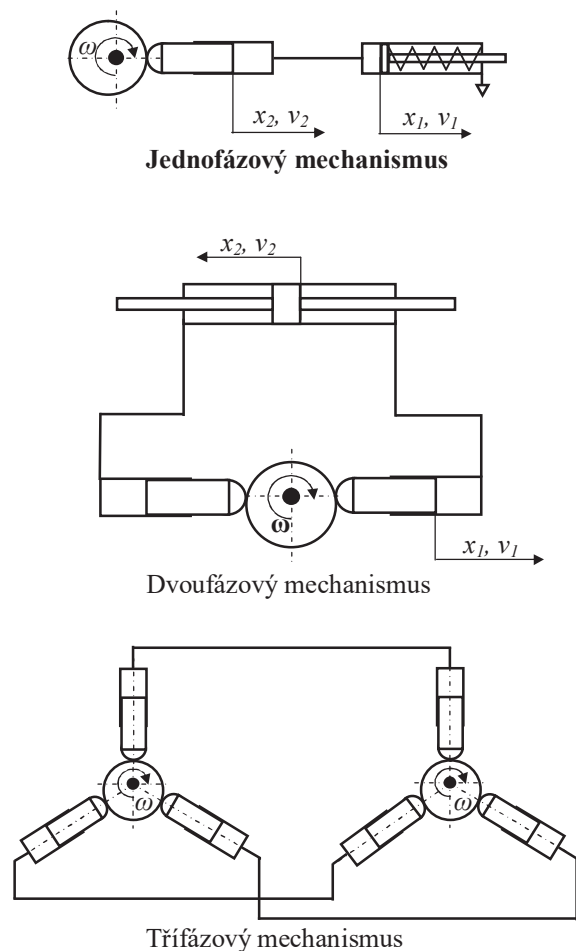
- **s obvodem otevřeným** – hlavní část tekutiny se po předání energie vrací do nádrže nebo okolí, nebo
- **s obvodem uzavřeným** – hlavní část tekutiny po předání energie je přivedena na vstup generátoru.

Všimněme si nyní blíže obr. 2.3, odkud je zřejmé, že obvody jsou v částech II. a III. zcela shodné. Rozváděčem je měněn smysl pohybu motoru (HM, PM). Škrticím ventilem VS je řízena rychlost pohybu motoru při vysouvání pístní tyče. Při zasouvání pístní tyče je jednosměrný ventil VJ propustný a motor se pohybuje rychlostí odpovídající přiváděnému průtoku od zdroje. Obvody se liší v části I. Hydraulický mechanismus je povětšinou vybaven samostatným zdrojem, který je v nezbytné skladbě tvořen motorem (zde konkrétně elektromotorem M) hydrogenerátorem HG s paralelně připojeným tlakovým ventilem VT

a nádrží. Zdroj je samozřejmě vybaven ještě dalšími prvky nutnými pro jeho činnost, seřízení apod. Pneumatický mechanismus je zpravidla připojen na centrální rozvod vzduchu – u stacionárních strojů. Vlastnímu obvodu je předřazena skupina prvků (čistič **F** s odlučovačem vody, redukční ventil **VR**, tlakoměr **TM** a maznice **M**), která tvoří tzv.

jednotku úpravy vzduchu, která může být různě modifikována. Toto zařízení zbavuje vzduch mechanických nečistot a zkondenzované vody (**F**), snižuje úroveň tlaku na požadovanou hodnotu (**VR**), kterou udržuje přibližně na konstantní hodnotě nezávisle na kolísání tlaku v centrálním rozvodu a vzduch obohacuje olejem (**M**) pro mazání všech kluzných ploch v prvcích připojeného obvodu (pokud to je žádoucí).

Na obr. 2.4 jsou uvedena principiální uspořádání hydraulických mechanismů se střídavým proudem nositele energie, tj. bez plicních obvodů a dalších prvků. Ve všech případech je členem, který udílí pístu (pístům) generátoru **G** periodický pohyb excentr. Nahlédneme však, že v případě jednofázového mechanismu lze použít člen s libovolným výtvarným zákonem (vačka, klikový mechanismus) u dvoufázového mechanismu je potřeba, aby zdvihová závislost budícího členu byla geometricky symetrická. Třífázový mechanismus tyto možnosti neskýtá, avšak umožňuje i uspořádání pístků v řadě s harmonicky proměnnou dráhou a tak dosažení posuvného pohybu. U jednofázového mechanismu je nezbytná akumulace energie, nutné pro zajištění zpětného pohybu motoru **M**. U dvou- a třífázového (event. vícefázového)



Obr. 2.4. *Hydraulické mechanismy se střídavým průtokem kapaliny*

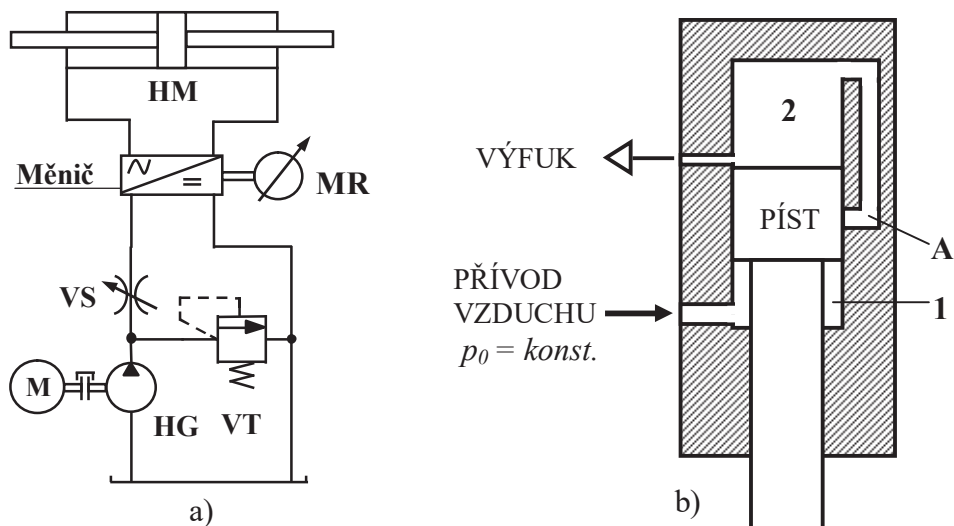
mechanismu tento problém nenastává vzhledem ke geometrickému (fázovému) posunutí jednotlivých přenosových kanálů.

Pro mechanismy se střídavým průtokem nositele energie je charakteristická reprodukce pohybu generátoru motorem, ale je u nich obtížné řízení parametrů přenášeného výkonu. Z tohoto hlediska jsou srovnatelné s vačkovými nebo kloubovými transformačními členy.

Spojením stejnosměrného a střídavého mechanismu vznikne mechanismus hybridní (obr. 2.5a). Stejnosměrný obvod sestává z hydrogenerátoru **HG** z tlakového ventilu **VT**, čističe **F** a škrticího ventilu **VS**. Střídavý obvod je tvořen přímočarým hydromotorem **HM**. Oba obvody jsou spolu vázány **měníčem**. Podstatnou výhodou tohoto mechanismu oproti mechanismům střídavým je možnost řízení frekvence regulačním motorem **MR**, který pohání měnič (rotační šoupátko) a amplitudy pohybu motoru **HM** pomocí škrticího ventilu **VS**, který řídí velikost průtoku měničem.

Jak bylo ukázáno, hydraulické a pneumatické mechanismy se v principu činnosti a skladbě neliší, ale skutečnost, že vzduch je výrazně stlačitelnější než olej (10^3 krát, viz

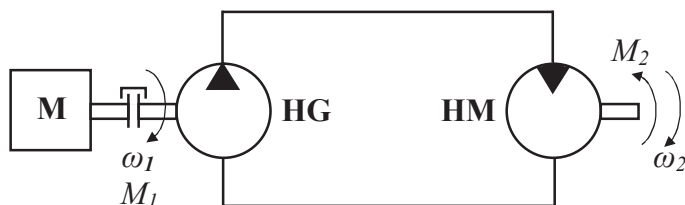
kap. 3.2.3), lze **pneumatické mechanismy realizovat jako stejnosměrné nebo hybridní, pracující s otevřenými obvody**. Na obr. 2.5b je ukázán princip bezventilového mechanismu pneumatického kladiva. Vzduch vstupuje do prostoru 1 pod píst kladiva a pohybuje jím směrem vzhůru tak dlouho, dokud dolní hrana pístu neodkryje kanál A, čímž se uvolní přístup tlakového vzduchu do prostoru 2 nad pístem. Protože plocha, na níž působí tlak, je nad pístem



Obr. 2.5. Hybridní mechanismy

podstatně větší než plocha spodní, pohybuje se píst zrychleně dolů. Vzduch z prostoru 2 při pohybu pístu vzhůru nejprve uniká výfukem do okolí do té doby, dokud jej nezakryje horní hrana pístu. Pak se začne vzduch v prostoru 2 stlačovat. Jakmile je kanálem A uvolněn přístup tlakového vzduchu, je již vzduch nad pístem částečně stlačen a tím se zmenšuje jeho spotřeba.

Hydraulické mechanismy mohou pracovat jak s otevřeným obvodem – podstatná část oleje se vrací zpět do nádrže, kde je přímý průtok obvodem přerušen (obr. 2.3), **tak s obvodem uzavřeným** (obr. 2.6), kdy se podstatná část kapaliny z rotačního hydromotoru **HM** vrací přímo na vstup hydrogenerátoru **HG**. Na obrázku je ukázán pouze princip, chybí plnicí obvod a prvky pro jištění. Vztah mezi úhlovými rychlostmi motoru ω_2 a generátoru ω_1 , převod, je dán geometrickými objemy obou prvků. Takovéto systémy, které slouží převážně k dosažení transformace pohybové frekvence, se nazývají **hydrostatické převody**. Příkladem uzavřených obvodů jsou rovněž obvody mechanismů střídavých (obr. 2.4).



Obr. 2.6. Uzavřený hydraulický obvod

Název Hydraulické a pneumatické mechanismy I.
Autor doc. Ing. Josef Cerha, CSc.
Vydavatel: Technická univerzita v Liberci, Studentská
 1402/2, Liberec
Určeno pro studenty FS TUL
Schváleno Rektorátem TUL dne 9.9.2016,
 čj. RE 29/16
Vyšlo v září 2016
Vydání 3.
Tiskárna Vysokoškolský podnik Liberec, spol. s r.o.
 Studentská 1402/2, Liberec
Číslo publikace 55-029-16

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou

ISBN 978-80-7494-294-5



9 788074 942945