

## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b>	
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
<b>2. PRINCIP ČINNOSTI A ROZDĚLENÍ HYDRAULICKÝCH A PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ</b>	
2.1 Princip činnosti	19
2.2 Rozdělení hydraulických a pneumatických mechanismů	20
<b>ČÁST I.</b>	
<b>TEORETICKÉ ZÁKLADY HYDRAULICKÝCH A PNEUMATICKÝCH MECHANISMŮ</b>	
<b>3. PŘENOS ENERGIE HYDRAULICKÝMI A PNEUMATICKÝMI MECHANISMY</b>	
3.1 <b>Idealizovaný tekutinový mechanismus</b>	<b>24</b>
3.1.1 Přeměna energie ve vstupním a výstupním převodníku	24
3.1.2 Jednoduché tekutinové mechanismy, příklady	25
3.2 <b>Přenos energie v reálných hydraulických a pneumatických mechanismech</b>	<b>29</b>
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 vymezujících 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 <b>Odpor přímého úseku vedení a místní odpory</b>	<b>41</b>
3.3.1 Odpor přímého úseku vedení	42
3.3.2 Mstní odpory	44
3.3.3 Elektrohydraulické analogie 1	45
3.4 <b>Průtok otvory</b>	<b>46</b>
3.4.1 Průtok kapaliny otvory	47

3.4.2	Průtok vzduchu otvory	49
<b>3.5</b>	<b>Průtok hydraulickými a pneumatickými prvky</b>	<b>51</b>
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
<b>3.6</b>	<b>Průtok štěrbinami</b>	<b>56</b>
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
<b>3.7</b>	<b>Proměnné odpory</b>	<b>62</b>
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
<b>3.8</b>	<b>Dynamické účinky proudící tekutiny</b>	<b>76</b>
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
<b>3.9</b>	<b>Tekutina v pracovních prostorech prvků a systémů</b>	<b>86</b>
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

<b>4.1 Vstupní a výstupní převodníky</b>	<b>98</b>
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
<b>4.2 Řídicí prvky</b>	<b>130</b>
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 Škrťací ventily	141
4.2.2.2 Škrťací 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 Rozváděče	151
4.2.3.2.1 Šoupátkové rozváděče	153
4.2.3.2.2 Sedlové rozváděče	155
4.2.3.2.3 Síly působící na šoupátko rozváděče	156
4.2.3.2.4 Ovládání rozváděčů	163
4.2.3.2.5 Skupinové rozváděče	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 škrťací ventily	185
4.2.5.6 Proporcionální rozváděče	188
4.2.6 Servoventily	194

<b>4.3. Kapaliny</b>	<b>199</b>
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
<b>4.4 Zásobníky kapalin</b>	<b>204</b>
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
<b>4.5 Filtry a filtrace</b>	<b>219</b>
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
<b>4.6 Těsnění</b>	<b>224</b>
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 Opatřebení těsnění	231
4.6.2.5 Těsnící 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
<b>4.7 Vedení a spojovací části</b>	<b>234</b>
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
<b>5. ZÁKLADNÍ HYDRAULICKÉ OBVODY</b>	
<b>5.1 Zdroje tlakové kapaliny</b>	<b>246</b>
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
<b>5.2 Řízení rychlosti hydromotorů</b>	<b>263</b>
5.2.1 Řízení rychlosti škrcením	264
5.2.1.1 Řízení rychlosti škrcením – škrťací ventil v sérii na vstupu do hydromotoru	264
5.2.1.2 Řízení rychlosti škrcením – škrťací ventil v sérii na výstupu z hydromotoru	266
5.2.1.3 Řízení rychlosti škrcením – škrťací ventil paralelně na vstupu do hydromotoru	266
5.2.1.4 Použití škrťacích ventilů se stabilizací tlakového spádu	268
5.2.1.5 Umístění škrťacích ventilů vzhledem k motoru a rozváděči	270
5.2.1.6 Účinnost při řízení rychlosti škrcením	271
5.2.1.7 Řízení rychlosti proporcionálními škrťacími ventily, proporcionálními rozváděči a servoventily	273
5.2.1.8 Stupňovitá změna rychlosti hydromotoru pomocí škrťacích ventilů	276
5.2.1.9 Příklady řízení směru 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
<b>5.4 Paralelní a sériové řazení hydromotorů</b>	<b>296</b>
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
<b>Literatura</b>	<b>315</b>