

## *Spis treści*

Przedmowa.....	9
Wykaz ważniejszych oznaczeń.....	11
1. Wstęp.....	13
1.1. Uwagi wstępne.....	13
1.2. Rozwój układów hydrostatycznych.....	14
1.3. Zalety i wady układów hydrostatycznych.....	17
2. Hydrostatyka i hydrodynamika cieczy lepkich.....	19
2.1. Hydrostatyka. Prawo Pascala.....	19
2.2. Hydrodynamika.....	22
2.2.1. Równanie Bernoulliego.....	23
2.2.2. Nagrzewanie się cieczy przy przepływie.....	24
2.2.3. Bezwładność słupa cieczy.....	26
2.2.4. Rodzaje przepływów.....	26
2.3. Liniowe straty ciśnienia.....	29
2.3.1. Przepływ laminarny w rurze. Prawo Stokesa.....	29
2.3.2. Natężenie przepływu laminarnego w rurze. Wzór Hagena-Poiseuille'a.....	31
2.3.3. Liniowe straty ciśnienia. Wzór Darcy'ego-Weisbacha.....	32
2.3.4. Liniowe straty ciśnienia przy przepływie turbulentnym.....	34
2.3.5. Zależność strat ciśnienia od natężenia przepływu.....	38
2.3.6. Zależność strat ciśnienia od lepkości cieczy.....	39
2.3.7. Zalecane prędkości przepływu.....	40
2.4. Miejscowe straty ciśnienia.....	41
2.4.1. Obliczanie strat miejscowych.....	41
2.4.2. Odcinek początkowy rury jako opór miejscowy.....	44
2.4.3. Przepływ przez dławik.....	46
2.5. Straty ciśnienia w obiegu hydraulicznym.....	49
2.6. Przepływ w szczelinach.....	51
2.6.1. Przepływ przez szczelinę płaską o stałej wysokości i ściankach nieruchomych.....	52
2.6.2. Przepływ przez szczelinę płaską promieniową.....	55
2.6.3. Przepływ przez szczelinę płaską o zmiennej wysokości.....	56

2.6.4.	Przepływ przez szczelinę płaską o małej szerokości .....	57
2.6.5.	Przepływ przez szczelinę pierścieniową .....	58
2.6.6.	Przepływ przez szczelinę pierścieniową mimośrodową .....	59
2.6.7.	Przepływ przez szczelinę pierścieniową przy skośnym ustawieniu tłoka .....	60
2.6.8.	Wpływ względnego ruchu powierzchni tworzących szczelinę .....	61
2.6.9.	Wpływ nieizotermiczności przepływu w szczelinach .....	63
2.6.10.	Ustawianie się tłoka w otworze .....	68
2.6.11.	Zalecane wysokości szczelin i tolerancje wykonania tłoków i otworów .....	71

---

### 3. Elementy układów hydraulicznych..... 75

---

3.1.	Ciecze hydrauliczne .....	75
3.1.1.	Właściwości i rodzaje hydraulicznych cieczy roboczych .....	75
3.1.1.1.	Rodzaje stosowanych hydraulicznych cieczy roboczych .....	76
3.1.1.2.	Lepkość .....	79
3.1.1.3.	Ścisłość .....	83
3.1.1.4.	Rozszerzalność cieplna .....	87
3.1.1.5.	Ciepło właściwe i przewodnictwo cieplne .....	88
3.1.1.6.	Starzenie się olejów mineralnych .....	88
3.1.1.7.	Czystość hydraulicznych cieczy roboczych .....	90
3.1.1.8.	Obliteracja .....	95
3.1.2.	Powietrze w układzie hydrostatycznym .....	96
3.1.2.1.	Rodzaje i miejsca występowania powietrza w układzie .....	96
3.1.2.2.	Mieszanina powietrza z olejem .....	98
3.1.2.3.	Roztwór powietrza i innych gazów w oleju .....	100
3.1.2.4.	Kawitacja .....	103
3.1.2.5.	Ścisłość cieczy zapowietrzonych .....	106
3.1.2.6.	Odpowietrzanie układów hydrostatycznych .....	107
3.2.	Pompy .....	112
3.2.1.	Klasyfikacja i ogólna charakterystyka pomp .....	118
3.2.2.	Pompy zębate .....	120
3.2.3.	Pompy śrubowe .....	128
3.2.4.	Pompy łopatkowe .....	132
3.2.5.	Pompy wielotłoczkowe promieniowe .....	140
3.2.6.	Pompy wielotłoczkowe osiowe .....	152
3.3.	Silniki obrotowe .....	178
3.3.1.	Klasyfikacja i ogólna charakterystyka silników .....	180
3.3.2.	Wolnoobrotowe silniki tłokowe .....	182
3.4.	Siłowniki .....	199
3.4.1.	Klasyfikacja siłowników .....	205
3.4.2.	Siłowniki jednostronnego działania .....	205
3.4.3.	Siłowniki teleskopowe .....	206
3.4.4.	Siłowniki dwustronnego działania .....	208
3.4.5.	Siłowniki precyzyjne .....	210
3.4.6.	Siłowniki wahliwe .....	212
3.5.	Zawory .....	216
3.5.1.	Rozdzielacze .....	218
3.5.2.	Zawory zwrotne i odcinające .....	233
3.5.3.	Zawory sterujące ciśnieniem .....	236
3.5.4.	Zawory sterujące natężeniem przepływu .....	249
3.5.5.	Zawory proporcjonalne i serwo .....	261

4.	Układy hydrostatyczne.....	274
4.1.	Układy sterowania prędkością silnika (przełożeniem przekładni hydrostatycznej).....	274
4.1.1.	Układy objętościowe.....	275
4.1.1.1.	Przekładnia hydrostatyczna z pompą o zmiennej wydajności pracująca w obiegu otwartym.....	275
4.1.1.2.	Przekładnia hydrostatyczna z silnikiem o zmiennej chłonności pracująca w obiegu otwartym.....	278
4.1.1.3.	Przekładnia hydrostatyczna o zmiennej objętości roboczej pompy i silnika pracująca w obiegu otwartym.....	280
4.1.1.4.	Przekładnia z silnikiem o ruchu prostoliniowo-zwrotnym (siłownikiem).....	281
4.1.1.5.	Przekładnia hydrostatyczna dwupompowa.....	283
4.1.1.6.	Wpływ strat energetycznych na charakterystyki przekładni objętościowych.....	286
4.1.1.7.	Kompensacja wpływu strat objętościowych w przekładni z siłownikiem.....	289
4.1.2.	Układy dławieniowe.....	292
4.1.2.1.	Układ z dławieniem na dopływie.....	292
4.1.2.2.	Układ z dławieniem na odpływie.....	295
4.1.2.3.	Układ z dławieniem równoległym.....	298
4.1.2.4.	Stabilizacja przepływu przez dławik.....	300
4.2.	Układy o różnym przeznaczeniu.....	310
4.2.1.	Sterowanie nawrotem.....	311
4.2.2.	Różnicowe układy z siłownikiem.....	319
4.2.3.	Układy wykonujące ruchy robocze i przyśpieszone.....	321
4.2.4.	Układy z akumulatorem hydraulicznym.....	324
4.2.5.	Blokady hydrauliczne.....	327
4.2.6.	Sterowanie według zasady stałej mocy.....	329
4.2.7.	Układy nadążne.....	332
4.2.8.	Układy proporcjonalne.....	337
4.2.9.	Układy z wieloma odbiornikami.....	341
4.2.9.1.	Układy konwencjonalne.....	341
4.2.9.2.	Układy ze sprzężeniem zwrotnym od obciążenia (Load Sensing).....	345
5.	Bilans energetyczny układów hydrostatycznych.....	351
5.1.	Sprawność układów hydrostatycznych.....	351
5.1.1.	Bilans energetyczny układów objętościowych.....	352
5.1.1.1.	Straty objętościowe.....	353
5.1.1.2.	Straty ciśnieniowe.....	357
5.1.1.3.	Straty mechaniczne.....	358
5.1.1.4.	Sprawność układu objętościowego dwupompowego.....	360
5.1.1.5.	Sprawność układu objętościowego jednopompowego.....	360
5.1.1.6.	Analiza sprawności układu objętościowego.....	361
5.1.2.	Bilans energetyczny układów dławieniowych.....	365
5.1.2.1.	Sprawność układu z dławieniem szeregowym.....	368
5.1.2.2.	Sprawność układów z regulatorami przepływu.....	371
	Literatura.....	375
	Skorowidz.....	377