

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 niezotermiczności 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 |