

Spis treści

Przedmowa.	11
Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
1. Klasyfikacja i zasady działania pomp i innych przenośników cieczy	17
1.1. Przenośniki cieczy	17
1.2. Pompy.	20
1.3. Rys historyczny rozwoju przenośników cieczy	26
1.4. Zasada działania pomp wirowych	27
1.4.1. Rozkład ciśnień w wirującym naczyniu wypełnionym cieczą.	27
1.4.2. Zasada działania pompy odśrodkowej i innych pomp wirowych	28
2. Parametry pracy pompy i układu pompowego.	30
2.1. Prosty układ pompowy	30
2.2. Główne parametry pracy pompy i układu pompowego	31
2.3. Praca właściwa oraz wysokość podnoszenia pompy i układu pompowego.	32
2.3.1. Ciśnienie wytwarzane przez pompę.	32
2.3.2. Całkowita energia właściwa cieczy	33
2.3.3. Związek między wysokością podnoszenia a pracą właściwą	34
2.3.4. Energia, praca właściwa oraz wysokości podnoszenia pompy i układu pompowego	36
2.3.5. Charakterystyka rurociągu (układu pompowego)	39
2.4. Straty i sprawności oraz moc na wale pompy	42
3. Jednowymiarowa teoria przepływu przez wirnik pompy	45
3.1. Potrzeba posiadania prostej teorii przepływu przez wirnik	45
3.2. Sposób przedstawiania przepływu w wirniku na płaszczyźnie	46
3.3. Charakter przepływu w kanałach międzyłopatkowych	49
3.4. Dodatkowe wnioski wynikające z rozważań dla cieczy idealnej.	50
3.5. Założenia jednowymiarowej teorii pomp wirowych	53
3.6. Wpływ gęstości palisady łopatkowej na obraz przepływu.	55
3.7. Równanie Eulera dla nieskończenie dużej liczby łopatek	57
3.7.1. Bilans krętu cieczy dla dowolnej liczby łopatek	57
3.7.2. Bilans krętu i równanie Eulera dla nieskończenie dużej liczby łopatek	59

3.8.	Równanie Eulera dla skończonej liczby łopatek	61
3.9.	Wpływ liczby łopatek na wysokość podnoszenia pompy. Poprawka Pfeleiderera.	63
3.10.	Trójkąty prędkości w obrębie wirnika o nieskończonej liczbie łopatek. Wpływ grubości łopatek	66
3.11.	Wpływ geometrii łopatek wirnika na parametry pracy pompy	72
3.11.1.	Stopień reakcyjności	72
3.11.2.	Wpływ kąta wylotowego łopatek wirnika na średnicę zewnętrzną wirnika i wysokość podnoszenia pompy odśrodkowej	73
4.	Zasady podobieństwa przepływów w pompach wirowych	80
4.1.	Wprowadzenie	80
4.2.	Warunki podobieństwa przepływów	81
4.3.	Warunki podobieństwa przepływów dla pomp wirowych.	83
4.4.	Wyróżnik szybkobieżności	86
4.5.	Związek wartości wyróżnika szybkobieżności z kształtem wirnika	89
5.	Projektowanie wirników pomp odśrodkowych, helikoidalnych i diagonalnych	94
5.1.	Wyznaczenie głównych wymiarów wirnika	94
5.1.1.	Obliczenia wstępne	94
5.1.2.	Moc na wale pompy i moc silnika napędowego	98
5.1.3.	Średnica wału i średnica piasty	101
5.1.4.	Prędkości w przekroju południkowym	104
5.1.5.	Główne średnice i szerokości	105
5.1.6.	Sprawdzenie wysokości podnoszenia	107
5.2.	Ukształtowanie kanału w przekroju południkowym	108
5.2.1.	Wyznaczenie środkowej linii prądu	108
5.2.2.	Profilowanie kanału w przekroju południkowym	110
5.3.	Wyznaczenie kształtu łopatki o pojedynczej krzywiznie metodą punktową	111
5.3.1.	Zarys metody punktowej	111
5.3.2.	Kolejność postępowania przy projektowaniu łopatki metodą punktową	113
5.3.3.	Sprawdzenie prawidłowości zarysu łopatki.	114
5.4.	Wyznaczenie kształtu łopatki o przestrzennej krzywiznie	115
5.4.1.	Zależności podstawowe.	115
5.4.2.	Zasady projektowania łopatek metodą odwzorowania	117
5.4.3.	Kolejność postępowania przy projektowaniu łopatki metodą odwzorowania	119
5.4.4.	Projektowanie łopatek wirników o dużych wyróżnikach szybkobieżności	122
5.5.	Przykłady obliczeniowe.	124
6.	Elementy doprowadzające i odprowadzające ciecz z wirników pomp odśrodkowych i helikoidalnych	139
6.1.	Zadania elementów odprowadzających ciecz z wirnika	139
6.2.	Kierownice bezłopatkowe	140
6.3.	Kierownice łopatkowe.	143
6.3.1.	Kierownica odśrodkowa	143
6.3.2.	Kierownica dośrodkowa	149
6.4.	Spiralne kanały zbiorcze	153
6.4.1.	Zależności ogólne	153
6.4.2.	Metoda stałego krętu	155
6.4.3.	Metoda stałej średniej prędkości przepływu	157
6.4.4.	Dyfuzor wylotowy.	159

6.5.	Współśrodkowe kanały zbiorcze	161
6.6.	Elementy doprowadzające ciecz do wirnika	162
6.6.1.	Zadania i rodzaje elementów doprowadzających	162
6.6.2.	Zasady konstruowania elementów doprowadzających	164
6.7.	Przykład obliczeniowy	165
7.	Siły hydrauliczne i ich równoważenie	172
7.1.	Siła poprzeczna	172
7.1.1.	Przyczyny powstawania sił poprzecznych	172
7.1.2.	Wartości sił poprzecznych	174
7.1.3.	Konstrukcyjne sposoby zmniejszenia wartości sił poprzecznych	178
7.2.	Siła wzdłużna	179
7.2.1.	Przyczyny powstawania sił wzdłużnych	179
7.2.2.	Wartości sił wzdłużnych	182
7.2.3.	Wartości współczynników zawirowań. Rozkłady $p(r)$	184
7.3.	Układy równoważące lub zmniejszające siły wzdłużne	188
7.3.1.	Wprowadzenie	188
7.3.2.	Otwory odciążające	189
7.3.3.	Łopatki odciążające	191
7.3.4.	Specjalne układy konstrukcyjne	194
7.3.5.	Bęben odciążający	195
7.3.6.	Tarcza odciążająca	198
7.3.7.	Łożysko hydrostatyczne	200
7.3.8.	Projektowanie tarcz odciążających	200
7.4.	Siła centrująca w mimośrodowej szczelinie wzdłużnej (siła Łomakina)	204
7.4.1.	Przyczyna powstawania siły Łomakina	204
7.4.2.	Wartość siły Łomakina i skutki jej działania	206
7.4.3.	Zmniejszenie siły Łomakina w wyniku modernizacji uszczelnień	207
8.	Charakterystyki pomp wirowych	208
8.1.	Wprowadzenie	208
8.2.	Charakterystyka przepływu	209
8.2.1.	Analiza jakościowa kształtu charakterystyki przepływu	209
8.2.2.	Doświadczalne otrzymywanie charakterystyki przepływu	213
8.2.3.	Stateczność i stromość charakterystyki przepływu	214
8.3.	Charakterystyka mocy i charakterystyka sprawności	216
8.4.	Charakterystyki uniwersalne	219
8.4.1.	Powinowactwo charakterystyk przepływu	219
8.4.2.	Sposób przedstawiania charakterystyk uniwersalnych	221
8.5.	Charakterystyki zupełne	223
8.5.1.	Rodzaje warunków pracy pompy	223
8.5.2.	Sposoby przedstawiania charakterystyk pomp pracujących w różnych warunkach	225
8.6.	Inne charakterystyki pomp	229
8.7.	Wpływ lepkości cieczy na charakterystyki pomp	230
8.7.1.	Charakterystyki pomp przetłaczających ciecz o powiększonej lepkości	230
8.7.2.	Charakterystyki pomp przetłaczających ciecz o obniżonej lepkości	233
8.8.	Charakterystyki grupy zespołów pompowych	233
8.8.1.	Charakterystyki przepływu pomp połączonych szeregowo	234
8.8.2.	Charakterystyki przepływu pomp połączonych równolegle	235
8.8.3.	Charakterystyki sprawności grup zespołów pompowych	237

9. Praca pompy w układzie pompowym	239
9.1. Charakterystyka układu pompowego	239
9.1.1. Charakterystyka prostego układu pompowego	239
9.1.2. Charakterystyka układu z rurociągami połączonymi szeregowo	240
9.1.3. Charakterystyka układu z rurociągami połączonymi równolegle	242
9.2. Punkt pracy pompy w układzie pompowym	243
9.2.1. Parametry punktu pracy pompy w prostym układzie pompowym	243
9.2.2. Zdolność dostosowania się pompy wirowej do zmian warunków pracy	244
9.3. Proste i złożone układy pompowe	246
9.3.1. Ogólne zasady rozwiązywania zadań dotyczących układów pompowych	246
9.3.2. Przykłady rozwiązywania układów pompowych o różnym stopniu złożoności	247
10. Kawitacja i charakterystyki kawitacyjne	253
10.1. Wprowadzenie	253
10.2. Istota, objawy i skutki kawitacji	254
10.3. Przyczyny powstawania kawitacji i jej rodzaje	257
10.4. Początek, stopnie rozwoju i fazy kawitacji	258
10.5. Nadwyżki antykawitacyjne i wyróżniki kawitacyjne	260
10.6. Charakterystyki kawitacyjne	263
10.7. Wpływ warunków pracy pompy na powstanie kawitacji	266
11. Pompy diagonalne i śmigłowe	270
11.1. Ogólne cechy pomp diagonalnych i śmigłowych	270
11.2. Pompy diagonalne	272
11.2.1. Wirniki	272
11.2.2. Kierownice	273
11.3. Pompy śmigłowe	275
11.3.1. Ogólne zależności dla pojedynczego profilu, prostej palisady profili i palisady łopatek wirnika	275
11.3.2. Zasada działania pompy śmigłowej	280
11.3.3. Wyznaczenie głównych wymiarów wirnika pompy śmigłowej	281
11.3.4. Kierownica łopatkowa	288
11.3.5. Ocena oczekiwanych właściwości antykawitacyjnych pompy śmigłowej	289
11.3.6. Napór osiowy w pompie śmigłowej	290
11.4. Charakterystyki oraz regulacja parametrów pomp diagonalnych i śmigłowych	292
11.4.1. Charakterystyki pomp diagonalnych i śmigłowych	292
11.4.2. Regulacja parametrów pomp diagonalnych i śmigłowych	294
12. Pompy wirowe innych rodzajów	297
12.1. Przyczyny powstania nietypowych rozwiązań konstrukcyjnych pomp wirowych	297
12.2. Pompy bocznokanałowe i peryferalne	299
12.2.1. Pompy bocznokanałowe	299
12.2.2. Pompy peryferalne	303
12.3. Pompy tarczowe	307
12.4. Pompy czerpakowe	310
12.5. Pompy z wirnikami otworowymi	312
12.6. Pompy o swobodnym przepływie	314
12.7. Pompoturbin odwracalne	316
13. Regulacja i napędy pomp wirowych	319
13.1. Wiadomości wstępne	319

13.2. Podstawowe sposoby regulacji parametrów pracy pompy.	321
13.2.1. Regulacja dławieniowa.	321
13.2.2. Regulacja upustowa.	324
13.2.3. Regulacja przez zmianę prędkości obrotowej wirnika.	327
13.2.4. Regulacja przez zmianę liczby pracujących pomp połączonych równolegle. . .	330
13.2.5. Współpraca pomp odśrodkowych regulowanych i nieregulowanych.	331
13.3. Inne sposoby regulacji.	332
13.4. Obtoczenia wirników i obszary stosowalności pomp.	335
13.4.1. Zmiana parametrów pracy pompy przez zmniejszenie średnicy zewnętrznej wirnika.	335
13.4.2. Wyznaczenie średnicy d_2 wirnika po obtoczeniu.	337
13.4.3. Obszar stosowalności pompy danej wielkości.	339
13.5. Napędy pomp wirowych.	340
13.5.1. Rodzaje napędów pomp wirowych.	340
13.5.2. Najważniejsze informacje o silnikach elektrycznych.	341
13.5.3. Tradycyjne napędy o zmiennych prędkościach obrotowych.	343
13.5.4. Tyristorowe napędy o zmiennych prędkościach obrotowych.	345
13.5.5. Porównanie różnych sposobów realizacji zmian prędkości obrotowej.	346
14. Optymalny dobór i eksploatacja pomp wirowych.	350
14.1. Typoszeregi pomp wirowych.	350
14.1.1. Obszar zastosowań pomp wirowych.	350
14.1.2. Pole zapotrzebowań i typoszereg pomp.	352
14.2. Dobór pompy wirowej do projektowanego lub istniejącego układu pompowego.	354
14.2.1. Czynniki wpływające na dobór pompy.	354
14.2.2. Wyznaczenie charakterystyki układu.	355
14.2.3. Ogólne zasady optymalnego doboru pomp do instalacji nowych i modernizowanych.	356
14.2.4. Dobór parametrów znamionowych oraz wybór pojedynczej pompy.	357
14.2.5. Ustalenie parametrów znamionowych grupy $m > 1$ pomp oraz wybór pomp. . .	363
14.3. Ogólne zasady eksploatacji pomp.	364
14.3.1. Zapoznanie się z działaniem pompy i instalacji.	364
14.3.2. Podstawowe zasady montażu pomp i rurociągów.	365
14.3.3. Racjonalna obsługa pomp.	367
14.3.4. Zakres dopuszczalnej ciągłej pracy pompy.	368
15. Poprawa efektywności energetycznej układów pompowych.	373
15.1. Znaczenie wysokiej efektywności energetycznej.	373
15.2. Efektywność energetyczna układów pompowych.	374
15.2.1. Konieczność zmniejszenia energochłonności transportu cieczy.	374
15.2.2. Warunki ekonomicznej pracy pompy i instalacji pompowej.	376
15.2.3. Sprawność całkowita i inne kryteria oceny obiektu pompowego.	377
15.3. Przyczyny strat energii w układach pompowych i możliwości ich zmniejszenia.	379
15.3.1. Ogólne przyczyny strat energii i sposoby ich zmniejszenia.	379
15.3.2. Główne źródła strat powstałych poza zespołami pompowymi.	381
15.4. Modernizacje układów pompowych zmniejszające energochłonność transportu cieczy.	383
15.4.1. Poprawa doboru pomp.	383
15.4.2. Zmiana koncepcji hydraulicznej układu.	387
15.4.3. Modernizacja rurociągów zmniejszająca opory przepływu.	388

15.4.4. Przywrócenie lub poprawa drożności rurociągu	389
15.4.5. Zmiana sposobu regulacji.	390
15.5. Modernizacje zwiększające sprawność pompy	391
15.6. Koszty działań modernizacyjnych	396
15.7. Niezbędne działania poprzedzające modernizację	397
15.8. Optymalne sterowanie lub optymalne, bieżące regulowanie parametrów pracy grupy pomp podczas jej eksploatacji	399
16. Wybrane zagadnienia obliczeniowe i badawcze związane z wytwarzaniem pomp wirowych	403
16.1. Stany nieustalone w pracy pomp wirowych	403
16.1.1. Przykłady nieustalonych stanów pracy pomp	403
16.1.2. Rozruch i zatrzymanie pompy	404
16.1.3. Zanik napięcia zasilania lub ścięcie wpustu wirnika	405
16.1.4. Nagła zmiana charakterystyki rurociągu	407
16.2. Zaawansowane metody obliczeń hydraulicznych elementów pomp wirowych	408
16.3. Normalizacja i certyfikacja w zakresie pomp wirowych	410
16.3.1. Normalizacja i Polskie Normy	410
16.3.2. Aprobaty techniczne	414
16.3.3. Certyfikacja i certyfikaty	415
16.4. Badania doświadczalne pomp	415
16.4.1. Rodzaje badań doświadczalnych	415
16.4.2. Ogólne zasady przeprowadzania pomiarów	417
16.4.3. Przyrządy pomiarowe	418
16.4.4. Niepewność pomiaru	419
16.4.5. Rodzaje i budowa stanowisk badawczych	420
16.4.6. Badania odbiorcze	421
16.4.7. Badania modelowe	424
17. Wybrane zagadnienia konstrukcyjne i technologiczne	426
17.1. Rozwiązania konstrukcyjne pomp wirowych	426
17.2. Rozwiązania i obliczenia poszczególnych węzłów konstrukcyjnych	427
17.2.1. Dławnice	427
17.2.2. Wały	431
17.2.3. Łożyskowanie	433
17.2.4. Wirniki i ich uszczelnienia	434
17.2.5. Kadłuby	435
17.3. Dobór materiałów na poszczególne elementy	437
17.4. Dopuszczalne niewyrównoważenie zespołu wirującego	440
17.5. Komentarz do atlasu rozwiązań konstrukcyjnych pomp	441
Literatura	466
Skorowidz	469