

# Spis treści

Przedmowa.....	11
Wykaz ważniejszych oznaczeń .....	13
<b>1. Klasyfikacja i zasady działania pomp i innych przenośników cieczy .....</b>	<b>17</b>
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
<b>2. Parametry pracy pompy i układu pompowego.....</b>	<b>30</b>
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
<b>3. Jednowymiarowa teoria przepływu przez wirnik pompy .....</b>	<b>45</b>
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 Pflleiderera. . . . .	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
<b>4. Zasady podobieństwa przepływów w pompach wirowych . . . . .</b>	<b>80</b>
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
<b>5. Projektowanie wirników pomp odśrodkowych, helikoidalnych i diagonalnych . . . . .</b>	<b>94</b>
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
<b>6. Elementy doprowadzające i odprowadzające ciecz z wirników pomp odśrodkowych i helikoidalnych . . . . .</b>	<b>139</b>
6.1. Zadania elementów odprowadzających ciecz z wirnika . . . . .	139
6.2. Kierownice bezłatkowe . . . . .	140
6.3. Kierownice łatkowe. . . . .	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.	Współrodkowe 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
<b>7.</b>	<b>Siły hydrauliczne i ich równoważenie . . . . .</b>	<b>172</b>
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
<b>8.</b>	<b>Charakterystyki pomp wirowych . . . . .</b>	<b>208</b>
8.1.	Wprowadzenie . . . . .	208
8.2.	Charakterystyka przepływu . . . . .	209
8.2.1.	Analiza jakościowa kształtu charakterystyki przepływu . . . . .	209
8.2.2.	Doświadczalne otrzymanie 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

<b>9. Praca pompy w układzie pompowym</b> .....	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
<b>10. Kawitacja i charakterystyki kawitacyjne</b> .....	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
<b>11. Pompy diagonalne i śmigłowe</b> .....	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
<b>12. Pompy wirowe innych rodzajów</b> .....	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. Pompoturbiny odwracalne .....	316
<b>13. Regulacja i napędy pomp wirowych</b> .....	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. Tyrystorowe napędy o zmiennych prędkościach obrotowych . . . . .	345
13.5.5. Porównanie różnych sposobów realizacji zmian prędkości obrotowej . . . . .	346
<b>14. Optymalny dobór i eksploatacja pomp wirowych . . . . .</b>	<b>350</b>
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
<b>15. Poprawa efektywności energetycznej układów pompowych . . . . .</b>	<b>373</b>
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
<b>16. Wybrane zagadnienia obliczeniowe i badawcze związane z wytwarzaniem pomp wirowych . . . . .</b>	<b>403</b>
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
<b>17. Wybrane zagadnienia konstrukcyjne i technologiczne . . . . .</b>	<b>426</b>
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