

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	11
2. Dane podstawowe	12
2.1. Podstawowe jednostki fizyczne i zależności pomiędzy nimi	12
2.2. Niektóre stałe matematyczne	12
2.3. Przedrostki jednostek stosowane w układzie SI	13
2.4. Jednostki wielkości fizycznych w układzie SI – wielkości statyczne i dynamiczne	13
2.5. Jednostki ciśnienia	14
2.6. Zależność ciśnienia atmosferycznego od wysokości nad poziomem morza	14
2.7. Gęstość, ciężar objętościowy i lepkość niektórych cieczy	15
2.8. Zależności gęstości, ciężaru objętościowego i lepkości wody od temperatury	15
2.9. Prężność parowania wody (ciśnienie parowania w temperaturze wrzenia)	15
2.10. Skale temperatur	16
3. Definicje i opis zachowania fizycznych właściwości cieczy w różnych warunkach	17
3.1. Gęstość	17
3.2. Ciężar objętościowy	17
3.3. Lepkość	18
3.4. Ścisłość cieczy	20
3.5. Rozszerzalność cieplna	20
3.6. Napięcie powierzchniowe	21
3.7. Ciecz doskonała	21
4. Hydrostatyka	22
4.1. Ciśnienie hydrostatyczne	22
4.2. Prawo Eulera	22
4.3. Prawo Pascala	22
4.4. Prawo hydrostatycznego rozkładu ciśnień	23
4.5. Prawo Archimedesesa	23
4.6. Parcie hydrostatyczne	23
4.6.1. Parcie hydrostatyczne na powierzchni płaskie	23
4.6.2. Wyznaczanie współrzędnych środka parcia	24
4.6.2.1. Wyznaczenie środka parcia pod zwierciadłem wody	24
4.6.3. Parcie hydrostatyczne na powierzchni cylindryczne	25
4.7. Przykłady obliczeń w hydrostatyce	25
5. Hydrodynamika	38
5.1. Pojęcia podstawowe	38
5.2. Kinematyczna klasyfikacja ruchu	38
5.3. Liczba Reynoldsa	39
5.4. Ciągłość przepływu strumienia – równanie ciągłości przepływu dla ruchu ustalonego	39
5.5. Równanie Bernoulliego	40
5.5.1. Postać równania Bernoulliego dla cieczy rzeczywistej	41
5.6. Współczynnik Saint-Venanta	42

6. Hydraulika rurociągów	43
6.1. Przepływ pod ciśnieniem	43
6.2. Podział rurociągów ze względu na wielkość ciśnienia	43
6.3. Podział rurociągów ze względu na rodzaj połączeń	44
6.4. Podział rurociągów ze względu na wielkość strat	45
6.5. Obliczenia rurociągów	45
6.6. Straty energii w rurociągach	46
6.6.1. Straty lokalne	46
6.6.2. Przykład obliczeń strat lokalnych	49
6.6.3. Straty na długości	50
6.6.4. Straty energii kinetycznej	52
6.7. Obliczanie prędkości przepływu	52
6.7.1. Przykład obliczeń prędkości przepływu	52
6.8. Uprozczone równanie Bernoulliego	55
6.9. Przewód wydatkujący po drodze	56
6.10. Linie ciśnień i energii w rurociągach	57
6.10.1. Linia energii	57
6.10.2. Linia ciśnień	57
7. Pomiar prędkości przepływu za pomocą rurki Pitota	59
8. Zwężki pomiarowe	61
8.1. Przykłady obliczania natężenia przepływu za pomocą zwężek	63
9. Nieustalony ruch w przewodach – uderzenie hydrauliczne	65
10. Kawitacja	67
10.1. Przykład rozwiązywania problemu dotyczącego kawitacji	67
11. Przykład obliczania syfonu	73
12. Pompy	76
12.1. Podział pomp	76
12.2. Charakterystyka pracy pomp wirowych	76
12.3. Wysokość podnoszenia pompy wirowej	78
12.4. Parametry charakterystyczne pompy	79
12.5. Współpraca pompy z przewodem	79
12.6. Łączenie pomp	81
12.7. Przykład obliczeń	82
13. Ruch w korytach otwartych	85
13.1. Geometria koryt otwartych	85
13.1.1. Przekrój poprzeczny koryta	85
13.1.2. Profil podłużny koryta	85
13.2. Straty energii w cieku	87
13.2.1. Straty na długości cieku	87
13.3. Ruch jednostajny w korytach otwartych	89
13.3.1. Głębokość i prędkość normalna	89
13.4. Obliczanie przepływu w korytach wielodzielnych	89
13.5. Reżimy ruchu w korytach otwartych	90
13.5.1. Kryterium Froude'a	90

13.5.2. Odskok hydrauliczny i głębokości sprzężone	91
13.5.3. Głębokość krytyczna	92
13.5.4. Ruch krytyczny i nadkrytyczny	93
13.5.5. Prędkość krytyczna	93
13.5.6. Spadek krytyczny	94
14. Przepływy w kolektorach	95
14.1. Geometria kolektorów	95
14.2. Moduł przepływu i moduł prędkości	95
15. Przykłady obliczeń parametrów ruchu w korytach otwartych	96
16. Hydraulika budowli wodnych	111
16.1. Wypływ przez upusty	111
16.1.1. Rodzaje upustów	111
16.1.2. Kierunek napływu wody do upustu	111
16.1.3. Rodzaje wypływu przez upusty	111
16.1.4. Typy wypływu przez otwory	112
16.2. Kontrakcja strumienia	113
16.2.1. Warunki wystąpienia kontrakcji	114
16.3. Prędkość wypływu	115
16.4. Współczynnik wydatku	116
16.5. Wypływ z otworów	116
16.5.1. Wydatek małego otworu niezatopionego i zatopionego	116
16.5.2. Wydatek dużego otworu	116
16.5.3. Otwór częściowo zatopiony	116
16.6. Przelewy	117
16.6.1. Podział ze względu na przekrój poprzeczny	117
16.6.2. Podział ze względu na przekrój podłużny	118
16.6.3. Podział ze względu na warunki hydrauliczne pracy	119
16.6.4. Obliczenia wydatku przelewów	119
16.6.4.1. Przelewy niezatopione	119
16.6.4.2. Przelewy zatopione	121
16.6.4.3. Przelewy o szerokiej koronie	122
17. Obliczenia hydrauliczne mostów	124
17.1. Wyznaczenie minimalnego światła mostu	124
17.1.1. Wyznaczenie minimalnego światła mostu w oparciu o prawo Bernoulliego	125
17.2. Obliczanie spodziewanego pogłębienia koryta w przekroju	126
17.2.1. Sytuacja a	127
17.2.2. Sytuacja b	130
17.2.3. Sytuacja c	130
17.3. Określenie rozmyć lokalnych przy filarach mostowych	131
17.4. Obliczanie głębokości rozmycia	131
17.4.1. Największe głębokości rozmycia	133
17.5. Maksymalne spiętrzenie wody powyżej mostu	134
18. Obliczenia hydrauliczne przepustów	136
18.1. Niektóre warunki techniczne dla przepustów	136

18.2. Podział przepustów ze względu na warunki przepływu	137
18.2.1. Przepusty o zatopionym wlocie i wylocie oraz przepływie pełnym przekrojem pod ciśnieniem	137
18.2.2. Przepusty o zatopionym wlocie oraz przepływie pełnym przekrojem pod ciśnieniem, lecz swobodnym wypływie	137
18.2.3. Warunki pracy przepustów określonych w pkt 18.2.1 i 18.2.2	137
18.3. Przepusty o zatopionym wlocie i przepływie pod ciśnieniem tylko na początkowym odcinku	138
18.3.1. Warunki pracy przepustu pkt 18.3	138
18.4. Przepusty niezatopione o swobodnym przepływie (bezcisnieniowy)	139
18.4.1. Warunki pracy przepustu pkt 18.4	139
19. Przykłady obliczeń	141
20. Wybrane elementy hydrologii	156
20.1. Bilans krążenia wody w przyrodzie	157
20.2. Opady atmosferyczne	157
20.2.1. Pomiary opadów	158
20.2.2. Pomiary osadów	159
20.2.3. Normalny opad roczny	159
20.2.4. Wyznaczanie obszarowej wysokości opadów i średniego opadu w dorzeczu	159
20.2.4.1. Wyznaczanie izohet	160
20.2.4.2. Wyznaczenie zależności między wzniesieniem terenu a wysokością opadu	160
20.2.4.3. Obliczenie wysokości średniego opadu metodą izohet	162
20.2.4.4. Wyznaczenie wysokości średniego opadu metodą wieloboków równego zadeszczenia	163
20.2.4.5. Metoda trapezów geograficznych	164
20.2.4.6. Metoda hipsometryczna	164
20.2.2. Rozkład czasowy opadu	164
20.2.3. Natężenie opadu	165
20.2.4. Deszcze nawałne	165
20.2.5. Zasięg opadów	166
20.2.6. Szata śnieżna	166
20.3. Parowanie	168
20.3.1. Rodzaje parowania	168
20.3.2. Ciepło przemiany stanu skupienia wody	169
20.3.3. Niedosyt wilgotności powietrza	170
20.3.4. Poprawka Oldekopa	170
20.3.5. Wpływ prędkości wiatru na parowanie	171
20.3.6. Pomiary parowania	173
20.3.6.1. Określenie wysokości parowania metodami pośrednimi	173
20.3.6.1.1. Obliczanie wysokości parowania z powierzchni wody formułami empirycznymi	174
20.3.6.1.2. Obliczanie parowania metodą bilansu energetycznego	177
20.3.6.1.3. Obliczanie parowania metodami dyfuzji turbulentnej	181

20.3.6.1.4. Metoda bilansu wodnego stosowana do obliczenia parowania z jezior i sztucznych zbiorników retencyjnych	183
20.3.6.2. Pomiary i obliczanie ewapotranspiracji	184
20.3.6.2.1. Obliczanie ewapotranspiracji metodami empirycznymi	184
20.3.6.3. Obliczanie parowania terenowego	185
20.3.7. Średnie roczne parowanie w różnych warunkach klimatycznych ...	186
20.4. Retencja	186
20.4.1. Retencja powierzchniowa	187
20.4.2. Retencja jeziorowa i zbiornikowa	187
20.4.3. Retencja śniegowa	187
20.4.4. Retencja lodowcowa	188
20.4.5. Retencja gruntowa	188
20.4.6. Pomiary wilgotności gruntu	188
20.4.6.1. Wskaźnik wilgotności terenu	189
20.4.6.2. Infiltracja	189
20.5. Spływ powierzchniowy	191
20.5.1. Infiltracyjna teoria spływu	191
20.5.2. Teoria spływu oparta na współczynniku odpływu	193
20.6. Przepływ w korytach rzecznych	195
20.6.1. Parametry charakterystyczne zlewni	196
20.6.1.1. Parametry kształtu zlewni	196
20.6.1.2. Parametry orograficzne zlewni	197
20.6.1.3. Parametry wodności zlewni	197
20.6.2. Cieki	198
20.6.2.1. Brzegi cieku	198
20.6.2.2. Przekrój poprzeczny cieku	199
20.6.2.3. Nurt i linia nurtu	199
20.6.2.4. Długość cieku	199
20.6.2.5. Spadek zwierciadła wody cieku	200
20.6.2.6. Stan wody, pomiary	200
20.6.2.6.1. "Zero" wodowskazu	201
20.6.2.6.2. Pomiary natężenia przepływu wody w ciekach	202
20.6.2.6.3. Prędkość przepływu w ciekach	203
20.6.3. Krzywa konsumcyjna	206
20.6.3.1. Konstrukcja krzywej konsumcyjnej	207
20.6.4. Krzywa sumowa odpływu	211
20.6.5. Przepływy zimowe	211
20.7. Obliczanie wielkich wód ze zlewni	212
20.7.1. Formuła opadowa	213
20.7.2. Formuła Pagliariego	214
20.7.3. Wzór Hofbauera	214
20.7.4. Formuła Matakiewicza	214
20.7.5. Formuła Lambora	214
20.7.6. Obliczanie przepływów prawdopodobnych za pomocą równań regresji	215

20.7.7. Obliczanie przepływów prawdopodobnych za pomocą metody roztopowej	215
20.7.8. Obliczanie przepływów prawdopodobnych za pomocą ekstrapolacji ...	216
20.7.9. Obliczanie przepływów prawdopodobnych za pomocą interpolacji	217
20.7.10. Obliczanie przepływów prawdopodobnych metodą bezpośrednią	217
20.8. Przepływy miarodajne	217
20.9. Hydrologiczna miara bezpieczeństwa budowli	218
20.10. Przepływy niżówkowe	218
20.11. Rumowisko rzeczne	220
20.11.1. Rodzaje rumowiska rzecznoego	220
20.11.2. Pomiary transportu rumowiska rzecznoego	220
21. Wybrane elementy z hydrogeologii	221
21.1. Strefa aeracji i saturacji	221
21.1.1. Rodzaje wody w strefie aeracji	221
21.1.1.1. Para wodna zawarta w powietrzu wypełniającym próżnię w gruncie	221
21.1.1.2. Woda higroskopijna	221
21.1.1.3. Woda błonkowa	222
21.1.1.4. Woda kapilarna	222
21.1.1.5. Woda zawieszona	222
21.1.2. Rodzaje wody w strefie saturacji	222
21.1.2.1. Wody przypowierzchniowe	222
21.1.2.2. Wody gruntowe	223
21.2. Wody głębne	225
21.2.1. Zasilanie wód głębnych	225
21.3. Wody artezyjskie	226
21.4. Wody głębinowe	229
21.5. Inne wody podziemne	230
21.5.1. Wody złożowe	230
21.5.2. Wody szczelinowe	230
21.5.3. Wody krasowe	231
21.5.3.1. Zasilanie wód krasowych	231
21.5.4. Wody podziemne na wybrzeżach morskich	232
21.6. Źródła	232
21.7. Gejzery	233
21.7.1. Mechanizm działania gejzeru	233
21.8. Źródła gazujące	235
21.9. Podział wód podziemnych	235
21.10. Ruch wód podziemnych	236
21.10.1. Rodzaje ruchu wody w gruncie	236
21.10.2. Filtracja laminarna	236
21.10.3. Prawo Darcy'ego	237
21.10.4. Współczynnik filtracji	239
21.10.5. Współczynnik przepuszczalności	240
21.10.6. Przewodność hydrauliczna	241
21.10.7. Przykłady obliczeń	241

22. Obniżanie zwierciadła wody gruntowej	246
22.1. Rodzaje studni depresyjnych	246
22.2. Równanie krzywej depresji	247
22.2.1. Równanie krzywej depresji dla wód o swobodnym zwierciadle	248
22.2.2. Równanie krzywej depresji dla wód o napiętym zwierciadle	248
22.3. Dopływ wody do studni niedogłębionej	249
22.4. Promień leja depresyjnego	251
22.4.1. Wzory empiryczne na obliczenie promienia leja depresyjnego	252
22.5. Zasięg działania studni	253
22.6. Dopływ wody do rowu	254
22.7. Igłofiltry	255
22.7.1. Obliczanie wydatku igłofiltera	257
22.8. Obniżenie zwierciadła wody gruntowej za pomocą drenażu	258
22.9. Metoda elektroosmozy	261
22.10. Zakres stosowania poszczególnych metod obniżania zwierciadła wody gruntowej	262
22.11. Metoda wielkiej studni	262
22.12. Przykłady obliczeń	263
23. Literatura	268

1. WSTĘP

Skrypt w zamyśle autora skierowany jest przede wszystkim do studentów studiów technicznych kierunków budownictwa lądowego i inżynierii środowiska. Zawarty w nim materiał teoretyczny i przykłady obliczeniowe z hydrauliki i hydrologii dobrane zostały pod kątem potrzeb wymienionych kierunków.

Może być wykorzystywany także w studiach innych specjalności (w zależności od uznania prowadzących zajęcia), a także w praktyce inżynierskiej.