

**Dynamika wód podziemnych w ośrodku porowym : podręcznik /
Krzysztof Wojciech Książczyński. – Kraków, 2018**

Spis treści

1. Wprowadzenie	9
1.1. Słowo wstępne	9
1.2. Wykaz oznaczeń	10
1.3. Oznaczenia pomocnicze	13
1.4. Znaczenie wód podziemnych	14
2. Fizyka wód podziemnych	15
2.1. Rodzaje i występowanie wód podziemnych	15
2.1.1. Typy wód podziemnych	15
2.1.2. Stopień nasycenia wód podziemnych	16
2.2. Własności filtracyjne gruntu	18
2.2.1. Porowatość gruntu	19
2.2.2. Wilgotność gruntu	19
2.2.3. Wpływ ciśnienia na zawartość wody w gruncie	20
2.2.4. Wysokość wzniosu kapilarnego	21
2.3. Charakterystyka wilgotnościowa gruntu	22
2.3.1. Zjawiska kapilarne w gruncie	22
2.3.2. Pojęcie charakterystyki wilgotnościowej	23
2.3.3. Interpretacja fizyczna charakterystyki wilgotności	25
2.3.4. Histereza wilgotności	26
2.3.5. Wzory empiryczne	28
2.3.6. Wzory potęgowe	29
2.3.7. Wzory wykładnicze	31
2.3.8. Hydrostatyczny rozkład wilgoci w pionowym profilu gruntu	33
2.4. Prawa ruchu wód podziemnych	34
2.4.1. Prędkość filtracji	35
2.4.2. Formuła Darcy'ego	35
2.4.3. Pojęcie współczynnika filtracji	37
2.4.4. Formuła Slichtera	38
2.4.5. Przestrzenna zmienność współczynnika filtracji	39
2.4.6. Formuła Buckingham-Darcy'ego	40
2.4.7. Formuła Buckinghama	40
2.4.8. Wpływ innych czynników na ruch wód gruntowych	41
2.4.9. Ruch powietrza	41
2.5. Charakterystyka przewodnościowa gruntu	42
2.5.1. Zależność wilgotnościowa	42
2.5.2. Zależność ciśnieniowa	44

3. Wyznaczanie parametrów gruntowych	47
3.1. Pomiary standardowe	47
3.1.1. Pomiar stanu wód podziemnych	47
3.1.2. Pomiar prędkości przepływu	48
3.1.3. Pomiar natężenia przepływu	49
3.1.4. Parametry gruntowe wyznaczane w badaniach podstawowych	50
3.1.5. Charakterystyka uziarnienia	50
3.1.6. Pomiary laboratoryjne wysokości wzniosu kapilarnego	51
3.2. Metody wyznaczania współczynnika wodoprzepuszczalności	51
3.2.1. Wyznaczanie na podstawie wzorów	52
3.2.2. Metody laboratoryjne	52
3.2.3. Metody infiltracyjne	53
3.2.4. Próbné pompowania (lub zalewania) studni	53
3.2.5. Interpolacja przestrzenna parametrów	55
3.2.6. Identyfikacja wodoprzepuszczalności na modelach nieciągłych	56
3.3. Parametry strefy aeracji	57
3.3.1. Pomiary wilgotności	58
3.3.2. Empiryczne wyznaczanie charakterystyki wilgotności	59
3.3.3. Empiryczne wyznaczanie charakterystyki przewodności	59
 4. Hydraulika wód podziemnych	 61
4.1. Schematyzacja ruchu wód podziemnych	61
4.1.1. Schematyzacja ruchu wód podziemnych w czasie	65
4.1.2. Schematyzacja ruchu wód podziemnych w przestrzeni	66
4.2. Schematyzacja warunków hydrogeologicznych	67
4.2.1. Warstwa wodonośna	66
4.2.2. Reżimy filtracji	67
4.2.3. Przepływ swobodny a gruntowy	69
4.2.4. Pole prędkości w warstwie wodonośnej	69
4.3. Hydrauliczne równania filtracji	70
4.3.1. Hydraulika wód podziemnych	70
4.3.2. Równanie ciągłości przepływu w ośrodku porowatym	71
4.3.3. Różniczkowe równanie ruchu	73
4.3.4. Warunki brzegowe	74
4.4. Rozwiązania dla ruchu liniowego	74
4.4.1. Filtracja w międzyszczytce o swobodnym zwierciadle	74
4.4.2. Dopływ gruntowy do drenu opaskowego	76
4.4.3. Dopływ gruntowy do drenu pod ciśnieniem	77
4.4.4. Obliczenie rozstawu drenów melioracyjnych	78
4.4.5. Filtracja przez jednorodną grodzę ziemną odwadnianą rowem	79
4.5. Metoda fragmentów	80
4.5.1. Zasady metody fragmentów	80
4.5.2. Granice zastępcze w rozwiązaniach jednowymiarowych	81
4.5.3. Zależność kształtu zwierciadła od parametrów warstwy	83
4.5.4. Przykład obliczeń filtracji szeregowej	83

4.5.5. Przykład obliczeń równoległej filtracji poziomej pod ciśnieniem	86
4.5.6. Przykład obliczania filtracji w niejednorodnej grodzy z rdzeniem i pryzmą drenażową	88
4.6. Rozwiązania dla ruchu osiowosymetrycznego	92
4.6.1. Pojęcie ruchu osiowosymetrycznego	93
4.6.2. Dopływ do studni o zwierciadle napiętym	93
4.6.3. Dopływ do studni o zwierciadle swobodnym	94
4.6.4. Ocena wydajności studni pojedynczej	95
4.6.5. Wyznaczanie wodoprzepuszczalności warstwy metodą próbnego pompowania	96
4.7. Metoda superpozycji	98
4.7.1. Obliczanie zespołu studzien	98
4.7.2. Metoda studzien fikcyjnych	100
4.7.3. Obliczanie odwodnienia wykopu w pobliżu rzeki	101
4.7.4. Przykład obliczenia zespołu studzien w warstwie o zwierciadle swobodnym	106
4.7.5. Studnia w strumieniu wód gruntowych	108
5. Hydrodynamika wód podziemnych	109
5.1. Równanie ciągłości przepływu	109
5.1.1. Dywergencja przepływu	109
5.1.2. Retencyjność gruntu	109
5.1.3. Ogólne równanie ciągłości przepływu	110
5.2. Równania hydrodynamiki wód podziemnych	110
5.2.1. Równanie Richardsa	111
5.2.2. Równanie przewodnictwa	111
5.2.3. Równanie ruchu pod ciśnieniem	113
5.2.4. Równanie Boussinesqa	113
5.2.5. Równanie Buckinghama	114
5.2.6. Warunki jednoznaczności rozwiązania	115
5.3. Metody rozwiązywania równań hydrodynamiki wód podziemnych	116
5.3.1. Analityczne obliczanie ruchu wód podziemnych	117
5.3.2. Numeryczne metody obliczania ruchu wód podziemnych	119
5.3.3. Metoda różnic skończonych	120
5.3.4. Metoda objętości skończonych	124
5.3.5. Metody uzyskiwania rozwiązań	127
5.3.6. Metoda elementów skończonych	129
5.3.7. Kalibracja modeli numerycznych	129
5.3.8. Przykład modelowania numerycznego	131
5.3.9. Analogowe metody obliczania ruchu wód podziemnych	135
5.4. Siatka hydrodynamiczna	138
5.4.1. Budowa siatki hydrodynamicznej	138
5.4.2. Warunki brzegowe siatki hydrodynamicznej	141
5.4.3. Przypadki szczególne siatki hydrodynamicznej	143
5.4.4. Obliczenia parametrów przepływu na podstawie siatki	

hydrodynamicznej	145
5.4.5. Przykład konstrukcji siatki hydrodynamicznej	147
5.5. Obliczenia parametrów filtracji na podstawie siatki	148
5.5.1. Obliczanie rozkładu prędkości w gruncie	148
5.5.2. Obliczanie natężenia przepływu w gruncie	149
5.5.3. Obliczanie sił naporu wód podziemnych na budowlę	150
6. Hydraulika strefy aeracji	153
6.1. Proces infiltracji w gruncie	153
6.1.1. Przebieg procesu infiltracji	153
6.1.2. Rola infiltracji w zlewni	155
6.1.3. Bilans wodny kolumny gruntu	156
6.1.4. Infiltracja nienasycona i nasycona	158
6.2. Tłokowy model hydrauliczny	161
6.2.1. Model infiltracji nasyconej Greena-Ampta	162
6.2.2. Model infiltracji nienasyconej	164
6.2.3. Tłokowy model redystrybucji wilgoci	165
6.3. Infiltracja narastająca skokowo	168
6.3.1. Model hydrauliczny infiltracji nieustalonej	168
6.3.2. Superpozycja frontów zwilżania	170
6.4. Zasilanie wód podziemnych	171
6.4.1. Infiltracja rezydualna	171
6.4.2. Wilgotność strefy kontaktu	172
6.4.3. Infiltracja podparta	173
6.4.4. Osuszanie grawitacyjne i przez transpirację	175
6.5. Przykłady obliczeń infiltracji za pomocą modelu tłokowego	176
6.5.1. Obliczanie położenia frontu zwilżania przy zatopieniu gruntu	176
6.5.2. Obliczanie przebiegu infiltracji nasyconej	177
6.5.3. Obliczanie infiltracji przy niepełnym nasyceniu	180
6.5.4. Obliczanie redystrybucji wilgoci w gruncie	181
6.5.5. Obliczanie nasyconego zasilania zwierciadła wód gruntowych	183
6.6. Szczególne przypadki infiltracji	184
6.6.1. Lewarowanie kapilarne	184
6.6.2. Wpływ zmian intensywności opadów na wielkość infiltracji	185
6.6.3. Infiltracja w gruncie uwarstwionym	186
7. Hydrodynamika transformacji opadu w odpływ	191
7.1. Ewapotranspiracja	191
7.1.1. Ewapotranspiracja potencjalna	192
7.1.2. Ewapotranspiracja rzeczywista	192
7.1.3. Ewapotranspiracja gruntowa	193
7.1.4. Użytkowanie terenu	194
7.1.5. Ewapotranspiracja w czasie opadów	195
7.1.6. Zmiany wilgotności gleby na skutek suszy	196
7.2. Spływ powierzchniowy	197

7.2.1. Zasilanie spływu powierzchniowego	198
7.2.2. Równanie fali kinematycznej	199
7.2.3. Spływ podpowierzchniowy	200
7.2.4. Modele transformacji opadu w odpływ	201
8. Zasoby wód podziemnych	203
8.1. Rola zasobów wód podziemnych w gospodarce wodnej	203
8.1.1. Znaczenie zasobów wodnych zlewni	203
8.1.2. Cykl hydrologiczny a zasoby	203
8.2. Typy zasobów wód podziemnych	204
8.2.1. Statyczne zasoby wód podziemnych	204
8.2.2. Dynamiczne zasoby wód podziemnych	205
8.2.3. Dyspozycyjne zasoby wód podziemnych	205
8.2.4. Eksploatacyjne zasoby wód podziemnych	205
8.2.5. Kategorie zasobów wód podziemnych	206
8.3. Wyznaczanie zasobów	206
8.3.1. Identyfikacja zasilania powierzchniowego	207
8.3.2. Bilans przepływu wód podziemnych	207
8.3.3. Analiza hydrogramu odpływu	208
8.3.4. Wyznaczanie zasobów eksploatacyjnych kompleksu wodonośnego	209
9. Wpływ filtracji na ośrodek gruntowy	211
9.1. Ciśnienie wody w gruncie	211
9.1.1. Ciśnienie hydrostatyczne wody gruntowej	211
9.1.2. Osiadanie szkieletu gruntowego	212
9.1.3. Ciśnienie hydrodynamiczne wody gruntowej	213
9.1.4. Utrata stateczności gruntu	213
9.1.5. Wyparcie gruntu	214
9.2. Ruch cząstek gruntu	215
9.2.1. Sufozją gruntu	215
9.2.2. Zmiany parametrów gruntu	216
9.2.3. Przebicie hydrauliczne	217
9.2.4. Rozmycia powierzchniowe	218
9.2.5. Upłynnienie gruntu	218
9.2.6. Kolmatacja gruntu	219
10. Transport masy i energii przez wody podziemne	221
10.1. Zanieczyszczenia wód podziemnych	221
10.1.1. Znaczenie czystości wody podziemnej	221
10.1.2. Źródła zanieczyszczeń wód podziemnych	222
10.2. Przepływ zanieczyszczeń	223
10.2.1. Fizyka zanieczyszczeń	223
10.2.2. Stężenie i ładunek zanieczyszczeń	224
10.2.3. Prędkość migracji zanieczyszczeń	224

10.2.4. Retencja zanieczyszczeń	225
10.2.5. Równanie transportu	226
10.2.6. Transport ciepła	226
Zakończenie	229
Literatura	231
Normy	235
Streszczenie / Summary	237
Indeks	239

oprac. BPK