

## Spis treści

Wykaz oznaczeń .....	XIII
Słowo wstępne .....	1
<b>I. Woda w przyrodzie .....</b>	<b>4</b>
1.1. Woda w przyrodzie i jej rola .....	4
1.2. Właściwości fizyczne wód podziemnych .....	6
1.2.1. Temperatura .....	6
1.2.2. Gęstość, ciężar właściwy .....	7
1.2.3. Lepkość .....	8
1.2.4. Ścisłość .....	9
1.2.5. Przewodność elektrolityczna .....	10
1.2.6. Gazy rozpuszczone w wodzie .....	11
1.3. Stany skupienia wody .....	14
1.3.1. Kondensacja pary wodnej .....	14
1.3.2. Parowanie .....	16
1.4. Obieg wody w przyrodzie .....	17
1.4.1. Rodzaje i ilości wody na kuli ziemskiej .....	17
1.4.2. Energia obiegu wody .....	18
1.5. Bilans wodny .....	19
1.5.1. Opady .....	20
1.5.2. Odpływ .....	22
1.5.3. Parowanie terenowe .....	25
1.5.4. Infiltracja i retencja .....	28
1.6. Wody podziemne .....	33
1.6.1. Strefy występowania wód podziemnych .....	33
1.6.2. Pochodzenie wód podziemnych .....	34
1.6.3. Woda w strefie aeracji .....	36
1.6.4. Woda w strefie saturacji .....	38
1.6.5. Geologiczne warunki występowania wód podziemnych .....	42
<b>2. Właściwości pojemnościowe skal .....</b>	<b>49</b>
2.1. Porowatość .....	49
2.1.1. Definicje .....	49
2.1.2. Cechy decydujące o porowatości .....	52
2.1.3. Skład ziarnowy skal .....	54
2.1.4. Oznaczanie porowatości w laboratorium .....	56
2.1.5. Oznaczanie porowatości aktywnej metodami znacznikowymi .....	58
2.1.6. Oznaczanie porowatości metodami geofizycznymi .....	59
2.1.7. Porowatość w świetle analizy fraktalnej .....	62
2.2. Wodochłonność .....	64
2.3. Odsączalność .....	65
2.3.1. Definicja i omówienie .....	65
2.3.2. Oznaczanie odsączalności w laboratorium .....	67
2.3.3. Oznaczanie odsączalności metodami polowymi .....	69
2.3.4. Oznaczanie odsączalności metodami pośrednimi .....	73
2.4. Szczelinowatość .....	76
2.5. Krasowatość .....	78
2.6. Sprężyste właściwości warstw wodonośnych .....	79

2.6.1. Wpływ ciśnienia górotworu na pojemność wodną skał.....	79
2.6.2. Współczynnik pojemności i zasobności sprężystej .....	81
<b>3. Podstawy hydrauliki wód podziemnych .....</b>	<b>84</b>
3.1. Siły powodujące ruch wody w górotworze .....	84
3.1.1. Siła ciężkości .....	84
3.1.2. Siła bezwładności .....	86
3.1.3. Siły tarcia wewnętrznego.....	86
3.1.4. Siły adhezji .....	87
3.1.5. Siły kapilarne.....	88
3.2. Filtracja w strefie aeracji .....	94
3.2.1. Uwagi ogólne.....	94
3.2.2. Strefa wzniosu kapilarnego.....	94
3.2.3. Sorpcyjność kapilarna.....	96
3.2.4. Równania różniczkowe filtracji w strefie aeracji.....	97
3.2.5. Modele matematyczne infiltracji przez strefę aeracji .....	101
3.2.6. Infiltrometry .....	111
3.3. Filtracja w strefie saturacji .....	115
3.3.1. Doświadczenie Darcy'ego .....	116
3.3.2. Wysokość hydrauliczna .....	117
3.3.3. Spadek hydrauliczny.....	118
3.3.4. Prędkość filtracji, prawo Darcy'ego .....	119
3.3.5. Granice stosowalności prawa Darcy'ego.....	120
3.3.6. Prawo Darcy'ego w obszarze anizotropowym .....	125
3.4. Współczynniki filtracji i przepuszczalności .....	128
3.4.1. Współczynnik filtracji .....	128
3.4.2. Współczynnik przepuszczalności .....	128
3.5. Przewodność hydrauliczna .....	131
3.5.1. Przewodność warstwy wodonośnej .....	131
3.5.2. Przewodność pionowa warstwy półprzepuszczalnej .....	132
3.5.3. Przewodność szczelin .....	132
3.6. Rodzaje ruchu wód podziemnych .....	134
3.6.1. Ruch ustalony .....	134
3.6.2. Ruch nieustalony .....	134
3.6.3. Filtracja nieliniowa .....	134
3.7. Funkcja potencjału i funkcja prądu .....	136
3.7.1. Obszar filtracji jako pole wektorowe.....	136
3.7.2. Potencjał prędkości.....	138
3.7.3. Potencjał strumienia .....	141
3.7.4. Potencjał Girinskiego .....	143
3.7.5. Funkcja prądu .....	144
3.7.6. Funkcja strumienia .....	147
3.8. Siatka hydrodynamiczna .....	147
3.8.1. Siatka hydrodynamiczna w obszarze izotropowym.....	148
3.8.2. Siatka hydrodynamiczna w obszarze anizotropowym.....	150
<b>4. Podstawy opisu matematycznego filtracji wód podziemnych .....</b>	<b>152</b>
4.1. Równania różniczkowe filtracji w przestrzeni trójwymiarowej .....	153
4.1.1. Równanie ciągłości we współrzędnych prostokątnych.....	153
4.1.2. Ogólne równanie filtracji we współrzędnych prostokątnych.....	154

4.1.3. Filtracja trójwymiarowa w układzie cylindrycznym.....	156
4.1.4. Filtracja trójwymiarowa w układzie sferycznym.....	158
4.1.5. Filtracja sferyczno-radialna.....	160
4.2. Równania różniczkowe filtracji w naporowej warstwie wodonośnej.....	163
4.2.1. Filtracja płaska w układzie prostokątnym.....	163
4.2.2. Filtracja płaska w układzie cylindrycznym.....	164
4.2.3. Filtracja płasko-radialna.....	165
4.3. Równania różniczkowe filtracji w swobodnej warstwie wodonośnej.....	165
4.3.1. Założenie Dupuita-Forchheimera.....	165
4.3.2. Filtracja płaska w układzie prostokątnym.....	166
4.3.3. Filtracja płaska w układzie cylindrycznym.....	168
4.3.4. Filtracja płasko-radialna.....	169
4.4. Stochastyczne równania różniczkowe filtracji.....	170
4.4.1. Wprowadzenie.....	170
4.4.2. Stochastyczne równania różniczkowe zwyczajne.....	171
4.4.3. Stochastyczne równania różniczkowe cząstkowe.....	172
4.5. Warunki brzegowe i początkowe.....	173
4.5.1. Rodzaje warunków brzegowych.....	173
4.5.2. Zewnętrzne warunki brzegowe w przekroju pionowym.....	175
4.5.3. Wewnętrzne warunki brzegowe w obszarze niejednorodnym.....	183
4.5.4. Warunki początkowe.....	186
<b>5. Schematy obliczeniowe filtracji i systemy krążenia wód podziemnych.....</b>	<b>187</b>
5.1. Wprowadzenie.....	187
5.2. Jednowymiarowa filtracja ustalona.....	188
5.2.1. Filtracja w warstwie wodonośnej o zwierciadle napiętym.....	188
5.2.2. Filtracja w warstwie wodonośnej o zwierciadle swobodnym.....	189
5.2.3. Filtracja w naporowo-swobodnej warstwie wodonośnej.....	191
5.3. Dwuwymiarowa filtracja ustalona w płaszczyźnie poziomej.....	192
5.3.1. Filtracja równomierna.....	192
5.3.2. Filtracja w półnaporowej warstwie wodonośnej.....	193
5.3.3. Filtracja płasko-radialna.....	195
5.4. Dwuwymiarowa filtracja ustalona w płaszczyźnie pionowej.....	197
5.4.1. Filtracja przez zapórę ziemną jednorodną.....	197
5.4.2. Filtracja przez zapórę ziemną z półprzepuszczalnym rdzeniem.....	200
5.5. Filtracja w obszarze anizotropowym.....	201
5.5.1. Anizotropia w ośrodku o strukturze warstwowej.....	202
5.5.2. Współczynnik anizotropii.....	203
5.6. Filtracja w zbiorniku szczelinowym.....	203
5.6.1. Pojedynczy system wzajemnie równoległych szczelin.....	203
5.6.2. Szczeliny o nierównoległych ściankach.....	205
5.6.3. Dwa systemy szczelin.....	206
5.6.4. Szczeliny nieciągłe, o ściankach chropowatych.....	207
5.7. Przepływy w zbiorniku krasowym.....	207
5.7.1. Mechanizm powstawania krasu.....	207
5.7.2. Układ kanałów krasowych.....	208
5.7.3. Pojemność wodna zbiorników krasowych.....	209
5.7.4. Zasilanie zbiorników krasowych.....	210
5.7.5. Modele koncepcyjne zbiorników krasowych.....	211



5.8. Filtracja w strefach brzegowych morza.....	211
5.8.1. Warunki równowagi statycznej .....	212
5.8.2. Potencjał strumienia .....	213
5.8.3. Filtracja swobodna z powierzchnią rozdziału.....	214
5.8.4. Zagadnienie Henry'ego .....	216
5.9. Źródła.....	218
5.9.1. Wiadomości ogólne.....	218
5.9.2. Klasyfikacja źródeł.....	218
5.9.3. Reżim źródeł.....	220
5.10. Systemy wodonośne.....	222
5.10.1. Obszary zasilania i drenażu .....	222
5.10.2. Stacjonarne systemy wodonośne.....	222
5.10.3. Niestacjonarne systemy wodonośne.....	227
<b>6. Dopływy do ujęć wód podziemnych .....</b>	<b>228</b>
6.1. Dopływ ustalony do studni dogłębionej.....	228
6.1.1. Wiadomości wstępne.....	228
6.1.2. Równania krzywej depresji.....	230
6.1.3. Dyskusja równań Dupuita .....	235
6.1.4. Wydatek jednostkowy .....	238
6.1.5. Dopuszczalna prędkość dopływu wody do studni .....	239
6.1.6. Zeskok hydrauliczny.....	240
6.2. Dopływ ustalony do studni niepełnej.....	242
6.2.1. Metoda Girinskiego-Babuszki.....	243
6.2.2. Metoda Forchheimera.....	246
6.2.3. Metoda Huismana.....	250
6.3. Dopływ do studni przez dno.....	251
6.3.1. Dopływ do studni przez dno półsferyczne.....	251
6.3.2. Dopływ do studni przez dno płaskie.....	254
6.3.3. Studnie bezfiltrowe z lejem czerpnym.....	257
6.4. Dopływ do studni w warunkach filtracji nieliniowej .....	258
6.4.1. Filtracja turbulenta.....	258
6.4.2. Filtracja mieszana.....	259
6.5. Zasięg działania studni .....	260
6.6. Ustalony promień leja depresji.....	261
6.6.1. Promień leja depresji bez uwzględnienia infiltracji.....	261
6.6.2. Promień leja depresji z uwzględnieniem infiltracji .....	264
6.7. Dopływ jednostronny do rowu.....	267
6.8. Dopływ nieustalony do studni dogłębionej .....	268
6.8.1. Uwagi wstępne .....	268
6.8.2. Dopływ do studni zupełnej w naporowej warstwie wodonośnej, bez przesączania .....	269
6.8.3. Dopływy do studni zupełnej z uwzględnieniem przesączania.....	272
6.9. Nieustalony promień leja depresji.....	274
<b>7. Oznaczanie parametrów warstwy wodonośnej.....</b>	<b>277</b>
7.1. Uwagi ogólne .....	277
7.2. Próbné pompowania w studniach w reżimie ustalonym.....	279
7.2.1. Studnia zupełna w obszarze nieograniczonym, filtracja laminarna .....	280
7.2.2. Określanie przewodności na podstawie wydatku jednostkowego .....	288

7.2.3. Studnia w ograniczonym obszarze filtracji .....	290
7.2.4. Studnia niezupełna w obszarze nieograniczonym .....	290
7.2.5. Próbné pompowanie w studniach w warunkach fluacji .....	294
7.3. Próbné pompowanie w studniach wielkośrednicowych z dopływem przez dno .....	295
7.3.1. Poziom wodonośny o zwierciadle napiętym i dużej miąższości .....	295
7.3.2. Poziom wodonośny o zwierciadle napiętym i ograniczonej miąższości .....	297
7.3.3. Poziom wodonośny o zwierciadle swobodnym .....	298
7.4. Próbné pompowanie w reżimie nieustalonym .....	299
7.4.1. Dopływ do studni z naporowego poziomego wodonośnego bez przesączania .....	299
7.4.2. Dopływ do studni z półnaporowego poziomego wodonośnego z przesączaniem .....	309
7.4.3. Dopływ do studni ze swobodnego poziomego wodonośnego z opóźnionym przesączaniem .....	319
7.4.4. Identyfikacja modelu obliczeniowego .....	324
7.5. Zalewanie studni, otworów wiertniczych, szybików lub szurfów .....	325
7.5.1. Studnie chłonne z otwartym dnem .....	325
7.5.2. Otwory wiertnicze zafiltrowane lub bosc .....	328
7.5.3. Studnie wiszące w strefie aeracji .....	331
7.5.4. Zalewanie szybików lub szurfów .....	331
7.6. Analiza wzniosu zwierciadła wody .....	332
7.6.1. Metoda Forchheimera .....	332
7.6.2. Metoda Theisa .....	334
7.6.3. Metoda Rosłońskiego .....	336
7.7. Próba nagłej zmiany ciśnienia ( <i>slug test</i> ) .....	337
7.7.1. Metoda Coopera-Bredehoefta-Papadopulosa .....	337
7.7.2. Metoda Hvorsleva .....	341
7.7.3. Metoda Bouwera i Rice'a .....	342
7.7.4. Metoda Van der Kampa .....	344
7.7.5. Metoda PARAMEX .....	346
7.8. Próbnik złoża .....	347
7.9. Infiltrometr talerzowy .....	350
7.10. Oznaczanie przepuszczalności metodami geofizycznymi .....	352
7.11. Metody laboratoryjne .....	352
7.11.1. Aparat Wiluna .....	353
7.11.2. Rurka Kamińskiego .....	354
7.11.3. Aparat ciśnieniowy do próbek skał zwięzłych .....	356
7.11.4. Aparat do badania skał w trójosiowym stanie naprężenia .....	358
7.11.5. Aparat podciśnieniowy .....	359
7.11.6. Ocena przepuszczalności na podstawie analizy fraktalnej porów .....	362
7.12. Wzory empiryczne .....	365
7.12.1. Wzór Krügera (1918) .....	366
7.12.2. Wzór Hazena .....	366
7.12.3. Wzór Seelheima (1880) .....	367
7.12.4. Wzory Slichtera .....	367
7.12.5. Wzór Therzagiego (1925) .....	369
7.12.6. Wzór Zamarina (1928) .....	369
7.12.7. Wzór Zunkera (1930) .....	369
7.12.8. Wzór amerykański .....	370
7.12.9. Wzór Carmana-Kozeny'ego .....	371

7.13. Metody polowe oznaczania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych .....	372
7.13.1. Wtlaczanie wody otworem piezometrycznym.....	373
7.13.2. Wtlaczanie wody przez cylinder wciśnięty w grunt .....	375
7.13.3. Infiltrometr dwupierścieniowy .....	377
7.14. Metody laboratoryjne .....	379
7.14.1. Aparat trójosiowy do badania współczynnika filtracji .....	380
7.14.2. Edometr przystosowany do badania współczynnika filtracji.....	381
7.14.3. Aparat Wiluna .....	382
7.14.4. Permeometr do gruntów spoistych według Wysokińskiego i Łukasika .....	383
7.14.5. Aparat Remy'ego .....	383
7.14.6. Aparat Rowe'a.....	384
7.14.7. Aparat Olsena.....	385
7.14.8. Permeometr Ossowskiego i Żaka .....	386
7.14.9. Permeometr ciśnieniowy według projektu Rogoża .....	388
<b>8. Superpozycja rozwiązań podstawowych.....</b>	<b>391</b>
8.1. Zasada superpozycji .....	391
8.2. Współdziałanie studni w warunkach filtracji ustalonej .....	391
8.2.1. Współczynnik interferencji Leibsona .....	393
8.2.2. Wzory Muskata .....	394
8.2.3. Metoda Forchheimera.....	396
8.2.4. Wzory Abramowa.....	399
8.3. Współdziałanie studni w warunkach filtracji nieustalonej .....	400
8.4. Dopływy do studni z ograniczonego obszaru filtracji.....	402
8.4.1. Metoda odbić zwierciadlanych .....	402
8.4.2. Studnia w pobliżu granic zasilających.....	403
8.4.3. Studnia w pobliżu granic szczelnych.....	408
8.4.4. Studnia w pobliżu granic zasilającej i szczelnej .....	411
8.4.5. Studnia w kołowym obszarze filtracji .....	414
8.5. Filtracja z zasilaniem infiltracyjnym .....	418
8.5.1. Filtracja równomierna z zasilaniem.....	418
8.5.2. Filtracja płasko-radialna z zasilaniem.....	420
8.6. Studnie w strumieniu filtracji równomiernej.....	421
8.6.1. Pojedyncza studnia w strumieniu równomiernym .....	421
8.6.2. Studnie zasilająca i drenująca w strumieniu równomiernym.....	424
8.6.3. Dublet geotermalny w strumieniu równomiernym .....	425
8.7. Dipol punktowy .....	427
8.7.1. Kołowe jezioro w strumieniu równomiernym .....	427
8.7.2. Odzworowanie w okręgu filtracji równomiernej.....	427
8.7.3. Potencjał i funkcja prądu dipola o dowolnej orientacji.....	430
8.8. Dren poziomy .....	432
8.8.1. Dren dogłębiony w nieograniczonej warstwie wodonośnej .....	432
8.8.2. Dren niedogłębiony w nieograniczonej warstwie wodonośnej.....	433
8.8.3. Superpozycja potencjału w filtracji sferyczno-radialnej.....	434
<b>9. Liczby zespolone w zagadnieniach filtracji wód podziemnych.....</b>	<b>438</b>
9.1. Potencjał zespolony i prędkość zespolona.....	438
9.1.1. Potencjał zespolony .....	438
9.1.2. Zespolona funkcja prądu .....	438



9.2. Filtracja równomierna.....	439
9.3. Filtracja płasko-radialna .....	440
9.4. Upust liniowy .....	441
9.5. Dipol punktowy .....	443
9.6. Dipol liniowy .....	444
9.6.1. Potencjał zespolony dipolu liniowego .....	444
9.6.2. Dipol liniowy a upust liniowy.....	446
9.7. Dublet liniowy .....	447
<b>10. Migracja masy w wodach podziemnych.....</b>	<b>448</b>
10.1. Procesy sorpcyjne .....	448
10.1.1. Izotermie sorpcji.....	449
10.1.2. Kinetyka sorpcji.....	450
10.1.3. Zanik zanieczyszczenia .....	451
10.2. Przenoszenie adwekcyjne .....	452
10.2.1. Trajektorie cząstek.....	453
10.2.2. Adwekcyjne przenoszenie substancji rozpuszczonych.....	459
10.3. Dyfuzja molekularna .....	466
10.3.1. Dyfuzja roztworów pozostających w spoczynku.....	466
10.3.2. Dyfuzja roztworów poruszających się.....	467
10.3.3. Dyfuzja roztworów filtrujących przez ośrodek porowaty .....	468
10.4. Dyspersja .....	469
10.4.1. Dyspersja hydrodynamiczna.....	469
10.4.2. Dyspersja całkowita.....	470
10.4.3. Dyspersyjne przenoszenie substancji rozpuszczonych.....	471
10.4.4. Makrodyspersja .....	477
10.5. Migracja zanieczyszczeń w strefie aeracji.....	480
10.5.1. Wprowadzenie .....	480
10.5.2. Równania adwekcji-dyspersji.....	480
10.6. Badania znacznikowe filtracji wód podziemnych .....	482
10.6.1. Wprowadzenie.....	482
10.6.2. Przegląd stosowanych znaczników.....	484
10.6.3. Metody wykrywania i oznaczania zawartości znaczników w wodzie .....	486
10.6.4. Modele matematyczne przepływu wskaźnika .....	487
10.6.5. Identyfikacja wód .....	488
10.7. Wtłaczanie cieczy do górotworu .....	489
10.7.1. Ocena utworów chłonnych pod kątem możliwości wtłaczania do nich cieczy .....	490
10.7.2. Zasięg strefy wtłoczonej cieczy .....	495
10.7.3. Zasięg nadciśnienia w warstwie wodonośnej .....	496
10.8. Oczyszczanie warstw wodonośnych i gruntów .....	496
10.8.1. Usuwanie zanieczyszczeń z warstwy wodonośnej .....	497
10.8.2. Optymalizacja metody pompowania i uzdatniania .....	498
10.8.3. Aktywne metody neutralizacji zanieczyszczeń .....	502
10.8.4. Pasywne metody neutralizacji zanieczyszczeń.....	503
<b>11. Metody odwzorowań obszaru filtracji.....</b>	<b>505</b>
11.1. Odwzorowania konforemne obszaru filtracji .....	505
11.1.1. Zasady metody odwzorowań konforemnych.....	506
11.1.2. Zastosowania odwzorowań konforemnych .....	506

11.1.3. Przykład – filtracja pod płaskim fundamentem tamy.....	508
11.1.4. Najczęściej stosowane funkcje odwzorowujące.....	512
11.1.5. Superpozycja funkcji w odwzorowaniach konforemnych.....	521
11.2. Hodograf prędkości filtracji.....	525
11.2.1. Zasady konstrukcji konturu hodografu.....	526
11.2.2. Kontur hodografu bez strefy kapilarnej.....	530
11.2.3. Kontur hodografu ze strefą kapilarną.....	530
11.3. Funkcja Żukowskiego.....	531
11.4. Odwzorowanie Schwartza-Christoffela.....	534
11.4.1. Opis metody.....	534
11.4.2. Przykład – filtracja pod tamą ze ścianką szczelną.....	535
<b>12. Metody modelowania w hydrogeologii.....</b>	<b>538</b>
12.1. Wprowadzenie.....	538
12.1.1. Metody analogowe.....	540
12.1.2. Metody numeryczne.....	540
12.1.3. Metody stochastyczne.....	541
12.2. Modele fizyczne.....	542
12.2.1. Modele filtracyjne.....	542
12.2.2. Modele szczelinowe.....	543
12.2.3. Modele hydrauliczne.....	543
12.3. Modele elektryczne.....	544
12.3.1. Modele elektryczne ciągłe.....	545
12.3.2. Modele elektryczne dyskretne.....	546
12.4. Metoda różnic skończonych.....	549
12.4.1. Dyskretyzacja obszaru filtracji.....	549
12.4.2. Ilorazy różnicowe.....	551
12.4.3. Równania różnicowe.....	551
12.4.4. Przewodności międzywęzłowe.....	552
12.5. Metoda elementów skończonych.....	553
12.5.1. Zasada wariacyjna.....	554
12.5.2. Modelowanie dwuwymiarowej filtracji ustalonej.....	555
12.5.3. Uwzględnianie przesączania i infiltracji.....	557
12.5.4. Modelowanie dwuwymiarowej filtracji nieustalonej.....	559
12.6. Metoda elementów analitycznych.....	561
12.6.1. Wprowadzenie.....	561
12.6.2. Funkcje o znanych współczynnikach.....	563
12.6.3. Funkcje o nieznanym współczynnikach.....	565
12.6.4. Układ równań.....	566
12.6.5. Rodzaj obszaru filtracji.....	567
12.7. Metoda elementów brzegowych.....	567
12.7.1. Druga tożsamość Greena.....	568
12.7.2. Sformułowanie całki brzegowej w dwóch wymiarach.....	570
12.7.3. Wyznaczanie potencjału w punktach na brzegu.....	571
12.8. Identyfikacja parametrów.....	573
12.8.1. Parametry równań filtracji.....	573
12.8.2. Identyfikacja wodoprzewodności.....	574
12.8.3. Identyfikacja zasilania.....	575
12.8.4. Identyfikacja zasobności.....	576



12.8.5. Równoczesna identyfikacja parametrów .....	577
12.9. Metody stochastyczne .....	578
12.9.1. Rozwiązywanie stochastycznych równań różniczkowych .....	579
12.9.2. Przykład jednowymiarowego stochastycznego równania filtracji.....	581
12.9.3. Przykład stochastycznego równania filtracji dwuwymiarowej.....	582
12.10. Modele oparte na rozmytych zbiorach danych .....	583
12.10.1. Rozwiązywanie funkcji rozmytych .....	584
12.10.2. Rozmyte modele numeryczne .....	585
12.11. Modelowanie transportu zanieczyszczeń .....	587
12.11.1. Filtracja wody i rozkład wilgotności w strefie aeracji.....	588
12.11.2. Transport zanieczyszczeń w strefie aeracji .....	589
12.11.3. Transport zanieczyszczeń w strefie saturacji.....	590
12.12. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych.....	591
12.13. Programy komputerowe .....	593
12.13.1. System PIEZOMETRIA .....	594
12.13.2. Biblioteka programów HYDRYLIB .....	595
12.13.3. Programy amerykańskie.....	596
12.13.4. System GIS.....	599
<b>Literatura.....</b>	<b>601</b>
Aneks nr 1. Ważniejsze jednostki miar.....	625
Aneks nr 2. Tablice funkcji studni .....	631
Aneks nr 3. Funkcje hiperboliczne.....	641
Aneks nr 4. Zarys algebry liczb zespolonych.....	643
Aneks nr 5. Podstawowe własności funkcji analitycznych .....	652
Aneks nr 6. Zarys algebry macierzy .....	655
Aneks nr 7. Iteracyjne rozwiązywanie równań różnicowych filtracji .....	658
Aneks nr 8. Zarys rachunku prawdopodobieństwa, procesów stochastycznych i pól losowych.....	670
Aneks nr 9. Liczby i zbiory rozmyte.....	682
Aneks nr 10. Sztuczne sieci neuronowe.....	688
Indeks rzeczowy.....	695