

Spis treści

Wstęp	15
1. Wody podziemne w środowisku przyrodniczym (Grzegorz Barczyk)	17
1.1. Wprowadzenie	17
1.2. Hydrologiczny obieg wody w przyrodzie	19
1.2.1. Wiadomości wstępne	19
1.2.2. Występowanie wód w przyrodzie i czas ich wymiany	21
1.2.3. Schemat krążenia wody w przyrodzie	22
Opady	24
Retencja	25
Spływ powierzchniowy	26
Parowanie	27
Odływ podziemny	28
Wody kondensacyjne	29
1.2.4. Bilans krążenia wody	29
1.3. Wody infiltrujące	29
1.3.1. Wody strefy aeracji	31
Woda higroskopijna	31
Woda błonkowa	31
Woda kapilarna	32
Woda zawieszona	32
1.3.2. Wody strefy saturacji	33
Wody przypowierzchniowe	34
Wody gruntowe	34
Wody wgłębne	35
Wody głębinowe	35
1.4. Wody podziemne o genezie niezwiązanej ze współczesnym obiegiem	36
1.4.1. Wody juvenilne	36
1.4.2. Wody reliktowe	37
1.4.3. Wody metamorficzne	37
2. Charakterystyka przestrzeni hydrogeologicznej (Włodzimierz Humnicki)	39
2.1. Wprowadzenie	39
2.2. Ośrodek i przestrzeń hydrogeologiczna	39
2.2.1. Porowatość	40

2.2.2.	Porowatość efektywna	45
2.2.3.	Szczelinowatość	46
2.2.4.	Krasowatość	48
2.3.	Właściwości ośrodka hydrogeologicznego	49
2.3.1.	Wodochłonność	50
2.3.2.	Odsączalność	51
2.3.3.	Pojemność i odsączalność sprężysta	52
2.3.4.	Przepuszczalność hydrauliczna	53
2.4.	Występowanie wód podziemnych w ośrodku hydrogeologicznym	55
2.4.1.	Wiadomości wstępne	55
	Warstwy przepuszczalne i wodonośne	55
	Warstwy o zwierciadle swobodnym i naporowym	56
2.4.2.	Warunki występowania wód podziemnych w strukturach i środowiskach geologicznych	58
	Utwory polodowcowe i aluwialne	59
	Formy tektoniczne w utworach przedczwartorzędowych	64
	Strefy wybrzeży morskich	64
2.4.3.	Wpływ litologii i warunków tektonicznych na krążenie wód podziemnych...	68
	Przykłady regionalne z terenu Polski	69
3.	Zasilanie i drenaż wód podziemnych (Włodzimierz Humnicki)	72
3.1.	Zasilanie wód podziemnych	72
3.1.1.	Infiltracja opadów atmosferycznych	72
	Uwagi ogólne i definicje	72
	Kondensacja pary wodnej w strefie aeracji	73
	Czynniki wpływające na infiltrację opadów atmosferycznych	74
3.1.2.	Infiltracja wód powierzchniowych	77
3.1.3.	Zasilanie z innych poziomów wodonośnych	78
3.2.	Drenaż wód podziemnych	80
3.2.1.	Źródła	80
	Pojęcia podstawowe	80
	Kryteria klasyfikacji źródeł	81
	Reżim źródeł	84
3.2.2.	Drenaż przez cieki powierzchniowe	86
3.2.3.	Parowanie terenowe i podziemne	88
3.2.4.	Odpływ podziemny i metody jego oceny	89
3.3.	System wodonośny	96
4.	Przepływ wód podziemnych (Ewa Krogulec)	97
4.1.	Filtracja	97
4.1.1.	Filtracja, prędkość filtracji	97
4.1.2.	Wysokość hydrauliczna	98
4.1.3.	Spadek hydrauliczny	100
4.1.4.	Parametry hydrogeologiczne	101
	Współczynnik filtracji	102
	Współczynnik przepuszczalności	103
	Podział skał ze względu na przepuszczalność	103
	Sposoby uśredniania parametrów na przykładzie współczynnika filtracji.... .	105
	Przewodność warstwy wodonośnej	106
	Pojemność wodna skał	106

4.2. Prawo Darcy'ego.	107
4.2.1. Henry Philibert Gaspard Darcy (1803-1858).	107
4.2.2. Zależności określone prawem Darcy'ego.	107
4.2.3. Zakres stosowalności prawa Darcy'ego.	108
4.3. Natężenie przepływu Q	109
4.4. Przesączanie, przesiąkanie.	111
4.5. Siatka hydrodynamiczna.	115
4.5.1. Hydroizohipsa.	115
4.5.2. Linia prądu.	115
4.5.3. Siatka hydrodynamiczna i jej elementy.	117
4.6. Ruch wody podziemnej.	119
4.6.1. Ruch ustalony.	119
4.6.2. Ruch nieustalony.	119
4.6.3. Równanie filtracji.	120

5. Chemizm wód podziemnych (*Dariusz Dobrzyński*) 123

5.1. Budowa cząsteczki wody i jej skład izotopowy.	123
5.2. Właściwości fizyczne i chemiczne wody.	124
5.3. Woda jako rozpuszczalnik. Podstawy chemii fizycznej wód.	126
5.3.1. Formy występowania substancji w wodach podziemnych.	126
5.3.2. Aktywność. Siła jonowa roztworów wodnych.	128
5.3.3. Prawo działania mas.	129
5.3.4. Dysocjacja elektrolityczna wody.	129
5.3.5. Iloczyn rozpuszczalności. Iloczyn aktywności form.	130
5.4. Rozpuszczanie minerałów. Hydratacja. Hydroliza.	131
5.5. Rozpuszczanie gazów.	132
5.6. Tworzenie się związków kompleksowych i koloidów.	133
5.7. Właściwości fizyczne, chemiczne i organoleptyczne wód podziemnych.	135
5.7.1. Właściwości fizyczne.	135
Temperatura.	135
Przewodność elektrolityczna właściwa.	137
Radoczynność.	138
Gęstość i lepkość.	140
5.7.2. Właściwości chemiczne.	140
Mineralizacja ogólna. Sucha pozostałość.	140
Odczyn wody (pH).	143
Potencjał utleniająco-redukcyjny (Eh).	144
Zasadowość i kwasowość.	147
Chemiczne i biochemiczne zapotrzebowanie na tlen.	147
Twardość.	148
Agresywność.	149
5.7.3. Wybrane właściwości organoleptyczne.	149
Barwa.	149
Przezroczystość, mętność i zawiesiny.	150
Zapach.	150
5.8. Skład chemiczny wód podziemnych.	151
5.8.1. Charakterystyka wybranych gazów.	151
Tlen(O_2).	152
Dwutlenek węgla (CO_2).	152
Siarkowodór (H_2S).	153

5.8.2. Główne i podrzędne składniki wód	154
Wodorowęglany	154
Siarczany	154
Chlorki	156
Sód	156
Potas	157
Magnez	157
Wapń	157
Nieorganiczne związki azotu (jony amonowe, azotyny, azotany)	158
Żelazo	159
Krzem	160
Substancja organiczna	160
5.8.3. Wybrane mikroskładniki	161
Bor	161
Fluor, brom, jod	162
Arsen	163
Miedź, cynk, kadm, rtęć, ołów	163
Chrom, mangan, nikiel	164
Glin	165
Pierwiastki promieniotwórcze (rad, uran, tor)	166
5.9. Jakość wód podziemnych	167
5.9.1 Wprowadzenie	167
5.9.2. Jakość wód pitnych	168
5.9.3. Kryteria oceny wód leczniczych	168
6. Naturalne czynniki i procesy kształtujące skład chemiczny wód podziemnych (Dariusz Dobrzyński)	170
6.1. Wprowadzenie	170
6.2. Rola atmosfery w kształtowaniu chemizmu wód opadowych	171
6.3. Wpływ roślinności i ewapotranspiracji	175
6.4. Procesy zachodzące w glebie i strefie aeracji. Wietrzenie chemiczne. Rozpuszczanie	177
6.5. Procesy w strefie saturacji	181
6.5.1. Procesy sorpcyjne	182
6.5.2. Procesy membranowe	185
6.5.3. Przemiany promieniotwórcze	186
6.5.4. Wpływ procesów magmowych i metamorficznych	186
6.5.5. Mieszanie się wód podziemnych o różnym składzie chemicznym	187
6.6. Wpływ warunków hydrogeologicznych	187
7. Badania hydrogeologiczne i opracowanie ich wyników (Dorota Janka)	192
7.1. Wprowadzenie	192
7.2. Badania terenowe	192
7.2.1. Kartowanie hydrogeologiczne	193
7.2.2. Pobieranie próbek wód i skał	196
Pobieranie próbek wód	196
Pobieranie próbek skał	197
7.3. Badania laboratoryjne	198
7.3.1. Podstawowe badania laboratoryjne skał na potrzeby hydrogeologii	198
Laboratoryjne wyznaczanie współczynnika filtracji	198
Określanie współczynnika filtracji wzorami empirycznymi	200

Oznaczanie wodochłonności, odsączalności, porowatości efektywnej	203
Badania składu mineralogicznego i chemicznego skat	204
7.3.2. Badania laboratoryjne wód	204
Rodzaje analiz chemicznych wód podziemnych	204
Metody badań chemizmu wód	205
7.4. Prace kameralne	207
7.4.1. Ocena i weryfikacja danych hydrogeologicznych	207
7.4.2. Bazy danych	209
Bank HYDRO	209
Monitoringowa Baza Danych (MONBADA)	209
Sieć Stacjonarnych Obserwacji Wód Podziemnych w Polsce (SSOWP)	210
Baza danych wód gruntowych. Baza danych przepływów gruntowych	210
7.4.3. Profile i przekroje hydrogeologiczne i hydrogeochemiczne	210
Profile hydrogeologiczne i hydrogeochemiczne	210
Przekroje hydrogeologiczne i hydrogeochemiczne	211
7.4.4. Metody przedstawiania parametrów hydrogeologicznych hydrogeochemicznych	213
7.4.5. Tło i anomalie hydrogeochemiczne	214
8. Mapy hydrogeologiczne (Franciszek Knyszyński)	218
8.1. Wprowadzenie	218
8.2. Cel sporządzania map hydrogeologicznych	219
8.3. Metodyka sporządzania map hydrogeologicznych	220
8.4. Skale map hydrogeologicznych	222
8.5. Tematyka map hydrogeologicznych	223
8.6. Seryjne mapy hydrogeologiczne Polski	226
9. Bilanse wodne (Franciszek Knyszyński)	232
9.1. Wprowadzenie	232
9.2. Składniki bilansu wodnego	232
9.3. Bilans wód podziemnych	237
9.3.1. Bilans hydrogeologiczny w warunkach umiarkowanej antropopresji	238
9.3.2. Bilans hydrogeologiczny w warunkach aktywnej antropopresji	240
9.4. Bilans wodnogospodarczy	243
10. Zasoby wód podziemnych (Franciszek Knyszyński)	246
10.1. Wprowadzenie	246
10.2. Zasoby statyczne	248
10.3. Zasoby dynamiczne	249
10.3.1. Charakterystyka zasobów dynamicznych	249
10.3.2. Bezpośrednie metody obliczania zasobów dynamicznych	250
10.3.3. Pośrednie metody szacowania zasobów dynamicznych	251
Metoda infiltracyjna	251
Metoda wahań zwierciadła wody podziemnej	254
Metoda regresji zwierciadła wody	254
Metody hydrologiczne	255
10.4. Zasoby dyspozycyjne	257
10.5. Zasoby eksploatacyjne	261
10.6. Zasoby sprężyste	262

10.7. Zasoby sztuczne wód podziemnych.	263
10.8. Zasoby wzbudzone wód podziemnych.	264
10.9. Dokumentowanie zasobów wód podziemnych.	264
10.9.1. Wiadomości wstępne.	264
10.9.2. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych.	266
10.9.3. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęć wód podziemnych.	267
10.9.4. Inne rodzaje dokumentacji hydrogeologicznych.	268
11. Modelowanie hydrodynamiczne (Ewa Krogulec)	269
11.1. Definicja modelu.	269
11.2. Budowa modelu.	270
11.3. Dyskretyzacja obszaru.	272
11.4. Schematyzacja warunków hydrogeologicznych.	273
11.5. Metody modelowania numerycznego.	273
11.6. Warunki brzegowe modeli numerycznych.	275
11.7. Identyfikacja modelu.	277
11.8. Weryfikacja modelu.	278
11.9. Organizacja badań modelowych.	278
11.10. Programy komputerowe.	279
12. Modelowanie geochemiczne wód podziemnych (Dariusz Dobrzyński)	280
12.1. Wprowadzenie.	280
12.2. Pojęcie modelu geochemicznego.	281
12.2.1. Rodzaje modeli geochemicznych.	282
12.2.2. Weryfikacja, prawidłowość i użyteczność modeli geochemicznych.	283
12.3. Podstawowe pojęcia dotyczące termodynamiki i kinetyki procesów formujących skład chemiczny wód podziemnych.	284
12.4. Dane wejściowe do modeli geochemicznych.	288
12.5. Konstruowanie koncepcyjnych modeli geochemicznych. Modelowanie odwrotne a modelowanie wprost.	289
12.6. Modelowanie specyjalne i modelowanie rozpuszczalności.	291
12.7. Modelowanie odwrotne bilansu masy.	294
12.8. Modelowanie dróg reakcji.	295
12.9. Modelowanie procesów sorpcyjnych.	299
12.10. Modelowanie transportu reaktywnego.	300
12.11. Modelowanie kinetyki reakcji.	302
12.12. Wybrane programy komputerowe do modelowania geochemicznego wód podziemnych.	303
13. Zastosowanie badań izotopowych w hydrogeologii (Paweł M. Leśniak)	305
13.1. Wprowadzenie.	305
13.2. Izotopy trwale - podstawowe pojęcia.	305
13.3. Wzorce w badaniach izotopowych.	308
13.4. Efekty izotopowe tlenu i wodoru w cyklu hydrologicznym.	309
13.4.1. Skład izotopowy wód obiegu meteorycznego.	309
13.4.2. Hydrogram izotopowy.	313
13.4.3. Wymiana izotopowa woda-skała.	314

13.5. Obieg związków węgla w przyrodzie oraz frakcjonowanie izotopów węgla, tlenu i wodoru	315
13.5.1. Wody podziemne i biosfera	315
13.5.2. Metan w wodach podziemnych	318
13.5.3. Dwutlenek węgla i metan w wodach zanieczyszczonych antropogenicznie	319
13.6. Obieg związków siarki w przyrodzie oraz frakcjonowanie izotopów siarki i tlenku w siarczanach	320
13.6.1. Frakcjonowanie izotopów siarki - uwagi ogólne	320
13.6.2. Skład izotopowy siarki jako wskaźnik zanieczyszczenia wód podziemnych siarczanami i siarczkami	322
13.7. Obieg związków azotu w przyrodzie oraz frakcjonowanie izotopów azotu i tlenu	323
13.7.1. Skład izotopowy głównych zbiorników azotu	323
13.7.2. Wpływ nawozów naturalnych i ścieków na skład izotopowy azotanów w wodach podziemnych	325
13.8. Izotopy trwałe chloru	326
13.8.1. Skład izotopowy chloru w wybranych środowiskach naturalnych	326
13.8.2. Izotopy chloru a zanieczyszczenia węglowodorami chlorowcopochodnymi	327
13.9. „Datowanie” wód podziemnych z wykorzystaniem radiogenicznych izotopów wodoru, węgla i chloru	328
13.9.1. „Datowanie” trytem	329
13.9.2. „Datowanie” radiowęglem	329
13.9.3. „Datowanie” chlorem-36	331
14. Ujęcia wód podziemnych (Józef Mikołajków)	333
14.1. Wprowadzenie	333
14.2. Typy ujęć wód podziemnych	334
14.2.1. Ujęcia źródeł	334
14.2.2. Ujęcia poziome	334
14.2.3. Ujęcia infiltracyjne	338
14.2.4. Studnie	340
Studnie kopane	340
Studnie wiercone	342
14.3. Obniżenie zwierciadła wody, lej depresji	348
14.4. Podstawy projektowania i wykonywania studni wierconych	351
14.4.1. Podstawa prawna (stan na 01.10.2005).	351
Projekt prac geologicznych	351
Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych	352
14.4.2. Podstawowe zasady projektowania studni wierconych	352
14.5. Filtry studienne	355
14.5.1. Dobór filtru	356
14.5.2. Obsypka filtracyjna	359
14.5.3. Wymiary filtru	360
Długość części roboczej filtru	360
Średnica filtru	361
14.5.4. Dopuszczalna wydajność studni	363
Dopuszczalna prędkość wlotowa	363
Dopuszczalna prędkość przepływu wody przez otwory filtru	365
Maksymalna depresja wytwarzana podczas eksploatacji studni	365
Sposób umieszczenia pompy w studni wierconej	365
14.6. Zasieg leja depresji	367

14.7. Przygotowanie studni do eksploatacji.	367
14.7.1. Pompowanie oczyszczające (usprawniające).	367
14.7.2. Pompowanie badawcze.	368
14.7.3. Pobór próbek wody.	369
14.8. Ujęcia wielootworowe.	369
15. Dopływ wody do studni (Józef Mikołajków)	371
15.1. Wprowadzenie.	371
15.1.1. Schematyzacja warunków dopływu wody do studni.	371
15.1.2. Wyznaczanie parametrów hydrogeologicznych na podstawie pompowań badawczych.	375
15.2. Dopływ ustalony do studni.	378
15.2.1. Równanie dopływu ustalonego do studni zupełnej (równanie Dupuita).	378
15.2.2. Dopływ do studni niezupełnej.	385
Poprawka na niezupełność studni (poprawka Forchheimera).	385
Miąższość strefy aktywnego dopływu wody do studni.	387
15.2.3. Współdziałanie studzien.	388
15.2.4. Dopływ do studni w pobliżu granic hydrogeologicznych.	390
15.2.5. Dopływ do studni w skałach szczelinowych.	393
15.3. Interpretacja wyników pompowań badawczych w warunkach dopływu ustalonego	394
15.4. Dopływ nieustalony do studni.	397
15.4.1. Warstwa wodonośna o zwierciadle napiętym.	399
15.4.2. Warstwa wodonośna zasilana z przesiąkania przez utwory słabo przepuszczalne.	403
15.4.3. Dopływ z uwzględnieniem opóźnionego odsączania.	407
15.5. Interpretacja wyników pompowań badawczych w warunkach dopływu nieustalonego	410
15.5.1. Metoda krzywych wzorcowych.	411
15.5.2. Metoda przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba.	413
15.6. Efekt przyścienny, ocena sprawności studni.	417
16. Zagrożenia zasobów wód podziemnych. Rodzaje zanieczyszczeń (Aleksandra Macioszczyk, Józef Mikołajków)	421
16.1. Wprowadzenie.	421
16.2. Zubożenie zasobów wód podziemnych.	422
16.2.1. Wiadomości wstępne.	422
16.2.2. Eksploatacja wód na potrzeby ludności i rolnictwa.	424
16.2.3. Odwodnienia górnicze.	424
16.3. Zagrożenia jakości wód podziemnych.	425
16.3.1. Przyczyny pogorszenia jakości wody.	425
Stosowane pojęcia.	425
Przyczyny pogarszania jakości wód podziemnych.	427
Wskaźniki zanieczyszczeń.	429
16.3.2. Ogniska zanieczyszczeń.	430
16.3.3. Zanieczyszczenia geogeniczne.	433
16.3.4. Zanieczyszczenia antropogeniczne.	434
16.3.5. Wtórne zanieczyszczenia wód.	439

17. Transport zanieczyszczeń w wodach podziemnych (<i>Jerzy J. Maiecki</i>)	441
17.1. Wprowadzenie	441
17.2. Przenoszenie dyfuzyjne	444
17.3. Przenoszenie adwekcyjne	446
17.4. Dyspersja	449
17.5. Opóźnienie przenoszenia zanieczyszczeń w wyniku procesów sorpcyjnych	452
17.6. Rozpad i biodegradacja zanieczyszczeń	458
17.7. Programy do modelowania transportu zanieczyszczeń w wodach podziemnych.	461
17.7.1. Program MT3D i jego modyfikacje	461
17.7.2. Program PHREEQC	462
18. Ochrona wód podziemnych (<i>Józef Mikołajków, rozdz. 18.1-18.3,</i> <i>Ewa Krogulec, 18.4, 18.5</i>)	464
18.1. Wiadomości wstępne	464
18.2. Ochrona ujęć wód podziemnych	466
18.2.1. Ustanawianie i wyznaczanie stref ochronnych ujęć	466
Teren ochrony bezpośredniej	467
Teren ochrony pośredniej	467
18.2.2. Przykłady metod wyznaczania strefy ochrony pośredniej	472
Metody modelowe	473
Metoda superpozycji	474
Metoda Wysslinga	474
18.3. Ochrona zbiorników wód podziemnych	475
18.4. Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia	477
18.4.1. Wiadomości wstępne	477
18.4.2. Przykładowe metody oceny podatności	478
Metoda DRASTIC	478
Metoda DIVERSITY	482
Czas przesączania jako kryterium oceny podatności	482
18.4.3. Mapy podatności	482
18.5. Wody podziemne w raportach oddziaływania na środowisko	483
19. Monitoring wód podziemnych (<i>Aleksandra Macioszczyk</i>)	486
19.1. Ogólne założenia i cele monitoringu wód podziemnych	486
19.2. Punkty badawcze i organizacja sieci monitoringu wód podziemnych	488
19.3. Rodzaje monitoringu wód podziemnych	489
19.3.1. Wiadomości wstępne	489
19.3.2. Monitoringi regionalne	490
19.3.3. Monitoring obszarów chronionych	492
19.3.4. Monitoring w obszarach przygranicznych	493
19.3.5. Monitoring osłony ujęć wód podziemnych	493
19.3.6. Monitoring osłony wokół ognisk zanieczyszczeń	494
19.4. Projektowanie i działanie sieci monitoringowych oraz raporty z badań	495
19.4.1. Programy badań monitoringowych	495
19.4.2. Interpretacja wyników badań monitoringowych	495
Wiadomości wstępne	495
Oceny ilościowe wód podziemnych	496
Ocena stanu chemicznego wód podziemnych	497
Łączna ocena stanu wód podziemnych	501
19.4.3. Raporty dotyczące przeprowadzenia badań monitoringowych	501

20. Uwarunkowania prawne zarządzania zasobami wód podziemnych (Andrzej Sadurski)	503
20.1. Podstawowe akty prawne.	503
20.2. Zasady ochrony wód.	507
20.3. Strefy i obszary ochronne.	510
20.4. Zarządzanie zasobami wodnymi.	511
20.5. Instrumenty zarządzania zasobami wodnymi.	512
Plany gospodarki wodnej.	513
Pozwolenia wodnoprawne.	513
Opłaty i należności w gospodarce wodnej.	514
Kataster wodny.	514
Kontrola gospodarowania wodami.	514
20.6. Państwowa służba hydrogeologiczna.	515
20.7. Inne zadania administracji.	517
20.7.1. Projekty badań geologicznych i dokumentacje hydrogeologiczne.	517
20.7.2. Informacja hydrogeologiczna.	519
20.7.3. Spółkawodna.	519
Literatura	521
Podstawowe akty prawne, dyrektywy, rozporządzenia, wytyczne, ustawy.	539
Objaśnienia zbiorcze do rysunków.	542
Wykaz oznaczeń do podręcznika.	543
Indeks (opracowała Anna Binder).	559