

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	15
I. WPROWADZENIE (Tomasz Strzelecki)	19
I.1. Modelowanie procesów przepływu filtracyjnego.	19
I.2. Metodologia budowy modelu.	20
I.3. Rozwiązywanie zagadnień granicznych.	25
I.3.1 Metoda analityczna poszukiwania rozwiązania.	25
I.3.2. Metody obliczeń numerycznych.	26
I.4. Budowa modeli geoprzestrzennych.	29
II. RUCH WODY W GÓROTWORZE (Stanisław Żak)	33
II.1. Skąła jako zbiornik wód podziemnych.	33
II.2. Geneza wód podziemnych. Cykle hydrologiczne.	38
II.3. Wybrane właściwości wód podziemnych.	42
II.3.1. Budowa cząsteczkowa.	42
II.3.2. Stany skupienia.	44
II.3.3. Gęstość.	46
II.3.4. Lepkość.	48
II.3.5. Ścisłość.	51
II.3.6. Temperatura.	52
II.3.7. Rozpuszczalność ciał stałych gazów i cieczy w wodzie.	53
II.4. Rodzaje wody w skale.	56
II.4.1. Klasyfikacja pod względem stanu skupienia.	56
II.4.2. Klasyfikacja pod względem siły oddziaływania molekularnego wody i skały.	56
II.5. Woda w strefie aeracji i saturacji.	65
II.6. Ruch wody w górotworze.	68
II.7. Podstawowe pojęcia niezbędne do modelowania przepływu filtracyjnego.	73
III. PRAWA FENOMENOLOGICZNE PRZEPŁYWU CIECZY PRZES OŚRODEK POROWATY (Stanisław Żak)	77
III.1. Hipotezy przepływu filtracyjnego.	77
III.1.1. Równanie Darcy'ego dla ruchu laminarnego.	77

III.1.2. Rozwiązanie zadania ustalonego przepływu jednostajnego ..	84
III.1.3. Granice stosowalności prawa Darcy'ego.	87
III.2. Hipotezy przepływu nielaminarnego.	91

IV. MODELOWANIE PRZEPŁYWU PŁYNU PRZEZ OŚRODEK

POROWATY (Tomasz Strzelecki)	95
IV.1. Wprowadzenie	95
IV.1.1. Stan naprężenia	96
IV.1.2. Przemieszczenia, stan odkształcenia i prędkości odkształcenia ..	102
IV.2. Modele hydrodynamiki wód podziemnych.	111
IV.2.1. Konstytutywne równania stanu.	112
IV.2.2. Równanie ciągłości przepływu.	113
IV.2.3. Równania ruchu cieczy.	116
IV.2.4. Równania hydrodynamiki wód podziemnych dla przypadku przepływu cieczy nieściśliwej przez nieodkształcalny ośrodek porowaty.	120
IV.2.5. Równanie hydrodynamiki wód podziemnych dla przypadku przepływu cieczy ściśliwej z uwzględnieniem ściśliwości szkieletu gruntowego.	122
IV.2.6. Ogólne zasady rozwiązywania równań hydrodynamicznego modelu przepływu.	124
IV.2.7. Warunki brzegowe i początkowe w modelach hydrodynamicz- nego przepływu.	127
IV.2.8. Model 2D dla przypadku przepływu cieczy nieściśliwej przez pory nieodkształcalnego szkieletu.	129
IV.2.8.1. Funkcja potencjału prędkości.	129
IV.2.8.2. Funkcja prądu.	130
IV.2.8.3. Siatka hydrodynamiczna przepływu.	133
IV.2.8.4. Warunki brzegowe i początkowe.	134
IV.2.9. Aproksymacja Dupuit.	140
IV.2.10. Założenia i równanie teorii Boussinesqu'a.	141
IV.2.10.1. Linearyzacja równania przepływu nieustalonego ..	144
IV.3. Modele konsolidacji ośrodka porowatego.	145
IV.3.1. Model porosprężystości Biota-Darcy'ego.	147
IV.3.1.1. Założenia wstępne.	147
IV.3.1.2. Równania ciągłości przepływu ośrodka dwufazowego	147
IV.3.1.3. Równania ruchu fazy stałej i ciekłej	149
IV.3.1.4. Związki konstytutywne ciała Biota	151
IV.3.1.5. Równania porosprężystości Biota – Darcy'ego	162
IV.3.1.6. Równania termo-porosprężystości ośrodka porowatego wypełnionego słabo ściśliwą cieczą ...	163
IV.3.2. Model porosprężystości ciała dwufazowego złożonego z ciała stałego i gazu	164

IV.3.2.1. Założenia wstępne	164
IV.3.2.2. Związki konstytutywne ciała dwufazowego złożonego z ciała stałego i gazu.	165
IV.3.2.3. Równania porosprężystości dla ośrodka porowatego wypełnionego gazem dla małych odkształceń.	167
IV.3.3. Modele konsolidacji gruntów spoistych.	168
IV.3.3.1. Wprowadzenie.	168
IV.3.3.1.1. Woda związana z powierzchnią graniczną cząstek	170
IV.3.3.2. Proces konsolidacji elektrohydrodynamicznej.	171
IV.3.3.2.1. Założenia do modelu porosprężystości elektrohydrodynamicznej.	171
IV.3.3.2.2. Równania ciągłości i równania ruchu elektrokinetycznego	173
IV.3.3.2.3. Równania konstytutywne porosprężystości elektrohydrodynamicznej.	147
IV.3.3.2.4. Równania modelu porosprężystości elektrohydrodynamicznej.	177
IV.3.3.3. Modele ośrodka porowatego ze szkieletem reologicznym.	180
IV.3.3.3.1. Modele reologiczne ośrodka gruntowego.	180
IV.3.3.3.2. Związki konstytutywne ciała Biota ze szkieletem reologicznym	183
IV.3.3.3.3. Równania konsolidacji ciała Biota ze szkieletem Maxwella	185
IV.3.3.3.4. Równania konsolidacji ciała Biota ze szkieletem Kelvina – Voigta	186
IV. 3.3.4. Modele konsolidacji ciała Biota w zastosowaniu do mechaniki gruntów.	187
IV.3.4. Warunki brzegowe i początkowe konsolidacji ośrodka porowatego	191
IV.4. Plastyczność i wytrzymałość ośrodka porowatego rozdrobnionego ..	194
IV.4.1. Plastyczność i wytrzymałość jako cechy reologiczne ośrodka gruntowego	194
IV.4.2. Przebieg procesu ścinania gruntu.	199
IV.4.3. Modele matematyczne stanu granicznego	206
IV.4.3.1. Model Coulomba – Mohra	207
IV.4.3.2. Inne warunki stanu granicznego	210
IV.4.4. Sformułowanie zagadnienia stanu granicznego.	213
IV.4.4.1. Statyka stanu granicznego.	213
IV.4.4.2. Kinematyka stanu granicznego	217
IV.4.4.3. Twierdzenia nośności granicznej.	220
IV.4.5. Blokowe metody inżynierskie określania stateczności skarp w mechanice gruntów.	221

IV.4.5.1. Metoda Felleniusa dla przypadku warstwy przepuszczalnej z uwzględnieniem filtracji cieczy.	222
IV.4.5.2. Metoda blokowa Bishopa.	229
IV.5. Wytrzymałość porowatych i spękanych ośrodków ciągłych.	230
IV.5.1. Filtracja płynów przez szczeliny ośrodka skalnego.	231
IV.5.2. Skała jako ciało kruche.	232
IV.5.3. Wpływ płynu na zniszczenie skały.	233
IV.6. Stateczność filtracyjna ośrodka porowatego rozdrobnionego.	235
IV.6.1 Sufozja i kolmatacja gruntu.	236
IV.6.2. Wyparcie gruntu na skutek siły unoszenia filtracji.	240
IV.6.3. Stateczność filtracyjna grodzy zbudowanej z materiału nieprzepuszczalnego na warstwie przepuszczalnej.	244
V. METODY WYZNACZANIA PARAMETRÓW MODELI PRZEPŁYWU FILTRACYJNEGO (Stanisław Żak)	247
V.1. Wprowadzenie.	247
V.2. Parametry fizyczne i mechaniczne szkieletu gruntowego.	248
V.2.1. Gęstość szkieletu gruntowego.	248
V.2.2. Porowatość (współczynnik porowatości).	249
V.2.3. Współczynnik ściśliwości objętościowej skały, edometryczny moduł ściśliwości.	253
V.2.4. Skład granulometryczny.	254
V.2.5. Powierzchnia właściwa.	254
V.2.5.1. Oznaczanie powierzchni właściwej na podstawie składu ziarnowego.	255
V.2.6. Miarodajna wielkość ziarna.	258
V.2.7. Miarodajna średnica kanalików.	259
V.3. Parametry filtracyjne ośrodka porowatego.	261
V.3.1. Wznios kapilarny.	261
V.3.2. Współczynnik filtracji.	264
V.3.2.1. Laboratoryjne metody oznaczania współczynnika filtracji.	264
V.3.2.2. Określanie współczynnika filtracji na podstawie składu ziarnowego.	276
V.3.2.3. Badania współczynnika filtracji w skałach anizotropowych.	279
V.3.3. Współczynnik odsączalności.	281
V.3.4. Współczynnik retencji.	287
V.3.5. Wodochłonność.	288
V.3.6. Współczynnik sprężystości pojemnościowej.	288
V.4. Przykłady wyznaczania parametrów modeli filtracyjnych metodami terenowymi.	290

VI. WYZNACZANIE PARAMETRÓW EFEKTYWNYCH MODELI PRZEPŁYWU W OPARCIU O TEORIĘ HOMOGENIZACJI <i>(Tomasz Strzelecki)</i>	297
VI.1. Wprowadzenie.	297
VI.1.1. Wpływ niejednorodności na równania makroskopowe.	297
VI.1.2. Metody przejścia ze skali lokalnej do makroskopowej.	298
VI.1.3. Metody homogenizacji w skalach rozdzielnych.	301
VI.1.4. Metoda homogenizacji idealnej	302
VI.2. Jednowymiarowy przepływ filtracyjny przez kompozyt jako przykład matematycznej teorii homogenizacji.	303
VI.2.1. Założenia.	303
VI.2.2. Rozwiązanie zagadnienia metodą homogenizacji bezpośredniej	304
VI.2.3. Metoda średniej przestrzennej. Poszukiwanie intuicyjne roz-	
wiązania.	308
VI.2.4. Rozwiązanie zagadnienia metodą zbieżności dwuskalowej. .	310
VI.3. Proces homogenizacji filtracji płynu przez ośrodki porowate metodą zbieżności dwuskalowej.	316
VI.3.1. Przepływ cieczy newtonowskiej przez nieodkształcalny ośrodek porowaty.	316
VI.3.1.1. Definicja zagadnienia.	316
VI.3.1.2. Proces normalizacji równań.	318
VI.3.1.3. Proces homogenizacji.	322
VI.3.1.4. Dowód jednoznaczności rozwiązania.	330
VI.3.1.5. Istota uzyskanych rozwiązań.	336
VI.3.1.6. Określenie współczynnika filtracji metodą numeryczną	339
VI.3.2. Przepływ nieustalony ściśliwej cieczy Troutona przez nieod-	
kształcalny ośrodek porowaty.	349
VI.3.2.1. Definicja zagadnienia.	349
VI.3.2.2. Homogenizacja metodą zbieżności dwuskalowej. .	351
VI.3.2.3. Wpływ ściśliwości cieczy na równania makrosko-	
powe filtracji.	354
VI.3.3. Przepływ cieczy przez odkształcalny ośrodek porowaty, pro-	
ces quasi-statyczny.	355
VI.3.3.1. Przypadek porowatej matrycy sprężystej niewypeł-	
nionej płynem.	356
VI.3.3.2. Przypadek porowatej matrycy sprężystej wypełnio-	
nej cieczą nieściśliwą.	362
VI.3.3.3. Własności wielkości fizycznych makroskopowych	
i współczynników efektywnych.	367
VI.3.3.4. Przypadki szczególne konsolidacji.	369
VI.3.3.5. Postać klasyczna równań konsolidacji.	371
VI.3.3.6. Istota uzyskanych rozwiązań w zakresie teorii kon-	
solidacji.	373

VII. ROZWIĄZANIA ZAGADNIEŃ PRZEPŁYWU FILTRACYJNEGO METODAMI ANALITYCZNYMI (Tomasz Strzelecki)	375
VII.1. Zagadnienia jednowymiarowe filtracji.	375
VII.1.1. Określenie średniego współczynnika filtracji dla przepływu przez ośrodek ekwiwalentny w odniesieniu do ośrodka uwarstwionego.	375
VII.2. Przykłady rozwiązań zadań dwuwymiarowych w oparciu o aprok- symację Dupuit	378
VII.2.1. Zagadnienia przepływu ustalonego przy zasilaniu bocznym – przepływ wody przez groblę	378
VII.2.2. Dopływ do studni w warstwie o zwierciadle swobodnym przy zasilaniu bocznym.	380
VII.2.3. Dopływ do studni w warstwie o zwierciadle napiętym ...	382
VII.2.4. Zeskok hydrauliczny.	384
VII.2.5. Dopływ do studni niezupełnych.	385
VII.2.6. Współdziałanie studni.	386
VII.2.7. Przepływ przez groblę z uwzględnieniem zasilania wodami infiltracyjnymi.	389
VII. 2.7.1. Dopływ do rowu przy zasilaniu wodami infiltra- cyjnymi.	393
VII. 2.7.2. Studnia zasilana wodami infiltracyjnymi	394
VII.2.8. Obliczanie pól drenowych.	398
VII.2.9. Szacowanie dopływu wody do odkrywek górniczych meto- dą wielkiej studni	401
VII.3. Rozwiązania równania Boussinesqa – przepływ nieustalony	402
VII.3.1. Płaski przepływ nieustalony	402
VII.3.2. Radialny przepływ nieustalony.	410
VII.4. Rozwiązanie metodami analitycznymi równań hydrodynamiki wód podziemnych płaskich zagadnień filtracji.	416
VII.4.1. Funkcja potencjału zespolonego.	416
VII.4.2. Sposób rozwiązywania płaskich zagadnień przepływu ...	419
VII.4.3. Wykorzystanie funkcji potencjału zespolonego filtracji do rozwiązywania zagadnień dwuwymiarowych przepływu filtracyjnego	424
VII.4.3.1. Rozwiązania zagadnień brzegowych ze zwiercia- dłem swobodnym.	425
VII.4.3.1.1. Szczelina drenażowa w warstwie nie- przepuszczalnej (Parabola Limasset'a)	425
VII.4.3.1.2. Szczelina drenażowa w warstwie przepuszczalnej	429
VII. 4.3.1.3. Przepływ przez grodzę ziemną posa- dowaną na podłożu o nieograniczo- nej miąższości	437

VII.4.3.2. Zagadnienia przepływu pod ciśnieniem	446
VII.4.3.2.1. Płaski fundament zapory wodnej na warstwie o nieskończonej miąższości	446
VII.4.3.2.2. Ścianka szczelna w gruncie przepuszczalnym o nieskończonej głębokości	457
VII.4.3.2.3. Złożone zagadnienia opływu budowli piętrzących	466
VII.4.3.2.3.1. Opływ fundamentu budowli piętrzącej ze ścianką szczelną	467
VII.4.3.2.3.2. Opływ fundamentu budowli piętrzącej z rurą drenażową	471

VIII. ROZWIĄZANIA ZAGADNIEŃ KONSOLIDACJI OŚRÓDKÓW POROWATYCH METODAMI ANALITYCZNYMI (Tomasz Strzelecki)

VIII.1. Zagadnienie jednowymiarowe konsolidacji ciała Biota	479
VIII.1.1. Model porosprężystości Biota – Darcy’ego dla przypadku procesu izotermicznego	480
VIII.1.1.1. Zagadnienie konsolidacji jednowymiarowej wywołanej działaniem obciążenia i gradientu hydraulicznego	481
VIII.1.1.1.1. Przykład liczbowy	487
VIII.1.1.2. Zagadnienie konsolidacji jednowymiarowej wywołanej działaniem obciążenia, potencjału hydraulicznego i działania pola elektrycznego	495
VIII.1.1.2.1. Przykład liczbowy	507
VIII.2. Płaskie zagadnienia konsolidacji wywołanej działaniem obciążenia	514
VIII.2.1. Konsolidacja półprzestrzeni konsolidujące pod działaniem ruchomego obciążenia skupionego	514
VIII.2.1.1. Wyznaczenie funkcji osiadań powierzchni półprzestrzeni konsolidującej	527
VIII.2.1.2. Przykład liczbowy	536
VIII.2.2. Konsolidacja półprzestrzeni konsolidujące pod działaniem obciążenia pionowego równomiernie rozłożonego	540
VIII.2.2.1. Przypadek obciążenia symetrycznego	540
VIII.2.2.2. Przypadek obciążenia niesymetrycznego	542
VIII.3. Osiadanie półprzestrzeni pod działaniem obciążenia skupionego	543
VIII.4. Osiadanie półprzestrzeni pod działaniem źródeł cieczy	549

IX. METODY NUMERYCZNE W MODELOWANIU PRZEPŁYWU CIECZY PRZEZ OŚRODKI POROWATE (<i>Stanisław Kostecki</i>)	557
IX.1. Wprowadzenie	557
IX.2. Metoda różnic skończonych	558
IX.2.1. Bezpośrednia metoda tworzenia operatorów różnic skończonych	559
IX.2.2. Rozwiązywanie równania dyfuzji MRS	571
IX.2.2.1. Metoda jawna	572
IX.2.2.2. Metody niejawne	572
IX.2.2.3. Rozwiązywanie dwuwymiarowego równania dyfuzji MRS	573
IX.2.3. Zagadnienia stabilności schematów różnicowych	577
IX.2.4. Schematy różnicowe dla równań cieczy lepkiej nieściśliwej	580
IX.2.4.1. Rozwiązanie zagadnienia Stokesa	580
IX.2.4.2. Rozwiązanie równania Naviera-Stokesa	583
IX.3. Metoda elementów skończonych	586
IX.3.1. Wstęp	586
IX.3.2. Podstawy MES	587
IX.3.3. Metoda ważonych reziduum	588
IX.3.3.1. Metoda kolokacji	588
IX.3.3.2. Metoda momentów	591
IX.3.3.3. Metoda najmniejszych kwadratów	591
IX.3.3.4. Metoda Galerkina	592
IX.3.4. Przykłady rozwiązań jednowymiarowych MES Galerkina	594
IX.3.5. Rodzaje elementów i ich funkcje bazowe	598
IX.3.6. Aproksymacja lokalna i globalna	603
IX.3.7. Algorytm MES rozwiązania równania przepływu cieczy lepkiej i nieściśliwej	604
IX.3.8. Przykłady zastosowania MES	606
IX.4. Metoda elementów brzegowych	641
IX.4.1. Wstęp	641
IX.4.2. Bezpośrednie sformułowanie MEB	641
IX.4.3. Zagadnienie przepływu potencjalnego	646
IX.4.3.1. Bezpośrednie sformułowanie MEB w rozwiązaniu zagadnienia przepływu potencjalnego	648
IX.4.3.2. Obliczanie gradientu funkcji wewnątrz obszaru	654
IX.4.3.3. Obliczanie z uwzględnieniem sił masowych	654
IX.4.3.4. Obliczanie z uwzględnieniem źródeł punktowych	655
IX.4.3.5. Obliczanie całki obszarowej przez transformację do całki brzegowej	656
IX.4.3.6. Podział obszaru obliczeniowego na podobszary	656
IX.4.4. Sformułowanie pośrednie MEB	658
IX.4.5. Rodzaje elementów brzegowych	659

IX.4.5.1. Elementy stałe	660
IX.4.5.2. Elementy brzegowe wyższych rzędów dla zagad- nienia dwuwymiarowego	668
IX.4.5.3. Elementy brzegowe dla zagadnienia przestrzennego	672
IX.4.6. Przykład rozwiązania zagadnienia opływu fundamentu jazu MEB	674
IX.5. Stochastyczna metoda wirów	678
IX.5.1. Opis metody wirów	678
IX.5.2. Zagadnienie transportu wirowości	680
IX.5.3. Metoda dekompozycji równania transportu wirowości	681
IX.5.3.1. Przybliżone rozwiązywanie problemu adwekcji wi- rowości	681
IX.5.3.2. Przybliżone rozwiązywanie zagadnienia dyfuzji wi- rowości	684
IX.5.4. Spełnienie warunków brzegowych	687
IX.5.5. Generowanie wirowości wzdłuż brzegów	688
IX.5.6. Przykłady obliczeń stochastyczną metodą wirów	690
Bibliografia	693