

**PRZEDMOWA**

Niniejsza monografia „Mechanika ośrodków porowatych” jest wynikiem wieloletnich studiów autorów niniejszej monografii w zakresie zagadnień związanych z geoinżynierią, poro-sprężystością termo-poro-sprężystością oraz stanami granicznymi ośrodków porowatych. Jest kontynuacją prac związanych z teorią przepływów przez ośrodki porowate lub spękane, czego wynikiem była monografia pt. „Modelowanie przepływów przez ośrodki porowate”. Problematyka poruszana w pracy jest ostatnio tematem licznych publikacji naukowych, również książkowych, gdyż ma ona istotny wpływ na rozwój kilku dziedzin nauki w tym Geoinżynierii, Bioinżynierii oraz technologii tworzenia nowych materiałów o złożonej strukturze, które to dziedziny nauki definiują medium jakim się zajmują jako ośrodki wielofazowe.

Niniejsza książka powstała na podstawie publikacji i opracowań wykonanych przede wszystkim przez pracowników Politechniki Wrocławskiej Wydziałów Technologiczno-Przyrodniczego, Budownictwa Lądowego i Wodnego, Geoinżynierii Geologii i Górnictwa i Przedsiębiorstwa KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, a przede wszystkim a przede wszystkim prac profesora Igora Kisiela. Niektóre z tych prac były realizowane w ścisłej współpracy z Uniwersytetem Josepha Fouriera w Grenoble, a w szczególności we współpracy z prof. Julien Kravtchenko i prof. Jean Louis Auriault. Książka jest przeznaczona dla studentów ostatnich lat magisterskich studiów technicznych oraz studiów doktoranckich, jak również dla inżynierów i pracowników naukowych.

Celem autorów było przedstawienie zagadnień z zakresu teorii filtracji płynów przez ośrodek porowaty, poro-sprężystości i termo-poro-sprężystości oraz teorii stanów granicznych w sposób maksymalnie jasny, tak aby czytelnik zapoznawał się z materiałem teorii, poczynając od bardzo prostych i elementarnych przykładów poprzez klasyczne metody analityczne aż po metody bardziej zaawansowane oparte o teorię homogenizacji ośrodków niejednorodnych w skali mikroskopowej, czy też zaawansowane metody numeryczne. W miarę możliwości starano się przedstawić fizykę rozpatrywanego procesu poprzez przedstawienie metodyki uzyskiwania równań procesu w oparciu o metody klasyczne przy wykorzystaniu twierdzeń termodynamiki procesów nieodwracalnych, czy też w oparciu o twierdzenia teorii homogenizacji. Przykłady, jakimi posłużono się do prezentacji różnych modeli reologicznych dobrano tak, aby w sposób przejrzysty ilustrowały istotę przedstawionej teorii, a z drugiej strony były interesujące z punktu widzenia zastosowań praktycznych.

W rozdziale pierwszym przedstawiono ogólne rozważania na temat modelowania procesów, wskazując na metodologię budowy modeli oraz ich rolę w zastosowaniach inżynierskich.

Rozdział drugi dotyczy zastosowań systemów informacji geograficznej w budowaniu modeli geoprzestrzennych w zastosowaniu do rozwiązań inżynierskich zagadnień geotechnicznych. Sposób tworzenia numerycznego modelu terenu na podstawie dostępnych materiałów geodezyjnych przedstawiono na przykładzie zbiornika przeciwpowodziowego w Raciborzu.

Rozdziały trzeci poświęcony jest omówieniu podstawowych własności fizycznych i mechanicznych ośrodka gruntowego oraz sposobów ich laboratoryjnego określania.

W rozdziale czwartym i piątym omówiono zagadnienia klasycznej teorii przepływu cieczy przez ośrodki gruntowe i skały. Obejmują one problematykę dotyczącą wód podziemnych, czynników wywołujących ruch, a także praw i hipotez przepływu filtracyjnego przez grunty i skały. Przedstawiono w nich sposób uzyskiwania rozwiązań analitycznych płaskich zagadnień teorii filtracji w oparciu o teorię funkcji analitycznych oraz przekształcenia konforemne oparte o twierdzenie Riemanna i wzór Christoffela – Schwarz’a. W przypadku zagadnień nieustalonych przedstawiono sposób uzyskiwania rozwiązań równań teorii filtracji z wykorzystaniem przekształcenia całkowitego Laplace’a. W rozdziałach tych omówiono również model przepływów filtracyjnych z uwzględnieniem oddziaływania pola elektrycznego w gruntach spoistych.

Rozdział szósty poświęcony jest procesom termo-filtracji. W oparciu o zaproponowany model matematyczny przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych opisujących proces termo-filtracji w okolicach generatora zgazowania węgla oraz obliczenia filtracji gazy przez ośrodek piaszczysty na terenach wydym pustynnych.

Rozdział siódmy omawia istniejące w literaturze modele porosprężystości. Zawiera opis modeli reologicznych, poczynając od najprostszych, gdy zakłada się przepływ cieczy nieściśliwej przez nieodkształcalny ośrodek porowaty – model Terzaghiego. Następnie przedstawione zostały modele ciała odkształcalnego oparte na modelu porosprężystości Biota. Zagadnienie porosprężystości zostało omówione w oparciu o teorię homogenizacji na podstawie wybranych publikacji. Następnie korzystając z podstawowych twierdzeń termodynamiki procesów nieodwracalnych omówiono sposób uzyskania na ich podstawie równań konstytutywnych poro-sprężystości. Rozdział omawia ponadto równania poro-sprężystości w przypadku, gdy pory ośrodka sprężystego wypełnia ciecz lub gaz.

W rozdziale ósmym wyprowadzono równania konsolidacji ośrodka porowatego, uwzględniając efekty termiczne przepływu poprzez wyprowadzenie równań termokonsolidacji ośrodka porowatego, dla dwóch wariantów; pierwszym, gdy transport ciepła odbywa się przez uśredniony jednofazowy ośrodek porowaty i drugim, gdy ciepło przepływa niezależnie przez fazę stałą i płynną ośrodka z rozróżnieniem fazy płynnej na ciekłą i gazową z uwzględnieniem wymiany ciepła między fazami. Proces przepływu płynu i ciepła przez ośrodek porowaty został przeanalizowany numerycznie metodą elementów skończonych na przykładzie walcowej próbki oddzielnie dla przypadku, gdy przez próbkę przepływa woda i dla przypadku, gdy przez próbkę przepływa para wodna. Obydwa przypadki porównano z wynikami obliczeń dla modelu uśrednionego, gdy ciepło przepływa przez fikcyjny ośrodek jednofazowy.

Rozdział dziewiąty omawia reologiczne modele ośrodka porowatego. Bardziej precyzyjnie został omówiony model matematyczny ośrodka porowatego ze szkieletem reologicznym Kelvina-Voighta. Uzyskano równania poro-lepko-sprężystości będące uogólnieniem modelu Biota na ośrodki lepko-sprężyste. Następnie przedstawiono rozwiązanie analityczne modelu Biota ze szkieletem reologicznym Kelvina-Voighta oraz rozwiązanie numeryczne konsolidacji próbki trójosiowego ściskania w oparciu o metodę elementów skończonych.

W rozdziale dziesiątym przedstawiono metody wyznaczania parametrów efektywnych modelu Biota na podstawie badań laboratoryjnych i zaawansowanych metod statystycznych: analizę strukturalną równań, serie estymacji, obliczanie elipsoid ufności oraz serie symulacji. Łączne stosowanie wszystkich czterech w sposób znaczny systematyzuje proces kalibracji i w efekcie ułatwia uzyskanie wiarygodnych wartości parametrów modelu. W rozdziale tym pokazano również, jak przeprowadzić kalibrację modelu Biota ze szkieletem reologicznym Kelvina-Voighta opartą na odwrotnej analizie z zastosowaniem algorytmów genetycznych. Przedmiotem analizy w przedstawionym przykładzie jest współczynnik filtracji  $k$ . Algorytmy genetyczne mogą być definiowane jako techniki numeryczne zainspirowane naturalnymi procesami przetwarzania informacji. Są one klasyfikowane jako „odporne” metody optymalizacji lub też metody wykazujące podobną skuteczność w szerokim zakresie zagadnień. Ta elastyczność wynika z faktu, że optymalizacja jest wykonywana wyłącznie na podstawie wartości funkcji celu, algorytm nie ma już żadnych informacji o modelu lub modelowanym procesie. Jest to szczególnie interesująca cecha metody, ponieważ dzięki rozwiniętej metodologii można praktycznie bez jakiegokolwiek modyfikacji zastosować ją do różnych modeli i różnych danych eksperymentalnych.

Rozdział jedenasty jest w pewnym sensie podsumowaniem poprzednich rozdziałów, bowiem przedstawia zastosowanie teorii porosprężystości Biota do rozwiązywania zagadnień związanych z budową konkretnego obiektu budowlanego. Obiekt ten to Afrykarium. Został otwarty w dniu 26 października 2014 r. Projekt obiektu powstał w pracowni ArC2 Fabryka Projektowa. Generalnym wykonawcą inwestycji była firma Inter-system. Celem wykonania obliczeń między innymi było sprawdzenie czy osiadanie fundamentu, a w szczególności różnice osiadań, nie wpłyną na możliwość uszkodzenia sieci hydraulicznej, czyli tzw. „linii życia”.

Rozdział dwunasty omawia modele matematyczne stanu granicznego ośrodków porowatych w szczególności mających zastosowanie w mechanice gruntów. W większości zagadnień związanych z powstaniem w ośrodkach porowatych w tym w gruncie lub skale granicznego stanu równowagi, uwzględnienie rzeczywistej zależności naprężenie - odkształcenie przed wystąpieniem stanu granicznego jest pod względem matematycznym skomplikowane. W mechanice gruntów stan graniczny występuje w gruncie, gdy następuje przekroczenie wytrzymałości gruntu na ścinanie. Inaczej jest w przypadku mechaniki skał lub innych porowatych ośrodków stosowanych np. w budow-

nictwie np. w przypadku betonów, cegieł itp.. W pracy zaproponowano reologiczny model ciała Biota sprężysto-lepko-plastycznego spełniającego założenie prof. Perzyny. W oparciu o zaproponowany model matematyczny, w którym przyjęto do obliczeń kryterium Hubera-Schleichera wykonano obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych zagadnienia brzegowego 2D odkształceń sprężysto-lepko – plastycznych dla płaskiego stanu odkształcenia. Przedstawiony model sprężysto lepko plastyczny porowatego ośrodka dwufazowego, którego pory są wypełnione ściśliwą lepką cieczą może znaleźć zastosowanie w mechanice gruntów i skał, gdyż dobrze odwzorowuje wpływ ciśnienia porowego na proces odkształceń lepko plastycznych.

Ostatni trzynasty rozdział poświęcony jest zagadnieniom klasycznych metod inżynierskich obliczeń stateczności obiektów budowlanych z uwzględnieniem przepływu filtracyjnego wody. Rozdział ten zajmuje się zagadnieniem stateczności filtracyjnej ośrodka porowatego.

Przedstawione w pracy poszczególne rozdziały były tworzone indywidualnie przez autorów monografii, jednakże współpraca polegała na uzgadnianiu zakresu i formy przedstawianych zagadnień, aby utrzymać w miarę możliwości jednolitość stosowanych oznaczeń oraz eliminację powtórzeń. Niestety złożona materia przedstawianych w monografii treści nie pozwoliła całkowicie wyeliminować wymienionych aspektów pracy.

*Tomasz Strzelecki*