

# Numeryczne Metody Obliczeniowe II

Studia Stacjonarne i Niestacjonarne, stopień II

Zagadnienia realizowane na wykładach

**Wprowadzenie.** Rodzaje działalności badawczej, mechanika eksperymentalna, mechanika analityczna, mechanika numeryczna, opis Eulera i Lagrange'a, przykład symulacji w ujęciu Eulera, przykład symulacji w ujęciu Lagrange'a, kluczowe pytania – jakie medium?, kluczowe pytania – jaka metoda?, metody numeryczne w mechanice, Metoda Różnic Skończonych, Metoda Elementów Skończonych, Metoda Elementów Brzegowych, Metoda Objętości Skończonych, Metoda Zanurzonego Brzegu, Metoda Gazu Siciowego Boltzmanna, Metoda Elementów Dyskretnych, Metoda Cząstek Wygładzonych, inne metody numeryczne, metody hybrydowe, Trend: symulacje multi-fizyczne (FSI, PFI), kurs CFD na WNT, źródła wiedzy, podstawowa klasyfikacja przepływów, dodatkowe pojęcia: pole skalarne, pole wektorowe, gradient, dywergencja, rotacja, operator Hamiltona, twierdzenie Greena-Gaussa-Ostrogradzkiego, twierdzenie Stokesa, twierdzenie transportu Reynoldsa.

**Proces modelowania numerycznego.** Etapy procesu modelowania numerycznego, domena obliczeniowa, określenie geometrii domeny obliczeniowej, dyskretyzacja domeny obliczeniowej, wybór modelu matematyczno-fizycznego, definiowanie zestawu domknięć, definiowanie parametrów materiałowych, określenie warunków brzegowych, określenie warunków początkowych, określenie technik numerycznych, rozwiązywanie układów równań liniowych, rezyduala, współczynniki relaksacji, dyskretyzacja czasu, określenie szczegółów monitoringu procesu obliczeniowego, określenie szczegółów rejestracji wyników, określenie warunku zakończenia obliczeń, zbieżność obliczeń, przeprowadzenie obliczeń, analiza i obróbka wyników, błędy analiz numerycznych, dyfuzja numeryczna, dyspersja numeryczna, jakość wyników, kody MOS, SimFlow, SimFlow – przykład modelowania.

**Modelowanie geometrii.** Rodzaje geometrii/grafiki, liczba wymiarów geometrii, domeny symetryczne, domeny periodyczne, 2D vs. 3D, podstawowe elementy geometrii, geometria bryłowa i powierzchniowa, transformacja geometrii, formaty plików, przykłady konwersji formatów danych, strategie modelowania geometrii, praca w pakiecie ANSYS, praca w pakiecie OpenFOAM, inne możliwości definiowania geometrii.

**Siatki Numeryczne.** Dyskretyzacja, rodzaje dyskretyzacji przestrzeni, elementy siatek numerycznych, rodzaje siatek numerycznych, siatki strukturalne, siatki niestrukturalne, siatki hybrydowe, siatki wieloblokowe, siatki wielostrefowe, siatki nakładające się, siatki adaptujące się, siatki ruchome, interfejsy bloków lub stref, siatki inflacyjne, funkcje rozpinające, rodzaje siatek wg standardu VTK, ortogonalność siatek numerycznych, gładkość siatek numerycznych, dopasowanie do zagadnienia, praca w ANSYS Meshing 2022 R2, kryteria oceny jakości siatki, strategia generowania siatek, test siatki.

**Metoda Objętości Skończonych.** Metoda Objętości Skończonych – idea, objętość skończona, strumień, bilans powierzchniowy, bilans objętościowy, bilanse MOS - analogie, układ równań bilansowych (zachowawczych), Równanie Bilansu Masy, fizyczny sens dywergencji prędkości, Równanie Bilansu Pędu, Równanie Hydrostatyki, Równanie Bilansu Energii, inżynierskie odpowiedniki równań bilansowych, ogólna postać równań bilansowych, ilustracja członów równań bilansowych, wskaźnikowa postać równań bilansowych, kartezyjska postać równań bilansowych, zachowawcza postać równań bilansowych, całkowita postać równań bilansowych, domknięcie, rodzaje równań w MOS, równanie stanu, tensor naprężeń lepkich, tensor naprężeń turbulentnych, strumienie ciepła, źródła.

**Modelowanie Turbulencji.** Doświadczenie Reynoldsa, ruch laminarny i turbulentny, liczba Reynoldsa, promień hydrauliczny, równanie Bernoulliego płynu rzeczywistego, straty lokalne, straty liniowe, turbulencja w przyrodzie, dekompozycja pola prędkości, parametry opisujące turbulencję (współczynnik intermitencji, stopień turbulencji, energia kinetyczna turbulencji, prędkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji, droga mieszania), rodzaje turbulencji (izotropowa, anizotropowa i homogeniczna), warstwa przyścienna, rozwój warstwy przyściennej na

ściance, zjawisko oderwania, wpływ lepkości na warstwę przyścienną, wiry sływowe, ścieżka von Karmana, turbulenta warstwa przyścienna, powierzchnia hydraulicznie gładka,  $y^+$ ,  $y^*$ , RANS, Równanie Reynoldsa, przepływ laminarny, przejściowy i turbulentny, struktury koherentne, kaskada energii, DNS, LES, DES, podstawowa klasyfikacja podejść do modelowania przepływów turbulentnych, przykłady modeli turbulencji w RANS, szacowanie turbulencji na wlocie, przykłady porównań modeli turbulencji.

**Przepływy Wielofazowe.** Mieszanina, udział objętościowy i masowy składnika mieszaniny, Równanie Bilansu Składnika Mieszaniny, rodzaje przepływów wielofazowych, wyjściowy model matematyczny, koncepcje modelowania przepływów wielofazowych, Model Ośrodka Porowatego, prawo Darcy'ego, prawo Forchheimera, Model Uskoku Porowatego, Model Homogeniczny, Homogeniczny Model Kawitacji, Pełny Model Kawitacji, Species Model, Volume of Fluid, Wielofazowy Model Eulera, Model Fazy Dyskretnej, mnogość domknięć.

**Problem domknięć w CFD.** Co to jest domknięcie, metody definiowania domknięć, modelowanie fontannowej suszarki do ziarna (współczynnik wymiany pędu, lepkość granularna, ciśnienie granulatu, funkcja przełączająca, współczynnik sferyczności, współczynnik oporu, funkcja korekcyjna wsp. oporu), model bazowy, macierz domknięć, alternatywne zestawy domknięć, modelowanie przepływu przez ośrodek porowaty (współczynnik przepuszczalności, współczynnik Forchheimera), równanie Kozeny-Carmana.

**Analiza wrażliwości i planowanie eksperymentu.** Zmienna zależna, planowanie eksperymentu, identyfikacja parametrów wejściowych, analiza wrażliwości, koncepcja czarnej skrzynki, typy relacji między parametrami, wskaźnik wpływu, standaryzacja odchylek, analiza wrażliwości w optymalizacji, funkcje wpływu, zbiór efektywny, przykłady analizy wrażliwości, analiza korelacji, korelacja liniowa Pearsona, korelacja liniowa Spearmana, współczynnik determinacji, analiza wariancji, metoda płaszczyzny odpowiedzi, metody generacji płaszczyzny odpowiedzi, punkt pomiarowy, metody doboru zmiennych niezależnych, jakość powierzchni odpowiedzi.

**Strategie modelowania numerycznego.** Model bazowy, weryfikacja i walidacja, zgodność jakościowa i ilościowa, główne strategie modelowania, strategia modelu bazowego, strategia odchyleń od modelu bazowego, strategia modelu jakościowego, uwagi do strategii.