

Modelowanie matematyczne w nauce i technice

LAB 06

Wstęp

(Przypomnienie z Lab 03) Poprawnie zdefiniowane zadanie obliczeniowe w programie „ModFEM” składa się z następujących elementów:

- **Pliku konfiguracyjnego dla zadania obliczeniowego (problem_heat.dat)**
- **Pliku zawierającego siatkę obliczeniową (w formacie JK lub w bezpośrednim formacie struktur danych ModFEM - format i nazwa pliku określone są w pliku konfiguracyjnym problem_heat.dat)**
- **Pliku zawierającego informację o warunkach brzegowych (o nazwie zwyczajowo przyjmowanej jako bc_heat.dat, ale możliwej do dowolnego ustalenia w pliku konfiguracyjnym problem_heat.dat)**
- Opcjonalnie pliku z danymi materiałowymi - jest konieczny do rozwiązania zadań z nieliniowością materiałową oraz wieloma materiałami, , w dalszych przykładach wykorzystywany będzie plik o nazwie materials.dat
- Opcjonalnie plików konfiguracyjnych modułów rozwiązywania układów równań liniowych (solwerów liniowych - nazwy plików określone są w pliku konfiguracyjnym problem_heat.dat, w dalszych przykładach wykorzystywany będzie plik konfiguracyjny solwera iteracyjnego o nazwie mkb.dat)

W trakcie dzisiejszych zajęć rozwiążecie Państwo proste zagadnienie wymiany ciepła - stacjonarnego rozkładu temperatury w obszarze dwuwymiarowym, dla pojedynczego materiału z warunkami brzegowymi Dirichleta (zadana temperatura), Neumanna (zadany strumień ciepła) oraz Robina (strumień ciepła zadany jako proporcjonalny do różnicy temperatur między brzegiem obszaru a otoczeniem zewnętrznym o stałej temperaturze).

W kolejnych krokach laboratorium będziecie Państwo tworzyć lub modyfikować pliki konfiguracyjne, uruchamiać program symulacji i analizować wyniki, posługując się wizualizacją w programie ParaView

[

Ułatwieniem sprawdzania poprawności działania programu ModFEM jest wykorzystanie możliwości pracy w trybie wsadowym.

ModFEM po uruchomieniu sprawdza istnienie w katalogu roboczym pliku:

input_interactive.txt

Jeśli pliku nie ma, program działa interaktywnie w terminalu (tak jak dotychczas). Jeśli plik jest, ModFEM wykonuje polecenia menu zapisane w pliku i zapisuje niektóre z danych do pliku wyjściowego. Nazwa pliku wyjściowego stanowi pierwszą linijkę pliku input_interactive.txt. Dla przykładowej zawartości pliku **input_interactive.txt**:

lab06_output_01.txt

s

v

q

program rozwiąże zadanie, zapisze pliki z danymi wizualizacji i zakończy działanie - w trakcie pracy część wyników zostanie zapisana do pliku

lab06_output_01.txt . Zawartość pliku można przeglądać w edytorze, ewentualnie wypisać tylko zawartość interesujących linijek posługując się np. narzędziem `grep`:

```
$ grep -i BC lab06_output_01.txt
```

```
J
```

- 1 Zadanie 1 (obowiązkowe): Przygotowanie pliku konfiguracyjnego **problem_heat.dat** dla problemu rozkładu temperatury (jako punkt wyjścia do modyfikacji można użyć własne pliki z poprzednich laboratoriów lub plik ze strony przedmiotu, będący materiałem do laboratorium 1) - w sprawozdaniu należy umieścić odpowiednie zmodyfikowane fragmenty pliku **problem_heat.dat**

Po modyfikacji plik **problem_heat.dat** powinien mieć następujące ustawienia:

- nadana indywidualnie nazwa problemu:
`name = "..."; // np. zadanie_stacjonarne_1`
- typ pliku siatki i jego nazwa
`mesh_type = "..."; // "j"-jk mesh, "p"-standard prismatic mesh format`
`mesh_file_in = "..."; // nazwa pliku dla swojej siatki typu A`
- dowolny sposób nadania warunku początkowego (jest bez znaczenia dla zadania stacjonarnego, więc można użyć zerowania pola temperatury - "z")
`field_file_in = "...";`
- nazwa pliku z warunkami brzegowymi (zwyczajowo `bc_heat.dat`)
`bc_file = "...";`
- wzorce nazw plików wyjściowych (można zostawić bez zmian)
`mesh_file_out = "mesh"; // mesh_dmp_filepattern`
`field_file_out = "field_heat"; // field_dmp_filepattern`
- parametr funkcji kary dla wymuszenia warunku brzegowego Dirichleta (zawsze bez zmian dla wszystkich zadań w ramach laboratoriów, metoda funkcji kary będzie wyjaśniona na wykładzie, wskazówki do jej użycia pojawią się jako wnioski z niniejszego laboratorium, p. 7)
`penalty = 1.0e7;`
- ustalenie zadawania danych materiałowych jako wartości umieszczonych poniżej w pliku **problem_heat.dat**, poprzez zadanie pustej nazwy pliku
`materials_file = "";`
- zadanie własnych parametrów materiałowych (każdy powinien ustalić własne wartości z następujących zakresów: współczynnik przewodnictwa cieplnego (`thermal_conductivity`) - 20-50, ciepło właściwe (`specific_heat`) - 600-700, gęstość (`density`) - 7000-8000
`thermal_conductivity = ; // double!`
`density = ; // double!`
`specific_heat = ; // double!`
- zadanie dowolnych wartości temperatury odniesienia i temperatury otoczenia (są bez znaczenia dla zadania z pojedynczym materiałem o stałych własnościach i brakiem warunku brzegowego III rodzaju (Robina) lub zadawaniem temperatury otoczenia dla każdego warunku Robina w pliku **bc_heat.dat**)
`reference_temperature = 300.0; // switched to -1 for constant material properties`
`ambient_temperature = 300.0; // possibly used for initial and boundary conditions`

- spośród pozostałych parametrów badanego liniowego i stacjonarnego zadania, należy zapewnić:
 - wybór bezpośredniego solwera układów równań liniowych
`linear_solver_type = 0; // int:`
 - wyłączenia automatycznej adaptacji w trakcie rozwiązania
`adapt_interval = 0;`
 - pozostałe nie dotyczą rozwiązywanego (liniowego i stacjonarnego) zadania i należy pozostawić je bez zmian
- 2 Zadanie 2 (obowiązkowe): Przygotowanie siatki obliczeniowej
Należy wykorzystać siatkę A przygotowaną w ramach laboratorium 2 – rysunek siatki z zaznaczonymi rodzajami warunku brzegowego proszę dołączyć do sprawozdania.
Dodatkowo należy ustawić:
- pojedynczą warstwę o małej grubości w celu dobrej wizualizacji zadania, traktowanego jako zadanie 2D (druga linia pliku ...jk, współrzędna z dolnego i górnego brzegu obszaru)
... **0.0.01** 1 ...
 - w sprawozdaniu należy umieścić kilka pierwszych linii pliku siatki
- 3 Zadanie 3 (obowiązkowe): konfiguracja warunków brzegowych
Należy zadać następujące warunki brzegowe w pliku np. bc_heat.dat:
- ściany górna i dolna (numery warunków w plikujk) – warunek symetrii, zapewniający poprawne modelowanie zadania 2D, można do tego użyć warunek zerowania strumienia ciepła
 - ściany oznaczone w temacie laboratorium 2 jako izolacja - zerowy strumień ciepła
 - ściany oznaczone jako grzanie/chodzenie
 - chłodzenie - warunek Dirichleta z temperaturą z zakresu: 250-290
 - grzanie - warunek Dirichleta z temperaturą z zakresu: 450-490
- 4 Zadanie 4 (obowiązkowe). Uruchomienie programu ModFEM
[wykonywane na serwerze]
- 4.1 Do wykonania zadania potrzebny jest program do symulacji zagadnienia rozchodzenia się ciepła utworzony w ramach lab 1:

```
MOD_FEM_heat_prism_std
```

- 4.2 Po uruchomieniu należy sprawdzić poprawność wczytania plików konfiguracyjnych – powyżej menu głównego pojawia się wydruk z dużą liczbą parametrów kontrolnych
- 4.2.1 W sprawozdaniu należy umieścić zrzuty ekranu z wartościami parametrów z punktu 1 (zadanie 1), ustalonych w pliku **problem_heat.dat**, z wydrukiem zadanych warunków brzegowych oraz z podsumowaniem wczytanych parametrów siatki.
[w wydruku interesujące parametry znajdują się w grupach:
- początek wydruku (nazwy katalogu roboczego, plików wejściowych, nazwa problemu)
 - grupa **CONTROL PARAMETERS** (razem z danymi materiałowymi)
 - grupa **BOUNDARY CONDITIONS**
 - grupa **MESH** (aż do wydruku menu opcji wyboru)
- 4.3 W menu głównym należy wybrać opcję rozwiązania pojedynczego zadania stacjonarnego 's'

- 4.4 Po rozwiązaniu zadania należy wygenerować pliki Paraview – opcja 'v' (wyjście z programu opcja 'q'). Po rozwiązaniu zadania powinny się pojawić pliki:

```
— heat_0000.pvd
— heat_000000.partmesh
— heat_000000.vtu
— heat_000000_BC.vtu
```

Numer 000000 potwierdza rozwiązanie zadania stacjonarnego.

5 Zadanie 5 (obowiązkowe): Praca z programem PARAVIEW.

- 5.1 Proszę wyświetlić rozwiązanie (pole temperatury) i wykonać zrzuty ekranu do umieszczenia w sprawozdaniu

- Najlepiej wyłączyć wyświetlanie groupID – można to zrobić od razu po wczytaniu pliku, przed naciśnięciem pierwszego Apply
- Można dobrać własną paletę kolorów

- 5.1.1 Ważne jest sprawdzenie poprawności uzyskanego pola temperatury:

- na brzegach z zadaniem warunkiem Dirichleta temperatura musi być identyczna z zadaną
- w obszarze pomiędzy brzegami z warunkiem Dirichleta (i także wzdłuż pozostałych brzegów obszaru 2D) temperatura powinna zmieniać się w sposób zbliżony do liniowego od temperatury chłodzenia do temperatury grzania

6 Zadanie 6 (4.0): Badanie wpływu warunków brzegowych Neumanna na postać rozwiązania

- 6.1 W rozwiązywanym zadaniu należy zmienić typ warunku brzegowego na brzegu grzania z warunku Dirichleta na warunek Neumanna ze strumieniem ciepła z zakresu: 1000-2000

- 6.2 Należy uzyskać pliki ...vtu dla zadanego przykładu i zapisać pod nazwą wskazującą na wartość warunku Neumanna

- 6.3 Następnie należy zmieniać kilka razy wartość strumienia ciepła na brzegu grzania (np. zakładając wartość z poprzedniego punktu jako **q1**, można przyjąć **2*q1**, **0**, **-q1**), każdorazowo uzyskując nowe plikivtu (dobrze każdorazowo zapisywać je pod nowymi nazwami)

- 6.4 Następnie należy zbadać wpływ zmiany warunku Neumanna na postać rozwiązania

- 6.4.1 Plikivtu uzyskane w p.6.2 i 6.3 zapisane pod nowymi nazwami można wczytać jednorazowo do ParaView

- 6.4.2 Dla wszystkich rozwiązań proszę uzyskać zrzut ekranu tak jak dla zadania w p. 5 (každorazowo należy zmienić skalę kolorów, tak żeby wartość minimalna i maksymalna za każdym razem miały ten sam kolor) – czy widać zmianę charakteru rozwiązania?

- 6.5 **Dla lepszego zwizualizowania różnicy rozwiązań, proszę uzyskać na jednym wykresie "plot-over-line" krzywe dla wszystkich rozważanych przypadków warunku Neumanna** (tylko temperatury, bez groupID) – należy dobrać tę samą linię dla wszystkich przypadków – biegnącą od granicy z warunkiem Dirichleta do granicy z warunkiem Neumanna

- 6.6 W sprawozdaniu proszę umieścić dyskusję i wnioski z uzyskanych wyników

7 Zadanie 7 (5.0): Badanie wpływu warunków brzegowych Robina (III rodzaju) na postać rozwiązania
 W rozwiązywanym zadaniu należy zmienić warunek grzania z warunku Neumanna na warunek Robina.

```
{
  bcnum: .... ;
  radconv:{T_out = ... ; alfa = 10.0; eps = 0.0;};
},
```

Należy zadać temperaturę zewnętrzną otoczenia τ_{out} jako wybraną przez siebie wartość z zakresu 350-390 i badać wpływ wartości współczynnika przekazywania ciepła α (*heat transfer coefficient*) na charakter i wartości rozwiązania. Wartości α powinny przyjmować wartości od początkowych małych np. w zakresie 10-20, do bardzo dużych np. w zakresie 10^6 - 20^6 (poprzez np. 100-200, itd. w sumie 4-5 wartości α , włącznie z dodatkową wartością $\alpha=0.0$ jako sprawdzeniem jaki warunek efektywnie uzyskuje się w tym przypadku)

7.1 Plikivtu uzyskane dla każdej wartości parametru α można zapisać pod nowymi nazwami i po rozwiązaniu zadania z nowymi danymi wczytywać pliki dla kolejnych zadań do ParaView

7.2 Dla każdego rozwiązania proszę uzyskać zrzut ekranu - czy widać zmianę charakteru rozwiązania dla różnych wartości α ?

7.3 **Dla lepszego zwizualizowania różnicy rozwiązań, proszę uzyskać na jednym wykresie "plot-over-line" krzywe dla zadań z różnymi wartościami parametru α** (tylko temperatury, bez groupID) - należy dobrać tę samą linię dla wszystkich przypadków - biegnącą od granicy z warunkiem Dirichleta do granicy z warunkiem Robina

7.4 Ostatecznym testem warunku brzegowego Robina jest porównanie rozwiązania uzyskanego z dużą wartością parametru α z rozwiązaniem uzyskanym przez zadanie (na tym samym brzegu co uprzednio warunek Robina) warunku Dirichleta z temperaturą τ_{out} . Czy istnieje widoczna różnica? Czy można wysnuć z tego wniosek o możliwym alternatywnym sposobie zadawania warunku Dirichleta?

7.5 W sprawozdaniu proszę umieścić dyskusję i wnioski z uzyskanych wyników

8 Podsumowanie realizacji zadań (poniższa tabelka ma znaleźć się w sprawozdaniu bezpośrednio po wnioskach, a przed załącznikami - numeracja punktów realizacji kolejnych kroków laboratorium i załączników ma odpowiadać numeracji poniższych zadań)

Zadanie (skrótowy opis)	OCENA własna w % (0-100)	OCENA prowadzącego w % (0-100)
Zad. 1 Przygotowanie pliku konfiguracyjnego problem_heat.dat		
Zad. 2 Przygotowanie pliku siatki obliczeniowej		
Zad. 3 Przygotowanie pliku warunków brzegowych		
Zad. 4 Przeprowadzenie symulacji		

Zad. 5 Wizualizacja wyników		
Zad. 6 Analiza wpływu warunku brzegowego Neumanna – z wizualizacją, wykresami, dyskusją i wnioskami		
Zad. 7 Analiza wpływu warunku brzegowego Robina – z wizualizacją, wykresami, dyskusją i wnioskami		
ŁĄCZNIE (700):		
OCENA KOŃCOWA:	----- -----	

Sprawozdanie powinno zawierać opis realizacji wszystkich zadań zawartych w temacie, wraz z omówieniem podstaw teoretycznych, odpowiedziami na pytania, wydrukami kodu i plików konfiguracyjnych oraz zamieszczonymi zrzutami ekranu. Opis realizacji każdego zadania może kończyć się wnioskami wynikającymi z przebiegu realizacji, całe sprawozdanie powinno kończyć się wnioskami dotyczącymi całości tematu.