## LAB 05

## 1 Wstęp

Celem ćwiczenia jest zbadanie możliwości przeprowadzania interpolacji przez funkcje z przestrzeni funkcji kawałkami wielomianowych, czyli typowych funkcji wykorzystywanych w dyskretyzacji MES. Dla uproszczenia zadanie podstawowe przeprowadzane jest dla funkcji kawałkami liniowych, które zmieniają się tylko wzdłuż osi *z*, natomiast na przekrojach równoległych do płaszczyzny *xy* pozostają stałe. Interpolowana funkcja jest funkcją wyłącznie zmiennej *z*.

## 2 **REALIZOWANE KROKI**.

- 2.1 Utworzenie katalogu roboczego *lab\_05* i skopiowanie do niego wymienionych poniżej plików sterujących wykonaniem wersji programu ModFEM
- 2.2 Plik *problem\_heat.dat* można pobrać ze strony przedmiotu (lab\_01)
- 2.3 Plik siatki powinien być plikiem .jk utworzonym dla wariantu B siatek w lab\_02. Należy zadać położenie dolnej warstwy z=0.0 i górnej warstwy z=1.0. Liczba warstw będzie parametrem zmienianym w trakcie laboratorium (można założyć początkowo 1 warstwę). Numery warunków brzegowych górnego i dolnego nie powinny pokrywać się z numerami warunków na ścianach bocznych. [ awaryjnie można wykorzystać plik .jk siatki dla wariantu A, także ustalając położenie górnej i dolnej powierzchni na 0.0 i 1.0 lub plik L shape 2D.jk ze strony przedmiotu ]
- 2.4 W pliku **bc\_heat.dat**, na brzegach obszaru należy zadać warunki brzegowe. Aktualna wersja kodu wyświetla zadane warunki brzegowe, co można wykorzystać do sprawdzenia poprawności ich zadania.

[ istotą laboratorium jest badanie interpolacji warunku początkowego - warunki brzegowe nie grają w tym żadnej roli, muszą jedynie być poprawne, tak żeby program wczytał je bez błędów - można w związku z tym użyć sprawdzonego pliku bc heat.dat z poprzedniego laboratorium ]

- 2.5 W podstawowym pliku sterującym **problem\_heat.dat** należy dokonać następujących ustawień:
  - 2.5.1 **name = "1D\_CONV\_DIFF\_Z";** nazwa problemu musi mieć postać, która uruchamia w kodzie podstawienie jako rozwiązania dokładnego funkcji:

$$u_{ex} = 1 - \frac{\exp(\frac{z}{k}) - 1}{\exp(\frac{1}{k}) - 1}$$
 , gdzie

 k - jest współczynnikiem zadanym w pliku jako
 thermal\_conductivity (parametry density i specific\_heat muszą mieć wartość 1.0, co zostanie wykorzystane przy rozwiązywaniu zadania na kolejnych zajęciach)

- 2.5.2 **mesh\_type = "j"; mesh\_file\_in = "....jk";** plikiem siatki ma być plik utworzony w p. 2.3.
- 2.5.3 field\_file\_in = "i"; wartości w węzłach mają zostać zainicjowane przez wywołanie odpowiednich funkcji w programie ModFEM ( dla nazwy problemu "1D\_CONV\_DIFF\_Z" jest wywoływana funkcja pdr\_exact\_sol zwracająca wartości rozwiązania dokładnego z p. 2.5.1)
- 2.5.4 materials\_file = ""; pozostawienie pustej nazwy pliku z danymi materiałowymi powoduje przyjęcie we wszystkich elementach danych materiałowych zawartych w pliku problem\_heat.dat (parametry thermal\_conductivity, density i specific\_heat) - poprawne zadanie wartości można sprawdzić: program wypisuje w momencie inicjowania struktur danych przyjęte wartości danych materiałowych
- 2.5.5 pozostałe parametry nie mają znaczenia dla ćwiczenia i można je pozostawić bez zmian
- 2.6 Zadanie polega na wczytaniu danych do programu, co spowoduje zainicjowanie wartości w węzłach danymi zwracanymi przez **pdr\_exact\_sol**, a więc odpowiadającymi funkcji:

$$u_{ex} = 1 - \frac{\exp(\frac{z}{k}) - 1}{\exp(\frac{1}{k}) - 1}$$

- 2.7 Inicjowanie przez nadawanie wartości w węzłach siatki MES jest **interpolacją** na zadanej siatce (ze względu na niezmienność funkcji ze względu na współrzędne *x* i *y*, interpolacja jest w praktyce interpolacją w jednym wymiarze wzdłuż osi *z*)
- 3 Zadanie 1: należy uruchomić kod z wartością współczynnika thermal\_conductivity z przedziału (0.1,0.2) i liczbą warstw siatki 100, a następnie zapisać plik do wizualizacji w ParaView (bez rozwiązywania zadania, opcja v zaraz po uruchomieniu kodu) i uzyskać wykres zadanego warunku początkowego jako funkcji z poprzez opcję 'Plot Over Line' (zadana linia ma być równoległa do osi z, być może trzeba eksperymentować z współrzędnymi x i y, tak żeby uzyskać poprawny wykres)
- 4 Zadanie 2: dla wybranych liczb warstw (np. 1,2,4,8) należy utworzyć wykres aktualnego rozwiązania (czyli warunku początkowego na siatce MES, uzyskanego przez interpolację) i porównać z wykresem funkcji dokładnej (interpolowanej). Do tworzenia wykresu wzdłuż osi z należy wykorzystać program gnuplot oraz możliwość drukowania profilu wykonania (czyli wartości rozwiązania w równo oddalonych punktach wzdłuż pewnego odcinka) w programie ModFEM.

 -> gnuplot najlepiej uruchamiać na maszynie lokalnej
 [ uwaga: gnuplot na maszynie lokalnej może pracować z terminalem w postaci okienka XWindows (gnuplot> set terminal x11); na serwerze wyświetlanie okienka XWindows może być niemożliwe, należy wtedy użyć innego typu terminala, (np. gnuplot> set terminal png) ]
 [ na zakończenie pracy z wykresem należy utworzyć jego obraz - można dokonać zrzutu ekranu, można także ustawić odpowiedni typ terminala - w temacie poniżej wykorzystywane są pliki PostScriptowe, można także tworzyć obrazki png lub inne ]

[ uwaga: na maszynie lokalnej nie wszędzie zainstalowana jest konwersja epstopdf ]

Generowanie profilu rozwiązania w programie ModFEM (opcja menu głównego): ' <b>r</b> ' – po wywołaniu wyświetlane są kolejne zapytania o dane wejściowe:					
Give solution component number (>=0): 1	Numer składowej rozwiązania, (problem skalarny -> wpisujemy 1)				
Give number of points (>0): 101	Liczba generowanych punktów, optymalna wartość dla wykresów: 101 (można eksperymentować z innymi wartościami)				
Give global coordinates of a point1 (x,y,z): 0 0 0	Punkt początku (tak jak w ' <b>Plot</b> <b>Over Line</b> ' w ParaView) należy dobrać do siatki. Podajemy trzy współrzędne oddzielone spacją.				
Give global coordinates of a point2 (x,y,z): 0 0 1	Punkt końcowy (tak jak w ' <b>Plot Over Line</b> ' w ParaView) należy dobrać do siatki. Podajemy trzy współrzędne oddzielone spacją.				
Po wykonaniu powyższych poleceń profil zostanie wyświetlony oraz zapisany w pliku " <b>heat_profile.dat</b> ". Uwaga: po każdym wygenerowaniu profilu należy zmienić nazwę pliku z wyeksportowanymi danymi, np. mv heat_profile.dat heat_profile_1.dat mv heat_profile.dat heat_profile_4.dat itd. w przeciwnym wypadku dane zostaną nadpisane.					

Wygenerowany plik najlepiej jest skopiować do lokalnego folderu, a następnie przetwarzać programem **gnuplot** wykorzystując dostarczone na stronie pliki sterujące: "**PROFILE.gp**" (lub **plotfile.dat** - różnią się tylko formatem). Przed uruchomieniem **gnuplota** należy dostosować wybrany plik sterujący do swojego przykładu (np. zmieniając opisy osi, krzywych na wykresie itp.). Najważniejszą zmianą jest zadanie wybranej przez siebie wartości parametru *k* we wzorze na rozwiązanie dokładne (wykropkowane miejsca we wzorze na funkcje interpolowaną).

	Rysowanie wykresów w 'gnuplot'							
Przykładowy plik z danymi " <b>heat profile.dat</b> ":								
#	Solution	compo	nent: 1	Ĺ				
#	Number of	f poin	ts: 101	L				
#	Point 1 c	coordi	nates:	0.500000,	0.500000,	0.000000		
#	Point 2 c	coordi	nates:	0.500000,	0.500000,	1.000000		
х	У	Z	sol0					

0.500000 0.500000 0.000000 1.000000 0.010000 0.994151 0.500000 0.500000 0.500000 0.500000 0.020000 0.988243 0.500000 0.500000 0.030000 0.982276 0.500000 0.500000 0.040000 0.976249 0.500000 0.500000 0.050000 0.970161 0.500000 0.500000 0.060000 0.964013 # dwie spacje oddzielają różne sekcje w pliku, które można użyć do różnych # krzywych na wykresie Uwagi: # - komentarz dane powinny być w kolumnach oddzielone znakami tabulacji Plik konfiguracyjny gnuplota "**PROFILE.gp**" (lub <u>plotfile.dat</u> - **oba pliki** dostepne na stronie przedmiotu, różnią się tylko formatem) #!/bin/gnuplot # Rysowanie wykresów z wynikami, skrypt do gnuplot #Nazwa wykresu, opis osi x i y # nazwe nalezy zamienic na swoje Imie i Nazwisko <mark>set title "Rozwiazanie dla punktow"</mark> set xlabel "Z" set ylabel "rozwiazanie" #Automatyczne skalowanie #set autoscale #Ustawienie (lub nie) skali logarytmicznej #set(unset) logscale y #set(unset) logscale x #Styl wykresu (domyślny) set style data linespoints #Rozmiar punktów set pointsize 1 # Zakresy danych (można modyfikować w poleceniu plot) #set xrange [1:9] #set yrange [0:0.9] #Podziałka na osiach - aby dobrze działała należy dopasować do zakresu danych set xtics 0.2 set ytics 0.1 #Mała podziałka na osiach set mxtics 10 set mytics 4 #Siatka - ustalenie wyglądu, elementów widocznych (linii odpowiadających znaczkom na osiach) #set grid mxtics mytics xtics ytics set grid xtics ytics #Położenie legendy set key bottom left

#Ładowanie danych i rysowanie wykresów # "heat profile.dat" - plik danych # using 2:4 - wykorzystane kolumny z pliku z danymi # title "tytul wykresu 1" - nazwa wykresu # with linespoints linetype pointsize - rysowane linie i punkty # , ∖ - kolejne wykresy nalerzy poprzedzić wpisem ", \' # Przykład: #plot "heat\_profile\_1.dat" using 3:4 title "tytul wykresu 1" with linespoints linetype 2 pointsize 1,  $\setminus$ "heat profile 2.dat" using 3:4 title "tytul wykresu 2" with linespoints # linetype 3 pointsize 1 # funkcja interpolowana – należy podstawić własna wartość k  $\#1.0-(\exp(x/k)-1.0)/(\exp(1.0/k)-1.0)$  title "funkcja interpolowana" with lines linetype 1 plot [x=0.0:1.1][0.0:1.1] "heat\_profile.dat" using 3:4 title "tytul wykresu 1" with linespoints linetype 2 pointsize 1,  $\$ 1.0-(exp(x/...)-1.0)/(exp(1.0/...)-1.0) title "funkcja interpolowana" with lines linetype 1 # Ponowne rysowanie wykresu w oknie (gnuplot -p <-- pozwala na zachowanie okna)</p> #replot # Zapisanie wyniku do pliku EPS set terminal postscript eps size 8.0,6.0 enhanced color font 'Helvetica,24' linewidth 1 # Nazwa pliku wynikowego set output "rozwiazanie.eps" # Zapisz wynik w podanym pliku replot Uruchamianie programu z zadanym plikiem konfiguracyjnym: gnuplot -p PROFILE.gp -p – zachowuje okno z wykresem Otrzymany plik można zamienić na format PDF poleceniem: epstopdf rozwiazanie.eps

W sprawozdaniu można umieścić zrzuty ekranu z obrazkiem z gnuplota

- 5 Zadanie 3: proszę wielokrotnie uruchomić kod z liczbą warstw równą 1,2,4,8,16,32,64,128 itd. (co najmniej 8 wartości) i uzyskać obliczenie błędu zastosowanej interpolacji. Błąd aktualnego rozwiązania (w tym przypadku warunku początkowego) jest obliczany przez kod ModFEM poprzez wybranie opcji 'e'. Na ekranie pojawia się wydruk wartości normy L2 i półnormy H1 błędu, czyli różnicy między aktualnym rozwiązaniem, a rozwiązaniem dokładnym (dotyczy to tylko problemów, dla których rozwiązanie dokładne zostało wpisane do kodu, czyli np. używanego w tym laboratorium problemu 1D\_CONV\_DIFF\_Z).
  - 5.1 Uzyskane dane należy ręcznie zapisać do pliku, na podstawie którego zostaną stworzone wykresy zbieżności funkcji interpolującej do funkcji interpolowanej, czyli wykresy zależności norm błędu interpolacji od parametru interpolacji h (w naszym przypadku parametrem h jest grubość pojedynczej warstwy elementów w siatce).

- 5.2 Na osi poziomej powinna znaleźć się grubość warstw (malejąca grubość oznacza rosnącą liczbę punktów interpolacji), a na osi pionowej wartość błędu. Należy użyć na obu osiach skali logarytmicznej i umieścić na wykresie dwie krzywe jedną dla normy L2 i drugą dla półnormy H1 błędu.
  - 5.2.1 Do stworzenia wykresu można użyć programu **gnuplot**. W pliku z danymi poszczególne wyniki powinny być umieszczone w kolumnach oddzielonych znakiem tabulacji. Opisy powinny być poprzedzone znakiem "#" oznaczającym komentarz w plikach z danymi do programu **gnuplot**. Format pliku:

# liczba warstw	grubość warstwy	wartość normy L2	wartość półnormy H1
NR_LAYER	h	L2	H1

gdzie NR\_LAYER i h to wartości zadane w pliku ...jk, a L2 i H1 to wartości uzyskane przez ModFEM (zgodnie z tematem zadania co najmniej 8 linijek dla ośmiu przypadków liczby warstw)
5.2.2 Wykresy można stworzyć także w dowolnym arkuszu kalkulacyjnym, formatując według wskazówek podanych dla gnuplota.

6 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 (skrócony opis)	OCENA własna studenta w % (0-100)	OCENA prowadzącego w % (0-100)
Zad. 1A: przygotowanie programu ModFEM		
Zad. 1B – uruchomienie programu ModFEM, wygenerowanie odpowiednich plików oraz wizualizacja wyników wraz z wykresami profilu		
Zad. 2A – przygotowanie odpowiednich plików z profilami rozwiązania		
Zad. 2B – narysowanie wykresu w gnuplot (co najmniej cztery krzywe na jednym rysunku: oś x – współrzędna z / oś y – wartość rozwiązania )		
Zad. 3A – utworzenie plików z wartościami błędów (L2, H1) dla warstw		
Zad. 3B – utworzenie wykresu zbieżności (dwie krzywe na jednym rysunku: oś x – liczba warstw / oś y – wartość normy / skala podwójnie logarytmiczna)		
ŁĄCZNIE (600):		
OCENA KOŃCOWA:		

Sprawozdanie powinno zawierać krótki opis zmian dokonanych w programie "ModFEM", plikach problemowych oraz utworzone wykresy / wizualizacje w programach ParaView i Gnuplot. Dla zadań z Gnuplot powinny powstać dwa obrazki, na których zostaną zamieszone odpowiednie wykresy. Wykresy powinny być opisane (tytuł / osie / legenda) wraz z odpowiednim podsumowaniem co przedstawiają - na podstawie wykładów (np. definicje normy L2 i półnormy H1).

- 7 Pomocne strony internetowe:
  - GNUPLOT [<u>http://www.gnuplotting.org/</u>] strona zawiera bardzo obszerny opis tworzenie wykresów z wykorzystaniem tego programu z dużą bazą przykładów.
  - PARAVIEW [<u>https://www.paraview.org/</u>] strona główna programu Paraview.
  - Kurs PARAVIEW [ <u>https://www.paraview.org/Wiki/The\_ParaView\_Tutorial</u>] kurs / tutorial - wprowadzenie do Paraview.