

Metody i Narzędzia Programowe w Akustyce część I – MES

Ireneusz Czajka

2018

Spis treści

| | |
|-------------------------|---|
| 1. Wstęp | 1 |
| 2. Zagadnienie | 1 |
| 3. Zadania | 2 |
| 4. Model | 3 |
| 4.1. Generowanie siatki | 3 |
| 4.2. Definicja problemu | 4 |
| Literatura | 6 |

1. Wstęp

Celem niniejszego ćwiczenia jest przedstawienie jednej z metod parametryzacji modelu geometrycznego służącego do generowania siatki na potrzeby metody elementów skończonych.

Całość ćwiczenia stanowi wstęp do rozwiązania zadania optymalizacji obiektów akustycznych.

Przy pewnych założeniach wiele obiektów akustycznych można opisywać analitycznie. Najczęściej przyjmowanymi założeniami są sztywne ściany, czy niewielkie poziomy ciśnienia akustycznego lub brak nieliniowości opisywanym w układzie.

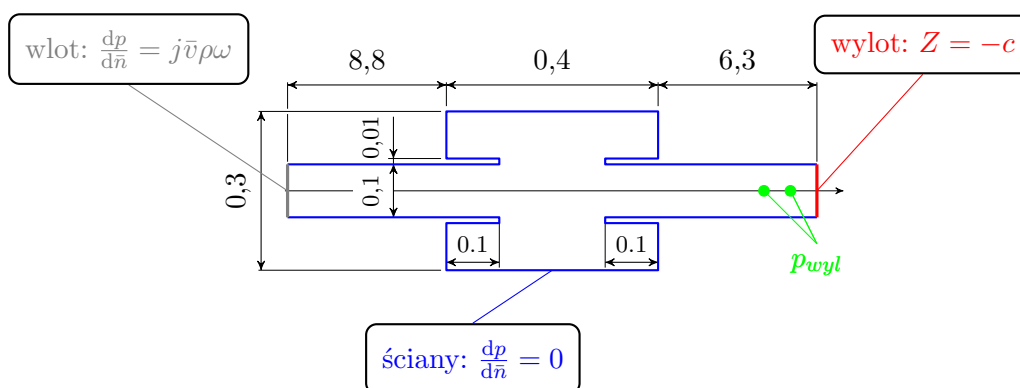
Przy budowie bardziej złożonego modelu często zachodzi konieczność sięgnięcia do metod numerycznych. Pojawia się wtedy problem związany z tym, że rozwiązania numeryczne mają charakter dyskretny. To znaczy, rozwiązanie dotyczy tylko jednego zestawu parametrów. Nie można na tej podstawie wnioskować o zalecanych kierunkach zmian konstrukcji w celu uzyskania korzystniejszych właściwości obiektu.

Aby można było przeprowadzić poszukiwanie takiej postaci badanego obiektu, która będzie spełniać swą funkcję, konieczne jest wyrażenie jego wymiarów konstrukcyjnych przez zmienne parametry.

2. Zagadnienie

Opracować program, który umożliwi automatyzację czynności wykonywanych przy analizie rozkładu pola akustycznego w tłumiku refleksyjnym przedstawionym na rysunku 1. Program automatyzuje następujące etapy:

- ★ generowanie pliku do budowy siatki;
- ★ generowanie siatki poprzez wywołanie zewnętrznego programu;
- ★ przygotowanie katalogu do przeprowadzenia analizy;
- ★ przygotowanie pliku `sif` do analizy, czyli
 - wybranie częstotliwości,
 - nałożenie warunków brzegowych na poszczególne brzegi;
- ★ przeprowadzenie analizy za pomocą zewnętrznego programu `ElmerSolver`
- ★ obrobienie wyników.

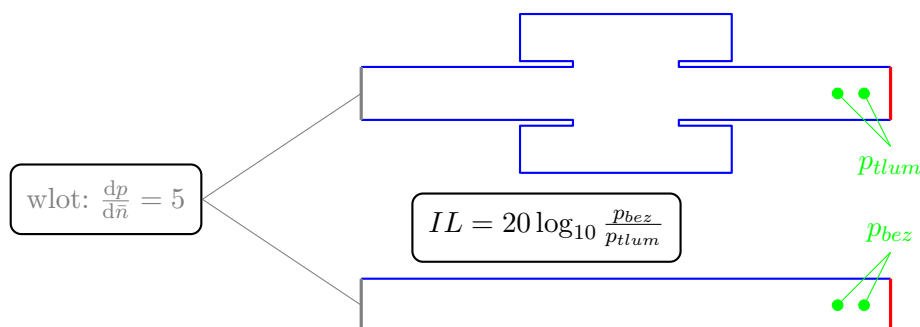


Rysunek 1. Schemat analizowanego tłumika refleksyjnego z zaznaczonymi warunkami brzegowymi

Tłumiki można charakteryzować przez parametry zwane po angielsku Transmission Loss, Insertion Loss czy Noise Reduction. Jako miarę jakości tłumienia przyjęto stratę wtrącenia (ang. *Insertion Loss*) mierzoną zgodnie z zależnością (1)

$$IL = L_{p_{bez}} - L_{p_{tlum}} = 10 \log_{10} \frac{p_{bez}^2}{p_{tlum}^2} = 20 \log_{10} \frac{p_{bez}}{p_{tlum}} \quad (1)$$

gdzie p_{bez} jest ciśnieniem akustycznym występującym w kanale bez tłumika, zaś p_{tlum} jest ciśnieniem akustycznym występującym w kanale w obecności tłumika. Mierzone wartości p_{tlum} oraz p_{bez} powinny być wartościami skutecznymi. Przy założeniu harmonicznego w czasie rozwiązania równania Helmholtza można we wzorze (1) można używać amplitud.


 Rysunek 2. Wyznaczanie skuteczności tłumika refleksyjnego mierzonej jako IL

Wartość p_{bez} można wyznaczyć przeprowadzając analizę układu składającego się z prostoliniowego przewodu o średnicy identycznej ze średnicą wlotu do tłumika oraz identycznymi warunkami brzegowymi.

3. Zadania

Aby zbudować program do automatycznego wyznaczania wielkości straty wtrącenia, należy wykonać następujące kroki

- ★ ręcznie utworzyć plik `grd`;
- ★ ręcznie wygenerować siatkę wywołując program `ElmerGrid` z odpowiednimi parametrami;
- ★ w programie `ElmerGUI` stworzyć nowy projekt z odpowiednimi warunkami brzegowymi;
- ★ w innym katalogu zapisać m-plik generujący plik `grd` i uruchamiający program `ElmerGrid` i upewnić się, że siatka jest generowana poprawnie;
- ★ sprawdzić, czy działają obliczenia z wcześniej opracowanym plikiem `sif`;
- ★ generować plik `sif` do obliczeń i uruchamiać `ElmerSolver` z poziomu `Matlaba`;

★ wczytywać odpowiednie pliki do Matlab'a i wykonywać niezbędne obliczenia.

Siatkę wygenerować za pomocą programu `ElmerGrid`. Plik `grd` generować za pomocą Matlab'a. Przed automatyzacją upewnić się, że wszystkie kroki są wykonywane poprawnie (może być konieczne skopiowanie plików siatki z podkatalogu tworzonego przez `ElmerGrid`).

W pliku `sif` można dodać solver `SaveScalars` do zapisu do zewnętrznego pliku wartości z określonych współrzędnych. Można też odczytywać cały plik `ep` z wynikami i w Matlabie wybierać odpowiednie wartości.

Proszę pamiętać, że do wyznaczenia straty wtrącenia konieczne jest zrobienie dwóch modeli

To nie jest tutorial krok po kroku, trzeba uważać i wykorzystać wiedzę z poprzednich zajęć

4. Model

4.1. Generowanie siatki

Siatka zostanie wygenerowana za pomocą narzędzia `ElmerGrid`, które pozwala na generowanie siatek wysokiej jakości na podstawie plików `*.grd`. Pliki wsadowe dla `ElmerGrid` mają strukturę jak na poniższym wydruku. Większość poleceń powinna być oczywista. Wyjaśnienia wymaga sekcja zatytułowana `Material Structure in 2D`. Jest to swego rodzaju mapa materiałów przypisanych kolejnym prostokątnym blokom. Poniżej za pomocą kolorów zostały uwypuklone informacje zawarte w tej sekcji pliku `*.grd`.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Sekcje `Subcell Limits` odnoszą się do współrzędnych granic bloków z powyższego rysunku, dla współrzędnej poziomej i pionowej. Polecenie `Materials Interval` wskazuje, które materiały będą domeną obliczeniową i wymagają utworzenia siatki. Pozostałe materiały są sztuczne i służą do identyfikacji brzegów dla których będą zdefiniowane warunki brzegowe. Sekcja `Boundary Definitions` podaje warunki brzegowe między poszczególnymi materiałami definiując je za pomocą numeru materiału wewnętrznego i zewnętrznego. Kompletny plik `tlumik.grd` został przedstawiony poniżej.

```

1 Version = 210903
2 Coordinate System = Cartesian 2D
3 Subcell Divisions in 2D = 6 7
4 Subcell Limits 1 = -8.5 0.3 0.4 0.6 0.7 7.0 7.1
5 Subcell Limits 2 = -0.16 -0.15 -0.051 -0.05 0.05 0.051 0.15 0.16
6 Material Structure in 2D
7 2 2 2 2 2 2
8 2 1 1 1 2 3
9 2 2 1 2 2 3
10 1 1 1 1 1 3
11 2 2 1 2 2 3
12 2 1 1 1 2 3
13 2 2 2 2 2 2
14 End
15 Materials Interval = 1 1
    
```

```
16 Boundary Definitions
17 ! type      out      int      double    of the boundaries
18   1         2         1         1
19   2         0         1         1
20   3         3         1         1
21 End
22 Numbering = Horizontal
23 Element Degree = 1
24 Element Innernodes = False
25 Triangles = False
26 Plane Elements = 51000
```

4.2. Definicja problemu

Opis problemu jest realizowany za pomocą pliku `case.sif`. Dla wygody najistotniejsze fragmenty tego pliku zostały zamieszczone poniżej.

```
1 $ f = 100.0
2 $ function nazwavtk(cz){_nazwavtk = sprintf("wyn_%f.", cz)}
3
4 Header
5   CHECK KEYWORDS Warn
6   Mesh DB "." "."
7   Include Path ""
8   Results Directory ""
9 End
10
11 Simulation
12   Max Output Level = 4
13   Coordinate System = Cartesian
14   Coordinate Mapping(3) = 1 2 3
15   Simulation Type = Steady state
16   Steady State Max Iterations = 1
17   Output Intervals = 1
18   Timestepping Method = BDF
19   BDF Order = 1
20   Solver Input File = case.sif
21   Post File = case.ep
22 End
23
24 Constants
25   Gravity(4) = 0 -1 0 9.82
26   Stefan Boltzmann = 5.67e-08
27   Permittivity of Vacuum = 8.8542e-12
28   Boltzmann Constant = 1.3807e-23
29   Unit Charge = 1.602e-19
30 End
31
32 Body 1
33   Target Bodies(1) = 1
34   Name = "Body Property 1"
35   Equation = 1
36   Material = 1
```

```
37 End
38
39 Solver 1
40   Equation = Helmholtz Equation
41   Variable = -dofs 2 Pressure Wave
42   Procedure = "HelmholtzSolve" "HelmholtzSolver"
43   Exec Solver = Always
44   Stabilize = True
45   Bubbles = False
46   Lumped Mass Matrix = False
47   Optimize Bandwidth = True
48   Steady State Convergence Tolerance = 1.0e-5
49   Nonlinear System Convergence Tolerance = 1.0e-8
50   Nonlinear System Max Iterations = 20
51   Nonlinear System Newton After Iterations = 3
52   Nonlinear System Newton After Tolerance = 1.0e-3
53   Nonlinear System Relaxation Factor = 1
54   Linear System Solver = Direct
55   Linear System Direct Method = Umfpack
56   Linear System Max Iterations = 500
57   Linear System Convergence Tolerance = 1.0e-8
58   Linear System Preconditioning = ILU0
59   Linear System ILUT Tolerance = 1.0e-3
60   Linear System Abort Not Converged = False
61   Linear System Residual Output = 1
62   Linear System Precondition Recompute = 1
63 End
64
65 Solver 2
66   Exec Solver = after all
67   Equation = String SaveScalars
68   Procedure = File "SaveData" "SaveScalars"
69   Filename = File "WyjscieTlumik.dat"
70   Variable 1 = Pressure Wave
71   Save Coordinates(4,3) = Real   6.9 0  0\
72                                   6.93 0  0\
73                                   6.96 0  0\
74                                   6.99 0  0
75   File Append = Logical True
76 End
77
78 Equation 1
79   Name = "helm"
80   Frequency = $ f
81   Active Solvers(1) = 1
82 End
83
84 Material 1
85   Name = "Air (room temperature)"
86   Heat Conductivity = 0.0257
87   Heat Capacity = 1005.0
88   Density = 1.205
89   Viscosity = 1.983e-5
```

```

90   Sound speed = 343.0
91   Heat expansion Coefficient = 3.43e-3
92 End
93
94 Boundary Condition 1
95   Target Boundaries(1) = 2
96   Name = "wymuszenie"
97   Wave flux 1 = 5
98 End
99
100 Boundary Condition 2
101   Target Boundaries(1) = 1
102   Name = "odbicie"
103   Wave flux 1 = 0
104   Wave flux 2 = 0
105 End
106
107 Boundary Condition 3
108   Target Boundaries(1) = 3
109   Name = "Sommerfeld"
110 ! Wave impedance 1 = -343.0 inaczej !!!
111 End

```

W pliku `case.sif` warto zwrócić uwagę na sposób definiowania częstotliwości oraz na dodatkową sekcję `Solver 2`.

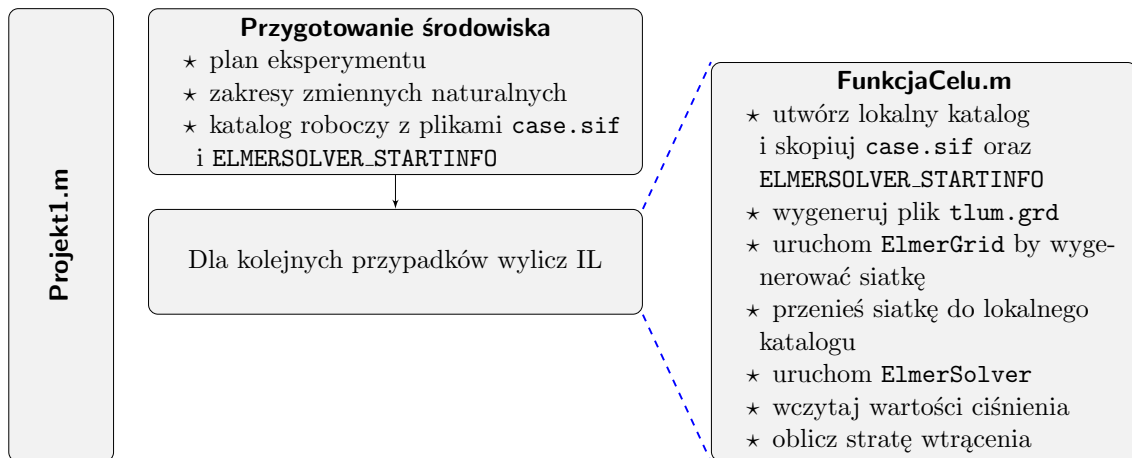
Należy przeprowadzić kilka modyfikacji. Między innymi warunek brzegowy numer 3 należy zmodyfikować tak, by podawać warunek `Plane Wave outlet condition` oraz współrzędne punktów do zapisu wyników w sekcji `Solver 2`.

Aby wyznaczyć rozkład ciśnienia akustycznego we wnętrzu analizowanego obiektu należy wykonać następujące kroki

- * wygenerować siatkę poleceniem `ElmerGrid 1 2 tlumik.grd`, co spowoduje utworzenie nowego katalogu o nazwie `tlumik` zawierającego pliki `mesh.*` w których znajduje się opis siatki obliczeniowej
- * do katalogu `tlumik` należy skopiować pliki `ELMERSOLVER_STARTINFO` oraz plik `case.sif`. Plik `ELMERSOLVER_STARTINFO` zawiera nazwę pliku `*.sif` definiującego parametry symulacji
- * uruchomić `ElmerSolver` by zrealizować obliczenia
- * wyniki będą zamieszczone w pliku `case.ep` oraz pliku z rozszerzeniem `*.vtk` wizualizację można zrealizować za pomocą programu `ElmerPost` lub `paraView`
- * poza tymi plikami powstanie jeszcze plik `WyjscieTlumik.dat` oraz `WyjscieTlumik.dat.names` pierwszy z nich zawiera wartości ciśnień akustycznych w węzłach najbliższych punktom zdefiniowanym w sekcji `Solver 3`, zaś drugi zawiera informacje na temat tego jakie informacje znajdują się w której kolumnie.

Literatura

- [1] Czajka I., Gołaś A.: *Inżynierskie metody analizy numerycznej i planowanie eksperymentu*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2017
- [2] Gołaś A.: *Metody komputerowe w akustyce wnętrz i środowiska*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1995
- [3] Mańczak K.: *Technika Planowania Eksperymentu*, Wyd. WNT, Warszawa 1976.
- [4] Montgomery D. C.: *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley & Sons, 2006, ISBN 0470088109
- [5] Zieliński Ryszard: *Wybrane zagadnienia optymalizacji statystycznej*, PWN, Warszawa 1982
- [6] ElmerGrid Manual



Rysunek 3. Algorytm postępowania