

# Elmer - Liniowe równanie sprężystości

Emil Śmiech, Amelia Królczyk

Styczeń 2021

# Wstęp

Elmer to oprogramowanie do rozwiązywania problemów angażujących wiele powiązanych zjawisk fizycznych w skomplikowanych układach fizycznych.

Elmer wspomaga proces projektowy, oraz badania naukowe w następujących dziedzinach:

- \* modelowanie dynamiki płynów,
- \* obliczenia elektromagnetyczne,
- \* wymiana ciepła,
- \* akustyka,
- \* modelowanie odkształceń.

Oprogramowanie działa na systemach z rodziny Windows i Unix(Linux), dostępne jest na licencji GNU General Public License (GPL).

## Działanie

Elmer jest narzędziem do rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych metodą elementów skończonych(FEM = Finite Element Method).

Działanie programu opisują poniższe kroki:

- \* Zadanie domeny w postaci pliku CAD,
- \* Ustalenie równania/równań/zjawisk fizycznych występujących w problemie,
- \* Nałożenie warunków początkowych i brzegowych,
- \* Rozwiązanie przy pomocy „solverów”,
- \* Postprocessing – wizualizacja.

## Programy składowe

1. ElmerSolver - program rozwiązujący zagadnienie, zapisujący wyniki do pliku .ep (elmerpost)
2. ElmerGrid - program do tworzenia siatki geometrii układu,
3. ElmerMesh2D - program do tworzenia siatki geometrii układu
4. ElmerPost - program prezentujący wyniki obliczeń
5. ElmerFront - graficzny interfejs programu
6. ElmerGui - najnowsza wersja graficznego interfejsu użytkownika systemu Elmer,znacznie rozwinięta w stosunku do poprzednika
7. matc - program matematyczny używany w systemie Elmer
8. viewfactors - program obliczający współczynniki konfiguracji układu geometrycznego

# Opis przykładu

## Treść zadania

Załóżmy, że jednorodna, elastyczna belka jest sztywno podparta na jednym końcu. Z drugiej strony poddawana jest obciążeniu 2000 N wynikającemu z przyczepionego obiektu. Grawitacja wpływa również na samą belkę. Jej długość wynosi 1 m, grubość 0,05 m, a szerokość 0,1 m. Właściwości materiałowe belki to suche drewno sosnowe: współczynnik Poissona 0,37, moduł Younga  $10 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2}$  i gęstość  $550 \frac{kg}{m^3}$ . Problem polega na rozwiązaniu pola przemieszczenia i naprężeń belki. Tutaj stosowana jest procedura StressSolve oparta na liniowej teorii sprężystości.

## Sposób wykonania

Siatka składa się z 6073 węzłów i 1200 kwadratowych elementów sześciociennych. Symulacja jest prowadzona w stanie ustalonym w trójwymiarowych współrzędnych kartezjańskich.

W sekcji „Equation” wybieramy odpowiednie równania, które w tym przypadku zawierają tylko równanie liniowej sprężystości. Rozwiązuje ono problem zgodnie z liniową teorią sprężystości. Chcemy również obliczyć naprężenia jako etap przetwarzania końcowego. W przypadku solverów systemów liniowych zmieniamy ustawienia domyślne, aby uzyskać lepszą zbieżność w tym przypadku. Ponieważ równanie jest w pełni liniowe, eliminujemy również nieliniową pętlę iteracji.

```
Model
Equation
  Name = Elasticity
  Apply to Bodies = Body 1
  Linear elasticity
    Active = on
    Calculate Stresses = on
  Edit Solver Setting
    Linear System
      Method = Iterative / GCR
      Preconditioning = ILU1
    Nonlinear system
      Max. iterations = 1
  Apply
Add
OK
```

Sekcja „Material” zawiera wszystkie parametry materiału. Są one podzielone na parametry ogólne, które są bezpośrednimi właściwościami materiału - bez dokonywania jakichkolwiek założeń dotyczących modelu fizycznego, np. masy.

Inne właściwości przyjmują wielkości fizyczne, takie jak moduł Younga i stałą Poissona.

```
Model
Material
  Name = Pine
  General
    Density = 550
  Linear Elasticity
    Youngs Modulus = 10.0e9
    Poisson ratio = 0.37
  Apply to Bodies = Body 1
Add
OK
```

W tym przypadku na belkę działa grawitacja. Zakładamy, że grawitacja wskazuje na ujemny kierunek y.

```
Model
BodyForce
  Name = Gravity
  Linear Elasticity
    Force 2 = $ -9.81 * 550
  Apply to Bodies = Body 1
Add
OK
```

Tutaj używamy wyrażenia MATC do obliczenia siły objętościowej. To wyrażenie jest stałe i jest obliczane podczas interpretacji pliku poleceń.

Zbieżność należy uzyskać przy domyślnym warunku początkowym, tj. Zerowym dla wszystkich pól, stąd warunek początkowy nie jest stosowany.

Pierwszy warunek brzegowy powoduje sztywne zamocowanie belki do ściany. Drugi warunek brzegowy rozkłada równomiernie obciążenie 2000 N na powierzchnię  $5,0e-3$  m<sup>2</sup>.

```
Model
BoundaryCondition
  Name = Wall
  Linear elasticity
    Displacement 1 = 0.0
    Displacement 2 = 0.0
    Displacement 3 = 0.0
Add
New

  Name = Mass
  Linear elasticity
    Force 2 = -4.0e5
Add
```

Warunki można także przypisać do granic w menu „Warunek graniczny”. Tutaj stosujemy to drugie podejście, ponieważ oszczędza nam to potrzeby znajomości indeksów każdej granicy.

```

Model
  Set boundary properties
    Choose the wall end of the beam -> set boundary condition Wall
    Choose the other end of the beam -> set boundary condition Mass

```

ElmerSolver potrzebuje do wykonania plików siatki i pliku poleceń. Znamy w zasadzie zdefiniowane wszystkie informacje potrzebne dla ElmerGUI do zapisu pliku poleceń. Po jego napisaniu możemy również wizualnie obejrzeć plik poleceń.

Zanim będziemy mogli uruchomić solver, powinniśmy zapisać pliki w katalogu. Projekt zawiera wszystkie pliki potrzebne do ponownego uruchomienia.

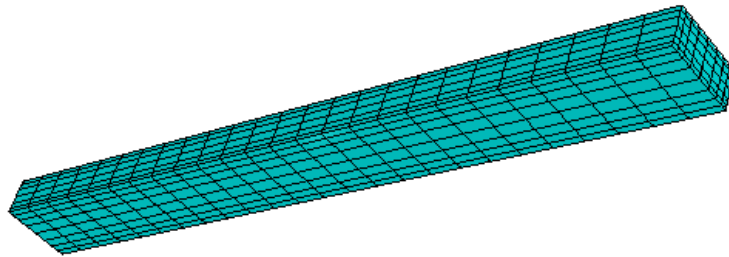
Po pomyślnym zapisaniu plików możemy uruchomić solver. Symulacja trwa około minuty. Program monitorujący konwergencję nie ma pełnego wyniku, ponieważ z różnych kroków tylko jeden jest związany z rzeczywistym rozwiązaniem. Szesć pozostałych jest powiązanych z obliczaniem naprężeń metodą Galerkina.

## Wyniki

Rysunek 1: Zmiany wprowadzone zgodnie z instrukcją ćwiczenia

Object	Value
Geometry	
Input file	beam3d.grd
Body	
Body Property 1	Body 1 in sif
Equation	Elasticity
Material	Pine
Body force	Gravity
Boundary	
Boundary 1	Mass
Boundary 2	Wall
Boundary 3	Mass
Boundary 4	Wall
Boundary 5	Mass
Boundary 6	Wall
Model	
Equation	[Add...]
Elasticity	[Add...]
Material	[Add...]
Pine	[Add...]
Body force	[Add...]
Gravity	[Add...]
Initial condition	[Add...]
Boundary condition	[Add...]
Wall	[Add...]
Mass	[Add...]

Rysunek 2: Siatka użyta w obliczeniach



Gdy wyniki są już widoczne, możemy uruchomić postprocesor, tym razem używamy ElmerPost.

W rezultacie wyświetlana jest bezwzględna wartość maksymalnego przemieszczenia. Maksymalne przemieszczenie wynosi 6,36 cm.

Wizualizację przemieszczenia w geometrii można wykonać za pomocą polecenia Elmer-Post w wierszu poleceń.

Rysunek 3: Przesunięty kształt belki sprężystej zabarwiony naprężeniami von Mises

