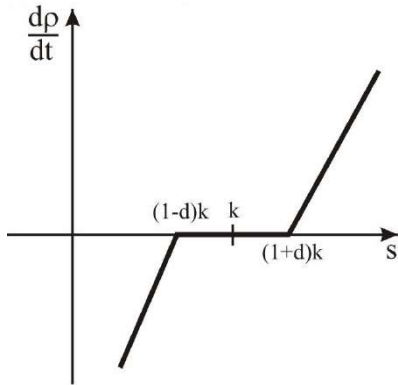


METODY OBLICZENIOWE W BIOMECHANICE

Laboratorium: remodelling

1. WPROWADZENIE

W wyniku działających obciążeń zmianie ulega gęstość pozorną kości ρ . Zmiany te zachodzą pod wpływem stymulatora s , którym jest energia właściwa odkształcenia. Szybkość zmiany gęstości jest opisana zależnością (1).



$$\frac{d\rho}{dt} = \begin{cases} B \cdot [s - (1+d) \cdot k] & \text{dla } s > (1+d)k \\ 0 & \text{dla } (1-d)k \leq s \leq (1+d)k \\ B \cdot [s - (1-d) \cdot k] & \text{dla } s < (1-d)k \end{cases} \quad (1)$$

Współczynniki d i k określają rozmiar i położenie strefy martwej (wartości stymulatora, dla którego nie zachodzą zmiany w tkankach).

Energia właściwa odkształcenia jest zdefiniowana jako:

$$s = \frac{SED}{\rho} \quad (2)$$

gdzie SED to gęstość energii odkształcenia obliczana jako iloraz energii odkształcenia (SE) i objętości (V):

$$SED = \frac{SE}{V} \quad (3)$$

Obliczenia prowadzone są w sposób iteracyjny, a gęstość zmienia się wg wzoru:

gdzie ρ_{i+1} to nowa wartość gęstości, ρ_i to gęstość z poprzedniego kroku obliczeń, a Δt to rozmiar kroku czasowego.

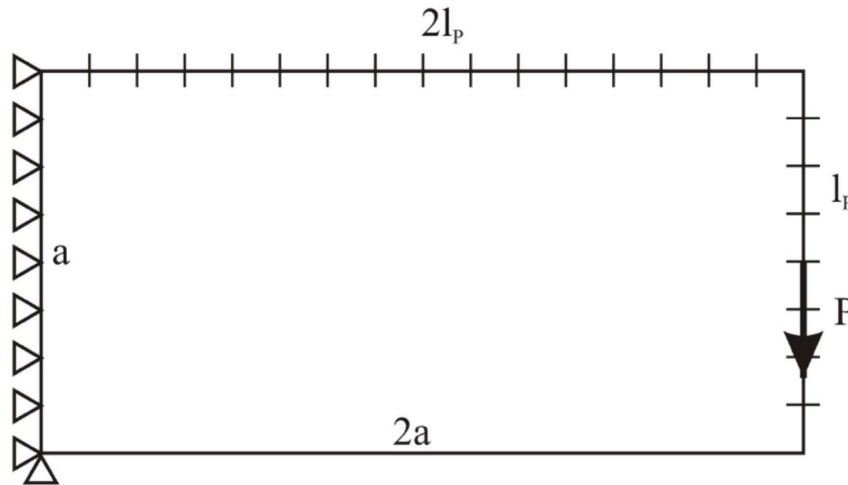
$$\rho_{i+1} = \rho_i + \frac{d\rho}{dt} \cdot \Delta t \quad (4)$$

Z gęstością pozorną kości związana jest bezpośrednio sztywność kości opisana przez moduł Younga:

$$E = \alpha \cdot \rho^\beta \quad (5)$$

2. ROZWIĄZYWANE ZAGADNIENIE

Prześledzić zmiany zachodzące w prostokątnym obszarze o rozmiarach $a \times 2a$ ($a=100$) podpartym na jednej z krawędzi i obciążonym siłą skupioną $P=100$ na środku przeciwległej ścianki (rys. 2).



Rys. 2

Pierwotna gęstość obszaru $\rho_0=0,8$. Parametry sterujące procesem przebudowy są następujące: $B=1$, $k=0,25$, $d=0$ (strefa martwa zredukowana do punktu), $\Delta t=1$.

Ze względów fizjologicznych (i numerycznych) graniczne dopuszczalne wartości gęstości wynoszą $\rho_{\min}=0,05$ i $\rho_{\max}=2$.

Współczynniki wiążące gęstość i moduł Younga to $\alpha=400$ i $\beta=2$. Współczynnik Poissona nie ulega zmianom jest równy $\nu=0,3$.

3. PRZEBIEG ANALIZY NUMERYCZNEJ

A. Wprowadzenie parametrów geometrycznych – wszystkie wielkości wykorzystywane w analizie (podane w pktcie 2. plus dodatkowo liczba iteracji remodellingu i_r i liczba podziałów na krótszej krawędzi l_p) wpisujemy w pole komend i zatwierdzamy enterem.

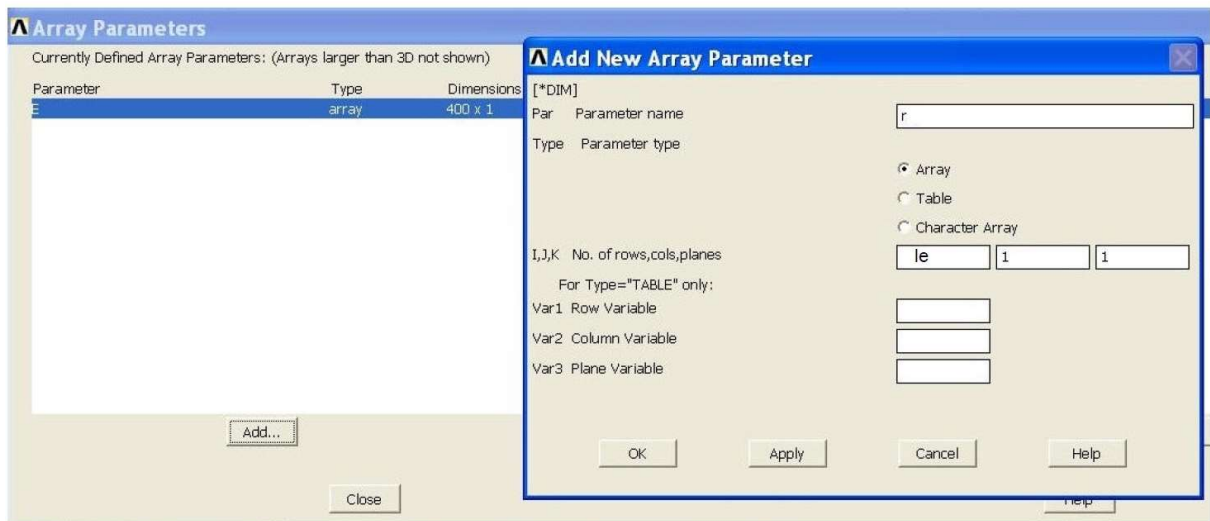


B. Wprowadzenie pierwotnych właściwości materiałowych. Obliczenie pierwotnego modułu Younga. Jeśli pierwotnej gęstości odpowiada parametr r_0 , to wpisujemy w linię komend:

$$E0=alfa*r0**beta$$

C. Stworzenie tablic gęstości, modułów Younga, gęstości energii odkształcenia i stymulatora dla elementów skończonych:

Górne menu \rightarrow Parameters \rightarrow Array parameters \rightarrow Define/Edit



Rozmiary tablic odpowiadają liczbie elementów, czyli $le = lp * lp * 2$

Wypełnienie tablic gęstości i sprężystości pierwotnymi wartościami (w pętli po wszystkich elementach):

```
*do,i,1,le,1
  E(i)=E0
  r(i)=r0
*enddo
```

D. Stworzenie oddzielnych materiałów dla każdego elementu skończonego i odpowiednie ich przyporządkowanie:

```
*do,i,1,le,1
  !stworzenie materiału
  MP,EX,i,E(i)
  MP,PRXY,i,0.3
*enddo
```

E. Budowa modelu geometrycznego i podział na elementy skończone (element PLANE182, siatka regularna kwadratowa, liczba podziałów na krótszych krawędziach lp, na dłuższych $2 * lp$).

F. Przyporządkowanie każdemu elementowi jego własnego materiału.

```
*do,i,1,le,1
  EMODIF,i,MAT,i,
*enddo
```

G. Zadanie warunków podparcia i obciążenia (patrz rys.2).

H. Zapisanie bazy danych.

I. Stworzenie procedury realizującej przebudowę (piszemy ją w pliku tekstowym, potem możemy jego zawartość wkleić w okno komend lub wczytać:

Górne menu → File → Read Input from → nasz_plik.txt)

!procedura wykonuje obliczenia w zadeklarowanej liczbie kroków ir
/UIS,MSGPOP,3 !wyłączenie wyskakujących okienek ostrzeżeń

*do,i,1,ir,1

!otwarcie bloku Solution

/SQL

!wykonanie obliczeń

SOLVE

!otwarcie Postprocesora

/POST1

!odczytanie energii odkształcenia elementów

ETABLE, ,SENE,

!odczytanie objętości elementów

ETABLE, ,VOLU,

!obliczenie gęstości energii odkształcenia

SEXP,SED,SENE,VOLU,1,-1,

!zapis gęstości energii odkształcenia do tablicy

*VGET,sed,ELEM,1,ETAB,SED, ,2

!obliczenie wartości stymulatora dla elementów

*do,j,1,le,1

s(j)=sed(j)/r(j)

*enddo

!właściwa procedura realizująca przebudowę

!pętla po wszystkich elementach

/PREP7

*do,j,1,le,1

!obliczenie szybkości zmiany gęstości elementu

*if,s(j),gt,(1+d)*k,then

roprim=B*(s(j)-(1+d)*k)

*elseif,s(j),lt,(1-d)*k

roprim=B*(s(j)-(1-d)*k)

*else

roprim=0

*endif

!modyfikacja wartości gęstości

r(j)=r(j)+roprim*dt

!zabezpieczenie przed przekroczeniem wartości granicznej

*if,r(j),lt,rmin,then

r(j)=rmin

*elseif,r(j),gt,rmax

r(j)=rmax

*endif

!nowa wartość modułu Younga

E(j)=alfa*r(j)**beta

!modyfikacja materiału przyporządkowanego elementowi

MPDE,all,j

MP,EX,j,E(j)

MP,PRXY,j,0.3

*enddo

*enddo

W efekcie zadziałania powyższego kodu dostaniemy jedynie zmodyfikowany rozkład gęstości po i iteracjach. Jeśli chcemy wiedzieć jak proces przebiegał w czasie należałoby np. zapisywać wartości z każdego kroku, albo najprościej śledzić je graficznie – w każdym kroku generować plik pokazujący rozkład interesującej nas wielkości.

Niestety Ansys nie daje możliwości bezpośredniego wyświetlenia wielkości, które są związane z elementami „zewnętrznie”, a nie programowo. To ograniczenie można ominąć np. zadając elementom fikcyjną temperaturę o wartości odpowiadającej interesującego nas parametru i wyświetlając jej rozkład. Przypisanie „temperatury” o wartości gęstości $r(j)$ j -temu elementowi (funkcja działa w bloku preprocesora i solution) ma postać:

```
BFE,j,TEMP,1,r(j), , ,
```

Wyświetlenie rozkładu temperatur:

```
ELOT  
/CONT,1,9,rmin, ,rmax  
/PBF,TEMP, ,1
```

Pozostaje jeszcze przekierowanie widoku do pliku (zrzut do JPG-a):

```
/SHOW,JPEG, ,0  
/RELOT  
/SHOW,CLOSE
```

Powyższe elementy należy wstawić w odpowiednie miejsca kodu przebudowy.

4. ZADANIA DO WYKONANIA

- A. Model podstawowy (parametry jak podane wyżej).
- B. Obliczenia dla zwiększonej gęstości siatki.
- C. Obliczenia dla zmniejszonego kroku czasowego.
- D. Obliczenia dla strefy martwej o niezerowej długości $d \neq 0$, np. $d=0,25$
- E. Obliczenia dla innej wartości początkowej gęstości ρ_0
- F. Zmodyfikować procedurę tak, aby było możliwe śledzenie zmian w czasie gęstości i stymulatora dla każdego elementu.