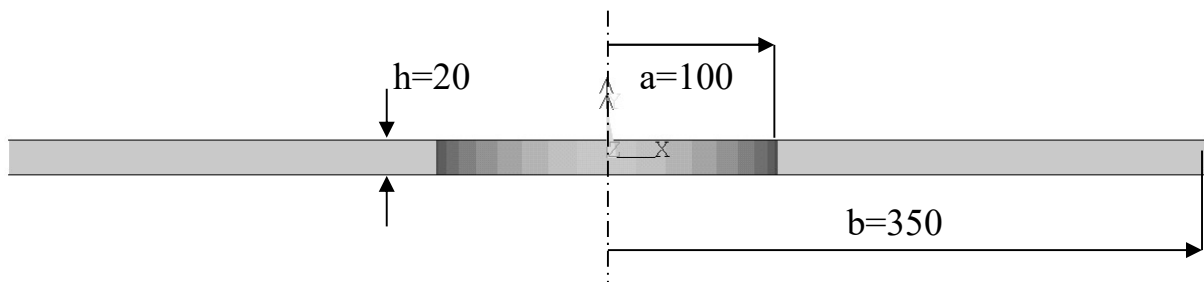


6.16.3. Rozwiązywane zagadnienie typu creep

Stalowa tarcza kołowa o stałej grubości z otworem (rys. 6.16.12) obciążona jest siłami masowymi pochodzącymi od wirowania z częstością kołową ω oraz podgrzana do stałej temperatury pracy T_p . Wyznaczyć przemieszczenia i naprężenia w tarczy w stanie początkowym oraz wywołane pełzaniem po 20000h. Do obliczeń przyjąć model Nortona, z następującymi danymi określonymi dla temperatury T_p : $E = 1.75 \cdot 10^5$ MPa, $\nu = 0.3$, $B = 3.38 \cdot 10^{-11}$ MPa $^{-2} \cdot h^{-1}$, $n = 2$, $\rho = 7.8 \cdot 10^{-9}$ Ns 2 /mm 4 , $\alpha = 1.2 \cdot 10^{-5}$ 1/K, $\omega = 400$ rad/s.



Rys. 6.16.12. Tarcza kołowa

Rozwiązanie sprężyste od sił masowych (naprężenia termiczne nie występują ze względu na stały rozkład temperatury) wygląda następująco:

$$\sigma_r = \frac{(3+\nu)\rho\omega^2}{8} \left(a^2 + b^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} - r^2 \right) \quad ; \quad \sigma_\theta = \frac{(3+\nu)\rho\omega^2}{8} \left(a^2 + b^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} - \frac{(3\nu+1)}{(3+\nu)} r^2 \right) \quad (6.16.1)$$

$$u_e = \frac{(3+\nu)(1-\nu^2)\rho\omega^2}{8E} \left\{ \frac{(a^2 + b^2)}{(1+\nu)} r + \frac{a^2 b^2}{(1-\nu)r} - \frac{1}{3+\nu} r^3 \right\} \quad ; \quad u_{th} = \alpha T_p \cdot r \quad (6.16.2)$$

Rozwiązanie przybliżone uzyskane metodą Wahla [1] uwzględnia pełzanie (wykładnik w prawie Nortona $n = 2$):

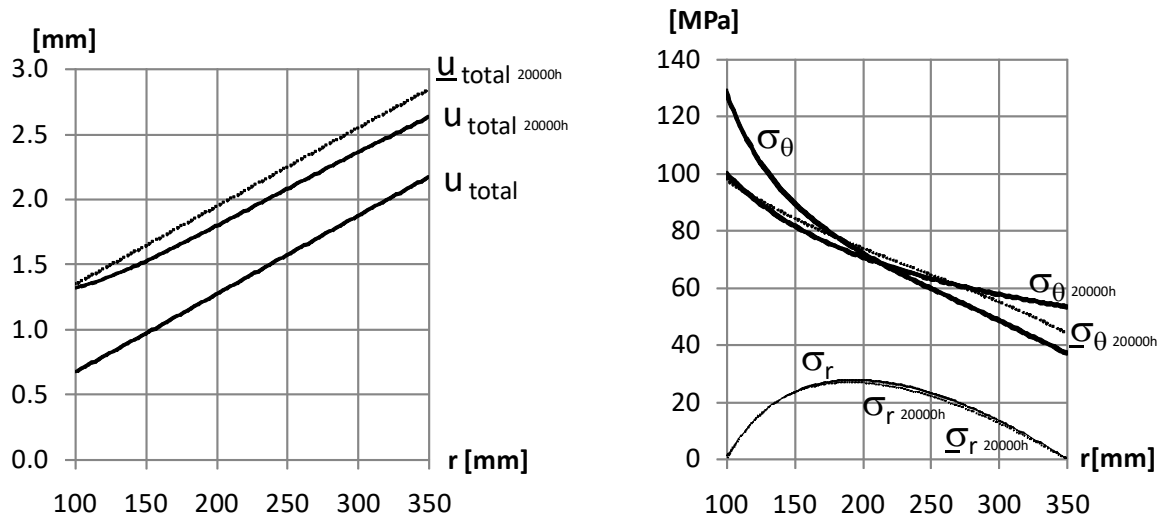
$$\sigma_r = \frac{\rho\omega^2}{3r} \left\{ \frac{(b^3 - a^3)(\sqrt{r} - \sqrt{a})}{(\sqrt{b} - \sqrt{a})} - (r^3 - a^3) \right\} ; \quad \sigma_\theta = \frac{\rho\omega^2}{6\sqrt{r}} \left\{ \frac{(b^3 - a^3)}{(\sqrt{b} - \sqrt{a})} \right\} \quad (6.16.3)$$

$$u_{\text{creep}} = B(T_p) \cdot \sigma_\theta^2 \cdot r \cdot t \quad (6.16.4)$$

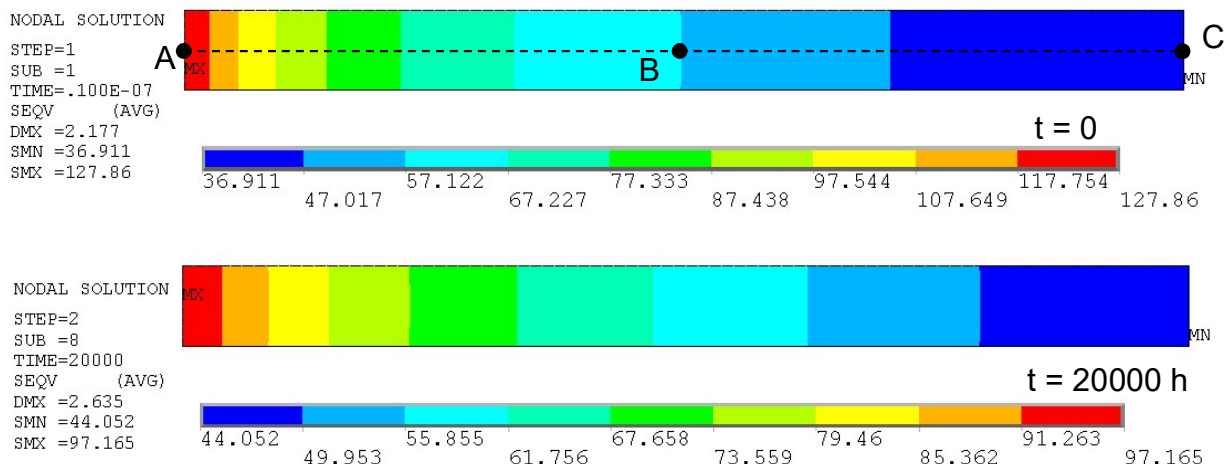
$$u_{\text{total}} = u_e + u_{\text{th}} + u_{\text{creep}} \quad (6.16.5)$$

r – promień (promieniowy), θ – obwodowy, th – termiczny, creep– pochodzący od pelzania, total– całkowity

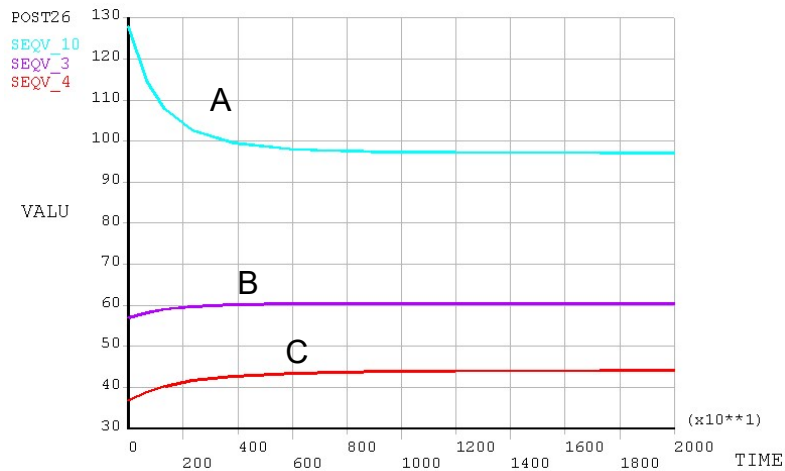
Wyniki analizy MES w przemieszczeniach i naprężeniach dla chwili $t=0$ oraz porównanie z rozwiązaniem teoretycznym przybliżonym dla chwili $t = 20000$ h pokazano na rys. 6.16.13. Rozkłady naprężeń zredukowanych oraz wykres zmian naprężeń w funkcji czasu dla trzech charakterystycznych punktów tarczy pokazano na rys 6.16.14 i 6.16.15.



Rys. 6.16.13. Rozkłady przemieszczeń promieniowych i naprężeń promieniowych i obwodowych wzdłuż promienia tarczy dla chwili $t = 0$ i $t = 20000h$



Rys. 6.16.14. Rozkłady naprężeń zredukowanych HHM dla chwili $t = 0$ i $t = 20000h$ uzyskane metodą MES

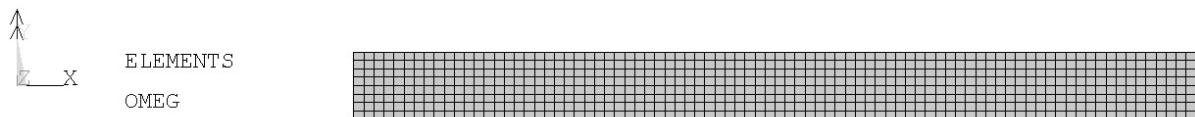


Rys. 6.16.15. Przebieg zmian naprężeń zredukowanych HMH w funkcji czasu dla trzech charakterystycznych punktów tarczy pokazanych na rys. 6.14.15 [MPa]

6.16.3.1. Typowy przebieg analizy numerycznej

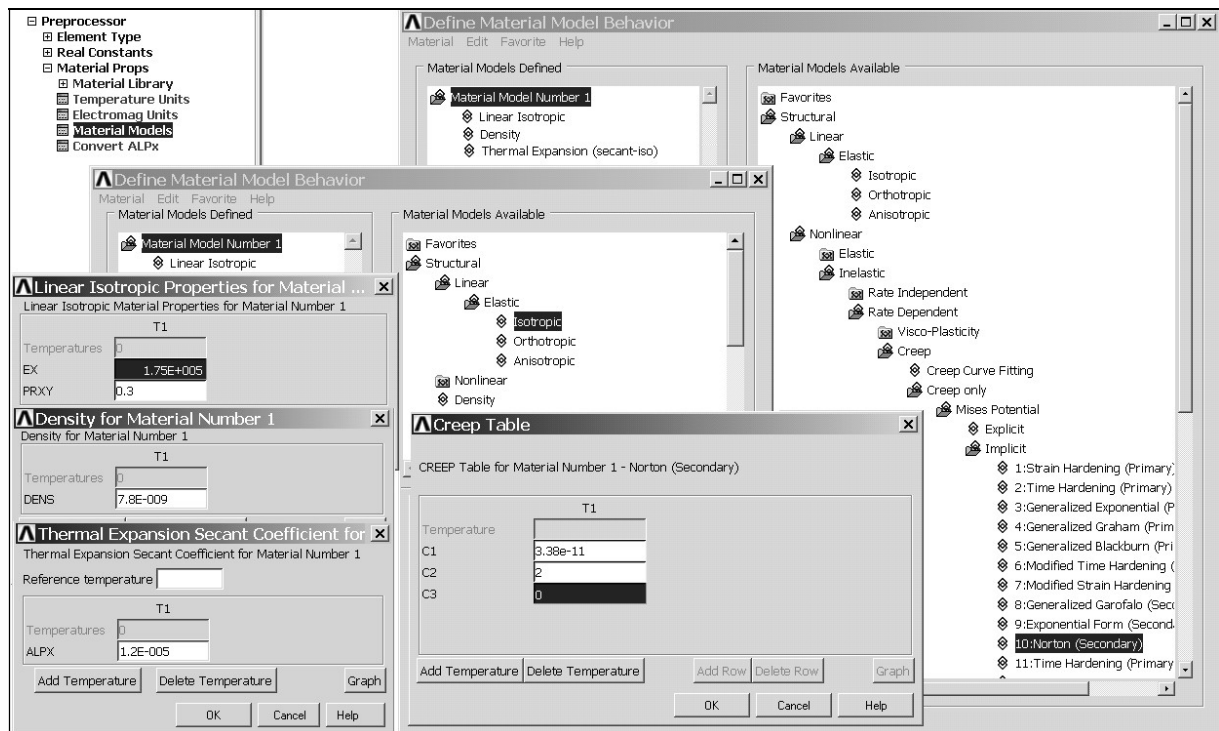
6.16.3.1.1. Preprocessor

Tarcza jest modelowana jako płaski przekrój (prostokąt) w warunkach osiowej symetrii (rys. 6.16.16).



Rys. 6.16.16. Model MES przekroju tarczy

- A. Utworzenie prostokąta o odpowiednich wymiarach. Prostokąt musi być oddalony od osi y o wartość promienia wewnętrznego $r = a$.
- B. Określenie właściwości materiału: model liniowy izotropowy, model pełzania (rys. 6.16.17), gęstość, współczynnik rozszerzalności termicznej.
- C. Wybór elementu skończonego SOLID182 z opcjami: K2 – Enhanced Strain, K3 – Axisymmetric.
- D. Podział prostokąta na elementy skończone.



Rys. 6.16.17. Definiowanie właściwości materiałowych

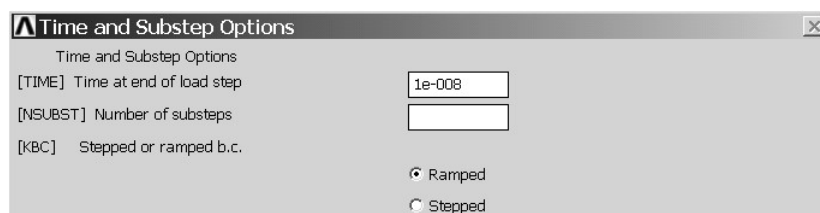
6.16.3.1.2. Solution

6.16.3.1.2.1. Określenie warunków brzegowych

- Podparcie jednego, dowolnego punktu tarczy w kierunku pionowym.
- Przyłożenie obciążeń masowych od wirowania: Main Menu>Preprocessor>Loads>Define Loads>Apply> Structural>Inertia>Angular Veloc>Global , OMEGY=400.
- Przyłożenie stałej temperatury: Main Menu>Preprocessor>Loads>Define Loads>Apply> Structural>Temperature>On Areas=500.

6.16.3.1.2.2. Analiza stanu początkowego

- Ustawienie opcji analizy dla stanu początkowego (analiza statyczna z bardzo krótkim czasem) Main Menu>Solution>Load Step Opts>Time/Frequenc>Time and Substps (rys. 6.16.18).

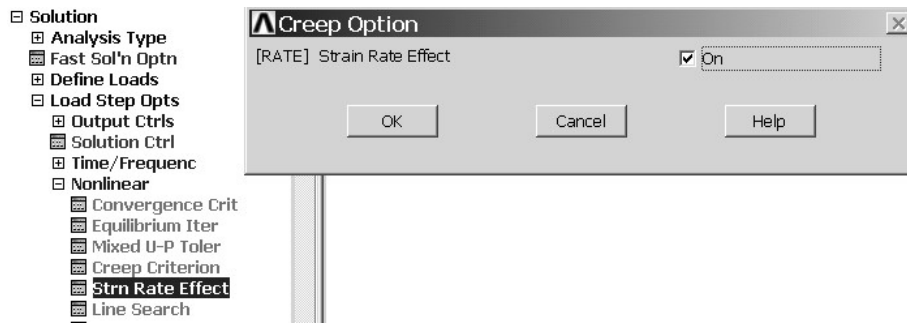


Rys. 6.16.18. Ustawienia pierwszego kroku

- Uruchomienie obliczeń: Solve Curent LS , (uwaga: po obliczeniach pozostajemy w *Solution*)

6.16.3.1.2.3. Analiza pełzania

- Ustawienie opcji analizy do obliczeń pełzania (analiza statyczna z długim czasem, TIME=20000, NSUBST=30, zapisywanie wyników z każdego podkroku *Every Substep* – wg rys. 6.16.7)
- Włączenie opcji pełzania RATE, ON (rys. 6.16.19).



Rys. 6.16.19. Włączenie opcji pełzania

C. Powtórne uruchomienie obliczeń: Solve Curent LS

6.16.3.1.3. Postprocessor

Wyniki dla zadania płaskiego osiowosymetrycznego należy interpretować następująco:

UX – przemieszczenia promieniowe,

SX – naprężenia promieniowe,

SZ – naprężenia obwodowe.

6.16.3.1.3.1. General Postprocessor

Rozkłady przemieszczeń, odkształceń i naprężeń na początku i końcu analizy uzyskuje się przez wczytanie odpowiedniego podkroku: Main Menu>General Postproc>Read Results>By Pick

A. Wyświetlenie i zapisanie do plików graficznych: map warstwicznych przemieszczeń promieniowych i naprężeń promieniowych, obwodowych i zredukowanych (rys. 6.16.14).

B. Wykonanie wykresów przemieszczeń promieniowych oraz naprężeń promieniowych i obwodowych, tak aby na jednym wykresie znalazły się wartości dla czasu $t = 0$ i $t = 20000h$:

a) Zdefiniowanie ścieżki wzdłuż promienia tarczy

(Main Menu>Preprocessor>Path Operations>Define Path>By Nodes),

b) wczytanie pierwszego podkroku: Main Menu>General Postproc>Read Results>First Set

c) Wybranie poszukiwanych wartości i nadanie im odpowiednich nazw powiązanych z czasem:

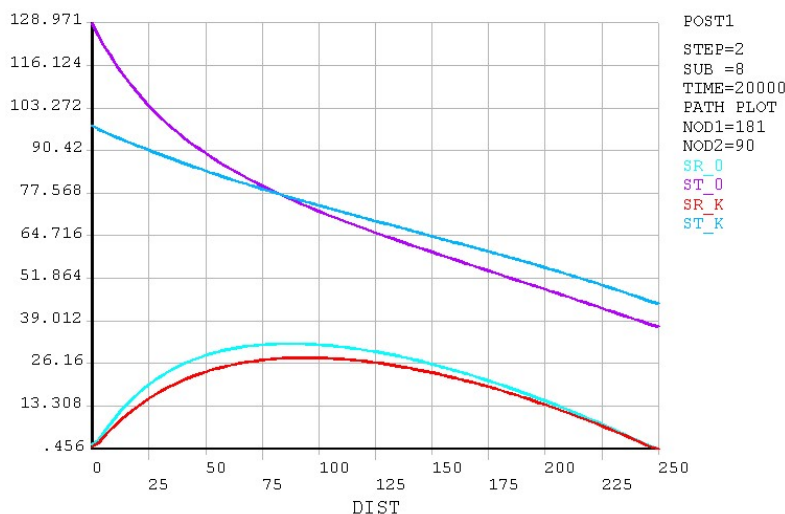
Main Menu>General Postproc>Path Operations>Map onto Path

d) wczytanie ostatniego podkroku: ... >Read Results>Last Set

e) powtórzenie czynności z pkt. c.

f) wyświetlenie wykresu:

Main Menu>General Postproc>Path Operations>Plot Path Item>On Graph (rys. 6.16.20).



Rys. 6.16.20. Wyświetlenie na wykresie naprężeń promieniowych (SR) i obwodowych (ST) dla dwóch różnych chwil czasowych wzdłuż promienia tarczy (SR_0 i ST_0 – dla chwili $t = 0$, SR_K, ST_K dla chwili $t = 20000h$)

6.16.3.1.3.2. Time History Postprocessor

- A. Wybranie węzłów: na promieniu wewnętrznym, zewnętrznym i w środku tarczy ($r = 225\text{mm}$) do prezentacji zmian składowych przemieszczeń i naprężeń spowodowanych pełzaniem.
- B. Wyświetlenie szukanych wartości na wykresach i zapisanie ich do plików graficznych (rys. 6.16.14).

6.16.3.1.4. Zadania do wykonania

1. Zmodyfikować model materiału przez dodanie warunku plastyczności i modelu biliniowego z umocnieniem kinematycznym:
Structural>Nonlinear>Inelastic>Creep>With Kinematic Hardening Plasticity>With Mises Plasticity>
Bilinear> Implicit>Norton (Secondary), podać stałe dla modelu Nortona i wprowadzić granicę plastyczności ($Yield\ Stss = 160\text{ MPa}$) oraz moduł umocnienia ($Tang\ Mods = 1000\text{ MPa}$).
Przeprowadzić obliczenia pełzania dla kilku częstości kołowych (np.: 500, 600 rad/s). Wyznaczyć rozkłady przemieszczeń, odkształceń plastycznych i naprężeń w tarczy.
2. Zbudować model rozciąganej łopatki turbiny, o stałym przekroju, obciążonej stałym rozkładem temperatury i siłami masowymi od wirowania z założoną częstością kołową. Wyniki przemieszczenia promieniowego na końcu łopatki porównać z rozwiązaniem według wzorów wytrzymałości konstrukcji [1] (odkształcenia pełzania we wzorze należy najpierw scałkować po czasie, a następnie wzdłuż długości łopatki). Oszacować czas pracy łopatki, tak aby nie przekroczyć założonych przemieszczeń dopuszczalnych.
3. Zbudować model pręta pryzmatycznego o stałym przekroju umieszczonego pomiędzy dwiema sztywnymi ścianami bez wcisku i luzu, podgrzanego o przyrost temperatury ΔT . Do obliczeń pełzania zastosować model Nortona bez uplastycznienia (*creep only*). Wyznaczyć przebieg naprężeń w czasie. Znaleźć czas, po którym naprężenia początkowe zmaleją dwukrotnie. Wyniki porównać z [2].