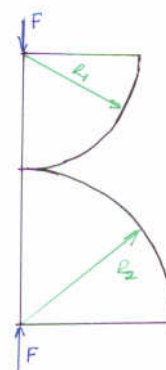


# Kontakt kulových ploch

## Zadání

Dvě polokoule z hliníku (modelován jak ideálně pružně-plastický materiál –  $E = 7 \cdot 10^{10}$  Pa,  $\mu = 0,33$ ,  $\sigma_k = 80$  MPa), jedna o poloměru  $R_1 = 10$  mm, druhá o poloměru  $R_2 = 13$  mm, jsou tlačeny proti sobě.

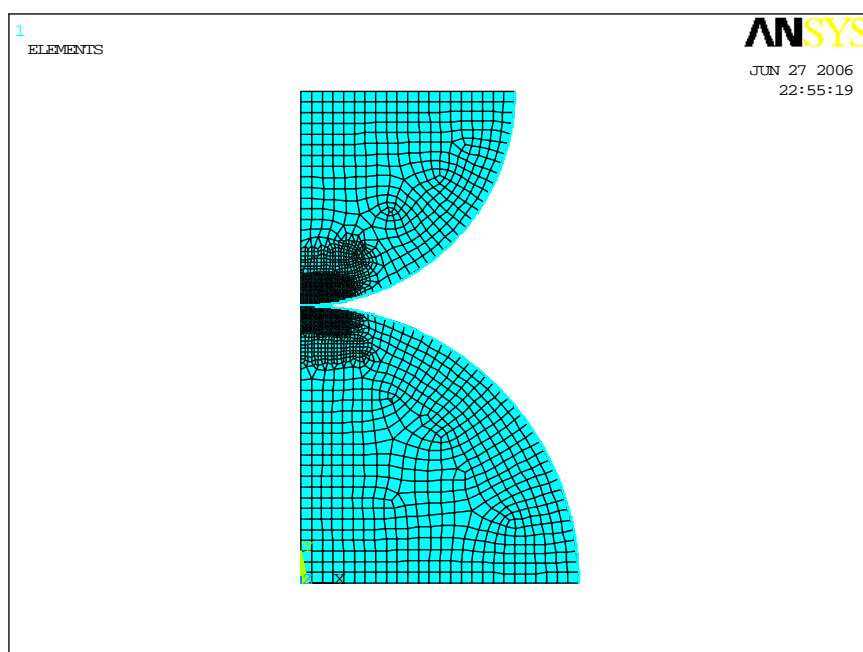
Zatížení bylo řešeno jako deformační, byl zadán posuv horní polokoule o 0,1 mm směrem dolů. V dalším kroku je horní polokoule je vrácena zpět pro získání zbytkové napjatosti.



Obr. 1. Zadání.

## Způsob řešení

Příklad byl řešen jako kontaktní a axisymetrická úloha. Použitá síť je zobrazena na obrázku 2 typ elementu je PLANE82. Kontakt byl zadán symetrický.



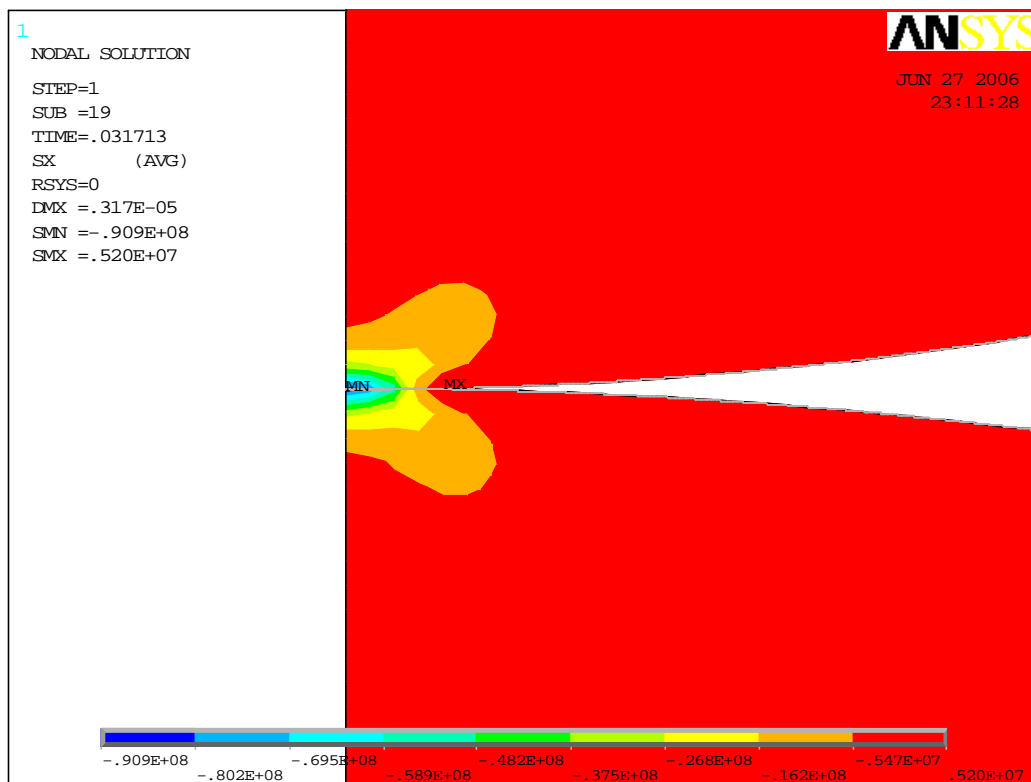
Obr. 2. Elementy.

První krok – zatížení – měl nastaven výpočet v časovém intervalu 0 až 1 s, přičemž nejmenší krok byl zvolen 0,0001 s, největší 0,05 s a počáteční 0,001 s.

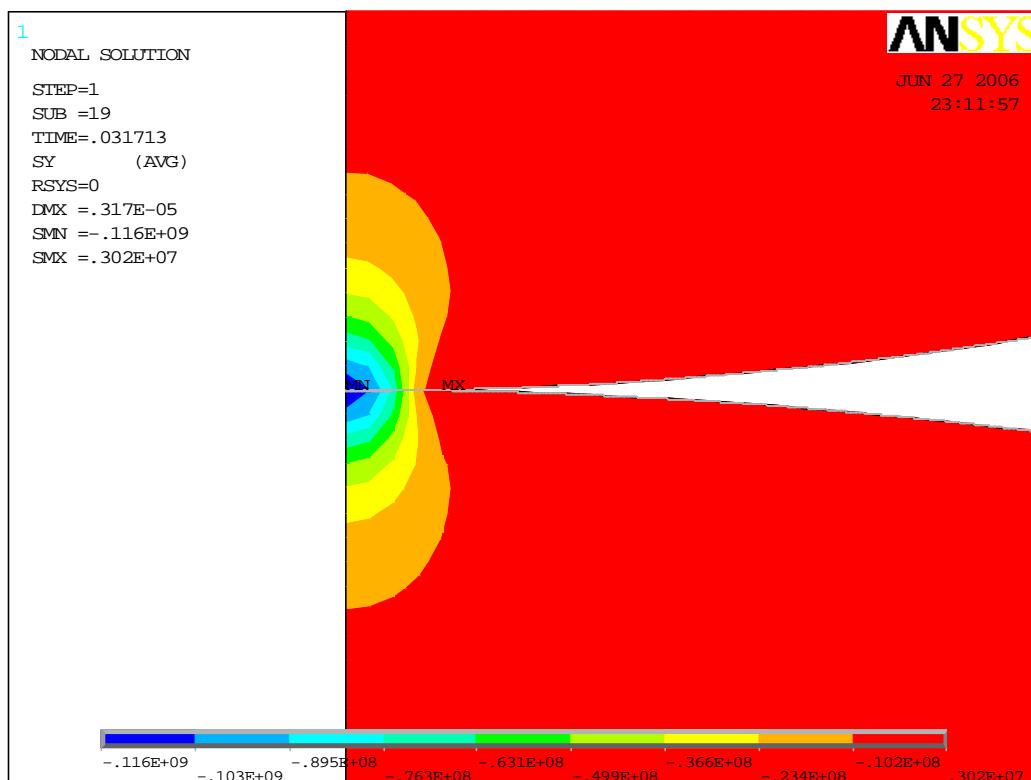
## Výsledky

### Zatížení bez vznikajících plastických deformací

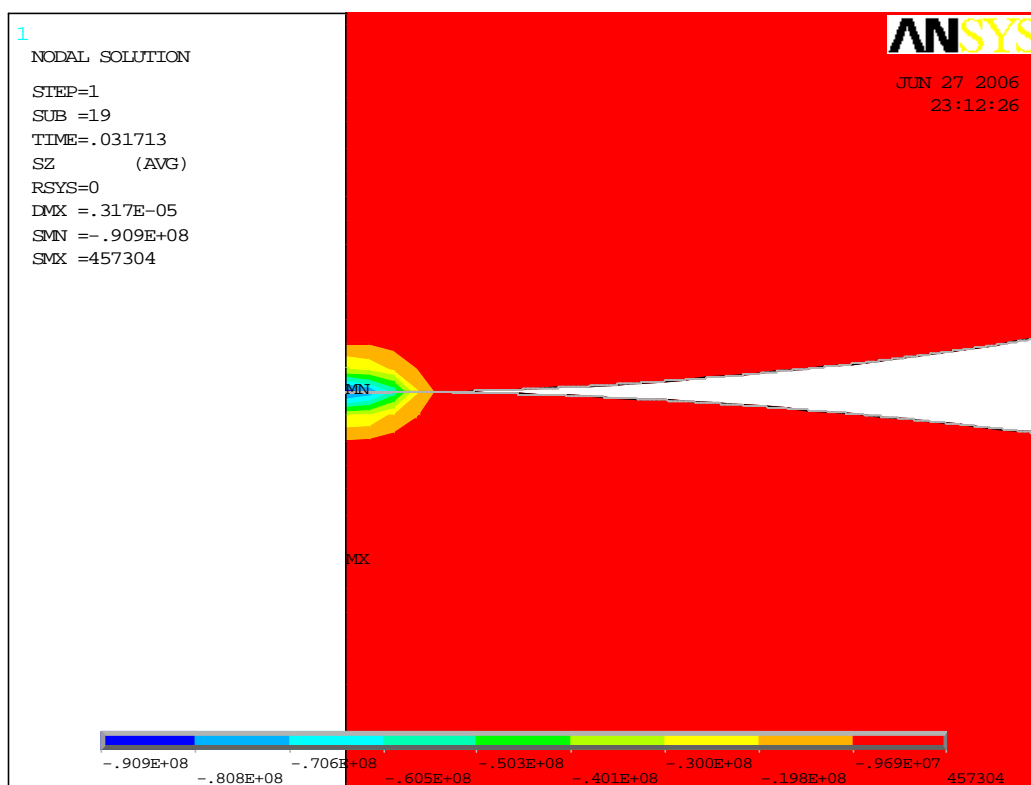
Obě polokoule se deformují nejprve elasticky. Při síle přibližně 6,7 N a posuvu 3,2  $\mu\text{m}$  dochází k prvním plastickým přetvořením. Na obrázcích 3 až 7 jsou zobrazena rozložení napětí v kontaktu. Na napětí  $\sigma_y$  (obr. 4) je patrný přenos kontaktního tlaku mezi oběma tělesy. Extrémy smykového napětí  $\tau_{xy}$  (obr. 6) odpovídají kraji kontaktní plochy. Z rozložení redukovaného napětí podle podmínky HMH (obr. 7) je patrné, že místa s největším napětím jsou těsně pod povrchem kontaktní plochy. Zde se také objeví první plastické deformace.



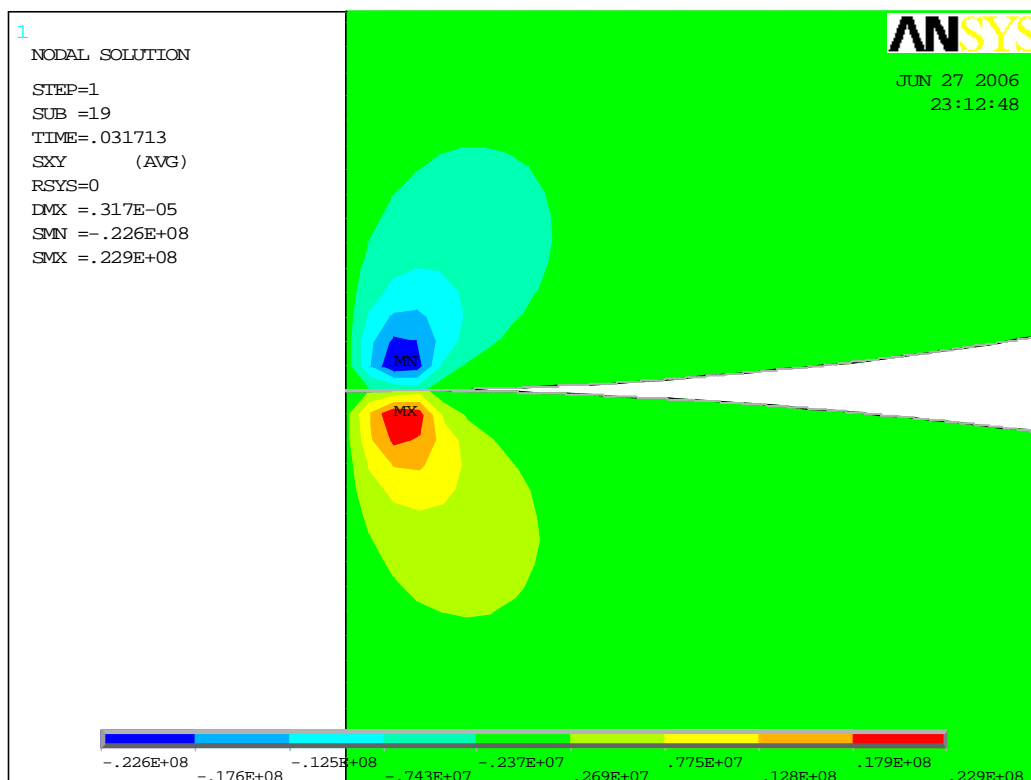
Obr. 3. Rozložení napětí  $\sigma_x$  při maximálním zatížení, kdy ještě nedochází k plastizaci



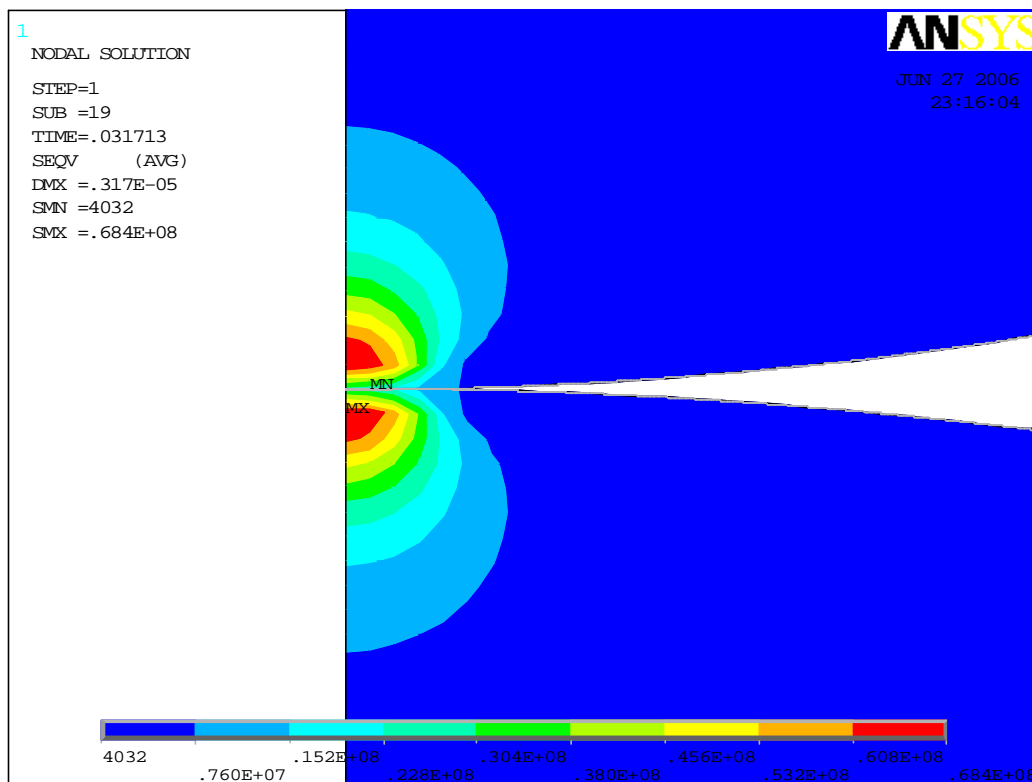
Obr. 4. Rozložení napětí  $\sigma_y$  při maximálním zatížení, kdy ještě nedochází k plastizaci



Obr. 5. Rozložení napětí  $\sigma_z$  při maximálním zatížení, kdy ještě nedochází k plastizaci



Obr. 6. Rozložení napětí  $\tau_{xy}$  při maximálním zatížení, kdy ještě nedochází k plastizaci

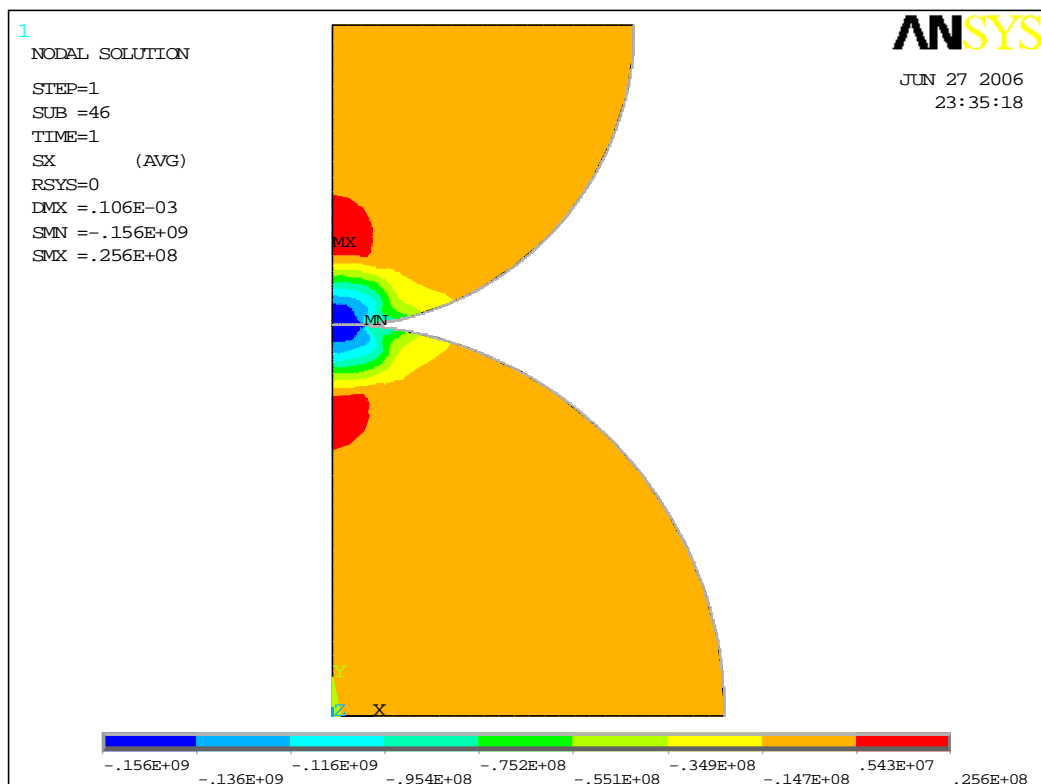


Obr. 7. Rozložení redukovaného napětí podle podmínky HMM při maximálním zatížení, kdy ještě nedochází k plastizaci

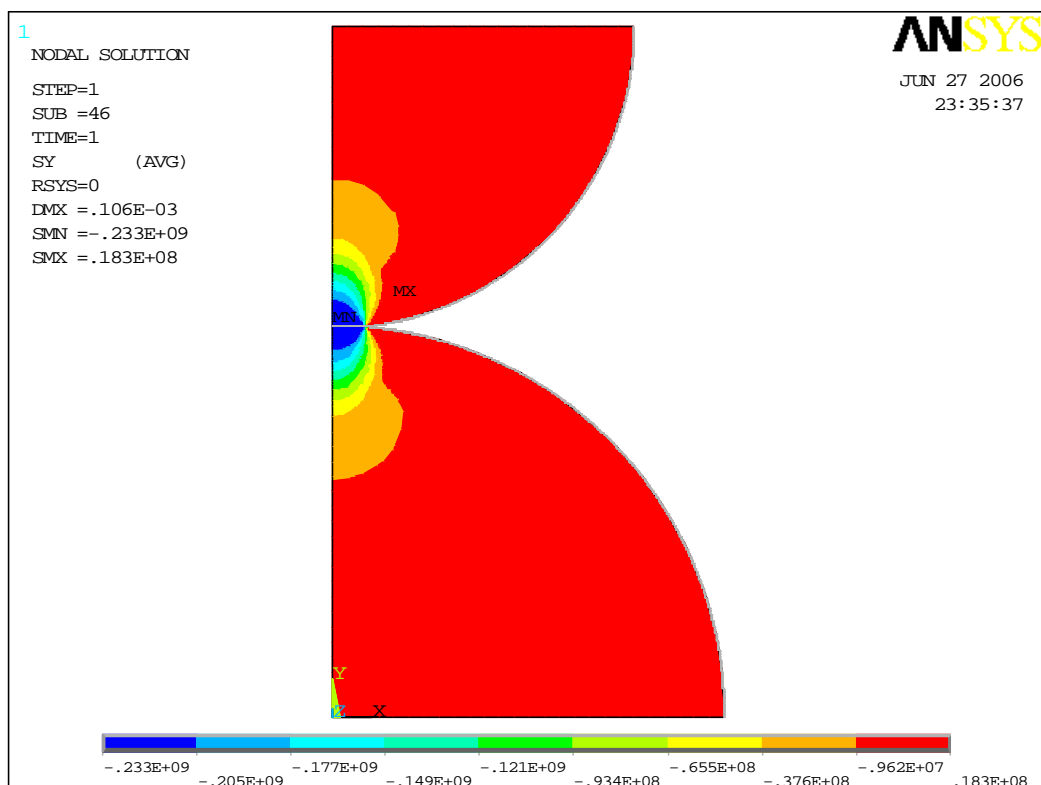
## Maximální zatížení

Maximální nastavené zátěži odpovídá posuv horní hrany polokoule 100  $\mu\text{m}$  a síla 875 N, tedy 30 $\times$  větší posuv než v případě posuvu při mezním stavu pružnosti a více než 100 $\times$  větší síla.

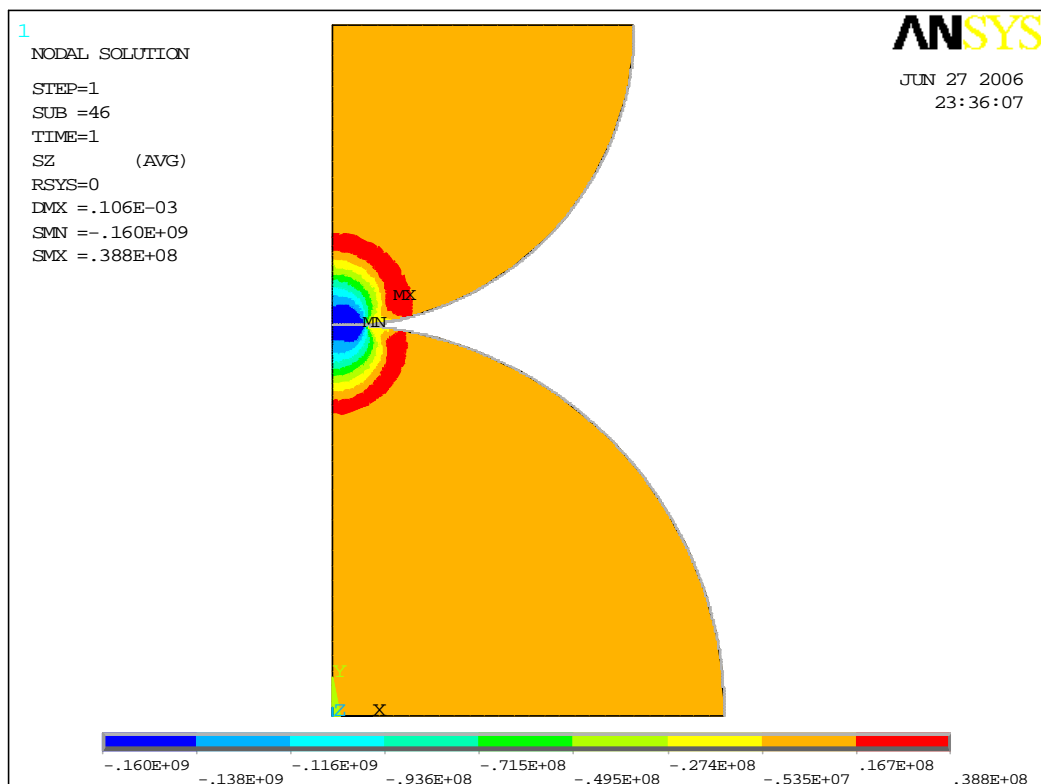
Na obrázcích jsou zobrazena napětí  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , a  $\tau_{xy}$ . Z rozložení napětí  $\sigma_x$  lze vyčíst, že v oblasti vzdálené asi čtvrtinu až třetinu poloměru polokoule od kontaktu vzniká tahová napjatost. Napětí  $\sigma_y$  se z kontaktní plochy, která je z důvodu deformace širší, šíří dále do obou těles. Pro  $\sigma_z$  na okraji plastizující oblasti vzniká také tahová napjatost. Smykové napětí  $\tau_{xy}$  má výrazné maximum v okolí kraje kontaktní plochy. Celkový rozsah plastizující části objemu je až do vzdálenosti třetiny poloměru od kontaktu. Tomuto objemu odpovídá oblast plastické deformace, přičemž k největší plastické deformaci dochází pod povrchem kontaktu.



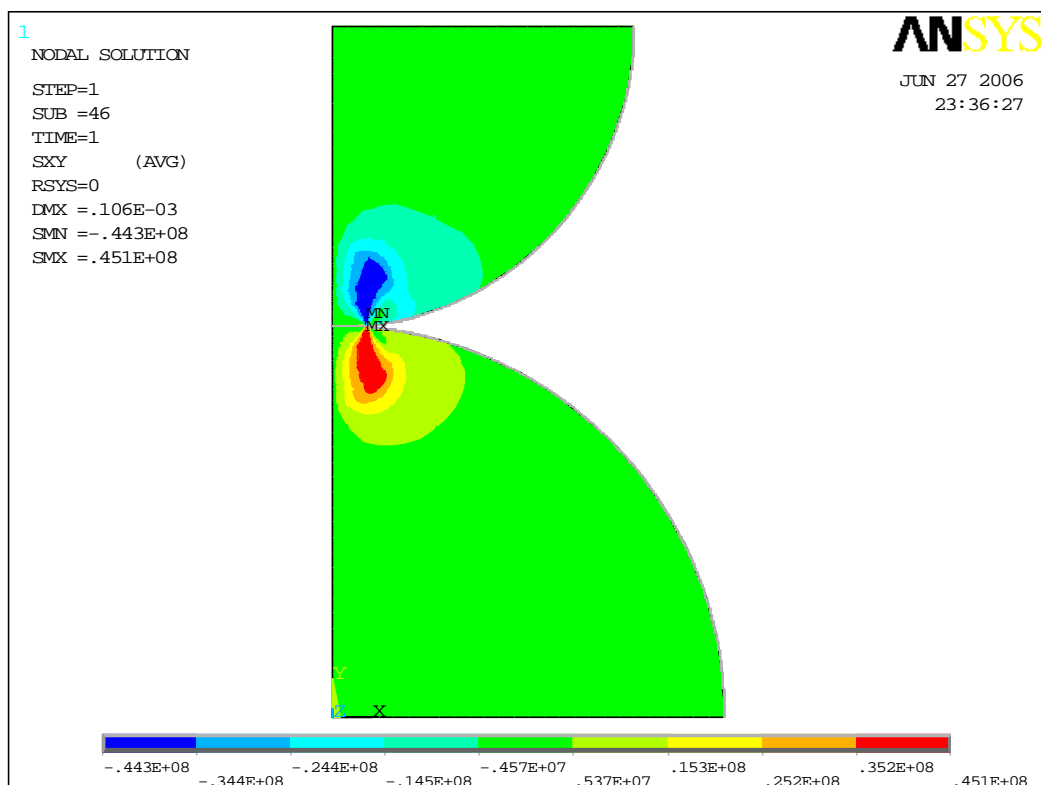
Obr. 8. Rozložení napětí  $\sigma_x$  při maximálním nastaveném zatížení



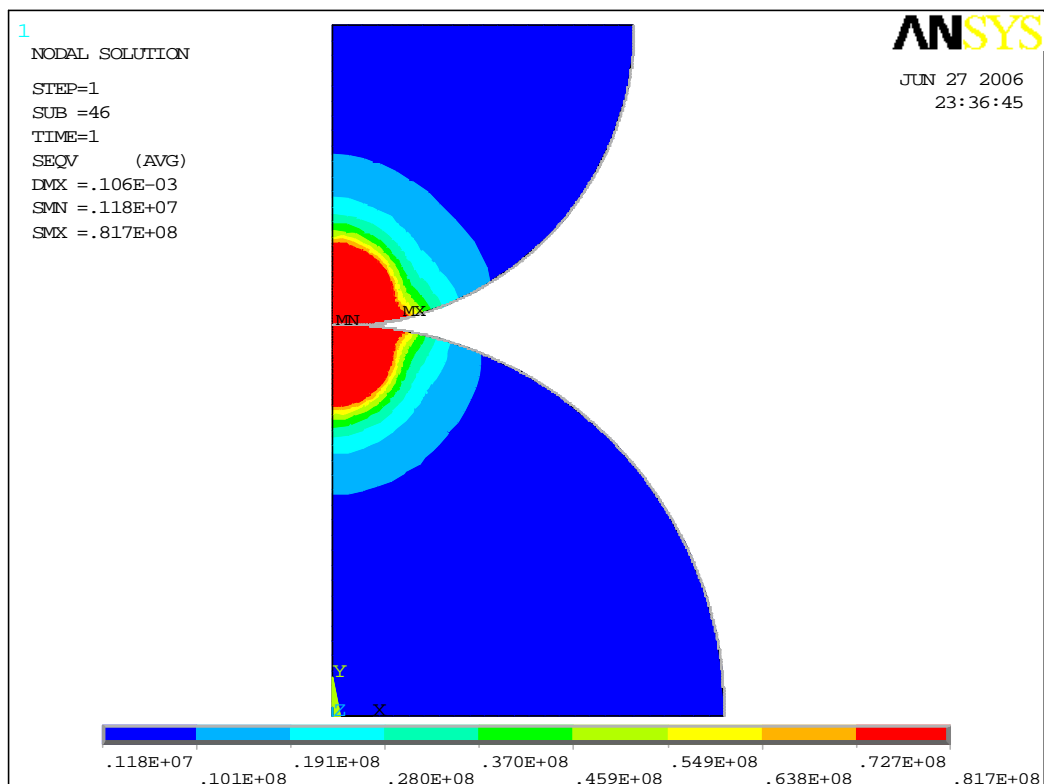
Obr. 9. Rozložení napětí  $\sigma_y$  při maximálním nastaveném zatížení



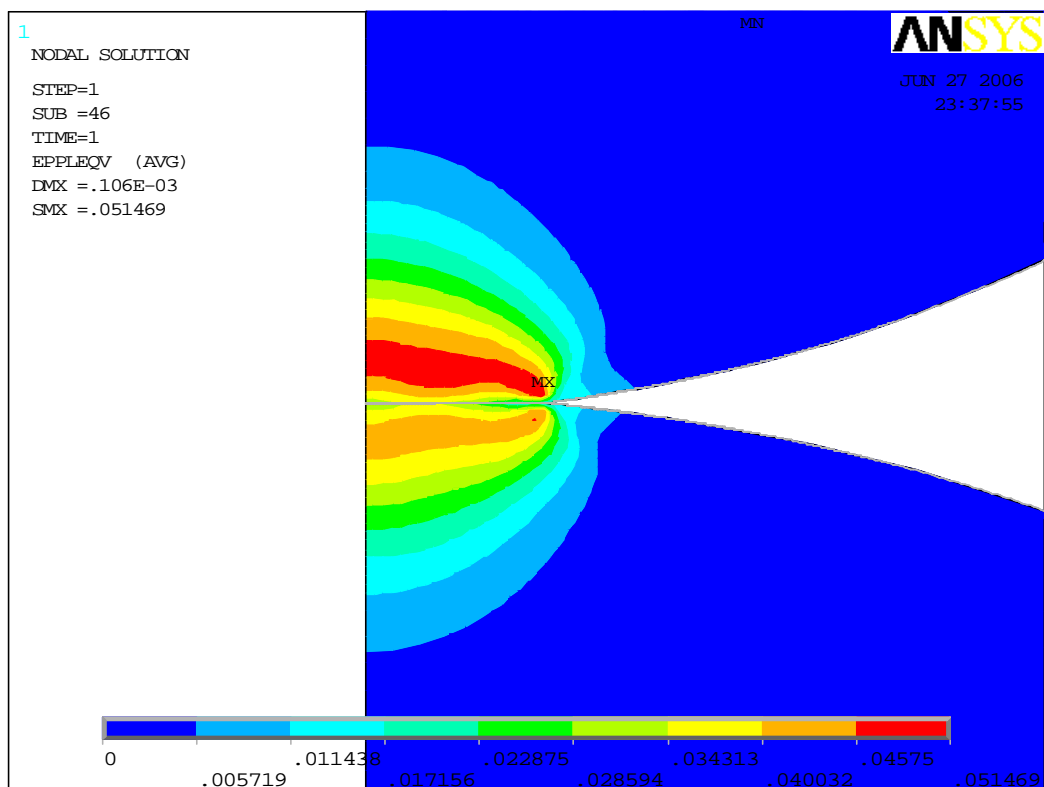
Obr. 10. Rozložení napětí  $\sigma_z$  při maximálním nastaveném zatížení



Obr. 11. Rozložení napětí  $\tau_{xy}$  při maximálním nastaveném zatížení



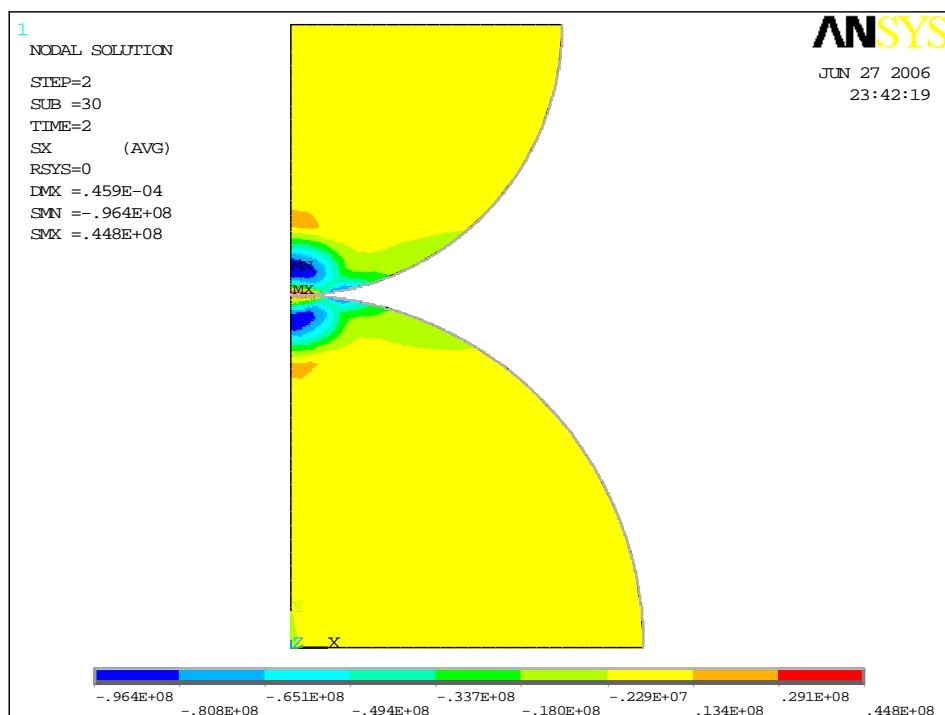
Obr. 12. Rozložení redukovaného napětí podle podmínky HMH při maximálním nastaveném zatížení



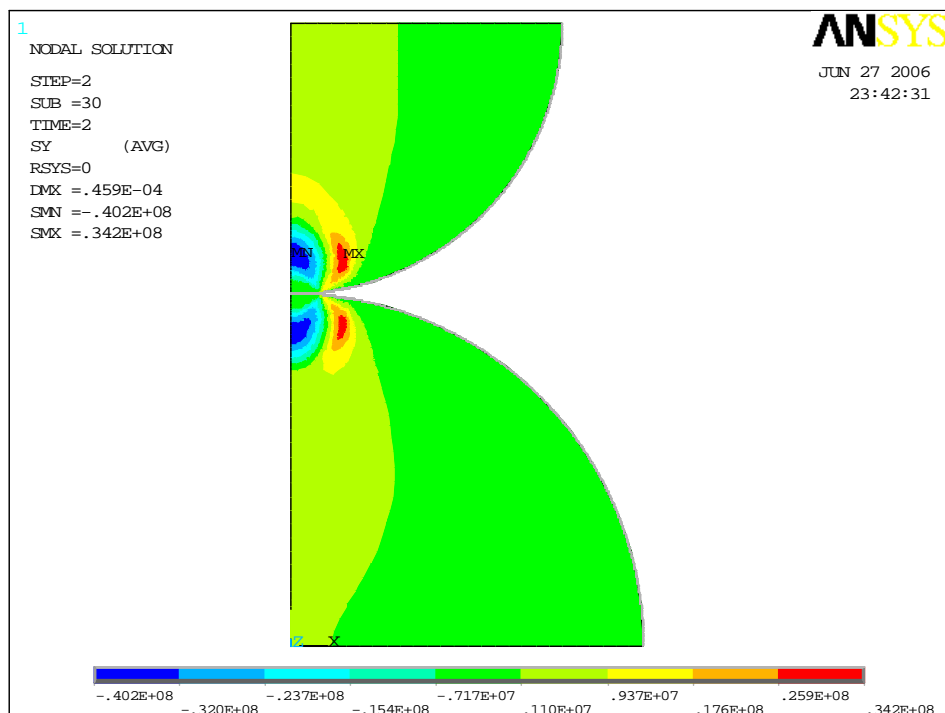
Obr. 13. Rozložení redukovaného plastického přetvoření podle HMH při maximálním nastaveném zatížení

## Zbytková napjatost po odlehčení

Po odlehčení se výrazně sníží význam tlakové složky napětí ve směru y, která byla způsobena stlačováním těles. V důsledku plastické deformace polokoulí však zejména na přechodu z části, která při zatížení plastizovala a části, kde byla pouze elastická deformace, výrazná zbytková napjatost, a to hlavně v okolí kraje původní kontaktní plochy, kde se blíží až mezi kluzu.

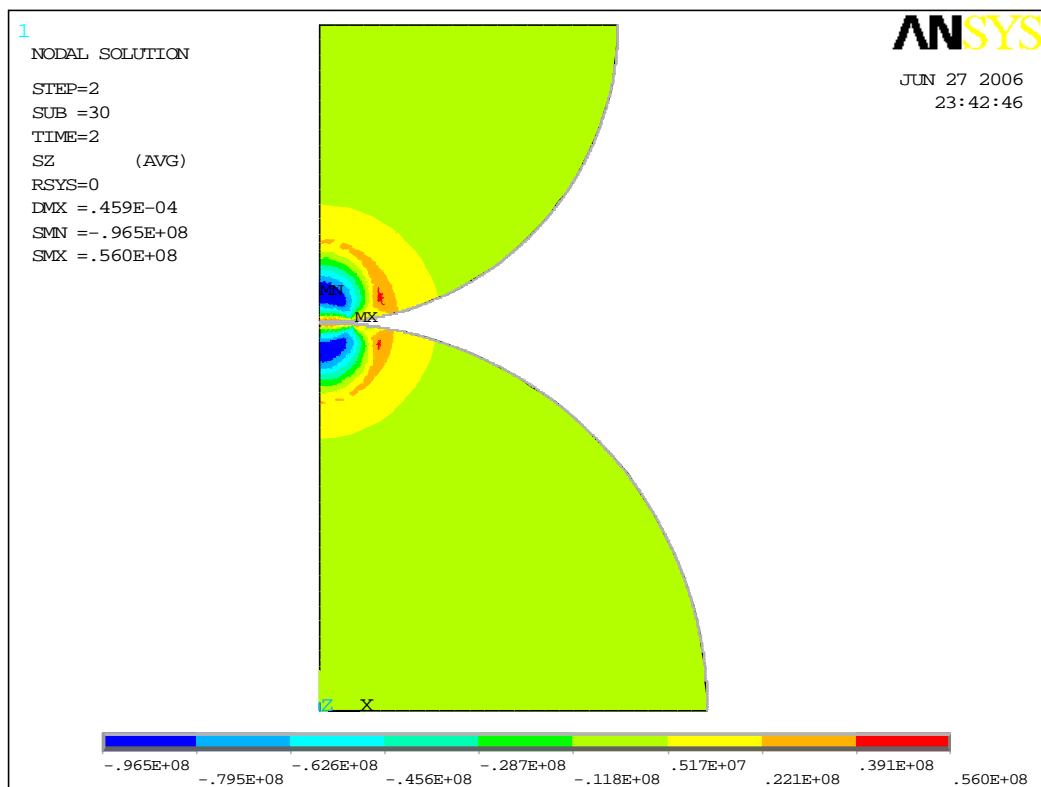


Obr. 14. Rozložení zbytkového napětí  $\sigma_x$

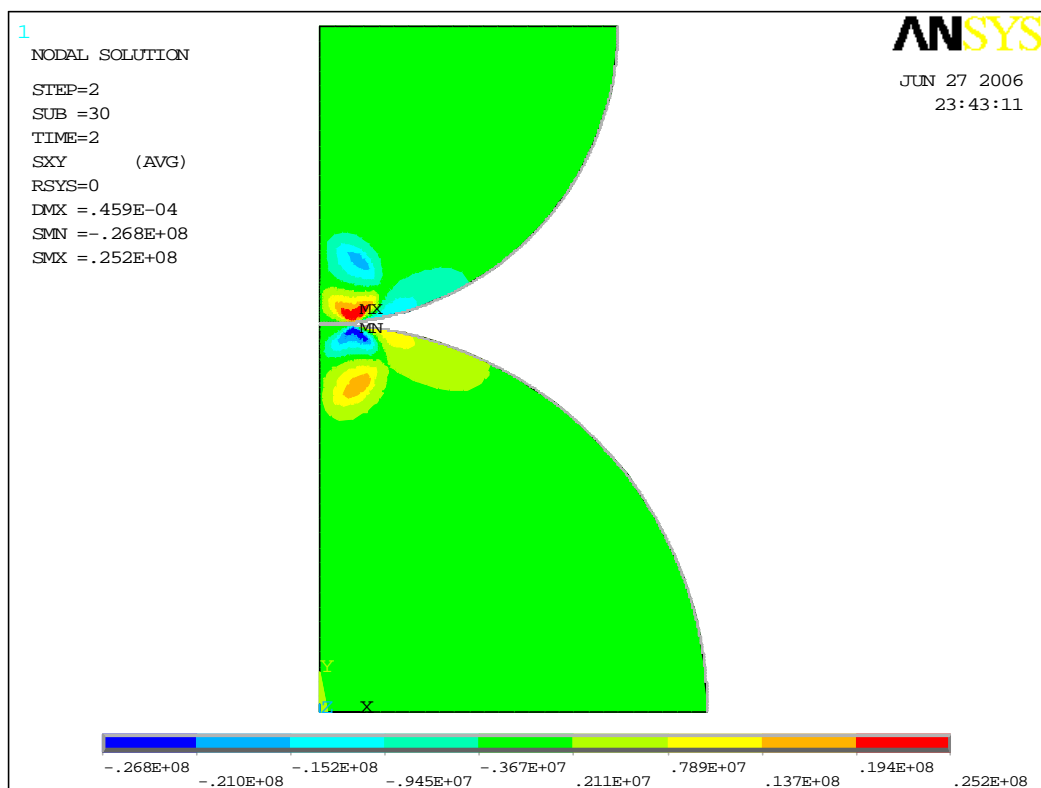


Obr. 15. Rozložení zbytkového napětí  $\sigma_y$

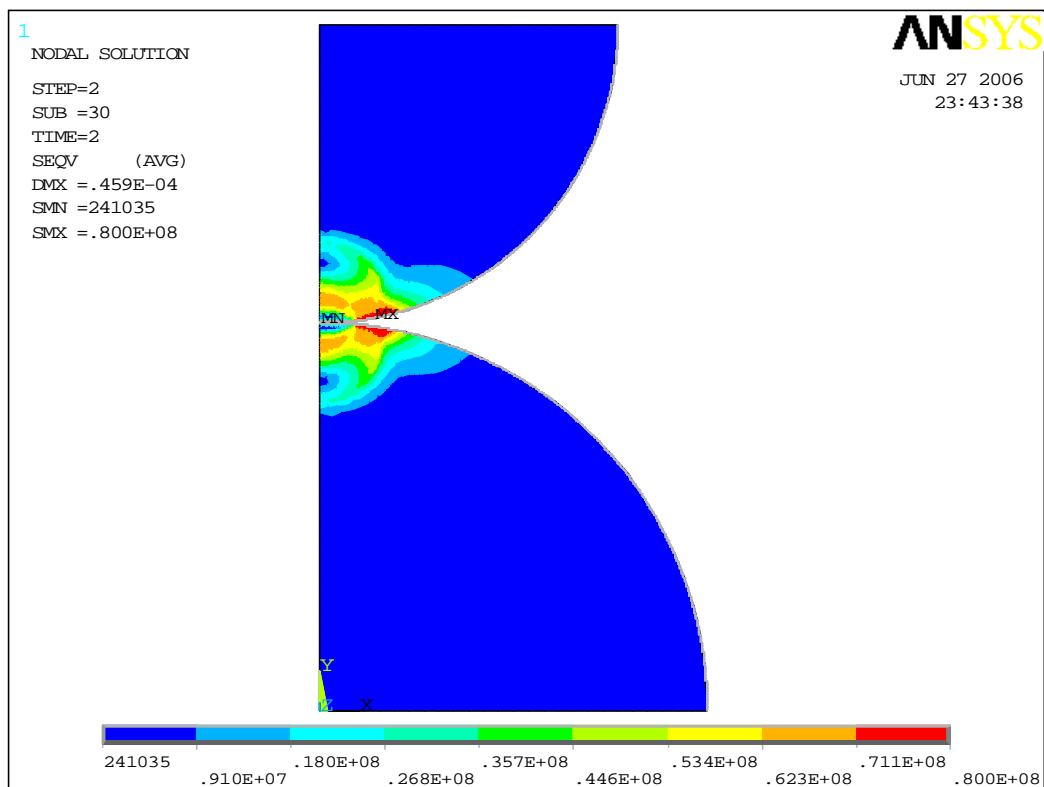




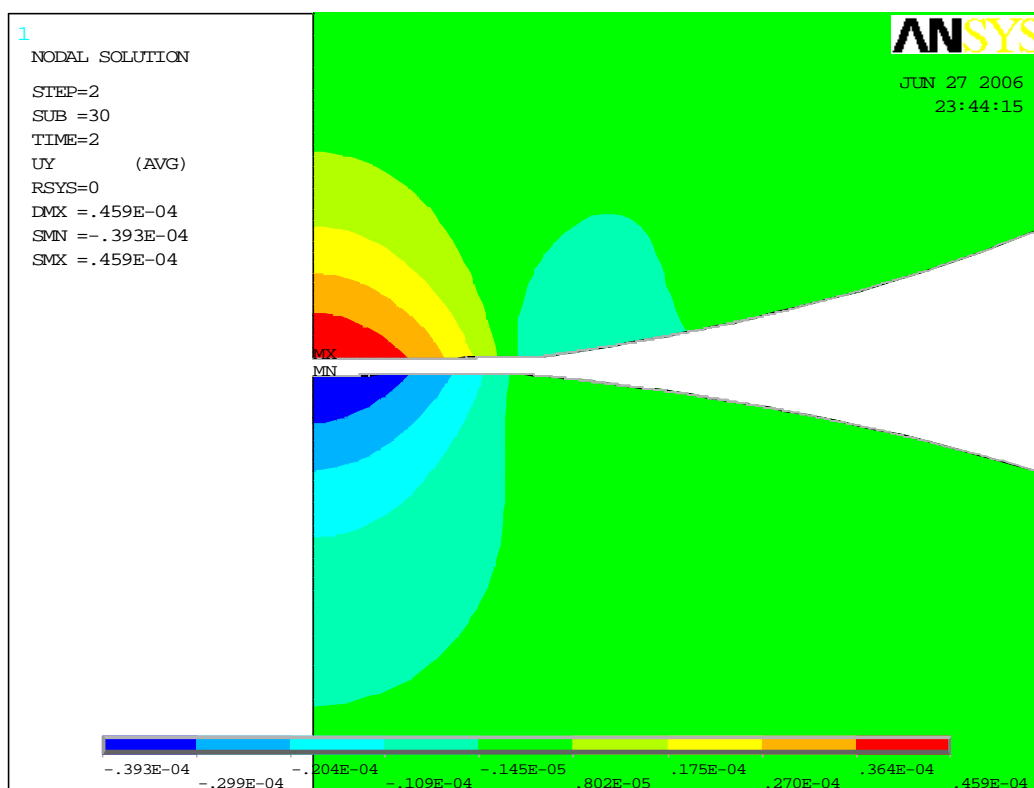
Obr. 16. Rozložení zbytkového napětí  $\sigma_z$



Obr. 17. Rozložení zbytkového napětí  $\tau_{xy}$



Obr. 18. Rozložení zbytkového napětí, redukovaná napjatost podle HMH



Obr. 19. Posuvy způsobené plastickou deformací