



Národní konference s mezinárodní účastí  
**INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002**

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

## COMPUTATIONAL STRESS SIMULATION OF RUBBER TWIST-TEST VIA FEM

Pavel SKÁCEL<sup>1</sup>, Jiří BURŠA<sup>2</sup>

***Abstract:** The paper deals with evaluation and analyzing of stresses in rubber cylindrical specimen which was twisted up to large deformation. Ogden hyperelastic nonlinear model was used for rubber material modelling. Problem was solved using FEM (ANSYS, MARC). A comparison with small deformation results showed that some other stress tensor components can be substantial. Resultant force response was compared with the experimental one. The results show the impossibility of stress evaluation via simple analytical equations of linear elasticity. Therefore the twist-test is not suitable material test for rubberlike materials.*

**Keywords:** Twist-test, Hyperelasticity, Nonlinear mechanics, Large deformations

### 1. Cíl práce

Současné výpočtové prostředky umožňují i modelování napjatosti a deformace součástí z kompozitního materiálu pryž-ocel. Pro hodnocení spolehlivosti takových součástí je nutno znát potenciální mezní stavy a formulovat jejich mezní podmínky. Jedním ze základních mezních stavů všech kompozitních materiálů je stav, kdy dojde ke ztrátě adhezního spojení mezi jednotlivými složkami kompozitu (dále jen mezní stav adheze).

Při modelování mezního stavu adheze byl využit vzorek sestávající z pryžového válce a pevně navulkanizovaných ocelových čel (obr. 7). Vzorek byl podroben kroucení. Snaha o stanovení podmínek, za kterých dojde k popisovanému meznímu stavu, vedla k potřebě znát napěťové poměry v adhezní ploše použitého vzorku v okamžiku porušení, tj. za velkých deformací.

Experimentální zjištění napětí není možné. Vzhledem k velkým deformacím a nelineárnímu chování pryže nelze napěťově deformační stav tělesa popsat analytickými vztahy lineární pružnosti. Je tedy nutno uchýlit se k řešení numerickému.

Cílem simulace bylo popsat napjatost krouceného pryžového válce za velkých deformací a rozhodnout o využitelnosti zkloušky krutem jako zkoušky materiálové.

<sup>1</sup> Ing. Pavel Skácel, tel.: +420 5 4114 2869, e-mail: [skacy@email.cz](mailto:skacy@email.cz)

<sup>2</sup> Ing. Jiří Burša, PhD., tel.: +420 5 4114 2868, e-mail: [bursa@umtn.fme.vutbr.cz](mailto:bursa@umtn.fme.vutbr.cz)  
VUT FSI Brno, Ústav mechaniky těles, Technická 2, 61669 Brno

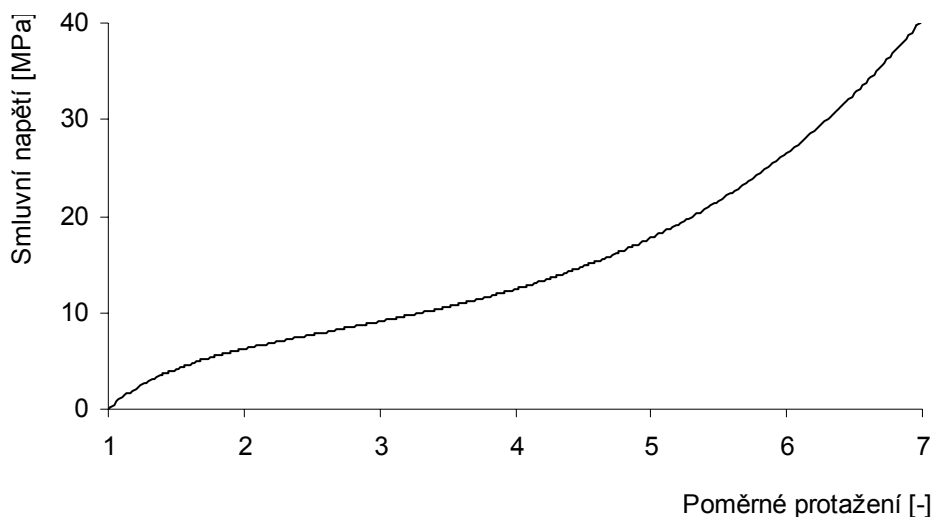
## 2. Výpočtové modelování

Ke stanovení napjatosti zatíženého vzorku bylo využito metody konečných prvků (ANSYS, resp. MARC).

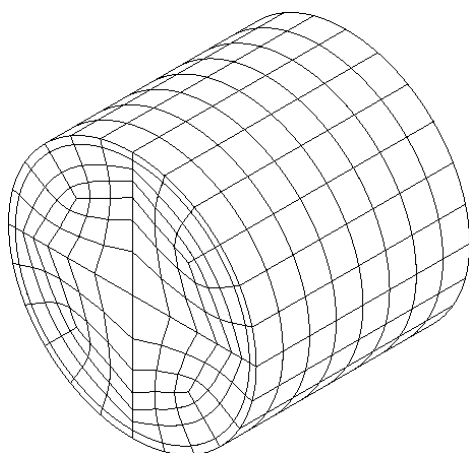
### 2.1. Model

Úspěšnost výpočtového modelu je podmíněna kvalitou modelu materiálového. Vzhledem k mechanickým vlastnostem pryže byl použit hyperelastický materiálový model. Z důvodu neznalosti potřebných materiálových charakteristik konkrétní použité pryže byl v první fázi výpočtového modelování použit materiálový model převzatý z literatury [1] (obr.1). Následující výsledky simulace mají tedy pouze kvalitativní vypovídací hodnotu.

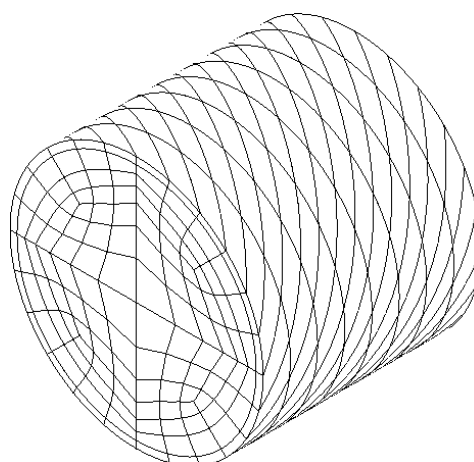
Použitý materiálový model je typu Ogden s těmito materiálovými parametry:  $\mu_1=6,6$ ;  $\alpha_1=1,3$ ;  $\mu_2=0,012$ ;  $\alpha_2=5,0$ .



Obr.1 Tahová charakteristika použitého materiálového modelu



Obr.2 KP model (nedeformovaný)

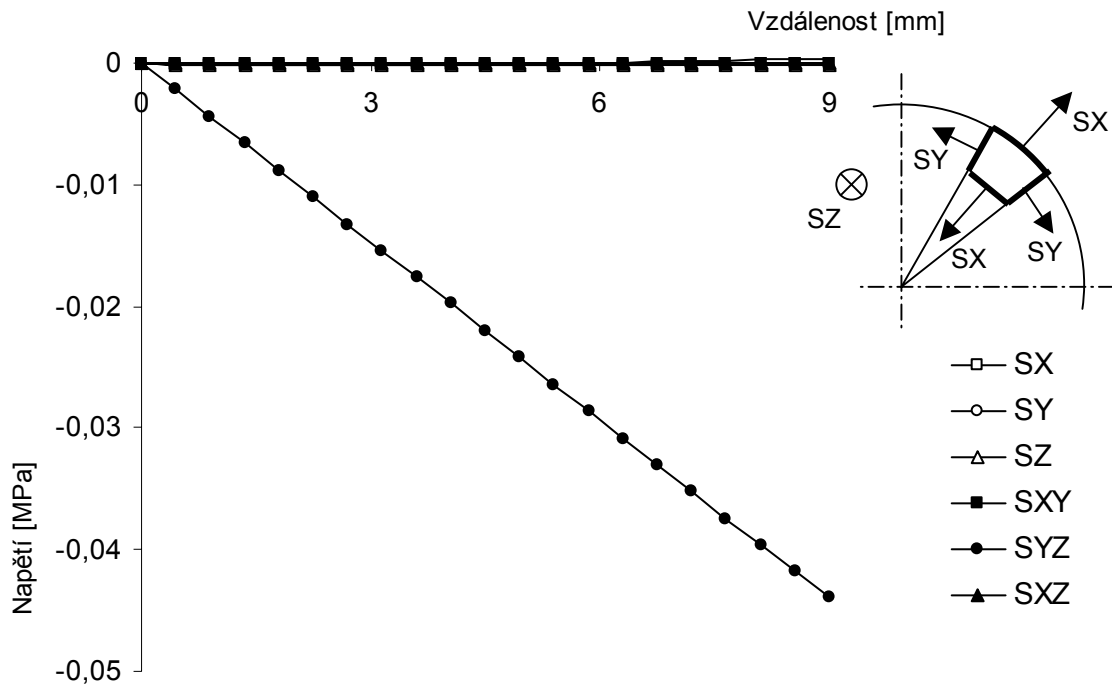


Obr.3 Deformace modelu (180°)

Zatížení bylo realizováno deformačně tak, aby byla zachována rovinnost čel a jejich vzájemná vzdálenost (tj. bylo zamezeno posuvu čel v axiálním směru). Tyto okrajové podmínky odpovídají základnímu typu krutové zkoušky.

## 2.2. Výsledky a jejich diskuze

Za malých deformací odpovídá dosažené pole napětí (obr.4) analytickému výsledku získanému za použití vztahů lineární pružnosti. Jediná nenulová složka napětí je smykové napětí působící v rovině kolmé na axiální osu ve směru obvodovém (dále jen  $S_{yz}$ ). Průběh tohoto napětí po příčném průřezu je lineární.

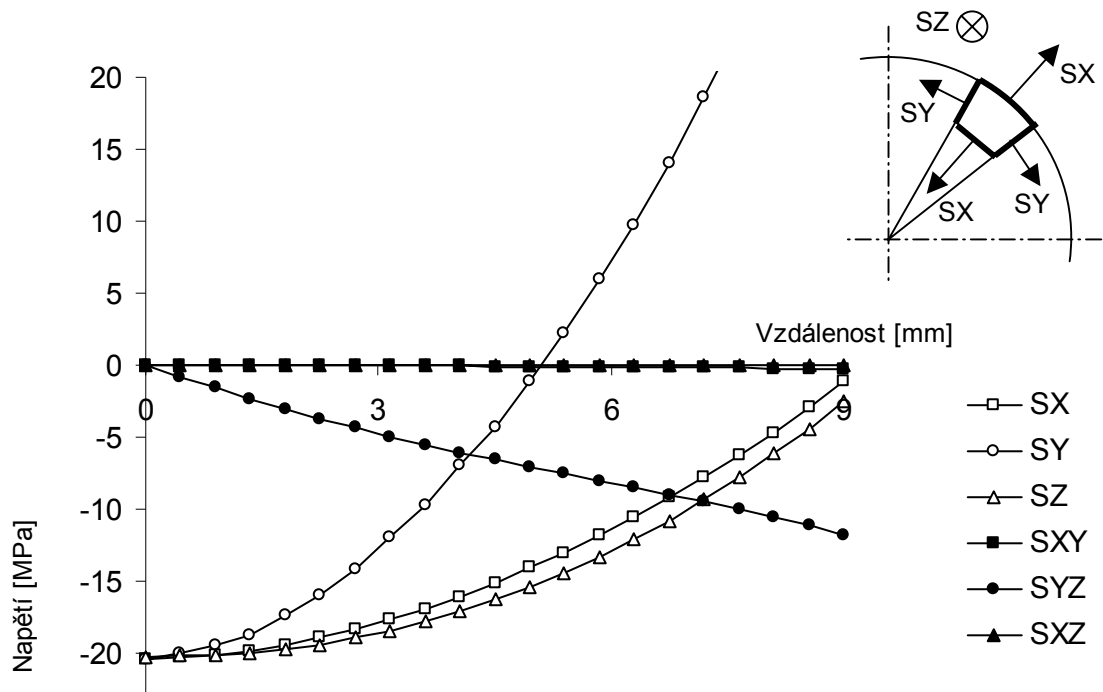


Obr.4 Závislost složek napětí na vzdálenosti od středu válce (úhel zkroucení  $1^\circ$ )

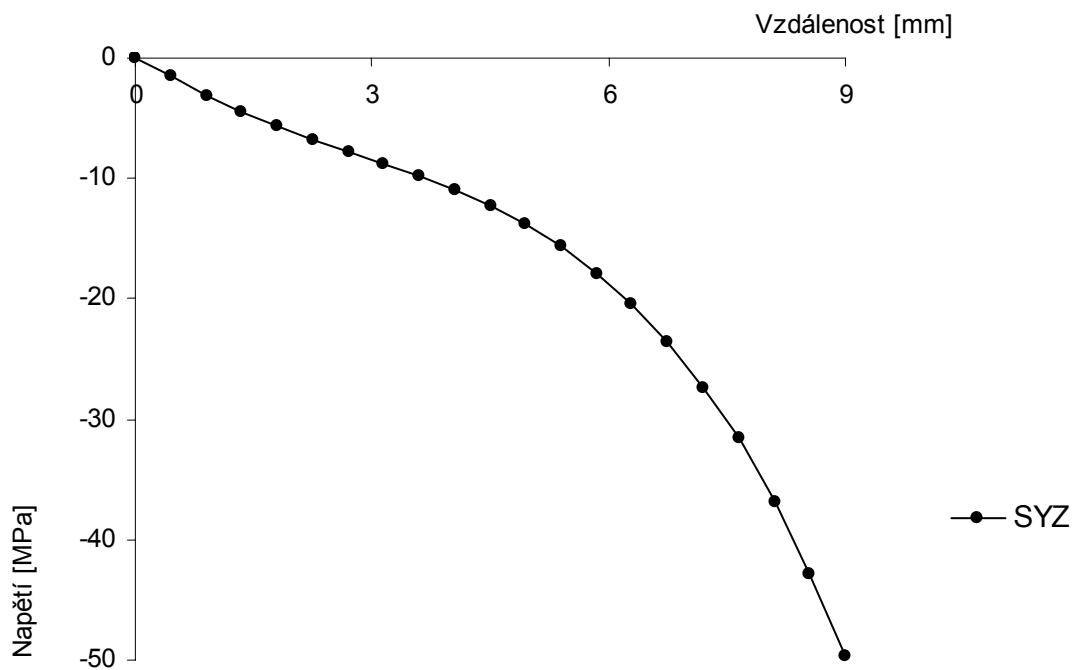
Za velkých deformací začnou být podstatné normálové složky napětí (obr.5). Na ose válce vzniká hydrostatická tlaková napjatost. Přestává platit tvrzení, že hlavní směry napětí jsou odchýleny od roviny procházející osou válce o úhel  $45^\circ$ .

Při narůstající deformaci se postupně začíná projevovat nelinearita napěťové deformační závislosti pryže. Důsledkem je nelineární průběh napětí  $S_{yz}$  po průřezu (obr.6).

Analýzou demonstrovaných napěťových poměrů lze dojít k závěru, že v tělese musí důsledkem záporného normálového napětí v axiálním směru (dále jen  $S_z$ ) dojít ke vzniku záporné reakční síly v místě aplikace zatížení, tedy na čelech válce. Válcové těleso má tedy snahu se prodlužovat.



Obr.5 Závislost složek napětí na vzdálenosti od středu válce (úhel zkroucení 360°)



Obr.6 Závislost smykového napětí Syz na vzdálenosti od středu válce (úhel zkroucení 720°)

### 3. Experiment

Pro experimentální modelování mezního stavu adheze byl použit pryžový vzorek tvaru válce s pevně navulkanizovanými ocelovými čely (obr.7). Vzorek byl podroben kroucení prostřednictvím čel až do lomu. Posuv čel byl zamezen. Lom (obr.8) nastal v adhezni ploše při úhlu zkroucení řádově stovek stupňů.

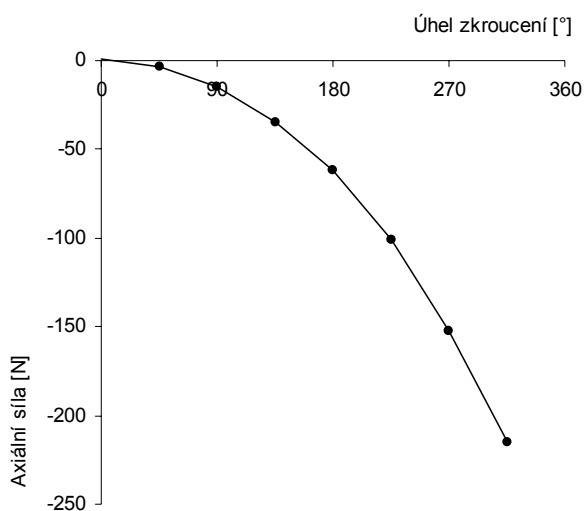


Obr.7 Experimentální těleso ( $\phi 18 \times 15.5$ )

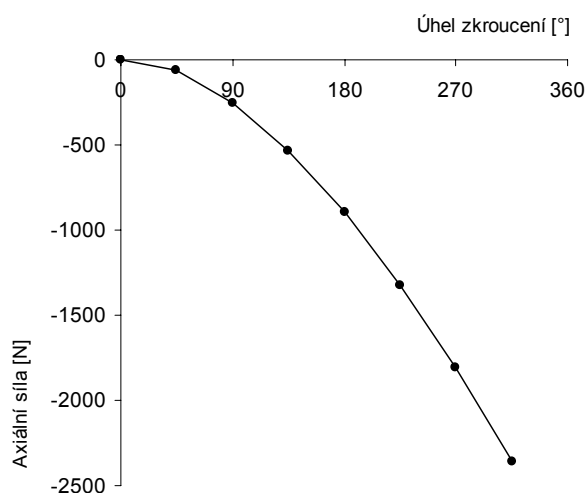


Obr.8 Lom experimentálního

Pro účely alespoň částečné verifikace výsledků výpočtového modelování byla při experimentu také měřena závislost celkové axiální síly na úhlu zkroucení čel (obr.9) a porovnána s vypočtenou charakteristikou (obr.10).



Obr.9 Experimentální charakteristika



Obr.10 Výpočtová charakteristika

Na základě obr.9 lze konstatovat, že byla experimentálně potvrzena přítomnost normálového napětí v axiálním směru ( $S_z$ ), předpovězená výpočtem. Vzhledem k použitému materiálovému modelu u výpočtového modelování nelze tyto charakteristiky srovnávat kvantitativně.

#### **4. Závěr**

Z provedené napjatostně deformační analýzy krouceného pryžového válcového tělesa plyne, že za velkých deformací není stanovení napjatosti řešitelné s využitím analytických vztahů lineární pružnosti, protože jsou podstatné i složky napětí tímto přístupem nepopsatelné (napjatost není čistě smyková).

Při takové deformaci, kdy je materiálová nelinearita podstatná, navíc nelze ze známého momentu určit extrémní smykové napětí působící na čele vzorku.

Z těchto závěrů plyne také nevhodnost využití zkoušky krutem pryže za velkých deformací jako zkoušky materiálové.

#### **Literatura**

- [1] Ogden, R. W., 1972, Large deformation isotropic elasticity – on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids, Proc. R. Soc. London, A.326, 565-584, 1972

**Práce byla vypracována v rámci Výzkumného záměru MŠMT**

**č. CEZ: 322/98:262100001**