

Stanovení mezí použitelnosti identifikovaných parametrů materiálového modelu pryže

Jan Heczko¹, Radek Kottner²

1 Úvod

Je navrženo obecné kritérium umožňující stanovit rozsah parametrů zatěžování, pro který lze identifikovanou kombinací parametrů materiálového modelu považovat za vyhovující. Motivačním případem je identifikace parametrů hyperelastického modelu na základě dat, která vykazují zbytkové deformace, poškození a hysterezi.

Předpokládá se provedení několika cyklických zkoušek v tahu a tlaku. Použité hyperelastické modely jsou:

- neo-Hookeovský

$$W = C_{10} (I_1 - 3) , \quad (1)$$

- Mooneyho-Rivlinův dvouparametrický

$$W = C_{10} (I_1 - 3) + C_{01} (I_2 - 3) , \quad (2)$$

- Ogdenův

$$W = \sum_i \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) , \quad (3)$$

kde W značí hustotu deformační energie, I_1 a I_2 jsou první dva hlavní invarianty Cauchyova-Greenova deformačního tenzoru a λ_j jsou hlavní poměrná protažení.

Cílová funkce, jejíž minimalizací jsou parametry modelů \mathbf{x} identifikovány, má tvar

$$f(\mathbf{x}) = \sum_i (F_i - F(t_i, \mathbf{x}))^2 , \quad (4)$$

kde F_i jsou změřené hodnoty síly a $F(t_i, \mathbf{x})$ jim odpovídající vypočtené hodnoty.

2 Kritérium použitelnosti

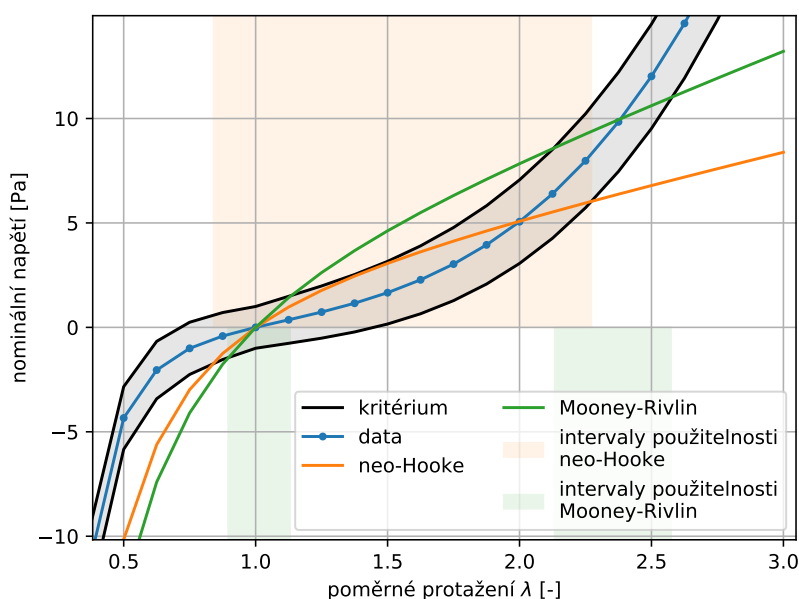
Data použitá k posouzení použitelnosti modelu a jeho parametrů, \bar{F}_j , jsou různá od dat F_i použitých při identifikaci. Půžitelnost modelu pro simulace se posoudí podle splnění kritéria

$$\bar{F}_j - \Delta F_{\min}(t_j) \leq F(t_j, \mathbf{x}) \leq \bar{F}_j + \Delta F_{\max}(t_j) , \quad (5)$$

kde ΔF_{\min} a ΔF_{\max} jsou zvolené funkce nezávisle proměnné t_j . Pro vyšetření splnění kritéria (5) v libovolném bodě $t \in \mathbb{R}$ lze funkce ΔF_{\min} a ΔF_{\max} konstruovat jako interpolaci z diskrétních hodnot t_j, F_j .

¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Mechanika, specializace Aplikovaná mechanika, e-mail: jheczko@students.zcu.cz

² Katedra mechaniky, Fakulta aplikovaných věd, e-mail: kottner@kme.zcu.cz



Obrázek 1: Tahové křivky s vyznačeným kritériem použitelnosti modelu.

Obr. 1 obsahuje příklady dvou identifikovaných modelů, použitá data, kritérium a intervaly použitelnosti jednotlivých modelů. Data jsou vygenerována pomocí Ogdenova modelu s parametry $\mu_1 = 1 \text{ Pa}$, $\alpha_1 = 0,5$, $\mu_2 = 0,3 \text{ Pa}$, $\alpha_2 = 5,0$. Kritérium poškození je definováno funkcemi

$$\Delta F_{\min}(t) = \Delta F_{\max}(t) = F^{(0)} + F' (t - t_0) \quad (6)$$

s parametry $F^{(0)} = 1 \text{ Pa}$, $F' = 1 \text{ Pa}$ a $t_0 = 1$, přičemž jako nezávisle proměnná t je v tomto příkladu bráno poměrné protažení ve směru zatěžování λ . Spojité kritérium bylo zkonstruováno jako po částech lineární interpolace s nulovými hodnotami vně experimentálních dat.

Ani jeden z uvedených modelů nevede k dobré shodě s použitými daty, neboť neobsahují člen schopný popsat nárůst síly, ke kterému v použitých datech dochází přibližně od $\lambda = 1,3$. Závěr uvedeného příkladu je, že pro identifikaci uvedených modelů je vhodné použít menší množství dat z menšího okolí $\lambda = 1$, požadovat dobrou shodu na výrazně menším intervalu a přijmout fakt, že mimo tento interval nelze použitými modely data uspokojivě popsat.

3 Závěr

Navržený způsob posuzování shody modelu s experimentálními daty poskytuje oproti samotné hodnotě cílové funkce (4) informaci o tvaru porovnávaných křivek a oblasti zatěžování, ve které lze model považovat za věrohodný. Další použití uvedeného kritéria, kromě evaluace již identifikovaných parametrů materiálových modelů, by mohlo být jeho zahrnutí do procesu identifikace. Na příklad rozšířením cílové funkce o člen, který vyjadřuje délku intervalu použitelnosti.

Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem SGS-2019-009 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.