

# Nelineární 1D materiálový model pro 3D tištěný plast namáhaný v tahu a tlaku

Tereza Vaňková<sup>1</sup>, Tomáš Kroupa<sup>2</sup>, Robert Zemčík<sup>3</sup>

## 1 Úvod

3D tisk je v současné době jedním z rychle se rozvíjejících odvětví. S růstem množství aplikací 3D tištěných komponent stoupá i potřeba simulovat jejich chování. V předkládaném příspěvku je pozornost věnována simulaci chování plastových tištěných vzorků pomocí 1D modelu, který může nalézt své uplatnění zejména pro příhradové struktury (tzv. lattice structure).

## 2 Materiálový model

Použitý elasto-plastický materiálový model s poškozením je navržen v souladu s termodynamickými principy a s využitím Helmholtzovy volné energie pro konečnoprvkovou simulaci v softwaru Abaqus. Za stavové veličiny, na kterých závisí Helmholtzova volná energie, jsou považovány elastická část deformace  $\varepsilon^E$ , ekvivalentní plastická deformace  $\bar{\varepsilon}^P$ , parametr poškození  $D$  a  $\beta$  určující míru poškození v materiálu. Model je odvozen obdobným způsobem, jako model prezentovaný v Mandys et al. (2019). Výchozím vztahem je rovnice pro Helmholtzovu volnou energii, která je zavedena ve tvaru

$$\psi = \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{1}{2} E (1 - D) (\varepsilon^E)^2 + (1 - D) \int_0^{\bar{\varepsilon}^P} \bar{R}(\bar{\varepsilon}^P) d\bar{\varepsilon}^P + \int_0^{\beta} B(b) db \right\}, \quad (1)$$

kde  $E$  je Youngův modul pružnosti,  $B(\beta)$  je funkce rozvoje poškození a  $\bar{R}(\bar{\varepsilon}^P)$  je efektivní funkce meze kluzu, která odpovídá funkci meze kluzu nepoškozeného materiálu.

Efektivní funkce meze kluzu je zavedena ve tvaru

$$\bar{R}(\bar{\varepsilon}^P) = R_K (\bar{\varepsilon}^P)^{R_n}, \quad (2)$$

kde  $R_K$  a  $R_n$  jsou materiálové parametry. Funkce rozvoje poškození je zvolena jako

$$B(\beta) = B_K (e^{B_n \beta} - 1). \quad (3)$$

Materiálovými parametry ve funkci rozvoje poškození jsou  $B_K$  a  $B_n$ . Všechny materiálové parametry použité v modelu tj.  $E$ ,  $R_K$ ,  $R_n$ ,  $B_K$ ,  $B_n$  a  $R_0$ , což je počáteční mez kluzu, mohou být různé podle toho, je-li materiál namáhan v tahu či v tlaku.

<sup>1</sup> studentka doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Aplikovaná mechanika, e-mail: vankovat@students.zcu.cz

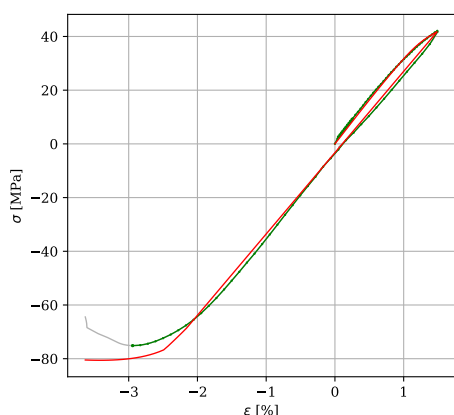
<sup>2</sup> NTIS - Nové technologie pro informační společnost, ZČU v Plzni, FAV, KME, e-mail: kroupa@kme.zcu.cz

<sup>3</sup> NTIS - Nové technologie pro informační společnost, ZČU v Plzni, FAV, KME, e-mail: zemcik@kme.zcu.cz

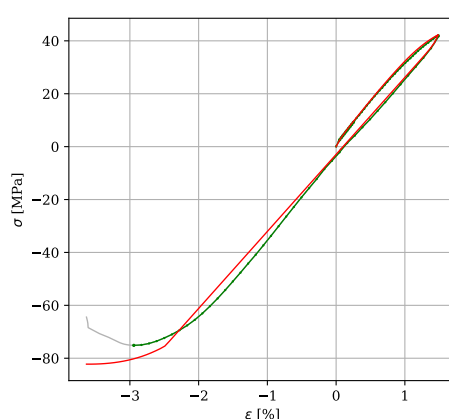
### 3 Kalibrace modelu pomocí experimentálních dat

Experimentální data jsou získána z měření na 3D tištěných vzorcích o velikosti  $210 \times 14 \times 14$  mm. Testovány jsou tři druhy namáhání (tahové, tlakové a taho-tlakové). Při taho-tlakovém namáhání je vzorek nejprve zatížen tahovou silou, která je menší než síla porušení materiálu, a následně odlehčován až přejde do tlaku. Tlakovou pevnost materiálu nelze z provedených zkoušek určit, jelikož při všech testech (tlakových i taho-tlakových) došlo k vybočení vzorku.

Při hledání materiálových parametrů, které nelze stanovit z naměřených dat, je materiálový model nakalibrován nejprve tak, aby odpovídal tahovým a tlakovým zkouškám a následně je provedena simulace taho-tlakového namáhání (viz Obr. 1). Ve snaze o zlepšení simulace je do modelu začleněn vliv viskozity (viz Obr. 2). Model s viskozitou lépe postihuje chování materiálu při tahovém namáhání a odlehčení, ale nikoli v tlaku. Aby model lépe vystihoval skutečnost i v tlaku, tak by bylo možné zavést dva různé parametry poškození. Obdobný jev je popsán a modelová pro beton v Wosatko et al. (2018).



**Obrázek 1:** Závislost napětí na deformaci při taho-tlakovém namáhání (zelená – experiment, červená – simulace)



**Obrázek 2:** Závislost napětí na deformaci při taho-tlakovém namáhání (zelená – experiment, červená – simulace s viskozitou)

### 4 Závěr

Při simulaci taho-tlakového namáhání 3D tištěného plastu se ukázalo, že navržený model dostatečně popisuje chování materiálu. Je-li požadována větší přesnost, pak je kromě začlenění viskozity do modelu zapotřebí použít dva různé parametry poškození. Pro lepší představu o chování tohoto materiálu by bylo dobré provést zkoušky na větší množství vzorků a zamezit jejich vybočení při tlaku, případně naměřit a nasimulovat několik cyklů taho-tlakového namáhání.

#### Poděkování

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

#### Literatura

- Mandys, T., Kroupa, T., Laš, V., Lobovský, L. (2019). Hyperplastic material model with damage for woven composites, *Composites Science and Technology*. Volume 183, 107790.
- Wosatko, A., Genikomsou, K., Pamin, J., Polak, M., Winnicki, A. (2018). Examination of two regularized damage-plasticity models for concrete with regard to crack closing. *Engineering Fracture Mechanics*. Volume 194, pp. 190–211.