

## POROVNÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH VÝSLEDKŮ TAHOVÝCH ZKOUŠEK POLYURETANOVÝCH MATERIÁLŮ S VÝSLEDKY FEM ANALÝZY

### COMPARISON OF EXPERIMENTAL RESULTS OF TENSILE TESTS OF POLYURETHANE MATERIALS WITH RESULTS OF FEM ANALYSES

Martin VAŠINA, Antonín POLÁŠEK, Martin JUŘIČKA, Dušan FOJTŮ<sup>1</sup>

#### *Abstrakt*

Předmětem tohoto příspěvku jsou experimentální měření řady tahových vlastností polyuretanových materiálů různých typů a tloušťek. Tato měření (dle normy ČSN EN ISO 527) byla provedena na trhacím stroji typu Tiratest 2160. Získané naměřené výsledky byly následně porovnány pomocí metody konečných prvků FEM.

**Klíčová slova:** polyuretan, napětí, deformace, metoda konečných prvků.

#### *Abstract*

Experimental measurements of tensile properties of series of polyurethane materials of different types and thicknesses are the aim of the paper. These measurements (according to the norm ČSN EN ISO 527) were performed on Instron type 1122 tensile test machine. Obtained measured results were compared with FEM analyses.

**Keywords:** polyurethane, stress, strain, finite element method.

### ÚVOD

Polyuretany mají všeobecně široké průmyslové využití. Používají se v automobilovém průmyslu, stavebnictví, letectví, k tlumení zvuku a vibrací apod. Proto je třeba znát jejich fyzikální vlastnosti. Mezi výhody polyuretanů patří nízká měrná hmotnost, tvarová pevnost (např. stlačitelnost), eliminace hluku a vibrací aj. K nevýhodám těchto materiálů patří jejich nízká mechanická odolnost vůči vnějším vlivům, časová degradace struktury u měkkých polyuretanových materiálů a poměrně vysoká cena.

Cílem této práce je experimentální stanovení některých materiálových vlastností několika druhů polyuretanových materiálů s různými tloušťkami. Tyto vlastnosti byly následně porovnány počítačovou simulací pomocí metody konečných prvků (tzn. FEM analýzy).

### METODIKA ŘEŠENÍ

Jako materiály, u kterých se experimentálně a pomocí počítačové simulace stanovily jejich materiálové vlastnosti, byly použity čtyři druhy polyuretanových materiálů. Každý druh materiálu byl vyroben ve třech různých tloušťkách. Označení, typy, tloušťky a hustoty jednotlivých materiálů jsou uvedeny v tab. 1.

<sup>1</sup> Ing. Martin VAŠINA, PhD., Ing. Antonín POLÁŠEK, CSc., Ing. Martin JUŘIČKA, Ing. Dušan FOJTŮ, ÚFMI FT Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, [vasina@ft.utb.cz](mailto:vasina@ft.utb.cz), [polasek@ft.utb.cz](mailto:polasek@ft.utb.cz), [juricka@ft.utb.czfojtu@ft.utb.cz](mailto:juricka@ft.utb.czfojtu@ft.utb.cz)

Lektoroval: prof. Ing. František ŠIMČÁK, CSc., KAMaM, SJF TU v Košiciach, [frantisek.simcak@tuke.sk](mailto:frantisek.simcak@tuke.sk)

**Označení a parametry polyuretanových materiálů** **Tabulka 1**

Označení materiálu	Typ materiálu	Měrná hmotnost [kg·m <sup>-3</sup> ]	Tloušťka [mm]
P1	N2529	25	13
P2	N2529	25	21
P3	N2529	25	28
Z1	2550	25	10
Z2	2550	25	16
Z3	2550	25	29
M1	2500	25	12
M2	2500	25	19
M3	2500	25	29
C1	CRHM	36	12
C2	CRHM	36	19
C3	CRHM	36	30

Nejprve byly experimentálním měřením stanoveny některé vlastnosti polyuretanových materiálů při tahové zkoušce. Za tímto účelem byly zhotoveny zkušební vzorky polyuretanových materiálů s celkovou délkou  $l_c = 150$  mm a šířkou  $b = 10$  mm pro zkoušku tahem podle normy ČSN EN ISO 527. Experimentální měření jednotlivých materiálů byla provedena na trhačím stroji Tiratest 2160 při okolní teplotě  $t = 22^\circ\text{C}$ . Zkušební vzorky byly upevněny mezi čelisti trhačích stroje. Počáteční vzdálenost čelistí před provedením tahových zkoušek byla  $l_0 = 115$  mm. Pro každé označení materiálu byla provedena čtyři měření. Při experimentálních měřeních se u jednotlivých materiálů vyhodnocoval modul pružnosti v tahu, mez pevnosti v tahu, tažnost, kontrakce aj. Popis a definice veličin jsou uvedeny v [1.].

Po experimentálních měřeních byla provedena počítačová simulace tahové zkoušky pomocí FEM analýzy. Principem FEM analýzy je náhrada spojitého kontinua diskretním kontinuem, tj. rozložení zkoumané konstrukce na konečné prvky. Z podmínky extrémního energetického funkcionálu dostaneme základní rovnici FEM pro statickou analýzu ve tvaru

$$[K] \cdot \{d\} = \{f\}, \quad (1)$$

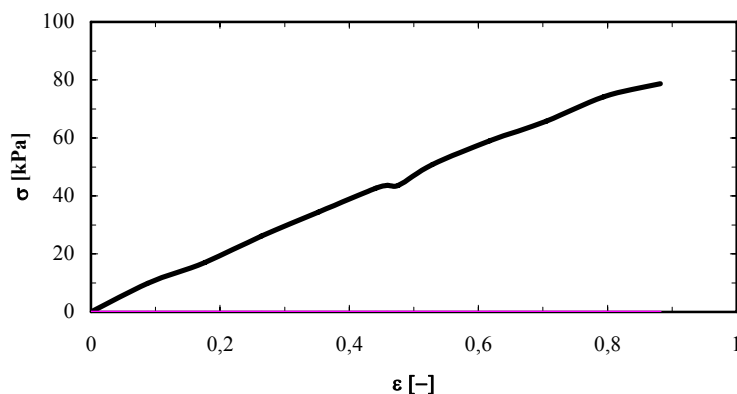
kde  $[K]$  je matice tuhosti,  $\{d\}$  vektor uzlových posunutí a  $\{f\}$  vektor výsledných vnějších sil v uzlech.

Princip numerické metody konečných prvků je uveden v publikacích [2 -6].

## POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ A POČÍTAČOVÉ SIMULACE

Na obr. 1 je znázorněn příklad experimentálně naměřené závislosti napětí na poměrné deformaci při tahové zkoušce jednoho zkušební vzorku materiálu C3. Podobným způsobem byly získány tyto závislosti pro ostatní materiály. Pro každý materiál byly použity čtyři zkušební vzorky pro tahovou zkoušku. Z experimentálně získaných závislostí napětí na poměrném prodloužení lze stanovit charakteristické materiálové hodnoty – sílu  $F$  a prodloužení vzorku  $\Delta l$  v okamžiku jeho přetržení, mez pevnosti v tahu  $\sigma_{p_t}$ , modul pružnosti v tahu  $E$ , tažnost  $\delta$  a kontrakci  $\psi$ . Průměrné hodnoty výše zmíněných veličin u jednotlivých typů polyuretanových materiálů jsou uvedeny v tab. 2. Z experimentálních měření je zřejmé, že vyšší pevnosti v tahu je dosaženo u materiálů typů Z a M. Vyšší hodnoty modulu pružnosti v tahu jsou získány u materiálů typů Z a C. Nejnižší tažnosti dosahují materiály typu C, nejvyšší materiály typu Z a M.

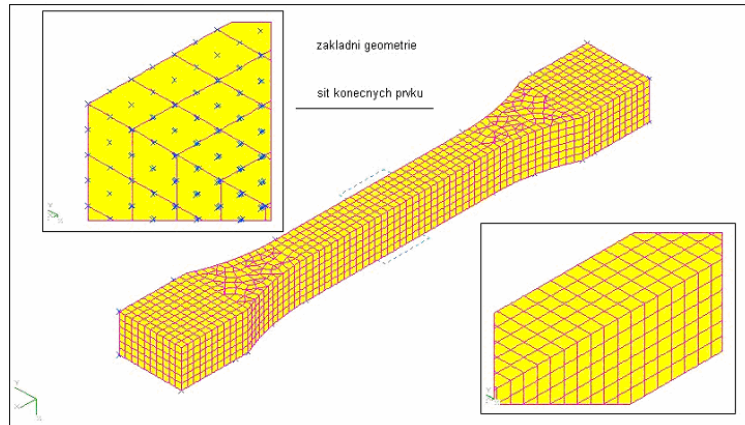
V dalším kroku byla provedena počítačová simulace vyšetřovaných polyuretanových materiálů pomocí FEM analýzy. Nejprve se v programu SAMCEF [9.] zadala základní geometrie a síť konečných prvků jednotlivých zkušebních vzorků (viz obr.2). Dále se zadaly okrajové podmínky (viz obr.3), kdy jeden konec vzorku byl pevně uchycen (tzn. posuvy  $u = v = w = 0$ ) a druhý konec vzorku se může pohybovat pouze ve směru osy x (tzn. posuvy  $v = w = 0$ ). Potom se zadalo silové zatížení v jednotlivých uzlech zkušebních vzorků. Na obr.4 je uveden příklad zadání silového zatížení v jednotlivých uzlech zkušebního vzorku materiálu C1.



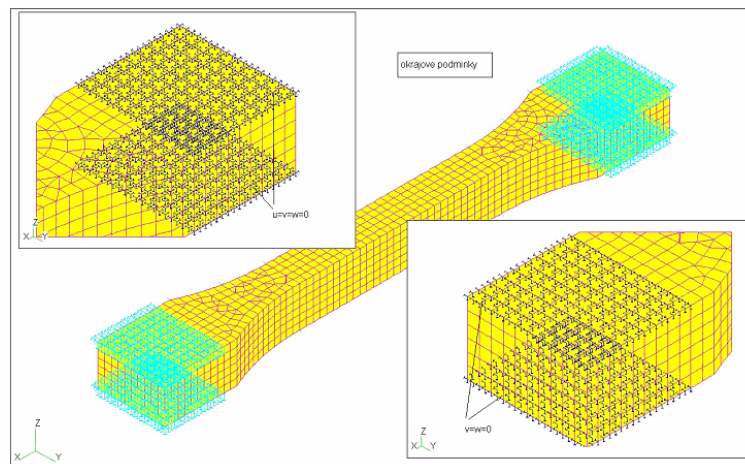
Obr.1 Diagram tahové zkoušky zkušebního vzorku polyuretanového materiálu C3

**Experimentálně stanovené materiálové hodnoty jednotlivých polyuretanů** **Tabulka 2**

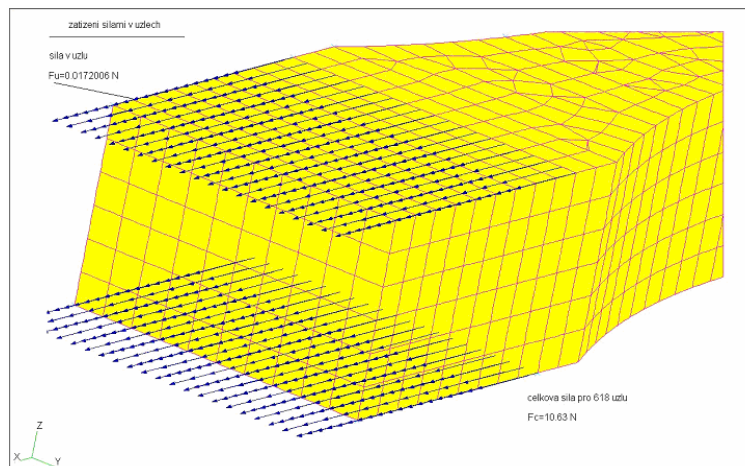
Označení materiálu	F [N]	$\sigma_{Pt}$ [kPa]	E [kPa]	$\Delta l$ [mm]	$\delta$ [%]	$\psi$ [%]
P1	8,8	67,7	82,3	126,0	1,96	2,25
P2	15,8	75,0	68,5	134,0	3,04	3,50
P3	22,3	79,5	65,1	131,6	2,83	8,00
Z1	10,2	101,8	94,8	123,6	5,65	2,25
Z2	16,8	104,7	75,3	128,4	5,65	4,25
Z3	31,3	107,8	102,5	117,1	4,78	3,00
M1	13,4	111,7	79,1	195,0	5,51	3,75
M2	21,0	110,5	73,5	163,6	5,22	3,33
M3	33,7	116,1	77,1	167,7	4,06	1,33
C1	10,6	88,5	117,1	104,5	1,30	1,50
C2	15,0	78,9	88,0	98,3	1,52	5,00
C3	24,8	81,1	88,9	106,9	1,52	5,25



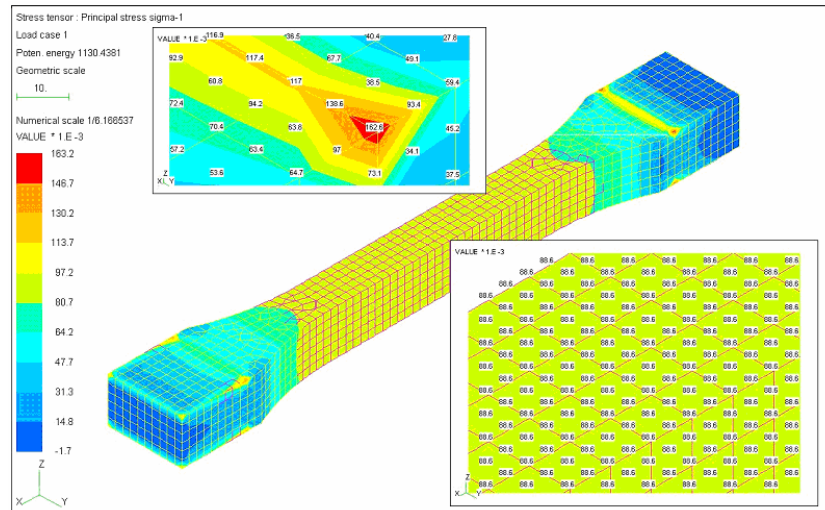
Obr.2 Základní geometrie a síť konečných prvků v programu SAMCEF



Obr.3 Zadání okrajových podmínek zkušební vzorku

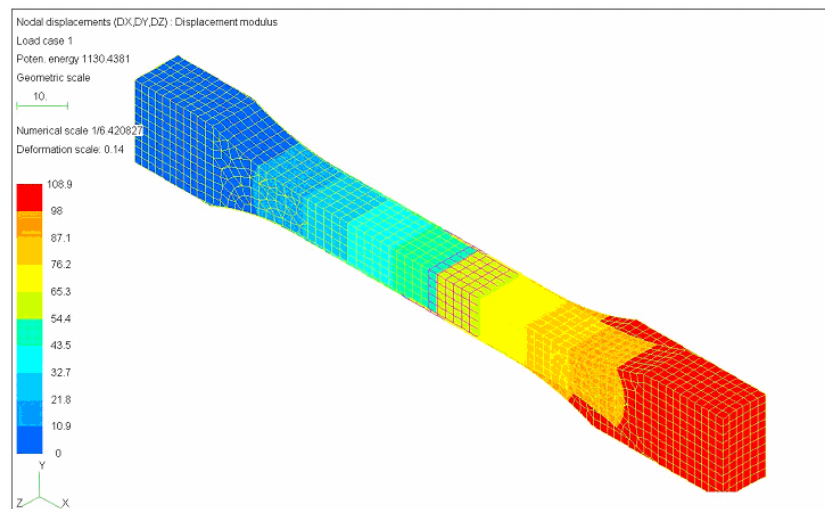


Obr.4 Zatížení silami v jednotlivých uzlech zkušební vzorku materiálu C1



Obr.5 Rozložení napětí zkušebního vzorku materiálu C1

Po zadání dalších parametrů vyšetřovaných materiálů (modul pružnosti v tahu, Poissonovo číslo aj.) byla provedena počítačová simulace pomocí FEM analýzy. Na obr.5 je znázorněno rozložení napětí ve zkušebním vzorku materiálu C1. Je zřejmé, že experimentálně stanovená mez pevnosti v tahu tohoto materiálu  $\sigma_{Pt} = 88,5$  kPa (viz tab. 2) se prakticky shoduje s napětím stanoveným počítačovou simulací ( $\sigma_{Pt} = 88,6$  kPa). Poměrně velké shody je rovněž dosaženo u tohoto materiálu při simulaci jeho prodloužení po zatížení. Prodloužení materiálu C1 stanovené FEM analýzou (viz obr.6) se blíží hodnotě prodloužení ( $\Delta l = 104,5$  mm) stanovené z tahové zkoušky. K podobným závěrům jsme dospěli též u ostatních zkoumaných materiálů.



Obr.6 Rozložení posuvů zkušebního vzorku materiálu C1

## ZÁVĚR

Předmětem této práce bylo vyšetření materiálových vlastností některých druhů polyuretanových materiálů při zkoušce tahem a jejich následné srovnání pomocí počítačové simulace metodou FEM. Je zřejmé, že výsledky získané experimentálními měřeními a počítačovou simulací se téměř shodují. K nevýhodám experimentálních měření patří především jejich časová náročnost. Proto se v dnešní době stále více uplatňuje výpočetní technika s různými simulačními programy.

Tento příspěvek vznikl na základě finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (grant VZ MSM 265200015 „Progresivní polymerní materiály a technologie“).

## LITERATURA

- [1] LENERT, J.: *Pružnost a pevnost I*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002. 142 s., ISBN 80-248-0113-2.
- [2] LENERT, J.: *Úvod do metody konečných prvků*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1999. 110 s. ISBN 80-7078-686-8.
- [3] HUEBNER, K. H., THORNTON, E. A., BYROM, T. G.: *Finite Element Method for Engineers*. 3rd ed. John Wiley and Sons Ltd.: New York, 2001. 656 s. ISBN 0-471-37078-9.
- [4] BATHE, K. J.: *Finite Element Procedures*. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 1037 s. ISBN 0-13-301458-4.
- [5] COOK, R. D., MALKUS, D. S., PLESHA, M. E., WITT, R. J.: *Concept and Application of Finite Element Analysis*. 4th ed. New York: John Wiley and Sons Ltd., 2001. 784 s. ISBN 0-471-35605-0.
- [6] SEGERLIND, J. L.: *Applied Finite Element Analysis*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons Ltd., 2004. 448 s. ISBN 0-471-80662-5.
- [7] MACURA, P.: *Experimentální metody v pružnosti a pevnosti*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001. 107 s. ISBN 80-7078-934-4.
- [8] VAŠINA, M., JUŘIČKA, M.: Mechanical-acoustic properties of polyurethanes. In *Proceedings of the International Scientific Conference on Applied Mechanics. Ostrava, 7-9 September, 2005*. Edit. by J. Zapoměl and R. Sikora. Ostrava : VŠB-Technical University, 2005, p. 369-374. ISBN 80-248-0889-7.
- [9] SAMTECH S. A.: *User Manuals, Release 11.1*. 4000 Liege – Belgium, 2006