

Experimentální Analýza Napětí 2007

TESTING OF SPECIMENS OF EXPANDED METAL SHEETS AND COMPUTATIONAL MODELLING OF THEIR MECHANICAL BEHAVIOUR

ZKOUŠKY VZORKŮ TAHOKOVU A POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ JEJICH MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Zbyšek Nový, Michal Duchek, Ján Džugan,¹ Václav Mentl,² Josef Voldřich, Bohuslav Tikal³

Abstract: Expanded metal sheets (EMS) have become a perspective material for light structures. Authors of the paper have proposed the experimental programme whose main purpose was to describe mechanical behaviour of the sheets. The computational FEM modelling of EMS and the results of tensile, compression and bending tests are compared for the expanded metal sheet 42/12x3.

Keywords: expanded metal, testing of specimens, computational FEM modelling

1. Úvod

Perspektivním materiálem pro lehké konstrukce se stává tahokov, který byl doposud užíván především jako dekorativní prvek při návrhu interiérů nebo jako součást ochranných krytů různých strojů a zařízení pro zajištění bezpečnosti práce. Spíše vyjíměčně proto byly vyšetřovány jeho mechanické vlastnosti v souvislosti s jeho užitím jako výztuže v omítkách (viz [2]) nebo v hliníkových sendvičových konstrukcích (viz [1]). Pro využití tahokovu v ocelových konstrukcích, ve kterých by byl součástí hlavních namáhaných částí, jsou však technické popisy tahokovů udávané výrobcí nedostatečné.

Proto byl autory tohoto příspěvku navržen a realizován experimentální program, jehož cílem bylo zjistit mechanické vlastnosti tahokovů především s ohledem na jejich další počítačové modelování. Pro parametry tahokovů, které jsou popsány v následujícím druhém odstavci, byly pro připravené vzorky provedeny testy namáhání v tahu, tlaku na vzpěr a v ohybu. Byly při tom respektovány tři základní směry kosočtverečných ok tahokovu. Popis a výsledky experimentů jsou uvedeny v odstavci 3.

Doposud rovněž nebyly publikovány vhodné počítačové FEM simulace namáhání a deformací tahokovu. Zde je ovšem nutné rozlišovat dvě různé situace. První je charakteristická tím, že je potřebné postihnout geometrickou strukturu tahokovu a jeho ok. To je nezbytné v případě, kdy některý charakteristický rozměr konstrukce obsahuje jen několik uvedených ok nebo kdy se jedná o posouzení nějakého konstrukčního detailu (např. spoje částí konstrukce). Jiná situace nastává, když všechny charakteristické rozměry konstrukce obsahují velký počet ok tahokovu, který je pak možné modelovat jako plný plech z fiktivního

¹ Dr. Ing. Zbyšek Nový, Ing. Michal Duchek, Ing. Ján Džugan, Ph.D., Comtes FHT s.r.o., Lobežská E981, 326 00 Plzeň, e-mails: znovy@comtesfht.cz, mduchek@comtesfht.cz, jdzugan@comtesfht.cz

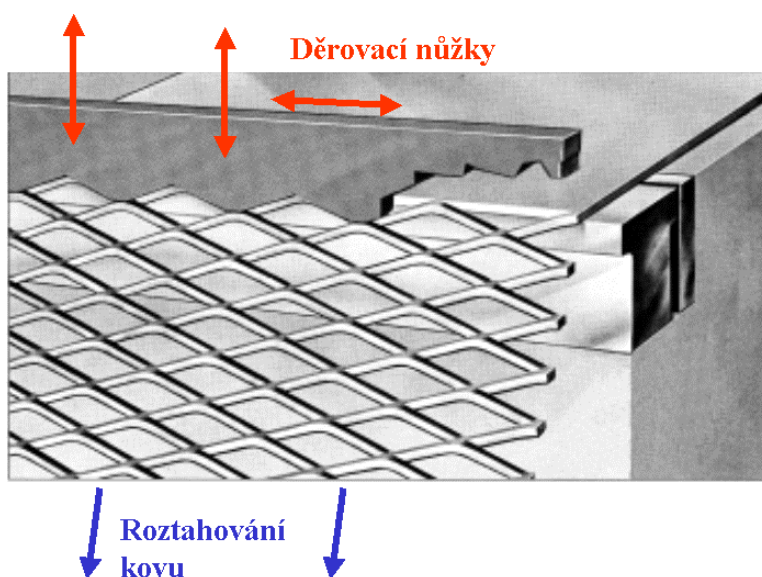
² Ing. Václav Mentl, CSc., ŠKODA Výzkum s.r.o., Tylova 57, 316 00 Plzeň, e-mail: vaclav.mentl@skoda.cz

³ RNDr. Josef Voldřich, CSc., Ing. Bohuslav Tikal, CSc., ZČU v Plzni, výzkumné centrum NTC, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, tel.: +420 377 632 801, e-mails: voldrich@ntc.zcu.cz, tikal@ntc.zcu.cz

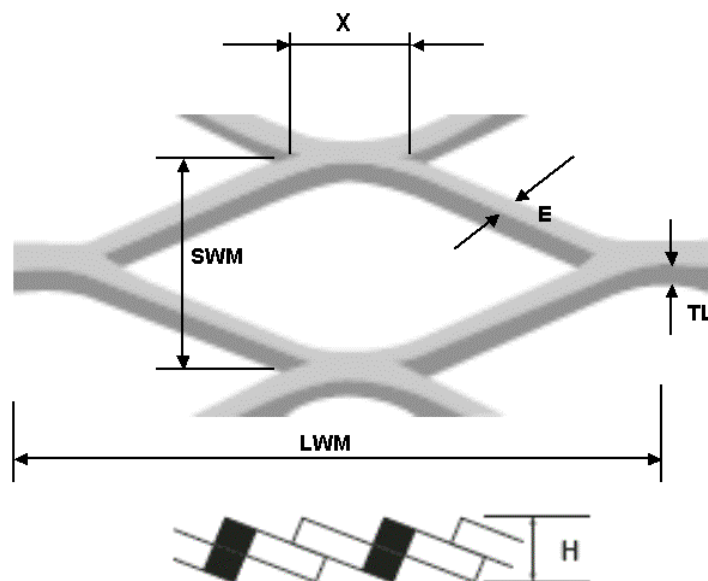
anizotropního materiálu a snížit tak časovou náročnost výpočtů. Úsilí autorů příspěvku bylo zaměřeno na první situaci (viz např. [5]). Pro tahokov 42/12x3 je v odstavci 4 provedeno porovnání výsledků numerických FEM simulací s výsledky popsanych experimentů.

2. Geometrické parametry tahokovů

Výroba tahokovu ze svitku plechu je znázorněna na obr. 1. Mezi hlavní geometrické parametry tahokovu, které charakterizují síť jeho kosočtverečných ok, náleží délka ok LWM, šířka ok SWM, šířka pásu E, tloušťka původního plechu TL a dále rozměry X a H z obr. 2. První čtyři parametry jsou zpravidla uváděny výrobcí nebo jsou předepsány normou [3]. Rozměry X a H se neuvádějí, přičemž především délku X nedostřížené části bývá obtížné stanovit, neboť je na každém ze dvou povrchů původního plechu odlišná.



Obr. 1. Výroba tahokovu ze svitku plechu



Obr. 2. Základní geometrické parametry tahokovu

3. Výsledky experimentů

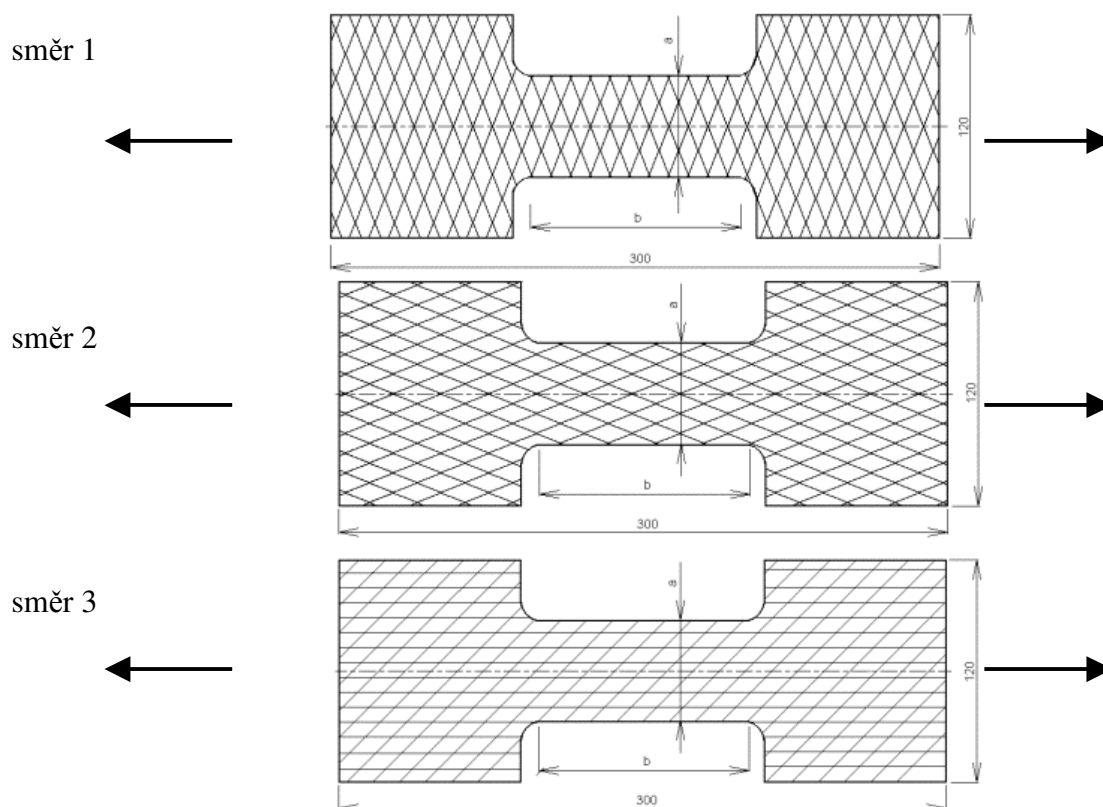
Testy tahokovů s parametry uvedenými v tab. 1 byly provedeny pro namáhání v tahu, tlaku na vzpěr a v ohybu. Rovněž byly provedeny tahové zkoušky ocelových plechů, ze kterých byly tahokovy vyrobeny. Již tyto plechy polotovarů vykazovaly poněkud anizotropní vlastnosti, průměrné hodnoty Youngova modulu pružnosti byly zjištěny 190000 MPa a 170000 MPa pro jejich příčný a podélný směr. Pro mez kluzu $R_{p0,1}$ byla zjištěna hodnota 330 MPa.

Tahokov	LWM [mm]	SWM [mm]	E [mm]	TL [mm]	X [mm]	H [mm]
22/12x2	22	12	2	1,5	3	3,2
22/12x3	22	12	3	2	4	4,3
42/12x2	42	12	2	1,5	8	3,1
42/12x3	42	12	3	2	9	5,6
47/13x5	47	13	5	2	16	7,4

Tab.1. Základní geometrické parametry zkoušených tahokovů

3.1 Zkoušky v tahu

Zkoušky v tahu byly provedeny pro vzorky o velikosti 300 mm x 120 mm a pro tři základní směry orientace kosočtverečných ok tahokovů, jak je znázorněno na obr. 3. Počty ok, které byly obsaženy v zeslabených částech vzorků, jsou uvedeny v tab. 2 (a značí jejich příčný směr, b podélný směr).

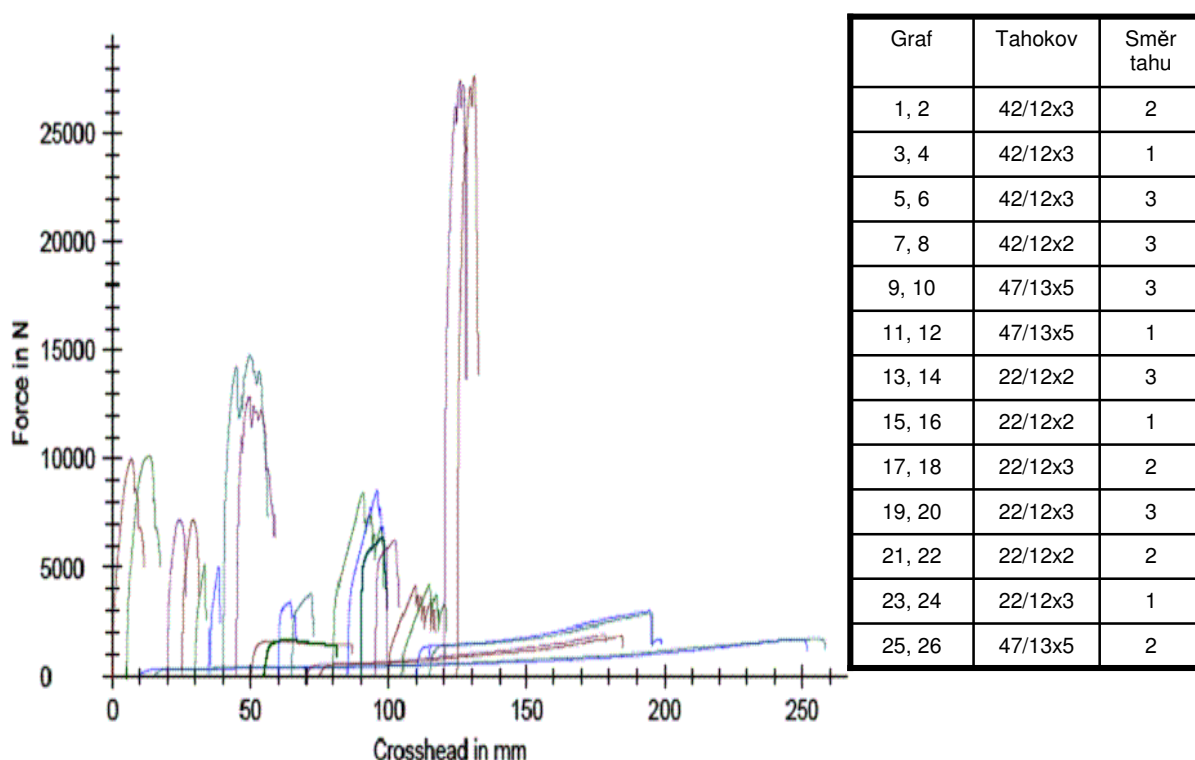


Obr. 3. Schéma vzorků pro zkoušky v tahu pro tři základní směry orientace ok

Tahokov	Počty ok					
	směr 1		směr 2		směr 3	
	a	b	a	b	a	b
22/12x2,3	2	7	3	4	3	7
42/12x2,3	1	7	3	2	3	3
47/13x5	1	8	4	2	3	3

Tab. 2. Počty ok zkoušených vzorků

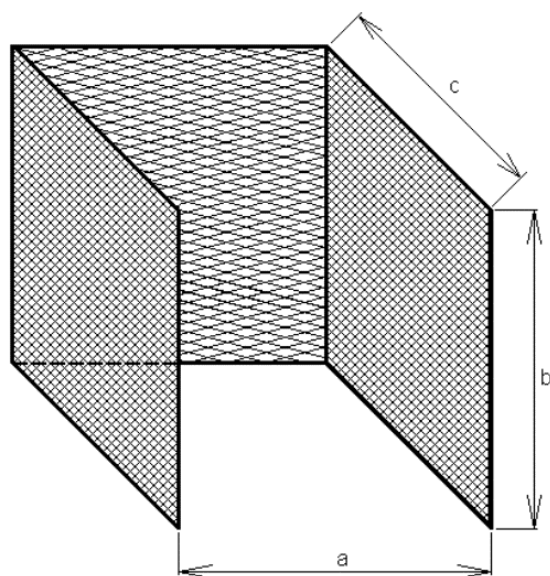
Výsledky zkoušek jsou vyneseny na obr. 4. Jsou vyjádřeny ve formě grafů *prodloužení vzorku [mm] – tažná síla [N]*. K obrázku je připojena tabulka s pořadím zkoušených tahokovů.



Obr. 4. Výsledky tahových zkoušek

3.2 Zkoušky v tlaku na vzpěr

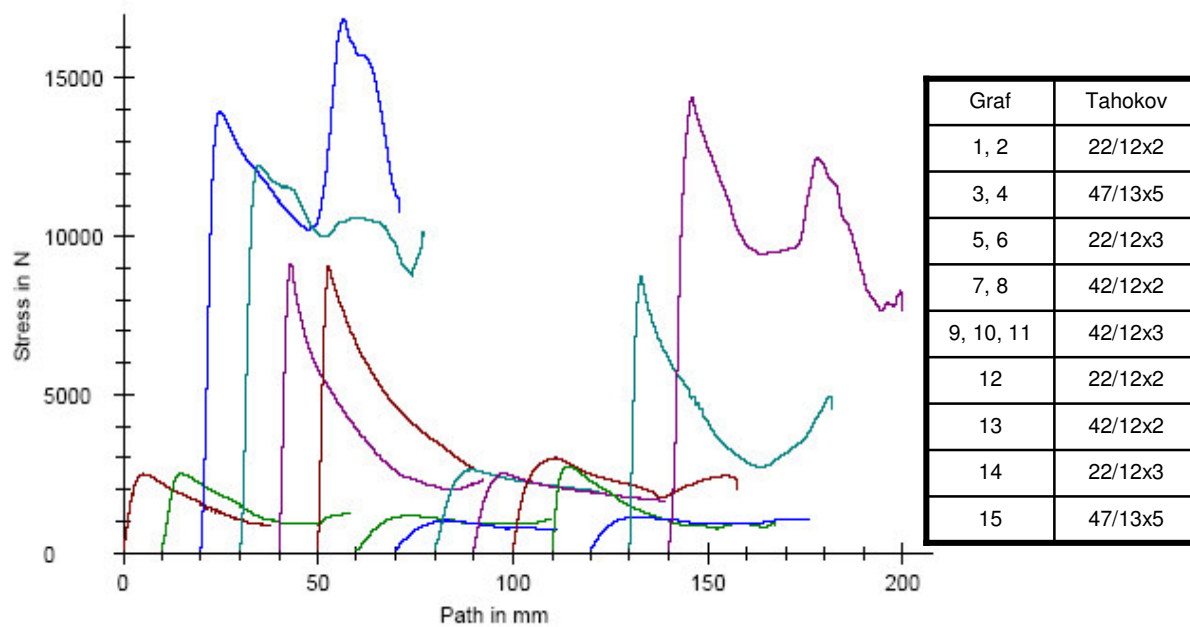
Pro zkoušky tahokovů v tlaku byly připraveny vzorky, jejichž schéma je znázorněno na obr. 5 (síla působí ve směru rozměru b) a jejichž počty ok jsou uvedeny v tab. 3. Vzorky byly připraveny pro namáhání ve směru 1 ok. Výsledné průběhy *stlačení vzorku [mm] – síla tlaku [N]* jsou uvedeny na obr. 6.



Obr. 5. Schéma vzorků pro zkoušky v tlaku

Tahokov	Počty ok		
	a	b	c
22/12x2	5	10	5
42/12x2	3	10	3
42/12x3	3	10	3
47/13x5	3	11	3

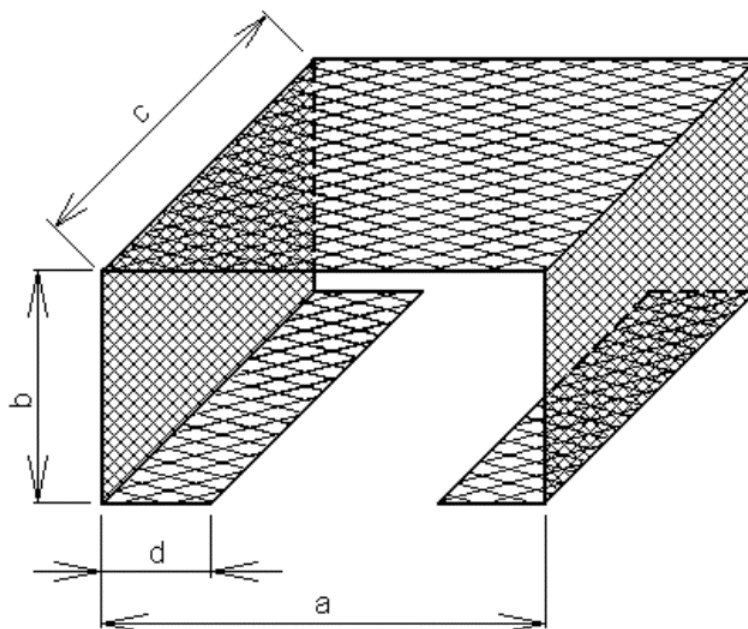
Tab. 3. Počty ok vzorků zkoušených tlakem



Obr. 6. Výsledky zkoušek v tlaku

3.3 Zkoušky tahokovů v 3b ohybu

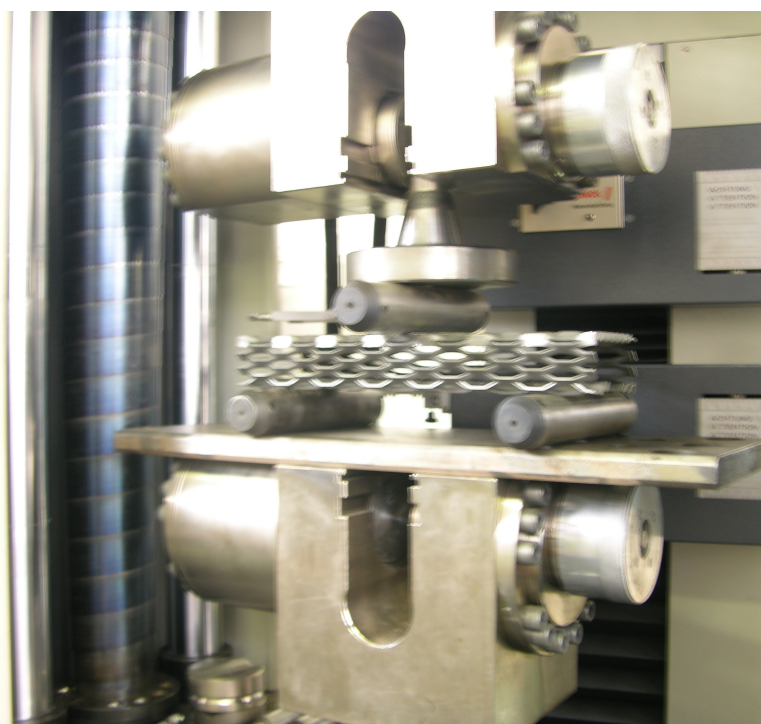
Pro zkoušky v 3b ohybu byly připraveny vzorky, jejichž schéma je znázorněno na obr. 7. Příslušné počty ok pak udává tab. 4. Uspořádání zkoušek je patrné z obr. 8, přičemž vzorky byly připraveny pro namáhání ve směru 1 ok (delší úhlopříčky ok jsou kolmé na rozměr c) a ve směru 2 (delší úhlopříčky ok jsou rovnoběžné s rozměrem c). Výsledné průběhy deformace vzorku [mm] – síla tlaku [N] jsou uvedeny na obr. 9.



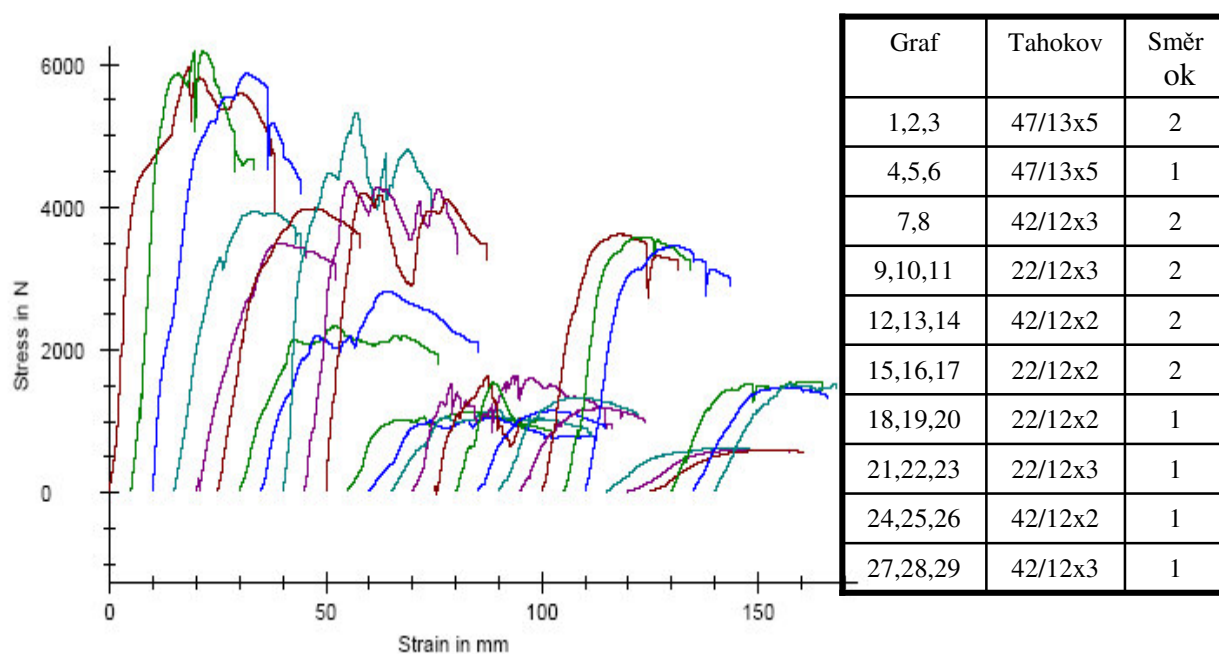
Obr. 7. Schéma vzorků pro zkoušky v 3b ohybu

Tahokov	a	b	c	d
	Směr 1			
22/12x2,3	6	2	25	2
42/12x2	3	1	28	1
42/12x3	3	1	28	1
47/13x5	3	1	28	1
	Směr 2			
22/12x2,3	9	3	11	3
42/12x2	9	3	6	3
42/12x3	9	3	6	3
47/13x5	6	2	7	2

Tab. 4. Počty ok vzorků zkoušených v 3b ohybu



Obr. 8. Uspořádání zkoušky v 3b ohybu (vzorek na obrázku je připraven z tahokovu 47/13x5 pro směr značený jako 2).

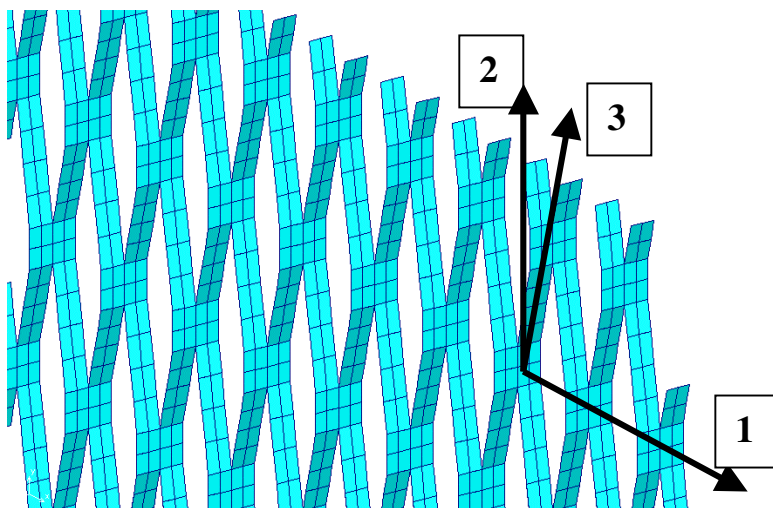


Obr. 9. Výsledky zkoušek v 3b ohybu

4. Výsledky výpočetních simulací tahokovu 42/12x3 a jejich porovnání s výsledky experimentů

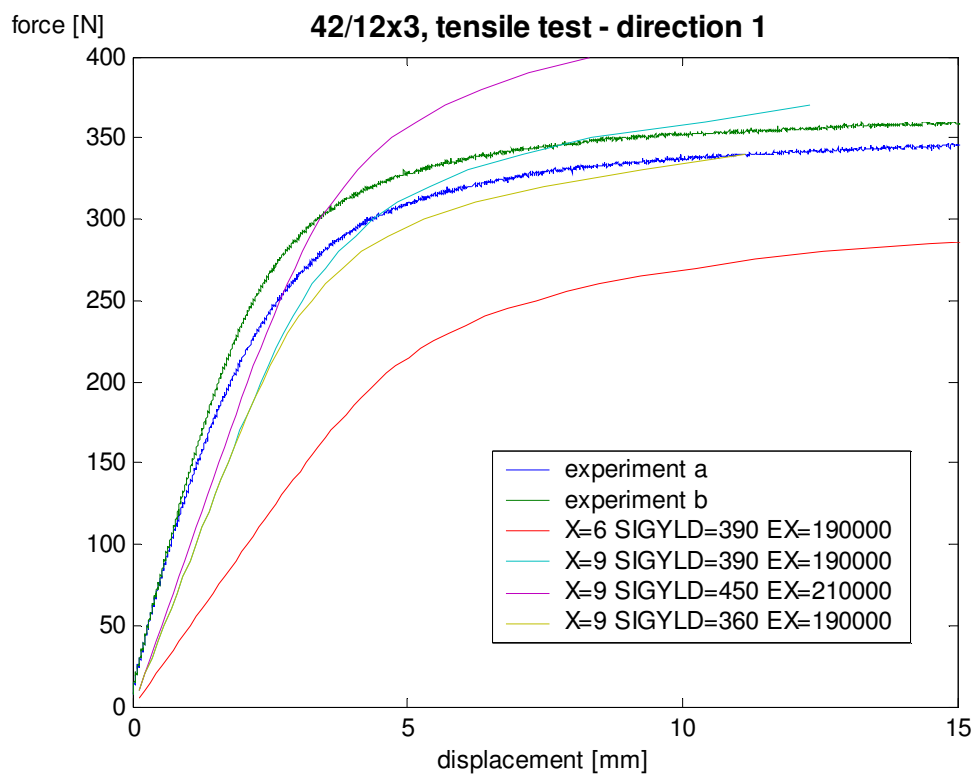
Z hlediska posouzení únosnosti konstrukcí je nejdůležitější postihnout mezní zatížení, které je počátkem vzniku progresivních deformací. Počítačové simulace hodnotí proto pouze chování vzorků při zatíženích, které jsou relevantní z pohledu konstrukčního návrhu. Chování vzorků před okamžikem jejich přetržení nebo při velikých deformacích již hodnoceno není. Výsledky počítačových simulací proto budou porovnávány jen s částmi grafů získaných popsány zkouškami. Hodnocen je pouze tahokov 42/12x3.

Výpočetní simulace namáhání tahokovu jsou provedeny metodou konečných prvků tak, že je postihnuta 3D geometrie jednotlivých kosočtverečných ok. Z hlediska diskretizace tahokovu konečnými prvky byl zpočátku zkoušen přístup modelování jeho geometrie nosníkovými prvky patřičných průřezů. Jako lepší varianta se však ukázalo pracovat se skořepinovými prvky, jejichž tloušťka odpovídá tloušťce TL původního plechu. Případné modelování objemovými prvky je totiž nereálné, protože postihnout správně ohybovou tuhost jednotlivých "žeber" kosočtverečných ok by si vyžádalo příliš jemnou síť a vedlo by na příliš rozsáhlou úlohu. Příklad dostatečné diskretizace uvažovaného tahokovu 42/12x3 je zázorněn na obr. 10 (rozměr LWM z tab. 1 je postihnut 16 prvky, rozměr E pak 2 prvky). Jemnější dělení již neposkytuje poznatelně přesnější řešení.

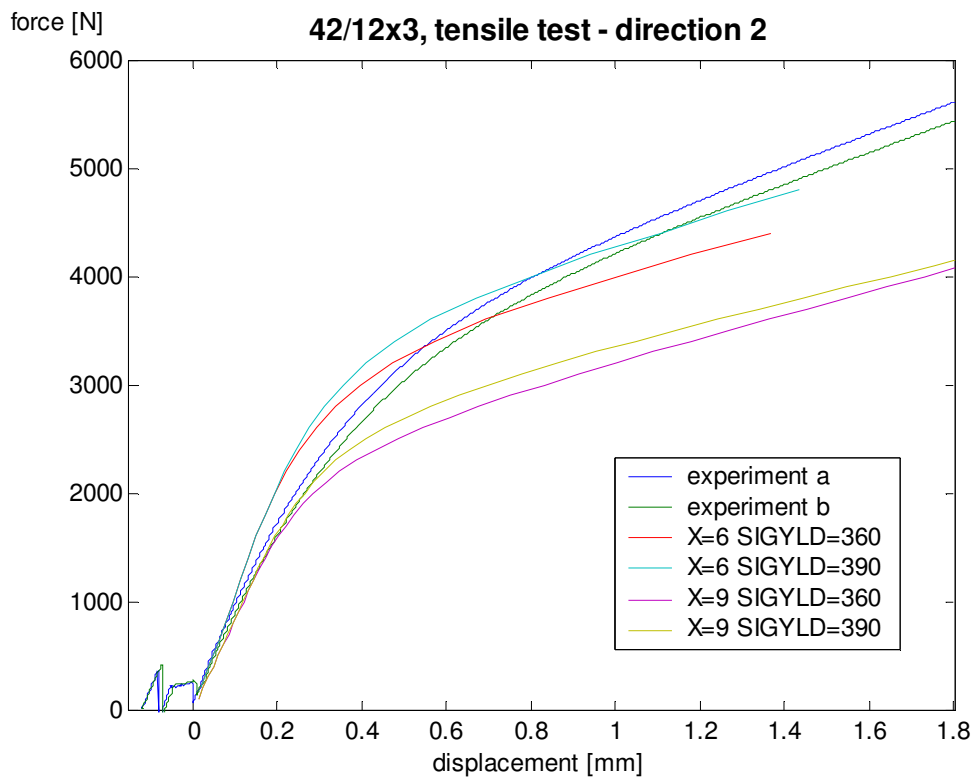


Obr. 10. Diskretizace tahokovu 42/12x3 skořepinovými konečnými prvky s vyznačenými směry namáhání (všechny směry leží v rovině tahokovu)

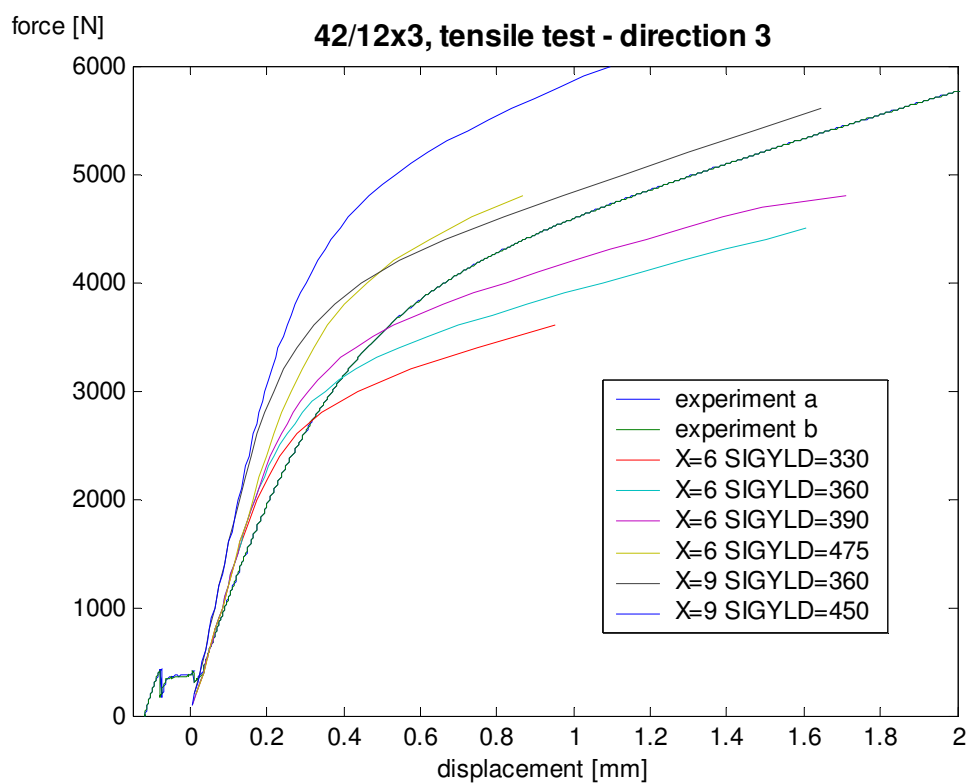
Jak již bylo zmíněno v odstavci 2, poněkud problematické je stanovení rozměru X nedostřižené části ok. Základní volbou je hodnota $X=6\text{mm}$, pro porovnání jsou některé výpočty provedeny ještě pro $X=9\text{mm}$. Jako materiálový model byla v počítačových simulacích uvažována pružně plastická deformační odezva materiálu s bilineární tahovou křivkou. Hodnota modulu pružnosti byla 190000 MPa (pokud není dále uvedeno jinak). Vzhledem k technologii výroby tahokovu se však ukazuje, že dochází k deformačnímu zpevnění použitého materiálu a že hodnota meze kluzu (značíme dále SIGYLD) 330 MPa původního plechu je již v popsaném modelu nevyhovující. Výsledky výpočtů jsou znázorněny na obrázcích 11 až 16, kde jsou zároveň porovnány s experimenty. Celkové hodnocení je provedeno v závěrečném odstavci 5.



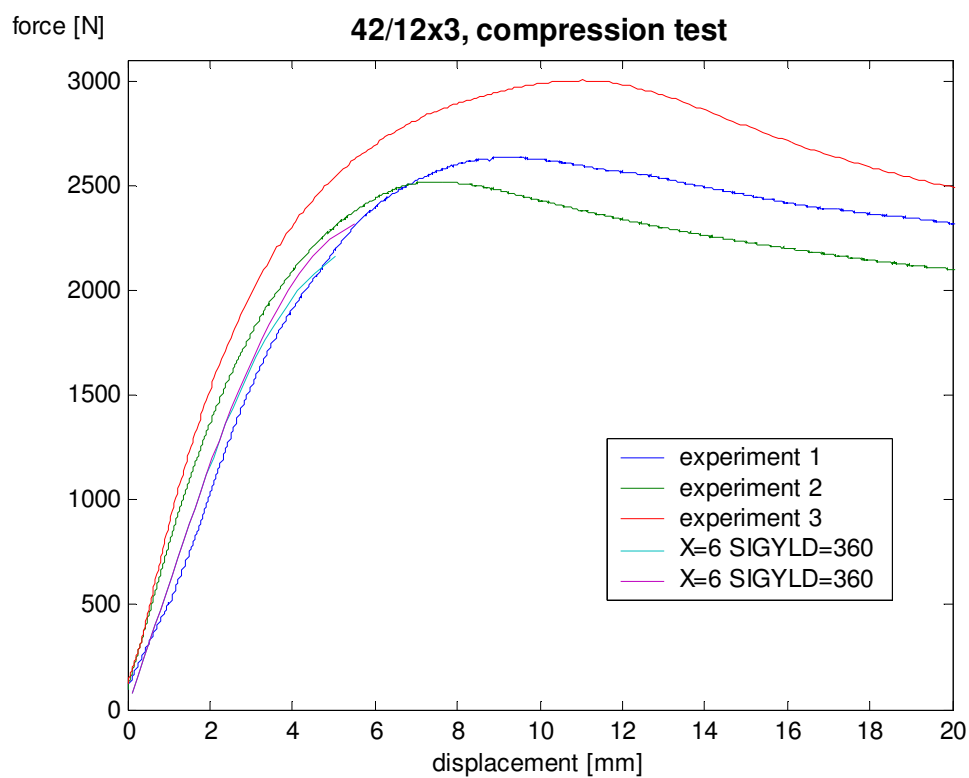
Obr. 11. Porovnání výsledků zkoušky v tahu a výpočetních simulací pro tahokov 42/12x3, směr 1



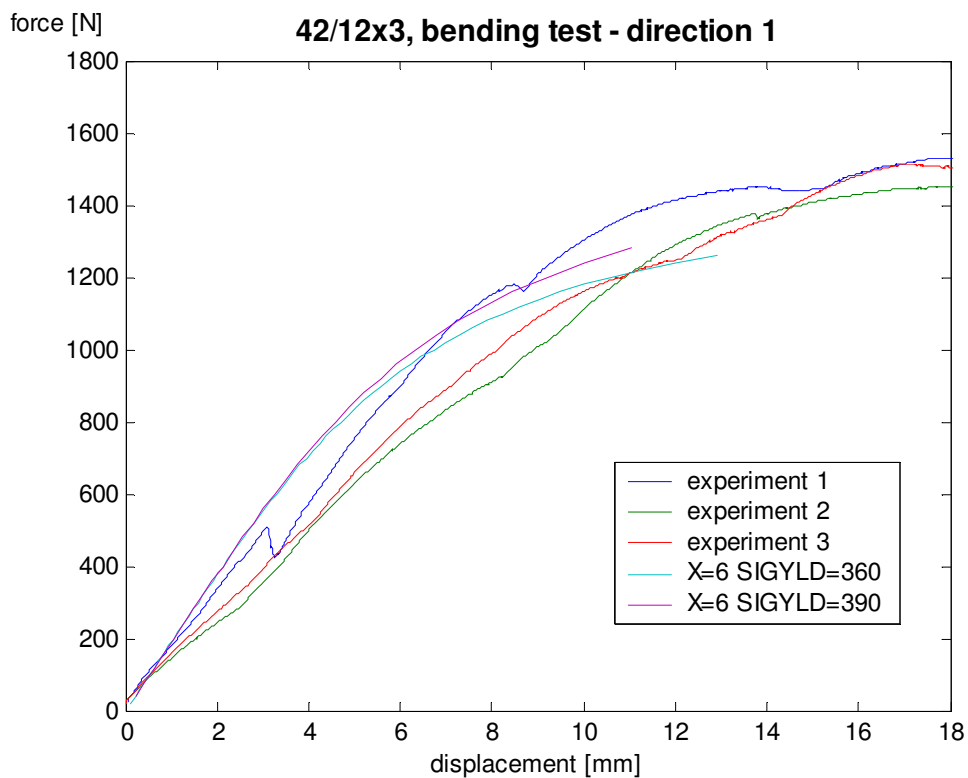
Obr. 12. Porovnání výsledků zkoušky v tahu a výpočetních simulací pro tahokov 42/12x3, směr 2



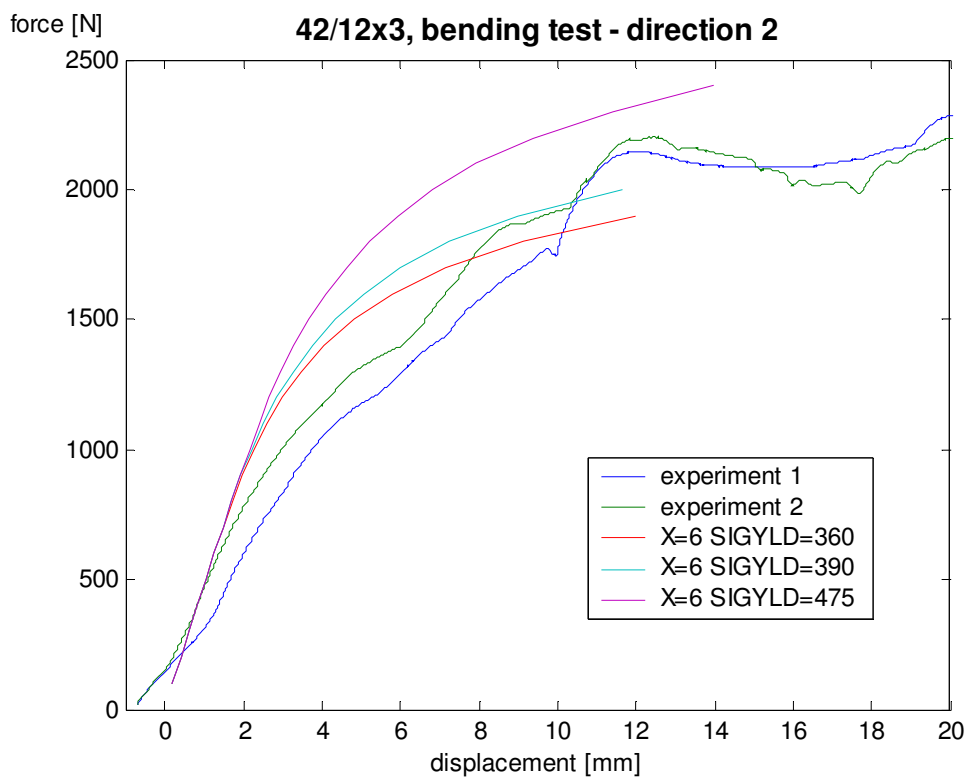
Obr. 13. Porovnání výsledků zkoušky v tahu a výpočetních simulací pro tahokov 42/12x3, směr 3



Obr. 14. Porovnání výsledků zkoušky v tlaku a výpočetních simulací pro tahokov 42/12x3



Obr. 15. Porovnání výsledků zkoušky v 3b ohybu a výpočetních simulací pro tahokov 42/12x3, směr 1



Obr. 16. Porovnání výsledků zkoušky v 3b ohybu a výpočetních simulací pro tahokov 42/12x3, směr 2

5. Závěr

Výsledky zkoušek namáhání vzorků tahokovů jsou uvedeny v odstavci 3. Ukazuje se, že únosnost tahokovů při čistém tahu ve směru 1 kratších úhlopříček jejich kosočtverečných ok je řádově nižší, než únosnost ve směrech 2 a 3. Výsledky počítačových FEM simulací pro tahokov 42/12x3 jsou s výsledky experimentů porovnány v kapitole 4. Hlavními porovnávacími kritérii jsou hodnoty namáhání, při kterých začínají progresivní deformace, a dále tuhosti vzorků v první fázi jejich zatěžování. Výpočty prokazují, že během technologie výroby dochází k deformačnímu zpevnění materiálu původního plechu. Jako nejvhodnější pro tahokov 42/12x3 se ukazuje volba rozměru $X=6$ mm a meze kluzu 360 MPa (tj. cca 10% navýšení meze kluzu původního plechu). Při této volbě dochází k větší odchylce výsledků pouze pro čistý tah ve směru 1, který je ovšem směrem technologického roztahování kovu při výrobě. Výsledky výpočtů jsou pak pro tuto zkoušku velmi konzervativní.

Poděkování: Příspěvek byl podpořen projektem GAČR 101/06/1343 Grantové agentury České republiky.

Literatura

- [1] Kooistra, G.W., Wadley, H.N.G.: Lattice truss structures from expanded metal sheet, *Materials and Design* **28** (2007), 507-514.
- [2] Oliveira, J.T., Barros, J.O., Lourenco, P.B., Pinho, A.M.: Uniaxial testing of expanded metal sheet, Report 02-DEC/E-11, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, September 2002. Clark, J.A.: *Basic Knowledge*. Elsevier, Amsterdam, 1986.
- [3] *Standards for Expanded Metal, EMMA 557-99*, Expanded Metal manufacturers Association Division of NAMM (National Association of Architectural Metal Manufacturers), 1999.
- [4] *Test reports of expanded metal tests*. ŠKODA Výzkum s.r.o., Plzeň, 2006.
- [5] Voldřich, J.: *Počítačové modelování deformačních a napěťových odezev tahokovu*. Výzkumná zpráva NTC06-03/07, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2007.