

Recenzované výzkumné články

Numerická simulace tlakového zatížení tahokovů

Numerical Simulation of Pressure Loads of Expanded Metals

Mgr. Marek Vindyš; Ing. Ladislav Kander, PhD.

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o., Pohraniční 693/31, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká Republika

V článku je popsáno využití numerické simulace při zhodnocení vlivu tlakových podmínek v sušárnách dřeva na jednotlivé typy tahokovů, jakožto prokladového materiálu. Práce byly součástí společného projektu „Vývoj tahokovů pro optimalizaci technologie vysušování“ realizovaného v rámci programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost – Aplikace se společností Technotron-Metal s.r.o. a výzkumnou organizací MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM s.r.o. Článek prezentuje výsledky první etapy řešení projektu, kdy byla pozornost věnována numerické simulaci pro ověření vhodnosti jednotlivých typů tahokovů z pohledu jejich deformačních charakteristik. Numerická simulace kvalitativně reflektuje hodnoty z tlakových zkoušek provedených v laboratoři únavových a křehkolomových vlastností řešitelského pracoviště. V současné době probíhají experimenty zaměřené na dlouhodobou rozměrovou a strukturní stabilitu.

Klíčová slova: numerická simulace; metoda konečných prvků; tahokov; tlaková zkouška

The paper deals with the use of numerical simulation in the assessment of the influence of pressure conditions in wood driers on individual types of expanded metals as a transfer material, which was investigated within the framework of the project "Development of expanded metals for the Optimization of Drying Technology", which was implemented as part of a joint project under the Enterprise and Innovation Program for Competitiveness - Application with the company Technotron-Metal Ltd. and with research organization MATERIAL AND METALURGICAL RESEARCH Ltd. In the first stage of the project solution, attention was paid to numerical simulation for verifying the suitability of individual types of expanded metals in terms of their deformation characteristics. Numerical simulations by the method of the final pressure load elements of the expanded metals were made using software Forge version NxT 2.1 of the French company Transvalor. The aim of the simulations was to evaluate expanded metals in terms of their ability to withstand the perpendicular pressure developed by two horizontally positioned absolute rigid plates, which approximated the actual load of the expanded metals in the large-capacity wood driers. A total of 9 numerical simulations were performed in this way with different types of expanded metals. The numerical simulations were experimentally verified by the instrumented pressure tests where both load and axial strain were measured during the test. The numerical simulation qualitatively reflects the values from the pressure tests carried out in the laboratory of fatigue and fractal properties in MMV Ltd. The performed numerical simulations showed a very good agreement with experimental results. Experiments are currently under way on long-term dimensional and structural stability.

Key words: numerical simulation; finite element method; expanded metal; pressure test

Tahokov je mřížovina vyrobená bezodpadovou technologií tak, že se vždy do tabule kovového plechu (hliník, ocel) prosekne pomocí speciálních nástrojů řada otvorů a po zvednutí nožů se celý plech natáhne. V dalším kroku se nástroje posunou o předem definovaný úhel a celý proces se opakuje. Projekt je zaměřen zejména na optimalizaci výchozího rozměru (tloušťky) vstupních polotovárů a tvaru proseknutého tahokovu z pohledu dosažení optimálních materiálových vlastností v podmínkách dlouhodobého užívání v průmyslovém velkokapacitním sušení dřeva, kdy v jednotlivých sušících cyklech je kovový materiál vystaven jak mechanickému namáhání

v podobě tlaku sušeného dřeva, tak teplotním cyklům v rozsahu -20 °C až +60 °C.

V současné době se v procesu sušení dřeva používají dvě technologie. Prvním způsobem je řezání za sucha, kdy se do sušících pecí vkládají hrubé desky, které jsou naskládány na sebe a jednotlivé vrstvy jsou od sebe navzájem odděleny hliníkovými překlady. Po vysušení jsou desky naděleny na lamely o tloušťce cca 5 mm, které jsou dále zpracovávány. Takto je možné sušit všechny druhy dřeva od nejvyšší jakosti, bez suků, až po dřevo s nejnižší jakostí, obsahující značný podíl suků. Délka procesu trvá cca 40 dnů.

Druhým způsobem je řezání za mokra, kdy je nevysušené dřevo naděleno na lamely, které jsou následně na sebe naskládány a proloženy Al překlady. Tento proces je vhodnější pro vyšší jakosti dřeva a trvá přibližně 4 až 6 dnů. U dřeva nižší jakosti při tomto zpracování dochází k vypadávání suků a obecně vyšší zmetkovitosti.

Výhodou použití tahokovů, a to zejména v druhém případě, je velký počet podpěrných bodů, díky kterým nedochází k vypadávání suků, deformacím lamel (kroucení, prohýbaní) či praskání dřeva. Tímto způsobem lze i celý technologický proces sušení významně urychlit a zkrátit jej v případě řezání za sucha rovněž přibližně na 4 – 6 dnů.

Neznámou je v tomto procesu dlouhodobá trvanlivost a životnost tahokovu v prostředí velkokapacitní sušárny, kdy jsou jednotlivá plata tahokovu vystavována teplotně-deformačním cyklům, které by mohly způsobit jejich rozměrové změny, a tedy ztrátu kontaktů v dotykových bodech.

V první etapě řešení projektu byla pozornost věnována numerické simulaci pro ověření vhodnosti jednotlivých typů tahokovů z pohledu jejich deformačních charakteristik. Výstupy tohoto příspěvku jsou nyní ověřovány experimentálně tepelně-deformačními cykly.

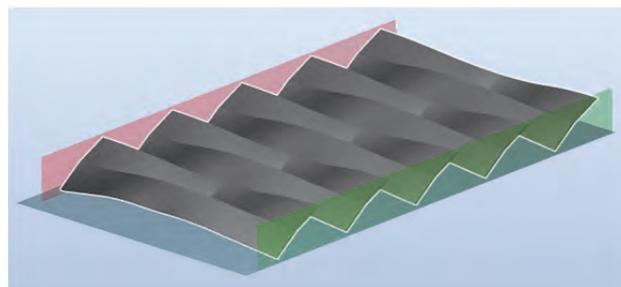
1. Popis numerické simulace

V rámci projektu „Vývoj tahokovů pro optimalizaci technologie vysušování dřeva“ byly vypracovány numerické simulace tlakového zatížení tahokovů pomocí metody konečných prvků v programu Forge verze NxT 2.1. Cílem simulací bylo vyhodnotit jednotlivé tahokovy po stránce schopnosti odolávat kolmému tlaku vytvořenému pomocí dvou horizontálně umístěných, absolutně tuhých desek (obr. 1), které aproximují skutečné zatížení tahokovů ve velkokapacitních sušárnách dřeva.

Problém byl řešen ve 3D s použitím 2 rovin symetrie umístěných pouze ve směru, ve kterém se jednotlivá oka symetricky opakují. V druhém směru (kolmém na první) existuje pouze periodická (translační) symetrie [1], se kterou ovšem neumí program Forge pracovat. Proto byla původní idea zatěžování jednoho oka tahokovu opuštěna a nahrazena pěti oky v tomto nesymetrickém směru, které reprezentují dostatečný počet ok pro dosažení přibližně ustáleného stavu. U modelů (grafických znázornění jednotlivých typů tahokovů), kde došlo k malé deformaci modelu tahokovu bylo, jak se v simulaci ukázalo, použití většího počtu ok zbytečné. Okrajové části těchto tahokovů vykazovaly stejnou deformaci jako středové oblasti.

Horní deska stlačovala tahokov rovnoměrným pohybem až do dosažení mezní síly odpovídající tlaku 100 kPa. Objektivnější řešení statického namáhání nemohlo být v prostředí programu Forge realizováno, protože pro definování okrajové podmínky ve smyslu aplikované síly musí být vymezen určitý objem z tvářeného kusu, na který je daná podmínka vztažena, na počátku simulace. Průnik oblastí působící desky a tahokovu je ovšem na

počátku zatěžování prázdná množina (z hlediska počtu elementů).



Obr. 1 Znárodnění 5 segmentů tahokovu s použitými dvěma rovinami symetrie – červená a zelená plocha. Horní tlačná deska pro názornost není zobrazena

Fig. 1 Visualisation of 5-mesh expanded metal with two symmetry planes used - red and green. The upper push plate for illustration is not displayed

Velkým problémem se ukázal transport modelu vytvořeného v programu Inventor do programu Forge. Převod probíhal přes univerzální formát .stl. Z 10 zadaných modelů proběhl u 7 z nich transport bez potíží. U dvou zadaných modelů si výpočet neporadil s velkou neregulárností konečné prvkové (dále jen KP) sítě. Musela být proto použita jiná metoda tvorby objemové KP sítě, a u jednoho modelu se nezdařil přes veškerou snahu převod vůbec. To platí pro model tahokovu Research, který byl po domluvě se zadavatelem řešení TECHNOTRON – METAL s.r.o. ze zadání vypuštěn.

Materiálový model pro simulaci byl použit z materiálové databáze programu Forge A199.5. s chemickým složením uvedeným v tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení odpovídající materiálovému modelu A199.5 (hm. %)

Tab. 1 Chemical composition of A199.5 material model in weight percent (wt. %)

Prvek	Obsah
Al	99,5
Si	0,125
Fe	0,2
Cu	0,025
Mn	0,025
Mg	0,025
Zn	0,025
Ti	0,015

Deformační chování tohoto materiálu za studena je popsáno aproximací podle Spittela [2] ve zjednodušeném tvaru obsahujícím čtyři parametry m_1, \dots, m_4 :

$$\sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T) = Ae^{m_1 T} \varepsilon^{m_2} \dot{\varepsilon}^{m_3} e^{\frac{m_4}{\varepsilon}} \quad (1)$$

Tření mezi deskami a tahokovem bylo zvoleno jako „střední za studena“, popsané podle zákona Coulomba a Trescy s hodnotami koeficientů tření $\bar{m} = 0,8$ a $\mu = 0,4$

[3]. Okolní prostředí, včetně nástrojů a tahokovu mělo konstantní teplotu 60 °C charakterizující prostředí v sušárně.

Původně zadavatel specifikoval předpokládané zatížení tahokovů cca 3,3 kPa (ekvivalent cca 800 kg na 3 m² plus rezerva). Při tomto zatížení byla deformace modelů tahokovů příliš malá. Přesnost geometrického modelu a jeho nasíťování KP sítí nebylo dostatečné pro relevantní výsledky při zatížení tímto tlakem. Proto bylo zvoleno cílové zatížení 100 kPa a sledoval se průběh zátěžové síly (resp. tlaku) na posuvu desky.

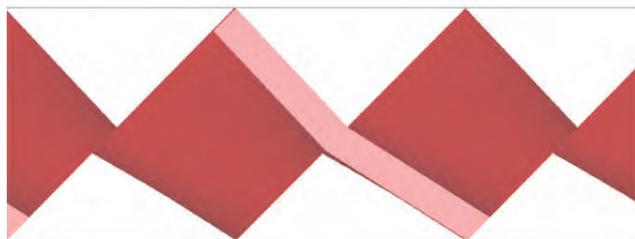
Posléze bylo předpokládané zatížení na tahokovy přehodnoceno na 20 kPa. Tato hodnota je uvnitř intervalu zátěžovacích tlaků, takže nebylo nutno provádět změny.

2. Výsledky numerických simulací

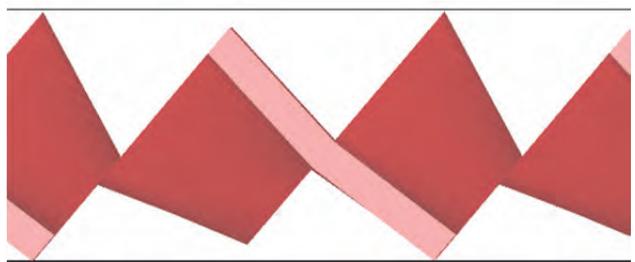
V podstatě se dají jednotlivé modely tahokovu podle výsledků numerické simulace namáhání kolmým tlakem rozdělit do dvou skupin: vyhovující a nevyhovující podle počtu bodů kontaktu tahokovu s rovnoběžnými deskami, které vyvolávají tlak. Nevhovující modely tahokovů se nedaly aplikovat do roviny tak, aby spolehlivě zajistily podepření horní tlačící desky.

Mezi tyto nevyhovující modely patří Brain, Energy, Challenge a Partnership. Energy a Challenge jsou značně nevyhovující.

Obr. 3 a 4 představují pohled v horizontálním směru na uspořádání tahokovu a tlakových desek u dvou charakteristických zástupců tahokovu. Za vyhovující skupinu byl vybrán model Sušárna, za nevyhovující Challenge.



Obr. 3 Sušárna – dobrý kontakt s tlačnými deskami
Fig. 3 Drier – good contact with pressure plates



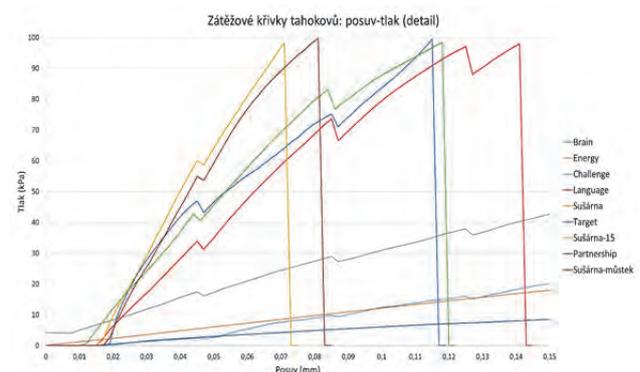
Obr. 4 Challenge – velmi špatný kontakt s tlačnými deskami
Fig. 4 Challenge – very bad contact with pressure plates

Výsledné zátěžové křivky posuv-tlak jsou zobrazeny na obr. 5 a 6 (detail pro vyhovující modely). Schopnost jednotlivých tahokovů odolávat kolmo působícímu tlaku je dána sklonem (směrnicí) zátěžové křivky. U většiny modelů ji lze aproximovat v tomto rozsahu deformace do podoby přímky. Čím je strmější sklon (větší směrnice), tím odolnější je model tahokovu vůči tlaku.



Obr. 5 Znárodnění zátěžových křivek posuv-tlak jednotlivých modelů tahokovů

Fig. 5 Load curves displacement-pressure of individual models of expanded metals



Obr. 6 Znárodnění detailu zátěžových křivek posuv-tlak jednotlivých modelů tahokovů

Fig. 6 Load curves displacement-pressure of individual models of expanded metals in detail

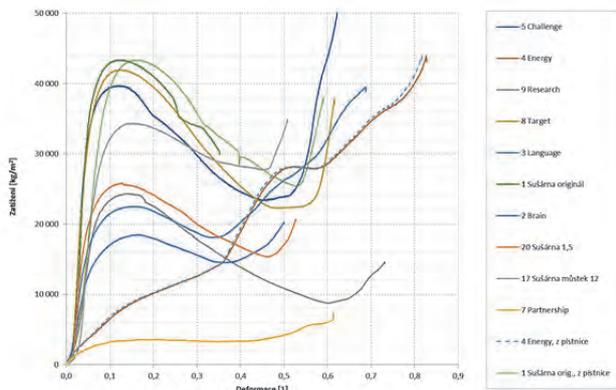
Charakteristická zubatost křivek je dána pravidelným přesíťováním KP sítí jednotlivých modelů v průběhu zatěžování.

Vzhledem k nepřesnosti KP sítí se počátky křivek mírně rozcházejí. Přesto lze tahokovy dobře seřadit podle odolnosti vůči kolmé tlakové síle.

3. Výsledky experimentálních zkoušek

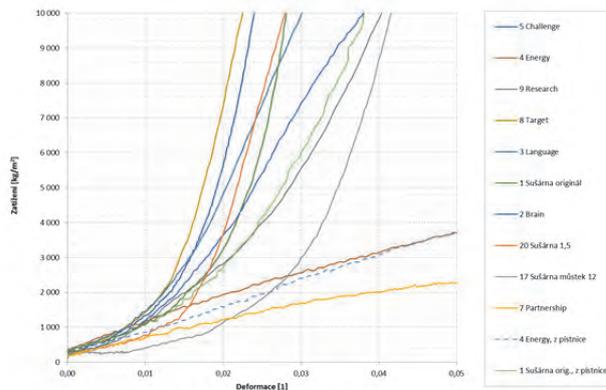
Výsledky numerické simulace byly ověřeny praktickými experimenty, které spočívaly ve zkoušce tlakem jednotlivých typů tahokovů mezi dvěma rovnoběžnými ocelovými deskami. Pro experimenty byly zvoleny jednotné rozměry tahokovu. Byly testovány segmenty o rozměrech 200 × 300 mm. Zkoušky byly provedeny v souladu s příslušnou normou [4]. Zkoušky byly provedeny na

univerzálním servohydraulickém zkušebním zařízení MTS 500 kN. V průběhu každé zkoušky byly snímány hodnoty síly a deformace v ose zatěžování. Výsledky experimentů jsou graficky shrnuty v obr. 7.



Obr. 7 Experimentálně změřené zátěžové křivky tahokovů
Fig. 7 Experimentally measured load curves of expanded metals

V tab. 2 jsou jednotlivé tahokovy seřazeny vzestupně podle hodnoty posuvu horní tlačící desky pro cílový tlak 100 a 20 kPa. Zároveň jsou pro srovnání uvedeny experimentálně změřené hodnoty.



Obr. 8. Experimentálně změřené zátěžové křivky tahokovů v detailu do zatížení 10 000 kg·m⁻²
Fig. 8 Experimentally measured load curves of expanded metals in detail to the load of 10 000 kg·m⁻²

Tab. 2 Srovnání jednotlivých posuvů tlačných desek (mm) pro tlak 100 a 20 kPa numerické simulaci a fyzikálním experimentu
Tab. 2 Comparison of displacements of push plates (mm) for pressures of 100 a 20 kPa in numerical simulation and physical experiment

Tahokov		Simulace		Experiment	
		Deformace pro cílový tlak		Změřená deformace pro cílový tlak	
		100 kPa	20 kPa	100 kPa	20 kPa
1.	Sušárna	0,071	0,025	0,38	0,21
2.	Sušárna-můstek 12	0,081	0,027	0,57	0,36
3.	Target	0,115	0,027	0,23	0,13
4.	Sušárna-1,5	0,118	0,028	0,35	0,21
5.	Language	0,141	0,033	0,43	0,18
6.	Challenge	0,419	0,057	0,28	0,15
7.	Brain	0,561	0,149	0,55	0,20
8.	Energy	2,800	0,170	2,56	0,28
9.	Partnership	>3,000	0,500	>1,40	0,90

4. Shrnutí a závěr

Numerické simulace, které byly ověřeny výsledky z fyzikálních experimentů, ukázaly, že lze vzájemně porovnat jednotlivé modely tahokovů z hlediska schopnosti odolávat kolmému tlakovému působení. Z tabulky 2 je patrné, že některé modely lze k použití jako prokladového materiálu v sušárnách dřeva přímo vyloučit vzhledem k jejich velmi nízkým pevnostním parametrům. Jedná se především o modely Brain, Energy a Partnership.

Ostatní modely vykazují poměrně dobrou odolnost vůči kolmému tlakovému zatížení. Jako nejefektivnější se v tomto ohledu jeví tahokovy skupiny Sušárna, Target a Language. Přesnější seřazení výše uvedených tahokovů

je vzhledem k velmi malým deformacím těchto tahokovů obtížné.

Následné experimentální zkoušky tlakem probíhaly až do úplného zborcení tahokovů. Rovněž zde je obtížné srovnat tahokovy vystavené malému tlaku kolem 20 kPa (i 100 kPa, tab. 2). Z obr. 8, který v zásadě reprezentuje křivky tuhosti jednotlivých modelů tahokovů, je však jasně zřejmé, které ze zkoušených modelů vykazují nízkou tuhost, a tedy se pro předpokládané průmyslové použití jeví jako nevhodné. Pokud bychom přesto srovnali výsledky numerické simulace s provedenými praktickými tlakovými zkouškami, pak zjistíme z kvalitativního hlediska velmi dobrou shodu fyzikálního experimentu a numerické simulace. Identifikace tří nevhodných typů tahokovů numericky i experimentálně je zcela totožná.

U ostatních typů tahokovů výsledky numerické simulace a fyzikálního experimentu jsou přibližně srovnatelné. Drobné rozdíly mezi výsledky jsou způsobeny především velmi malými deformacemi. Pořadí tahokovů v simulaci a experimentu je uvedeno v tab. 3. Největší rozdíl v pořadí se zjistil u modelu Sušárna můstek 12.

Tab. 3 Srovnání pořadí tahokovů podle schopnosti odolávat kolmé-mu tlaku

Tab. 3 Comparison of the order of expanded metals according to their ability to resist perpendicular pressure

Tahokov	Pořadí tahokovů podle fyzikálního experimentu	Pořadí tahokovů podle numerické simulace
Target	1.	3.
Challenge	2.	6.
Sušárna 1,5	3.	4.
Sušárna originál	4.	1.
Language	5.	5.
Brain	6.	7.
Research	7.	-
Sušárna můstek 12	8.	2.
Energy	9.	9.
Partnership	10.	10.

Z kvantitativního pohledu se dosažené výsledky poměrně značně odlišují. Tento fakt je však způsoben minimálními posuvy přítlačných desek. Dalším faktem je pak

skutečnost, že model použitý v simulaci byl importovaný s určitou přesností, která je dále degradována existencí KP sítě.

Na základě dosažených výsledků byl pro další studium dlouhodobé strukturní a rozměrové stability následně vytipován výběr nejvhodnějších modelů tahokovů pro uvažovanou praktickou aplikaci. Vybrané modely jsou nyní podrobeny dlouhodobé teplotní expozici odpovídající provozu průmyslové sušárny.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci realizace výzkumného projektu dotačního programu Aplikace – OP PIK, č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/16_084/0009887 - „Vývoj tahokovů pro optimalizaci technologie vysušování dřeva“ spolufinancovaného Evropskou unií a Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky.

Literatura

- [1] https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/330/.content/files/MKP-I_cv.-4-symetrie.ppt
- [2] Forge reference documentation: Part 5: Process data, Chapter I.A.6. Viscoplastic flow law according to the "Hansel-Spittel" model
- [3] Forge reference documentation: Part 5: Process data, Chapter III. Friction
- [4] ASTM E 9 Standard Test Method for Compression Testing of Metallic Material at Room Temperature

Požár transformátoru ve válcovně SSAB Hämeenlinna ve Finsku / Transformer fire at SSAB Hämeenlinna mill

Press release, Hämeenlinna SSAB Europe, June 12, 2018. www.ssab.com

Odpoledne 12.6.2018 vznikl ve válcovně firmy SSAB Europe ve finském městě Hämeenlinna požár transformátoru. Válcovna byla kvůli kouři evakuována. Požár byl uhašen, k žádným zraněním nedošlo. Podle předběžného odhadu bude výroba v úseku válcování za studena po dobu několika dnů snížena. Pozinkované a povlěkané pásy bude možné brzy vyrábět za normálních rychlostí, ale válcování za studena bude mít zpočátku omezenou kapacitu. Oprava začne co nejdříve.

Závod SSAB v Hämeenlinně je moderní závod asi 100 km severně od Helsinek, založený v roce 1972. Vyrábí za studena válcované ocelové pásy a také trubky (v samostatné hale). Má asi 900 zaměstnanců. Závod se rozkládá na ploše 54,6 ha, zastavěná plocha je 13 ha. Na jeho území je 9 km železnice a 2,5 km silnic.

Technologické zařízení na zpracování pásu sestává z mořicí linky, tandemové válcovny za studena, hladicí válcovací stolice, dvou žhacích linek, tří pozinkovacích linek, linky na povlěkání svitků (v samostatné hale), převíjecí linky, příčné dělicí linky, dvou podélných dělicích linek, balicí linky na svitky a balicí linky na podélně dělené svitky.