

KONEČNĚ-PRVKOVÁ STUDIE MECHANICKÉ ODEZVY BOČNICE LŮŽKA

P. Koňas, M. Šimek

Došlo: 20. listopadu 2005

Abstract

KOŇAS, P., ŠIMEK, M.: *Finite element analysis of mechanical response of a bed side rail*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 2, pp. 59–66

According to non-existence of mechanical material properties for selected combination of materials it is appropriate to give a notice, that suggested solution should be examined in test-room of furniture by related norms. The suggested verification was finally realized on furniture test-room by Departure of Furniture, Design and habitation and approved availability of suggested numerical solution for defined tasks. If we take into account large amount of variants, which were modelled by this method (and which are not mentioned in this project) without requirements of experimental testing for each suggestion it is appropriate to remind the significant financial saving, due to realized numerical simulations which allowed to find efficient solution and which may not be attainable by experimental way (mainly with regard to financial severity).

bed side rail, mechanical behaviour evaluation, FEM analysis

Hlavním cílem práce je posouzení mechanické odezvy bočnice lůžka v důsledku dynamického zatížení a zhodnocení materiálového složení bočnice pro dané zatížení. Úloha je řešena metodou konečných prvků (MKP), za pomoci ANSYS/LSDYNA softwaru. Výsledky numerického řešení jsou ověřeny reálnými zkouškami ve zkušebně nábytku.

První fáze vývoje konstrukce prototypu lůžka pro juniory odhalila špatnou mechanickou odezvu bočnic. Fyzické testování bočnic rázovou zkouškou ve Zkušebně nábytku Ústavu nábytku, designu a bydlení Lesnické a dřevařské fakulty MZLU v Brně, prokázalo nedostatečnou pevnost MDF (medium density fiber board) materiálu, použitého na výrobu bočnic (viz obr. 1, 2). Technická norma ČSN 91 0223, podle níž testování rázem probíhalo, je v současnosti neplatná, avšak neexistence jejího ekvivalentu v podobě Evropské technické normy a zájem o co nejvyšší bezpečnost lůžka byly dostačujícími argumenty pro její použití.

Vstupní zadání úlohy spočívalo v:

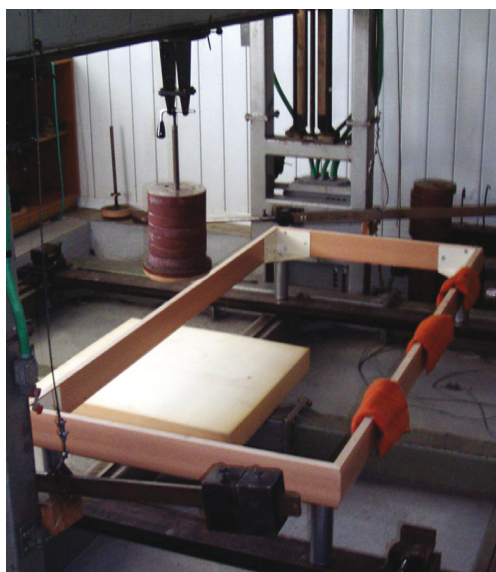
- posouzení mechanického chování bočnice lůžka,

v důsledku definovaného mechanického zatížení pomocí vhodné numerické simulace

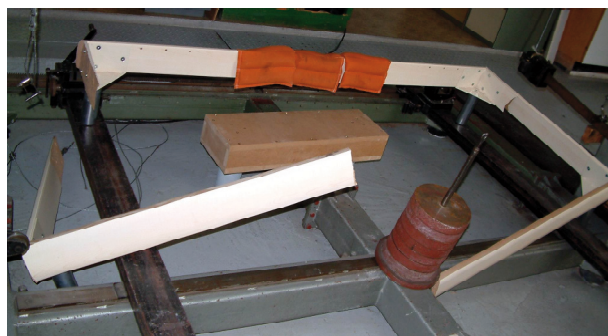
- zhodnocení materiálového složení bočnice a jeho volba pro daný typ mechanického zatížení
- zajištění dostatečné bezpečnosti a spolehlivosti dané bočnice
- spojení estetických a funkčních zásad s pevnostními principy.

MATERIÁL A METODIKA

Výkresová dokumentace byla zpracována do plně parametrického 3D modelu. Řešení probíhalo v prostředí konečně-prvkového řešiče ANSYS/LSDYNA. Materiálový model postranice byl vytvořen skladbou MDF desky a překližky, jejichž materiálové vlastnosti byly převzaty z odborné literatury (Magistris, 2004 a Youngquist, 1999) (viz tab. I a II). Lepená spára byla v simulaci nahrazena dokonale tuhým spojením a rohové uchycení kování bylo nahrazeno vetknutím koncových průřezů bočnice. Bočnice byla zatěžována dynamickým namáháním, uprostřed své délky a kol-



1: Kostra lůžka před zkouškou, vlevo



2: Kostra lůžka po dynamické zkoušce, vpravo

mo na podélnou osu simulací pádu válcového tělesa ($r=12,5$ cm, $v=50$ cm, $m=80$ kg) v gravitačním poli. Analýza proběhla explicitním řešením pohybových rovnic v čase potřebném pro stanovení maximálního průhybu bočnice. Vzhledem k neprůkazným pev-

nostním charakteristikám bylo provedeno předběžné posouzení pole napjatosti a deformace pouze na základě von Misesova ekvivalentu napětí, resp. deformace. Pro řešení byl použit prvek SOLID164 a výsledné modely zahrnovaly 30–80 tis. konečných prvků.

I a II: Použité materiálové vlastnosti

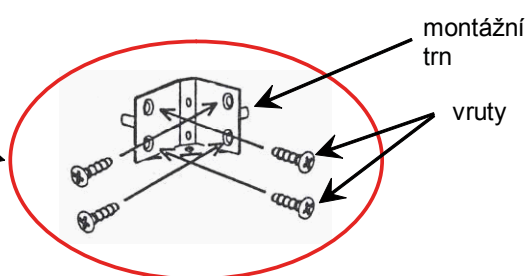
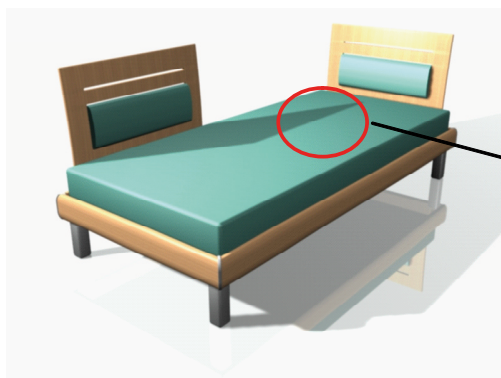
MDF	Ex	3400 MPa	Gxz	58 MPa	μ_{xz}	0,00735
	Ey	3200 MPa	Gyz	64 MPa	μ_{yz}	0,008
	Ez	50 MPa	Gxy	68 MPa	μ_{xy}	0,45

Překližka	Ex	789 MPa	Gxz	573 MPa	μ_{xz}	0,2
	Ey	289 MPa	Gyz	474 MPa	μ_{yz}	0,3
	Ez	13650 MPa	Gxy	53 MPa	μ_{xy}	0,25

ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY

Jelikož předešlé numerické simulace i fyzické zkoušky prokázaly, že MDF samotná je jako materiál pro bočnici nedostačující (pro definované dynamické zatížení), přistoupili jsme k vylepšení mechanických

vlastností bočnice vložení pera z překližky. Analýzou konstrukce lůžka (viz Obr. 3) a geometrie bočnice byly stanoveny tři, resp. čtyři varianty k numerické simulaci průběhu napětí v bočnici, které se liší rozměry vloženého pera z rostlého dřeva a jeho polohou v bočnici lůžka.

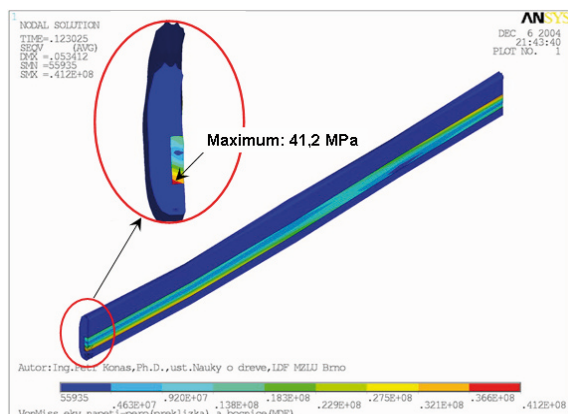


3: Konstrukce lůžka s detailem rohového kování

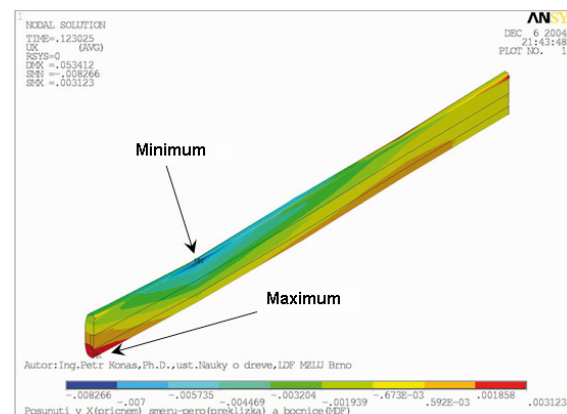
Varianta A) překližkové pero (4 x 1 cm)

vlepené z vnitřní strany bočnice – ve **spodní část**–

ti tak, aby jeden vrut (dolní) a montážní kovový trn rohového kování v něm byly konstrukčně uchyceny.



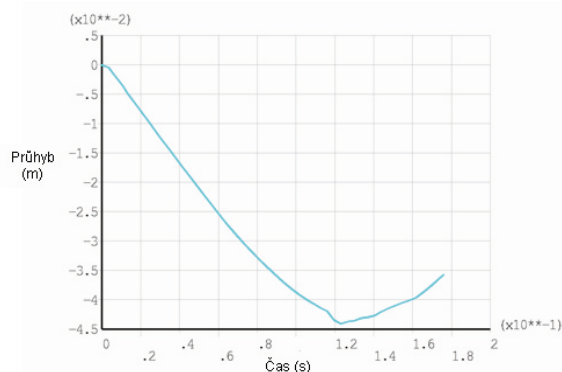
4: Rozložení von Misesova ekvivalentu napětí (v řezu bočnicí a v pohledu na 2/3 délky bočnice – největší prohnutí bočnice je místo pod zátěží)



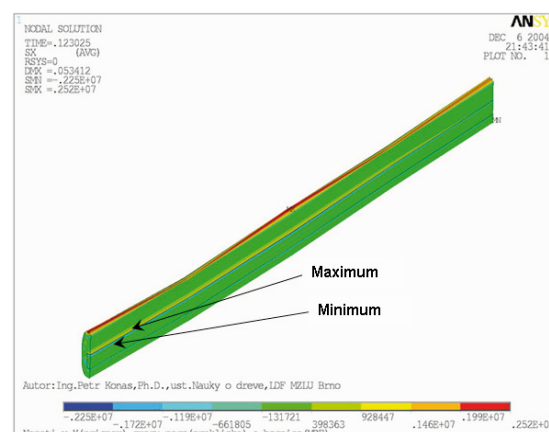
5: Posunutí (přetvoření) ve směru kolmo na rovinu bočnice

Napětí (41,2 MPa) objevující se v zatěžované oblasti je soustředěno na tahovou stranu pera. Napětí překračuje hodnoty pevnosti pera i MDF. Materiálové vlastnosti jsou tedy v tomto případě nedostatečné pro daný druh mechanického zatížení. V tomto případě dochází k výraznému krutu (Obr. 5), kdy maximum

posunutí je soustředěno na spodní část bočnice poblíž zátěže, v oblasti MDF. Oproti tomu druhý extrém, tj. posunutí v záporném směru osy x je lokalizováno v horní části bočnice (v MDF) opět poblíž zátěže. Absolutní hodnota posunutí maximálních výchylek je cca 1mm.



6: Průběh deformace v závislosti na čase, pro daný typ dynamického zatížení
(Maximální průhyb pod zátěží 4,46 cm; Čas průhybu 0,123 s; Rychlost průhybu 0,36 m/s)

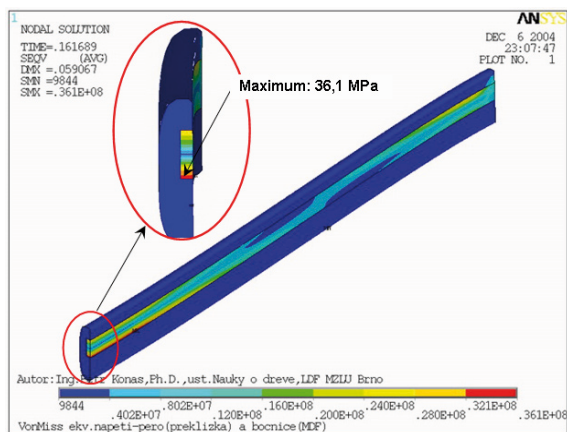


7: Napětí ve směru osy x (kolmo na rovinu bočnice)

Zřejmý je výrazný rozdíl v orientaci této složky napětí v lepené spáře pera (Obr. 7). Vlivem opačně orientovaných složek lze předpokládat vzhledem k vysoké hodnotě napětí (kolem 25 MPa), že dojde k porušení lepené spáry. Jde o vysokou hodnotu deformace pro daný typ zatížení.

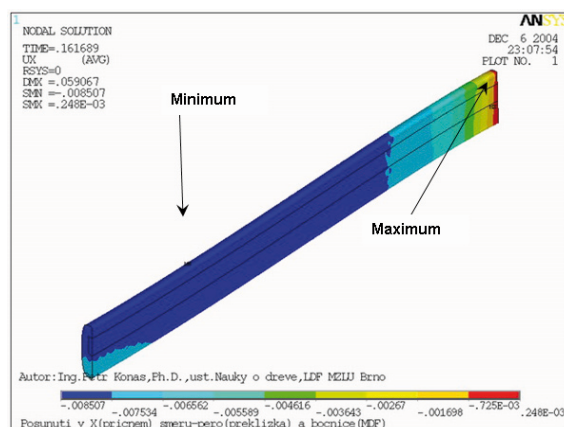
Varianta B) překližkové pero (4 x 1 cm)

vlepené z vnitřní strany bočnice – v **horní části** tak, aby jeden vrut (horní) a montážní kovový trn rohového kování v něm byly konstrukčně uchyceny.



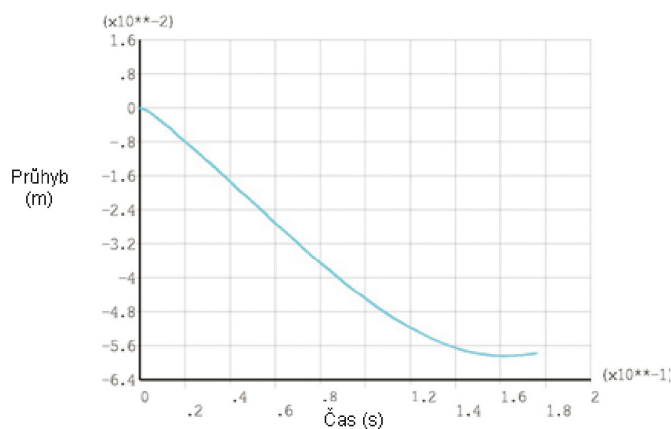
8: Rozložení von Misesova ekvivalentu napětí (v řezu bočnicí a v pohledu na 2/3 délky bočnice – největší prohnutí bočnice je místo pod zátěží)

Vysoká hodnota napětí (36,1 MPa), jež přesahuje pevnost MDF a překližky (Obr. 8). Tento extrém je lokalizován pod zátěží a na rozhraní mezi perem a drážkou. Napětí se téměř neroznáší do zbytku průřezu bočnice. Pokud tedy dojde k porušení, nejpravdě-



9: Posunutí (absolutní deformace) ve směru kolmo na rovinu bočnice

podobněji se tomu stane na spodní části mezi perem a drážkou. Zde je patrný průhyb ve směru kolmo na rovinu bočnice (Obr. 9). Nedochází tedy ke krutu jako v předchozím případě.

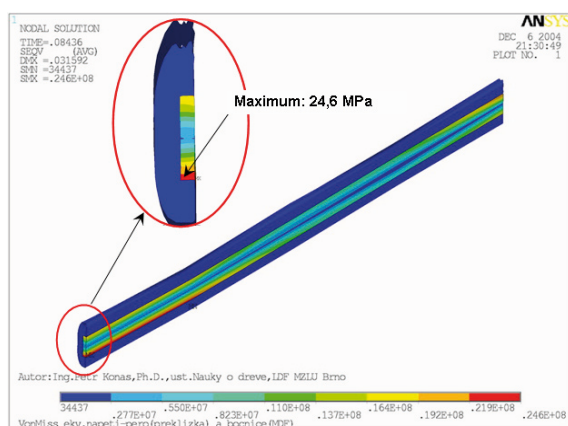


10: Průběh deformace v závislosti na čase, pro daný typ dynamického zatížení (Maximální průhyb pod zátěží 5,843 cm; Čas průhybu 0,161 s; Rychlost průhybu 0,36 m/s)

Jak vyplývá z obrázku č. 10, jde taktéž o velmi vysokou hodnotu deformace pro daný typ zatížení.

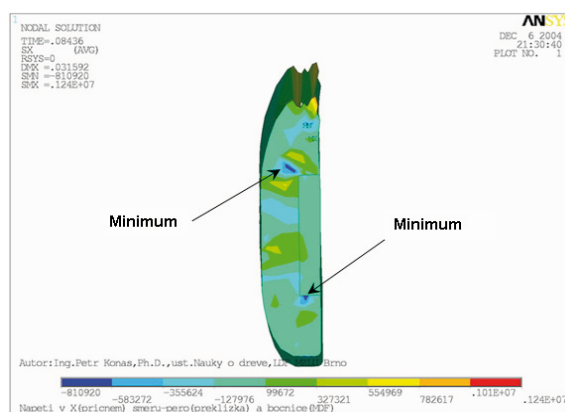
Varianta C) překližkové pero (6 x 1 cm)

vlepené z vnitřní strany bočnice – **na střed** tak, aby oba vruty a montážní kovový trn rohového kování v něm byly konstrukčně uchyceny.



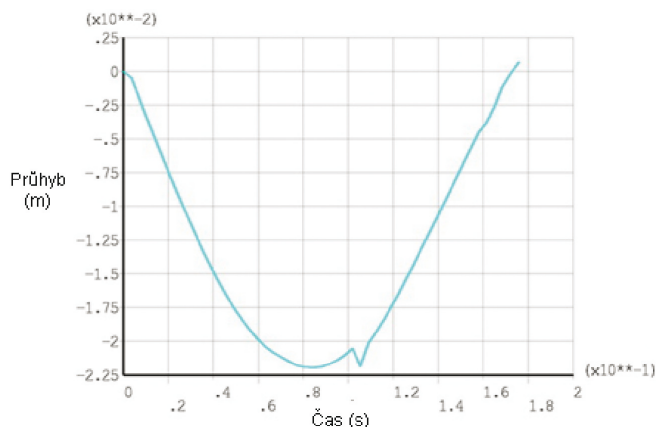
11: Rozložení von Misesova ekvivalentu napětí (v řezu bočnicí a v pohledu na 2/3 délky bočnice – největší prohnutí bočnice je místo pod zátěží)

Celková hodnota ekvivalentu napětí (24,6 MPa) je výrazně nižší než v předchozích případech (Obr. 11). Krut bočnice je možno téměř zanedbat (Obr. 12), neboť hodnoty napětí v daném směru jsou velmi ní-



12: Napětí ve směru osy x – kolmo na rovinu bočnice (v řezu bočnicí)

ké (1,2 MPa). V průřezu bočnice pod zátěží se vyskytuje pouze tlakové napětí, přičemž extrémy jsou lokalizovány mimo kritická místa.



13: Průběh deformace v závislosti na čase, pro daný typ dynamického zatížení (Maximální průhyb pod zátěží 2,245 cm; Čas průhybu 0,084 s; Rychlost průhybu 0,266 m/s)

Jak vyplývá z obrázku č. 13, jedná se o velmi nízkou hodnotu deformace pro daný typ zatížení.

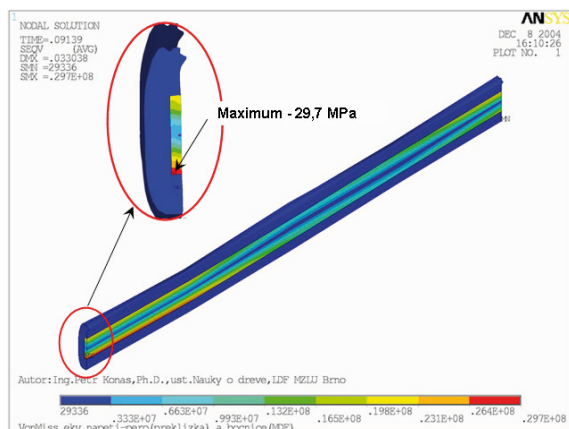
Varianta D) překližkové pero (6 x 0,8 cm) – modifikace varianty C)

vlepené z vnitřní strany bočnice – na střed, tj. snaha efektivní modifikace parametru tloušťky vloženého pera, z materiálových a technologických důvodů.

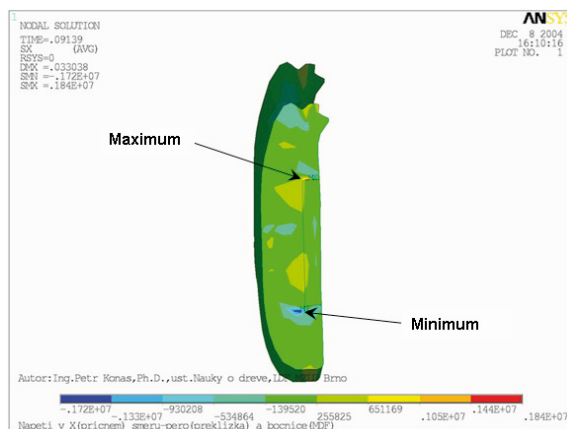
Hodnoty ekvivalentu napětí (téměř 30 MPa) jsou

vyšší než v předchozím případě (Obr. 14). Oblast výskytu extrému je rovněž větší než v předchozím případě. Předpokládané porušení nastane v překližce nebo na rozhraní překližka/MDF – na spodní straně. Je zde pravděpodobnost vzniku trhliny v rozích pera, vytržení pera a následné šíření trhliny v MDF (Obr. 15).

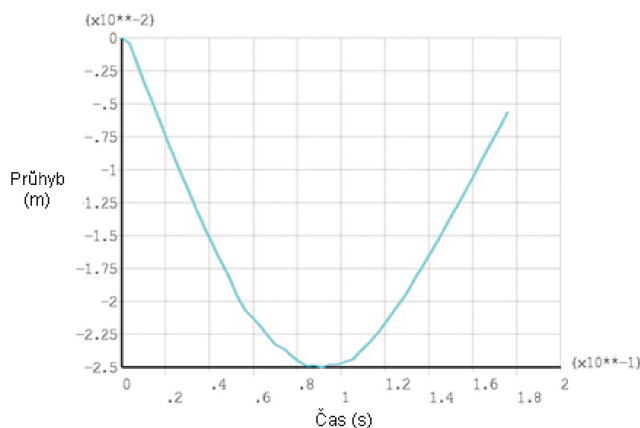
Jak vyplývá z obrázku č. 16, jde taktéž o nízkou hodnotu deformace pro daný typ zatížení.



14: Rozložení von Misesova ekvivalentu napětí (v řezu bočnicí a v pohledu na 2/3 délky bočnice - nejvíc prohnutá část bočnice je místo pod zátěží)



15: Napětí ve směru osy x – kolmo na rovinu bočnice (v řezu bočnicí)



16: Průběh deformace v závislosti na čase, pro daný typ dynamického zatížení (Maximální průhyb pod zátěží 2,55 cm; Čas průhybu 0,0914 s; Rychlost průhybu 0,2789 m/s)

ZÁVĚR

Posouzení jednotlivých variant

Varianta C) nejvhodnější: pero (6 x 1 cm) na střed – **důvod:** nejnižší vznikající složky napětí a deformace. Relativně rovnoměrné rozložení napětí. Pozvolná deformace s minimálním průhybem (kolem 2 cm).

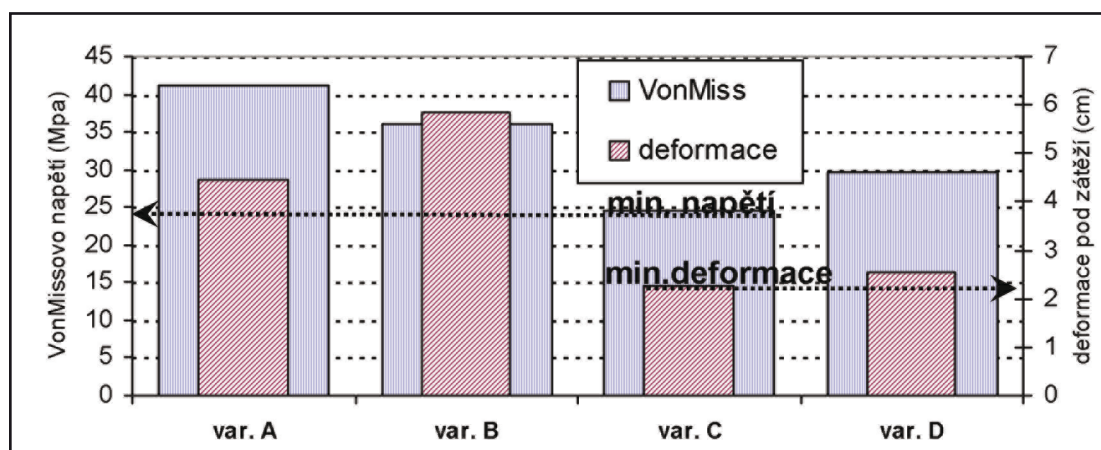
Varianta D) méně vhodná: pero zeštíhlené (6 x 0,8 cm) na střed – **důvod:** vyšší napětí oproti variantě C) a pravděpodobnost vytržení pera z drážky. Současně je zde i riziko vzniku trhlin v rozích drážky a jejich následné šíření do MDF.

Varianta B) méně vhodná: pero (4 x 1 cm) nahoře – **důvod:** hodnoty napětí v podélném směru jsou o ca 4 MPa nižší než varianta A). Složky napětí způsobující vychýlení pera z drážky jsou výrazně nižší než varianta A) a je patrný pozvolnější přechod napětí mezi perem a drážkou. Tj. menší pravděpodobnost porušení v celém objemu a menší pravděpodobnost vychý-

lení pera z drážky. Nevýhodou je poměrně velký průhyb (až 6 cm) vedoucí pravděpodobně k porušení ve spodní části bočnice pod zátěží v MDF materiálu.

Varianta A) nejméně vhodná z posuzovaných variant: pero (4 x 1 cm) dole – **důvod:** vysoké hodnoty jednotlivých složek napětí. Ostrý přechod napětí mezi perem a drážkou (vysoká pravděpodobnost vychýlení pera z drážky). Dochází k výraznému krutu bočnice (přibližně kolem neutrální osy). Výhodou je menší průhyb než v předešlém případě (cca 4,5 cm).

Všechny podmínky posouzení splňuje pouze varianta C. Ve variantě B) je nebezpečí porušení MDF-ky na spodní straně, které by se pravděpodobně šířilo přímo nahoru, k peru. V případě A) je sice menší pravděpodobnost porušení MDF, ale kvůli krutu je vyšší pravděpodobnost porušení spoje mezi perem a drážkou, a tím tedy vytržení pera z drážky. Celkové zhodnocení variant shrnuje Obr. 17.



17: Graf posouzení řešených variant

SOUHRN

Jak vyplývá z výše uvedeného, byla vybrána jako nejvhodnější varianta C. Vzhledem k neexistenci mechanických materiálových vlastností pro zvolenou kombinaci materiálů je nutné upozornit, že dané doporučené řešení je nutno také odzkoušet reálně ve Zkušebně nábytku LDF MZLU v Brně, dle souvisejících norem. Tímto se reálně potvrdí či vyvrátí numericky simulované rozložení napětí v bočnici a doporučení plynoucí z výpočtů.

Tato navrhovaná verifikace byla v konečné fázi rovněž realizována. Zkoušky doporučené varianty proběhly opět ve Zkušebně nábytku Ústavu nábytku, designu a bydlení a potvrdily vhodnost navrženého numerického řešení pro definované zadání úlohy. Vezmeme-li v úvahu velké množství variant, které byly modelovány pomocí zmiňované metody (a jež nejsou ani zdaleka uvedeny v této práci) bez nutnosti experimentálního ověřování každého návrhu, je vhodné připomenout významnou finanční úsporu, ke které díky provedeným numerickým simulacím došlo, a které tak vůbec umožnili najít použitelné řešení, kterého by klasickým experimentálním způsobem (zejména s přihlédnutím na finanční náročnost každého experimentu) nemuselo být vůbec dosaženo.

bočnice lůžka, posouzení mechanických vlastností, analýza MKP

Studie vznikla jako dílčí řešení grantu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR Bezpečné lůžko juniorů s parametry EU (evid. č. FD-K3/035) a byla podporována ze zdrojů výzkumného záměru LDF, MZLU v Brně, ČR, (MSM 6215648902) Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využití dřeva jako obnovitelné suroviny.

LITERATURA

- ČSN 91 0223 – Nábytek. Zkoušení čalouněného lehacího nábytku, čl. Pevnost kostry rázem, ÚNM, Praha
- DE MAGISTRIS, F., SALMÉN, L.: Combined shear and compression analysis using the Iosipescu device: analytical and experimental studies of medium

density fiberboard. In: Wood Science and Technology (4/2004), Springer-Verlag GmbH, 2004, Volume 37/6, s. 509–521.

YOUNGQUIST JOHN, A.: Wood-based composites and panel products, Chapter 10. In: Wood Handbook, Forest products laboratory, USDA Forest Service Madison, 1999

Adresa

Ing. Petr Koňas, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Ing. Milan Šimek, Ústav nábytku, designu a bydlení, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: konas@mendelu.cz, simek@mendelu.cz

