

KONEČNĚ-PRVKOVÝ MODEL LEHÁTKA

P. Koňas

Došlo: 20. listopadu 2005

Abstract

KOŇAS, P.: *Finite element model of the bed*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 2, pp. 67–72

Analysis of response of bed construction on mentioned mechanical loading with geometry derived from design documentation and selected material combination was realized. In terms of discussed results can be say that chosen geometry (combination of material models) is not appropriate. It can be assumed, that stress will exceed strength values in bed side-rail and some failure of cracks can occur. According to the fact that the task does not include free constraints of bed grid and this way probably increases the whole stiffness of construction some solutions present itself for decreasing of carrying-capacity in form of bed side-rail change or adding of supplemental supports to the current construction.

As we mentioned above, parametric model is sufficiently complex for realization of optimization analysis of geometry. However, before this analysis extended investigation of verification of mechanical material properties, which are taking into account for installation of construction, definition of complex way of loading and derivation of appropriate failure criterions for wood construction parts should be considered.

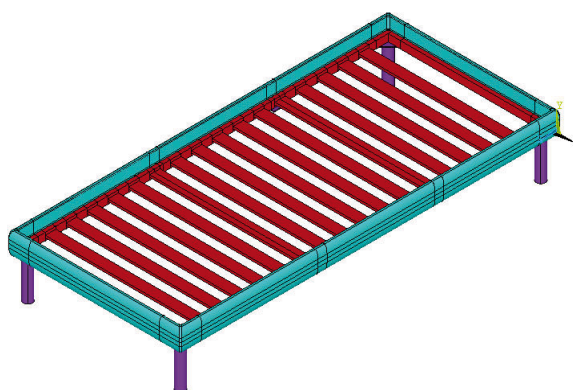
wood, failure, ANSYS, FEM, bed

Úkolem této práce bylo posoudit pravděpodobné mechanické chování zadané konstrukce lehátka, v důsledku definovaného statického zatížení a rovněž zhodnotit nestandardní profil bočnice. Odhadnout místa extrémní odezvy konstrukce (maximální deformace napětí) a pravděpodobných míst porušení.

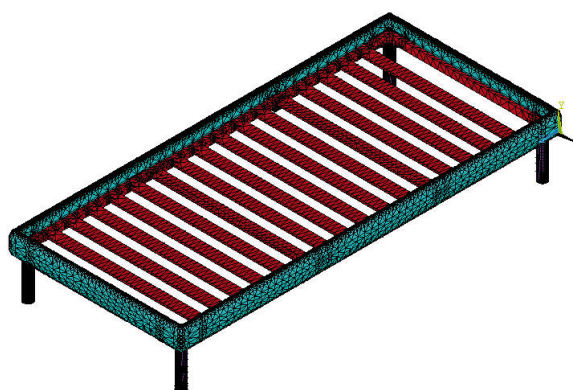
MATERIÁL A METODIKA

Model vychází z výkresové dokumentace, která byla transformována do prostředí geometrického návrháře konečně-prvkového řešiče ANSYS formou plné parametrizace modelu ve 3D. Model je vytvářen skriptovacím způsobem a umožňuje jednoduchou analýzu modelů odvozených z výchozího stavu určeného výkresovou dokumentací, snadnou a téměř

libovolnou změnou vstupních parametrů (geometrie, počátečních a okrajových podmínek, materiálových vlastností, podmínek procesu řešení), po které se provede automatické vyhodnocení s minimálními nároky na vytváření nové geometrie i definici výše uvedených parametrů ze strany řešitele. Uživatel má možnost měnit rozměry bočnice, dřevěného roštu (počet i rozměry jednotlivých příček) vkládaného do hlavního rámu, rozměry kování, podpěr, velikost a tvar působícího závaží. Počáteční i okrajové podmínky mohou být definovány zcela libovolně a limitující je zde pouze fyzikální modul použitý pro výpočet v prostředí použitého numerického řešiče. Na Obr. 1 je znázorněn vytvořený geometrický model konstrukce. Tento model byl rozšířován a převeden do konečně-prvkového modelu (viz Obr. 2).



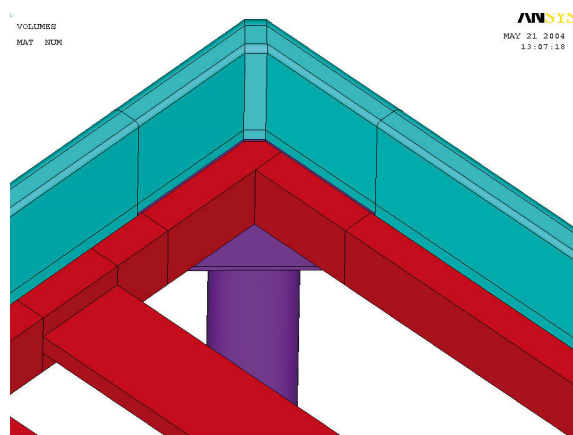
1: Geometrický model lehátka (barevně odlišené jsou části s odlišným materiálovým modelem)



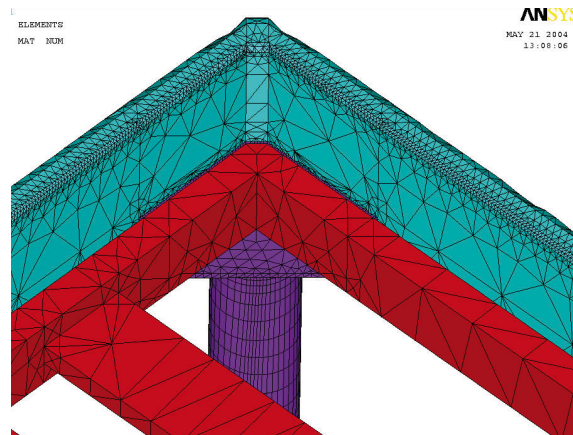
2: Konečně-prvkový model lehátka (cca 80 tis. elementů → 4.8 mil. rovnic)

Roh konstrukce je relativně nejsložitější část modelu (viz Obr. 3 a Obr. 4). Dochází zde ke střetu čás-

tí konstrukce obou materiálových modelů s výrazně odlišnými dimenzemi.



3: Detail geometrie rohu lehátka



4: Detail konečně-prvkového modelu rohu lehátka

Model je nelineární/nesourodý ve své geometrii a v definovaném stavu je použito tří různých materiálů. Bočnice jsou tvořeny materiálovými vlastnostmi MDF desky (Tab. I) (Bodig, 1982). Vlastnosti byly z části přebrány z literatury a z části vycházejí z pro-

vedených experimentů stanovujících základní mechanické vlastnosti dřeva. Rohy a kování jsou definovány materiálovým modelem konstrukční oceli, dřevěný rošt je tvořen materiálovými vlastnostmi smrku ztepilého (SM) (Požgaj, 1997).

I: Mechanické vlastnosti použitých materiálů

mat.vl.	MDF	obecná konstrukční ocel	SM	jednotky
Ex	200	2,07E+05	789	MPa
Ey	200	-	289	MPa
Ez	2000	-	13650	MPa
Gxz	550	-	573	MPa
Gyz	200	-	474	MPa
Gxy	200	-	53	MPa
mxz	0,2	0,3	0,02	-
myz	0,2	-	0,03	-
mxy	0,25	-	0,25	-

Průběh vláken MDF je totožný s orientací nejdelší strany bočnice a zůstává konstantní po celé délce. Veškeré spojení realizované pomocí vrutů bylo v této fázi simulace vyloučeno a bylo nahrazeno dokonalým spojením na rozhraní dvou konstrukčních prvků. Podobně volné uložení roštu bylo nahrazeno dokonalým tuhým spojením roštu s příslušným kováním.

Pro výpočet bylo použito výpočetního konečně-prvkového systému ANSYS 7.1. Výpočet byl realizován v OS Linux na zařízení HP Proliant DL380 na Ústavu nauky o dřevě Lesnické a dřevařské fakulty MZLU v Brně. Model předpokládá lineární elasticitou odezvu systému všech použitých materiálů. S ohledem na možný vývoj rozsáhlých deformací pro materiál dřeva v oblasti elastické odezvy byla použita modifikace vznikajících deformací ve smyslu *Henckyho* deformací (Hughes, 1984). Model při hrubé síti konečných prvků zahrnuje cca 4,8 mil. stupňů volnosti. Jelikož se jedná o rozsáhlý model, byl použit řešič PCG s nižší hladinou přesnosti (konvergenční kritérium pro reziduum neznámé veličiny posunutí bylo $F_c = 1e-4$). Vzhledem k předpokládanému vzniku převážně ohybového způsobu namáhání konstrukce a s ohledem na nestrukturovanou síť konečných prvků byl v simulaci použit kvadratický element SOLID 95 (ANSYS 1998).

Konečně-prvkový model byl zatížen tlakem vyvozeným zatížením o velikosti 200 kg rovnoměrně rozloženého do 2/3 délky jedné z nejdelších bočnic od středu bočnice k jejím okrajům. Celá konstrukce byla ukotvena dokonalým vetknutím na spodních plochách noh lehátka (plochy ve styku se zemí). Úloha byla řešena jako statická s konstantním zatížením a neměnným způsobem ukotvení.

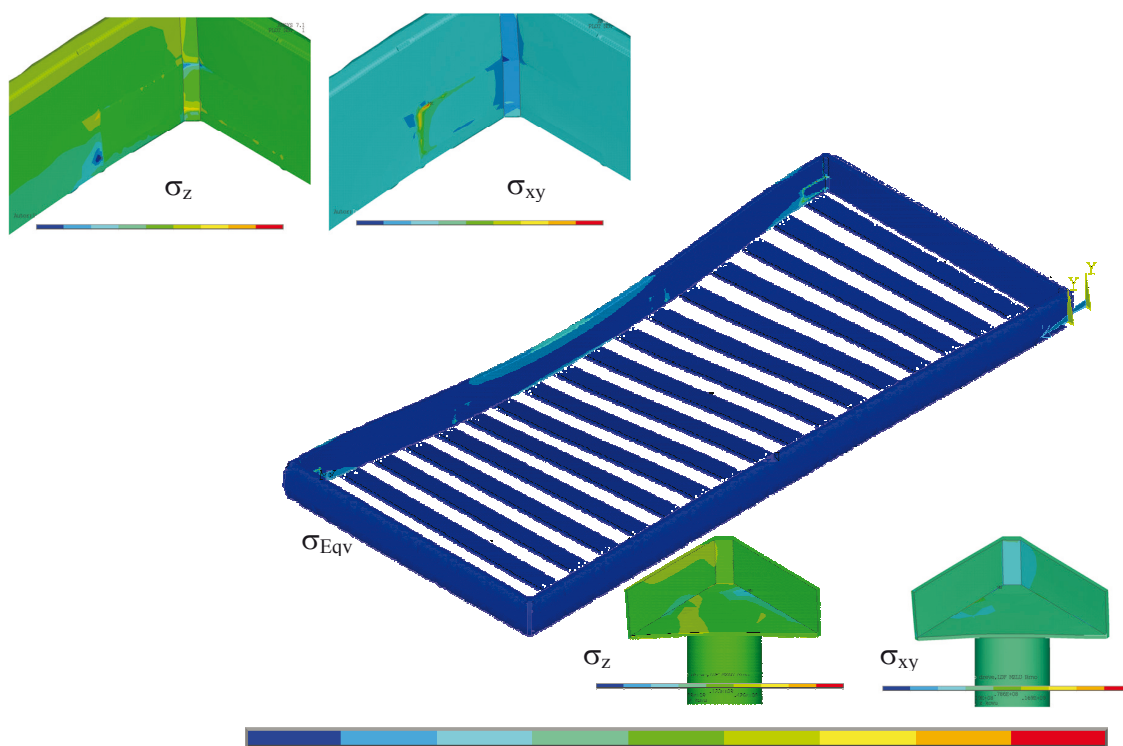
VÝSLEDKY

Vzhledem k výrazně odlišným tuhostem materiálů dřeva, MDF a kovů a následně výrazně odlišné dis-

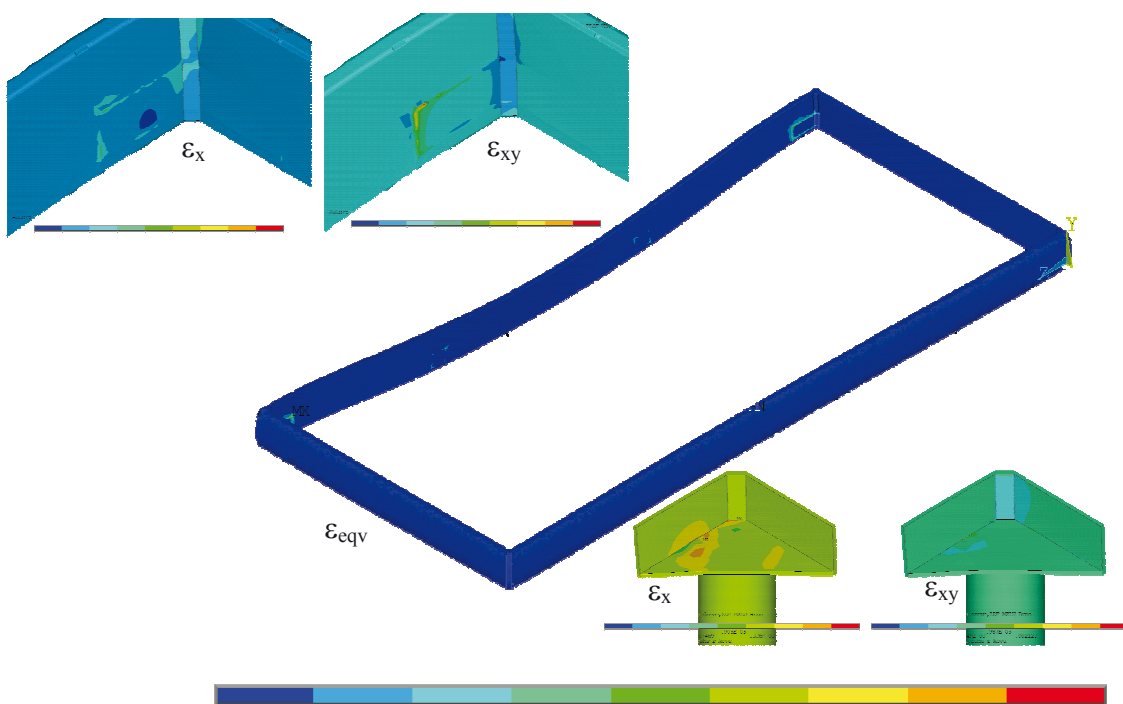
tribuci hodnot sledovaných veličin v těchto materiálech bylo na následujících obrázcích provedeno odlišení jednotlivých materiálů (každá část konstrukce z jednoho materiálu je uvedena samostatně). Všechny znázorněné deformace jsou rovněž automaticky škálovány tak, aby byl zřetelný geometrický charakter deformace.

Na Obr. 5 je znázorněno rozložení vybraných složek napětí. Je zřetelné přirozené navýšení hodnot ekvivalentu napětí v oblasti působícího zatížení. Extrémy lze lokalizovat v oblasti rohů (maximum) a ve vzdálené oblasti bočnice. Hodnoty ekvivalentu napětí nabývají v maximu kritických velikostí s ohledem na pevnost použitého materiálu MDF. Lze předpokládat, že v této části je pravděpodobné porušení, především smykového charakteru, popř. bude-li struktura dřeva v této části nějakým způsobem narušovat obecnou ortotropii vlastností, tak zde může dojít i k porušení některým z dalších způsobů namáhání. S ohledem na nižší pevnosti MDF (cca. 8–12 MPa) použité na bočnicích je nutné předpokládat, že může dojít k porušení i ve zbylých částech bočnice. S ohledem na tento fakt je nutné považovat navrhovaný profil bočnice jako nevyhovující pro danou materiálovou tabulku MDF.

Na Obr. 6 je znázorněn průběh ekvivalentu poměrných deformací, které nedosahují pro MDF jeho mezních hodnot (vyjma zmiňovaných rohů jsou hodnoty pod hranici 2 %). Kritickým místem celé konstrukce jsou její rohy a to nejenom v její části tvořené dřevěným materiálem, ale rovněž v části tvořené materiálem kovu. Jak je patrné z Obr. 5 (detail podpory), je pravděpodobné, že v případě většího zatížení (zde je vhodné zvážit možnost rázového zatížení) se kovový roh může v místě sváru porušovat a k porušení může dojít i ve spodní opěrné části rohové spojky. Hodnoty ekvivalentu napětí zde však nepřekračují pevnost v modelu použité konstrukční oceli. Ekvivalentní hodnoty poměrné deformace nejsou s ohledem k materiálu podpory kritické (viz Obr. 6 – detail podpory).



5: Pole napětí v konstrukci lůžka, detail rohu a podpory (σ_z ...z-ová složka napětí (u MDF a SM napětí ve směru vláken); σ_{xy} ...smykové napětí v rovině xy (u MDF a SM napětí v podélně-příčné rovině); σ_{eqv} ...ekvivalent napětí von Mises)



6: Pole poměrné deformace v konstrukci lůžka, detail rohu a podpory (ϵ_x ...x-ová složka poměrné deformace (u MDF a SM deformace kolmo na směr vláken); ϵ_{xy} ...smyková složka poměrné deformace v rovině xy (u MDF a SM poměrná deformace v podélně-příčné rovině); ϵ_{eqv} ...ekvivalent deformace von Mises)

DISKUSE

Pro posouzení porušení je v případě dřeva použito nevhodného ekvivalentu napětí von Mises, který se používá především u izotropních materiálů. S ohledem na ortotropii materiálových vlastností dřeva a MDF a jeho anizotropii s ohledem ke způsobu zatížení jsou mnohem vhodnější energetická kritéria porušení (Hoffman, Hill, popř. Tsai-Wu (Berthelot, 1999)); ta však vzhledem k větším časovým nárokům výpočtu nebyla vyhodnocena.

Je vhodné upozornit, že celý model je první studií, která vychází z materiálových modelů, které nemusejí korespondovat se skutečností s potřebnou spolehlivostí. Odpovídající materiálové modely vyžadují další

realizaci experimentů pro stanovení jejich základních mechanických vlastností. Rovněž definované zatížení nemusí být dostatečně komplexní pro celkovou analýzu stability, únosnosti a přetvoření studované konstrukce.

V otázce nosnosti použitého profilu bočnice při aplikovaném zatížení lze předpokládat, že profil je pro danou konstrukci tvořenou MDF deskou nepoužitelný. Tento předpoklad vyvozený na základě provedeného numerického výpočtu a simulace podmínek zatížení se ukázal jako pravdivý po skutečném testování bočnic ve Zkušebně nábytku Ústavu nábytku, designu a bydlení LDF, kdy při ekvivalentním zatížení došlo k porušení konstrukce, a to ve všech výše diskutovaných oblastech.

SOUHRN

Byla provedena analýza odezvy konstrukce lehátka na výše uvedené mechanické zatížení při geometrii vyplývající z výkresové dokumentace a zvolené kombinace materiálů. Na základě výše diskutovaných výsledků lze konstatovat, že zvolená geometrie, resp. použitá kombinace materiálů není vhodná. Lze předpokládat, že u vyšetřované bočnice lehátka vznikající napětí překročí hodnoty pevnosti vybraného materiálu a dojde k jeho porušení. Vzhledem k faktu, že úloha nekalkuluje s volným uložením roštu, a tím tedy uměle zvyšuje celkovou tuhost konstrukce, nabízí se pro řešení nízké únosnosti možnost změny profilu bočnice, nebo zařazení přídavných podpor do stávající konstrukce.

Jak již bylo uvedeno, parametrický model je dostatečně komplexní, aby mohla být provedena optimalizační analýza geometrického návrhu. Před touto analýzou by však mělo být provedeno důkladné stanovení, popř. ověření mechanických vlastností materiálů zamýšlených k zabudování v konstrukci, definice komplexního způsobu zatěžování a odvození odpovídajících kritérií porušení pro dřevěné části konstrukce.

dřevo, porušení, ANSYS, MKP, lůžko

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

HUGHES, T. J. R.: Numerical Implementation of Constitutive Models: Rate-Independent Deviatoric Plasticity, published in Theoretical Foundation for Large-Scale Computations for Nonlinear Material Behavior (eds. S. Nemat-Nasser, R. J. Asaro and G. A. Hegemier), Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1984.

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S.,

BABIAK, M.: Štruktúra a vlastnosti dreva, Bratislava, Príroda, 1997.

ANSYS, INC.: ANSYS Theory Reference Release 5.5, Program manual, 1998.

BERTHELOT, J. M.: Composite Materials – Mechanical Behaviour and Structural Analysis, Springer-Verlag, 1999.

BODIG, J., JAYNE, B. A.: Mechanics of wood and wood composites, New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

Adresa

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

