



Vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou
2. - 3. jún 2011, ***hotel Boboty, Terchová

ANALÝZA DREVENÝCH VÄZNÍKOV A ICH EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE U VÝROBCU

Ivan Julínek¹, František Lužica², Jaroslav Sandanus³,
Miloš Slivanský⁴, Kristián Sógel⁵

Abstrakt

The paper presents experimental research of the resistance and the stiffness of a timber truss with joints made by steel nail tooth plates. The experiments were prepared in the cooperation between SUT Bratislava and a company Tectum Novum, which is a manufacturer of these type of structures.

ÚVOD

Experimentálny výskum zrealizovaný v priestoroch firmy Tectum Novum v Zemnom sa zamerlal na skúmanie vlastností drevených priehradových nosníkov so spojmi s ocelovými doskami s prelisovanými trňmi. Boli skúmané vlastnosti priamopásových priehradových nosníkov z rasteného dreva z pohľadu celkovej odolnosti, výsledného spôsobu porušenia, deformačných vlastností skúmaného typu nosníka a správania vybraného detailu prípoja prostredníctvom ocelových dosiek s prelisovanými trňmi. Výsledky experimentu boli porovnané s výsledkami výpočtových modelov.

EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE PRIEHRADOVÝCH NOSNÍKOV

Skúmané typy nosníkov, materiál a geometria

Pri experimente boli skúmané priamopásové priehradové nosníky z rasteného dreva so spojmi s ocelovými doskami s prelisovanými trňmi (obr. 1).

Výsledky experimetu boli vyhodnotené pre rôzne hladiny namáhania a rôzne štádiá pôsobenia (zaťažovanie a odľahčovanie) skúmaného typu drevených nosníkov.

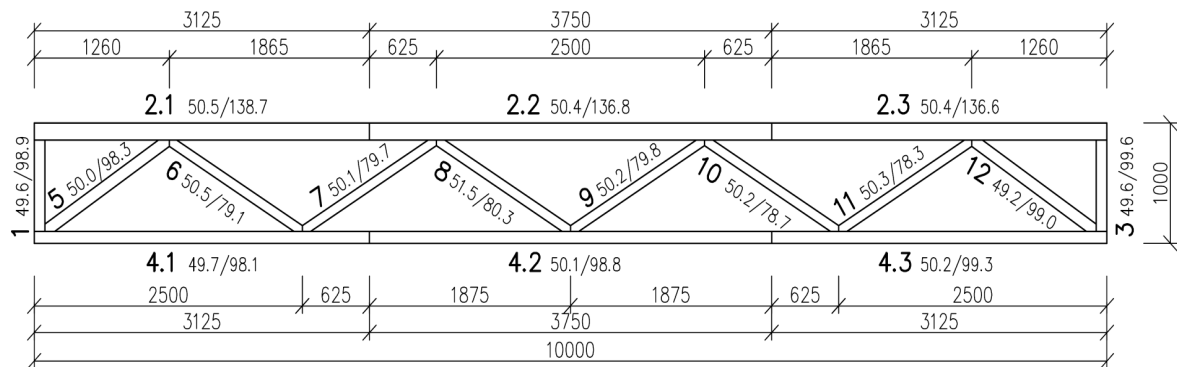
Skúšobné vzorky priehradových nosníkov mali rozmery 10m x 1m a pozostávali z prútov vyrobených z rasteného dreva triedy C24 vzájomne spojených styčníkmi z ocelových dosiek s prelisovanými trňmi. Geometria a rozmery overovaného typu nosníkov sú uvedené na obr. 2. Pred samotným experimentálnym meraním boli overované projektované a skutočné rozmery nosníka, rozmery prierezov a vlhkosť jednotlivých prútov (obr. 2). Takisto sa kontrolovalo, či sa na nosníku nenachádzajú

1) Bc., e-mail: priprava@tectum.sk, Tectum Novum, Zemné, 2) Ing., e-mail: luzica@slovanet.sk, Nové Zámky, 3) Ing., PhD., e-mail: jaroslav.sandanus@stuba.sk, 4) Ing., PhD., e-mail: milos.slivansky@stuba.sk, 4) Ing., PhD., e-mail: kristian.sogel@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave

prúty so zvýšenou koncentráciou vád (hrče, trhliny, miesta s kôrou a pod.), aby sa predišlo skresleniu experimentálneho merania nesprávnym výberom materiálu.



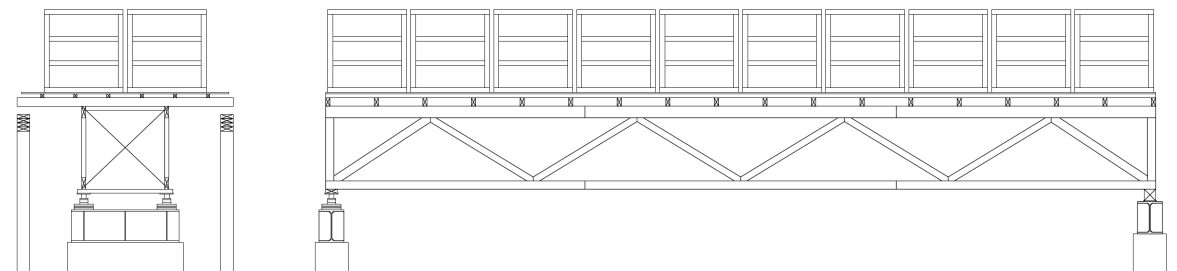
Obr. 1 – Skúšobné vzorky, celkový pohľad a detail prípoja



Obr. 2 – Geometria a rozmery skúšobných vzoriek (vzorka B)

Zaťažovacia zostava

Skúšobné vzorky priehradových nosníkov boli overované ohybovou skúškou (obr. 3). Pri celkovej dĺžke nosníkov 10m bola teoretická vzdialenosť koncových podpier nosníkov 9,90m.



Obr. 3 – Zaťažovacia zostava

Zaťažovanie nosníkov sa realizovalo prostredníctvom nádob, ktoré sa podľa potreby naplňali vodou. Roznos zaťaženia na horný pás skúšobných vzoriek priehradových nosníkov zabezpečoval drevený rošt (pričníky prierezu 50/100mm s osovou vzdialenosťou 600mm a latovanie prierezu 50/40mm s osovou vzdialenosťou

500mm) a plnoplošné debnenie z dosiek OSB hrúbky 12mm a rozmerov 1250 x 2500mm.

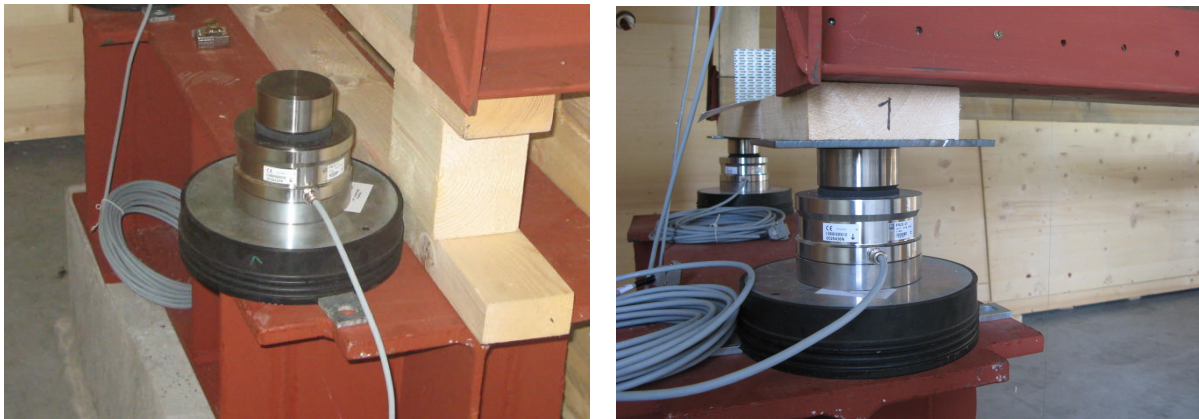
Meracie zariadenia

Správanie skúšobných vzoriek pri zaťažovaní bolo zaznamenávané pomocou meracej stanice od firmy HBM Spider8, ktorá prenášala a zaznamenávala namerané údaje prostredníctvom napojenia na prenosné PC cez obslužný softvér CatMan. Ako merače deformácií boli použité elektronické indukčné ihlicové deformometre (obr. 4).



Obr. 4 – Meranie deformácií v mieste podpory a v strede rozpätia nosníka

Na meranie reakcií v podperách sa použili elektronické silomery HBM RTN 47 s maximálnym rozsahom do 470kN a citlivosťou $\pm 20\text{N}$ (obr. 5).



Obr. 5 – Elektronický silomer pred a po osadení do zaťažovacej zostavy

Meranie pomerných deformácií skúšobných vzoriek sa realizovalo pomocou odporových tenzometrov. Tenzometre boli osadené v strede rozpätia overovaných nosníkov, na jednom (vonkajšom) povrchu pri tlačnom aj ťahanom okraji v osi prútov. Na jednu vzorku boli použité 2 tenzometre (obr. 6). Rovnako boli osadené tenzometre aj na ocelových vystužovadlách.



Obr. 6 – Osadenie tenzometrov na skúšobnej vzorke

PRIEBEH A VYHODNOTENIE EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

Celkovo boli v priestoroch firmy Tectum Novum odskúšané 2 vzorky (1 dvojica) drevených priehradových nosníkov. Skúšobné vzorky boli označené A a B.

Zaťažovanie nosníkov

Zaťažovanie vzoriek sa realizovalo naplňaním zaťažovacích nádob vodou. Jednotlivé nádoby sa naplňali, resp. vyprázdňovali postupne, vždy symetricky od stredu alebo od koncov nosníkov. Úroveň zaťaženia sa sledovala vizuálne na základe výšky hladiny vody v nádobách a súčasne sa kontrolovala reakcia v mieste podpory elektronickým silomerom napojeným na meraciu aparatúru.

Zaťažovaniu vzorky do porušenia predchádzalo niekoľko zaťažovacích cyklov. Zaťažovací diagram bol zvolený na základe odporúčaní normy STN EN 380.

Deformácie nosníkov

Zvislé deformácie skúšobnej vzorky boli merané v 3 meracích bodoch – deformácie v mieste podpier (2x) a deformácia v strede rozpätia nosníka (1x). Namerané údaje sa pri spracovaní opravili o deformácie v mieste podpier.

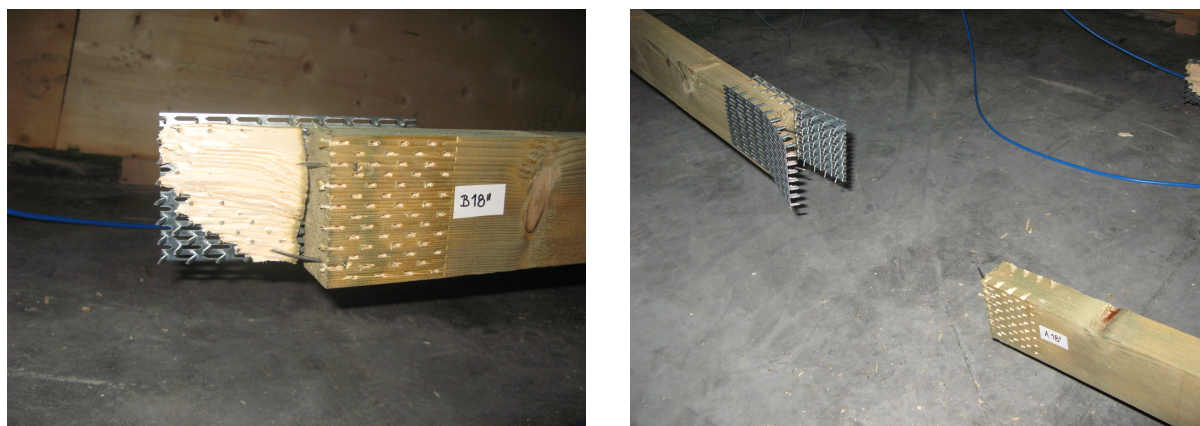
Pomerné deformácie a normálové napätia

Normálové napätia σ na hornom a dolnom páse skúšobných vzoriek a na oceľových vystužovadlách boli vyhodnotené prostredníctvom merania pomerných deformácií ϵ . Pomerné deformácie sa merali odporovými tenzometrami firmy HBM.

Charakter porušovania a odolnosť skúšobných vzoriek

Porušenie oboch skúšobných vzoriek nastalo súčasne vplyvom porušenia spoja (nadrpájania) spodného pásu. Keďže dvojica nosníkov bola spojená do jednej skúšobnej zostavy, nie je možné jednoznačne stanoviť, ktorá zo skúšobných vzoriek skolabovala prvá v poradí. Podľa nameraných údajov (deformácia v mieste spoja spodného pásu) je možné predpokladať, že ako prvý v poradí sa porušil nosník B.

V oboch prípadoch sa porušil spoj spodného pása. Pri skúšobnej vzorke A nastalo vytrhnutie hrotov ocelevej spojky z dreva (obr. 7 vpravo) a pri vzorke B nastalo tzv. blokové šmykové porušenie dreva v mieste spojky (obr. 7 vľavo).



Obr. 7 – Porušenie nosníka v mieste spoja spodného pása

Porovnanie výsledkov experimentu s teoretickými modelmi

Výsledky experimentálnych meraní sa porovnávali s teoretickými modelmi. Porovnávací prepočet MKP bol zostavený pre niekoľko úrovní zaťaženia. Výsledky teoretických modelov a nameraných hodnôt boli zostavené do tabuliek (tab. 1 a 2) a grafov.

Tab. 1 Súhrn výsledkov experimentu

Namerané hodnoty										
Stav	Reakcia v podpere [kN]	Zaťaženie [kN/m]	Priehyb nosníka [mm]		Deformácia spoja [mm]		Normálové napätie [MPa]			
			Nosník A	Nosník B	Nosník A	Nosník B	HP		DP	
							Nosník A	Nosník B	Nosník A	Nosník B
2.1	2.335	0.467	4.010	3.770	0.129	0.164	-0.200	-0.500	0.900	1.200
2.2	6.907	1.381	11.400	12.180	0.531	0.759	-0.900	-1.500	2.500	3.600
2.3	9.750	1.950	19.310	19.520	1.188	1.668	-1.700	-2.400	3.700	5.100
2.4	16.475	3.560 / 2.890	40.82	36.48	3.758	4.474	-3.2	-4.2	5.6	8.1
Poznámka			Normálové napätia boli merané tenzometrami v osi prútov. Priehyb nosníka bol meraný uprostred jeho rozpätia pre spodný pás.							

Tab. 2 Súhrn výsledkov teoretického výpočtu

Teoretické výsledky											
Stav	Reakcia v podpere [kN]	Zaťaženie [kN/m]	Priehyb nosníka [mm]				Deformácia spoja [mm]	Normálová sila [kN]		Normálové napätie [MPa]	
			Nexis		Truss 2d			HP	DP	HP	DP
			nepoddajný	poddajný	nepoddajný	poddajný					
2.1	2.335	0.467	2.663	4.309	2.800	0.199	-6.106	6.106	-0.872	1.221	
2.2	6.907	1.381	7.876	12.744	8.300	0.588	-18.055	18.055	-2.578	3.610	
2.3	9.750	1.950	11.121	17.995	11.800	0.831	-25.494	25.494	-3.641	5.097	
2.4	16.475	3.560 / 2.890	18.007	29.101	19.100	2.749	-41.104	41.123	-5.872	8.224	
Poznámka			Uvedené normálové sily a normálové napätia sú vypočítané na modeli konštrukcie s nepoddajnými spojmi v styčníkoch prútov. Normálové napätia sú vyčíslené v osi prútov, preto nie je potrebné uvažovať vplyv ohybových momentov. Priehyb nosníka bol vypočítaný								

Teoretická odolnosť nosníkov bola vypočítaná v programe Truss 2d. Teoretické hodnoty odolnosti boli určené pre plné (100%) využitie niektorého z prvkov priehradového nosníka (najviac namáhaný prút, alebo najviac namáhaná spojka), alebo boli určené pre prípad prekročenia odolnosti rovnakého prvku, ktorý zlyhal pri experimentálnom overovaní skúšobných vzoriek (nadpájanie spodného pásu).

Teoretické posudky priehradových nosníkov boli rozdelené do 2 skupín vzhľadom na použité súčinitele spoľahlivosti materiálu dreva a styčkových dosiek (skupina 3a: $\gamma_{M,drevo}=1,30$ a $\gamma_{M,spoje}=1,25$; skupina 3b: $\gamma_{M,drevo}=1,00$ a $\gamma_{M,spoje}=1,00$). Dosažené teoretické odolnosti ako hodnoty maximálneho teoretického zaťaženia Q_1 , resp. Q_2 v [kN/m] a porovnanie s nameranými výsledkami sú uvedené v tab. 3. Pre výpočet pevnosti reziva triedy C24 bol použitý súčiniteľ podmienok pôsobenia $k_{mod} = 0,9$.

Tab. 3 Porovnanie teoretickej a skutočnej odolnosti overovaných nosníkov

Stav	Model porušenia		Teoretická odolnosť E_d		Skutočná odolnosť R_d		$\psi = R_d / E_d$ "Rezerva"
	Prvok	číslo	Q_1 [kN/m]	Q_2 [kN/m]	Q_1 [kN/m]	Q_2 [kN/m]	
3a	Prút	12	2.326	2.866	2.890	3.560	1.242
	Spoj	1	2.646	3.260			1.092
	Spoj	12	2.695	3.320			1.072
3b	Prút	12	3.028	3.730	2.890	3.560	0.954
	Spoj	1	3.313	4.082			0.872
	Spoj	12	3.372	4.154			0.857

V poslednom stĺpci tab. 3 sú uvedené „Rezervy“ konštrukcie. To znamená, že v prípade navrhovania konštrukcie s pomocou softvéru Truss 2d pre výsledky podľa skupiny 3a bola rezerva v návrhu oproti reálnej odolnosti od 7,2 do 24,2% v závislosti od modelu porušenia. V tomto prípade boli uvažované súčinitele zaťaženia hodnotami 1,0. Pri návrhu konštrukcie v duchu STN EN 1995-1-1 a STN EN 1991 sú pre zaťaženia uvažované súčinitele zaťaženia $\gamma_G = 1,35$ resp. $\gamma_Q = 1,5$.

ZÁVER

Vzhľadom na počet odskúšaných vzoriek je treba poznamenať, že na formuláciu všeobecných záverov pre tento typ konštrukcie by bolo potrebné urobiť väčší počet experimentálnych meraní, ktoré by utvorili štatisticky vyhodnotiteľný súbor.

Uskutočnený experiment je však dobrým predpokladom pre ďalší rozvoj priehradových konštrukcií s kovovými doskami s prelisovanými trňmi u objednávateľa meraní.

Prípadná investícia do výskumu od viacerých výrobcov týchto konštrukcií by určite pomohla všetkým zúčastneným stranám v propagácii ich produktov a obnoviteľnej suroviny – dreva – v povedomí verejnosti a potenciálnych investorov.