

EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE PRIEHRADOVÝCH NOSNÍKOV

Abstract:

V príspevku je predstavené experimentálne meranie odolnosti a tuhosti dvojice drevených priehradových nosníkov s oceľovými doskami s prelisovnými trňmi. Experimenty boli realizované priamo u výrobcu týchto nosníkov vo firme Tectum Novum v Zemnom.

Príprava experimentu a meranie prebiehali v júli a auguste 2010 v Zemnom, vyhodnotenie experimentu v Bratislave v auguste a septembri 2010.

Spolupráca Slovenskej technickej univerzity v Bratislave a výrobcu drevených priehradových konštrukcií sa ukázala ako obojstranne prospešná v spoločnom výskumno-realizačnom projekte.

1. ÚVOD

Experimentálny výskum zrealizovaný v priestoroch firmy Tectum Novum v Zemnom sa zameril na skúmanie vlastností drevených priehradových nosníkov so spojmi s oceľovými 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 oceľových dosiek s prelisovanými trňmi. Výsledky experimentu boli porovnané s teoretickými výsledkami výpočtových modelov.

2. EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE PRIEHRADOVÝCH NOSNÍKOV

2.1. Skúmané typy nosníkov, materiál a geometria

Pri experimente boli skúmané priamopásové priehradové nosníky z rasteného dreva so spojmi s oceľovými doskami s prelisovanými trňmi (obr. 1). Výsledky experimentu boli vyhodnotené pre rôzne hladiny namáhania a rôzne štádiá pôsobenia (zaťažovanie a odľahčovanie) skúmaného typu drevených nosníkov.



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

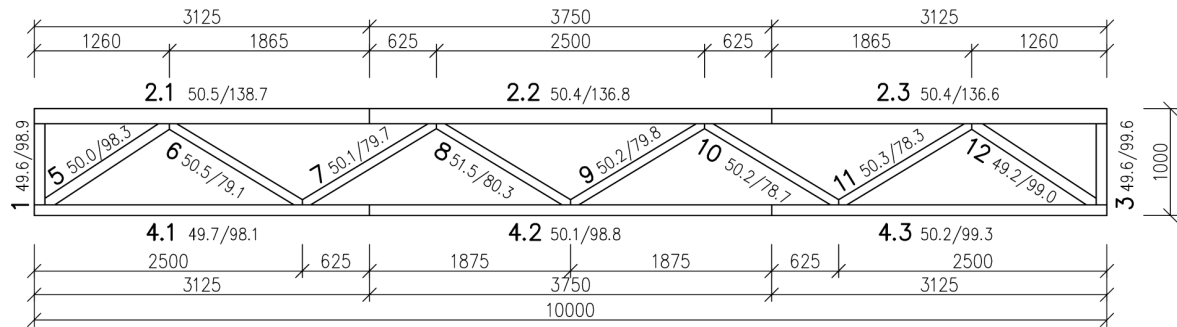
¹ Bc., e-mail: priprava@tectum.sk, Tectum Novum, Zemné

² Ing., PhD., e-mail: jaroslav.sandanus@stuba.sk, KKDK SvF STU v Bratislave

³ Ing., PhD., e-mail: milos.slivansky@stuba.sk, KKDK SvF STU v Bratislave

⁴ Ing., PhD., e-mail: kristian.sogel@stuba.sk, Katedra kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave

Skúšobné vzorky priehradových nosníkov mali rozmery 10m x 1m a pozostávali z prútov vyrobených z rasteného dreva triedy C24 vzájomne spojených styčnicami z oceľových 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 (pozri obr. 2 a 3). Takisto sa kontrolovalo, či sa na nosníku nenachádzajú prúty so zvýšenou koncentráciou väd (hrče, trhliny, miesta s kôrou a pod.), aby sa predišlo skresleniu experimentálneho merania nesprávnym výberom materiálu.



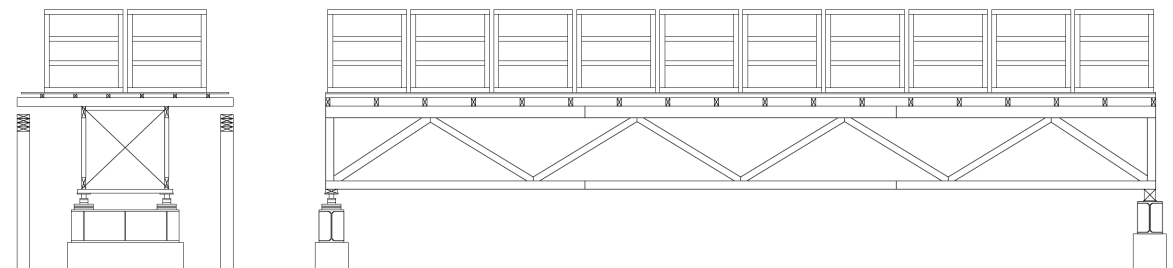
Obr. 2 – Geometria a rozmery skúšobných vzoriek (vzorka B)



Obr. 3 – Meranie vlhkosti prvkov skúšobnej vzorky (vzorka B)

2.2. Zaťažovacia zostava

Skúšobné vzorky priehradových nosníkov boli overované ohybovou skúškou (obr. 4). Pri celkovej dĺžke nosníkov 10m bola teoretická vzdialenosť koncových podpier nosníkov 9,90m. Aby bolo možné overiť pôsobenie nosníkov, ktoré sa približuje reálnym podmienkam pri zabudovaní nosníkov v stavebnej konštrukcii, boli vzorky zaťažované symetricky spojitým rovnomerným zaťažením.



Obr. 4 – Zaťažovacia zostava

Vzhľadom na rozmery a typ overovaných nosníkov bola skúmaná dvojica nosníkov. Vzájomná osová vzdialenosť nosníkov bola 1,0m. Aby sa zabezpečila dostatočná tuhosť a stabilita skúšobnej zostavy ako celku a tiež z hľadiska zabezpečenia stability horného (tlačeného) pásu z roviny nosníkov, boli skúšobné vzorky v rovine horných pásov prepojené vodorovným priehradovým vystužovadlom (obr. 5 vpravo).



Obr. 5 – Skúmaná dvojica nosníkov a vodorovné vystužovadlo v rovine horných pásov

Priehradové vystužovadlo bolo vyrobené ako drevený priamopásový priehradový nosník so styčnicami s oceľovými doskami s prelisovanými trňami a k horným pásom skúšaných nosníkov bolo pripojené drevoskrutkami. V mieste podpier a na koncoch priehradových nosníkov bol výstužný systém doplnený dvojicou zvislých oceľových vystužovadiel usporiadaných v tvare kríža. Keďže išlo o ťahaný systém vystužovadiel, aktivovanie oceľových vystužovadiel bolo zabezpečené dopínaním (obr. 6 vľavo).



Obr. 6 – Zvislé oceľové vystužovadlo a koncová podpera skúšobných vzoriek

Podopretie nosníkov na oboch koncoch tvorili betónové bloky, na ktoré boli uložené oceľové podpery vyrobené z valcovaného prierezu HE 400A (obr. 6 vpravo). Zaťažovanie nosníkov sa realizovalo prostredníctvom nádob, ktoré sa podľa potreby naplňali vodou (obr. 7). Zaťažovacie nádoby boli vyrobené pracovníkmi firmy Tectum Novum a ich vodotesnosť bola pred zaťažovacou skúškou odskúšaná, aby v priebehu merania nedošlo k poškodeniu meracej aparatúry presakujúcou vodou a pod. Pri experimente bolo na zaťažovanie skúšobných vzoriek priehradových nosníkov celkovo použitých 20ks nádob, 10 + 10ks na každý nosník. Objem každej nádoby bol cca. 600 litrov, to znamená, že naplnením všetkých nádob bolo možné vyvolať premenné zaťaženie na každý nosník približne 6,0kN/m. Roznos zaťaženia na horný pás skúšobných vzoriek priehradových nosníkov zabezpečoval drevený rošt (pričnicky 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. Napĺňanie a odčerpávanie vody z a do zaťažovacích nádob zabezpečovali 4 ponorné elektrické čerpadlá.



Obr. 7 – Zaťažovacie nádoby pred a počas experimentu

2.3. 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. Namerané údaje boli po ukončení merania exportované do súborov formátu Microsoft Excel. Vzhľadom na počet meracích miest (16) museli byť použité 2 stanice Spider8, pretože jedno zariadenie umožňuje spracovávať merané údaje len z maximálne 8 meracích miest.

Pri overovaní priehradových nosníkov boli merané tieto veličiny (počty kusov na 1 vzorku):

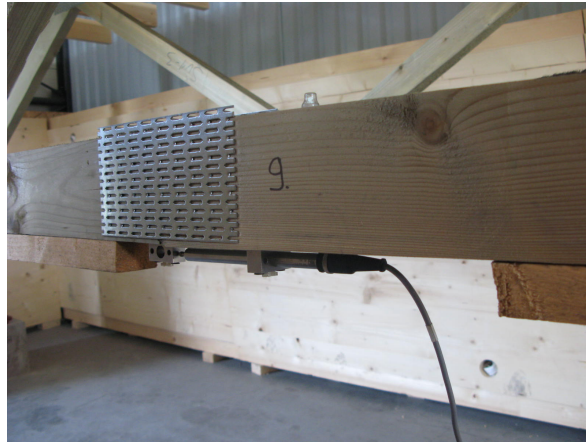
- zvislé deformácie skúšobnej vzorky 3x
- deformácia prípoja dolného pásu 1x
- reakcia v podpere nosníka 1x
- meranie pomerných deformácií skúšobnej vzorky 2x
- meranie pomerných deformácií oceľových vystužovadiel 1x

Príprava aj priebeh experimentu bol zaznamenávaný digitálnym fotoaparátom a digitálnou kamerou. Ako merače deformácií boli použité elektronické indukčné ihlicové deformometre (obr. 8).



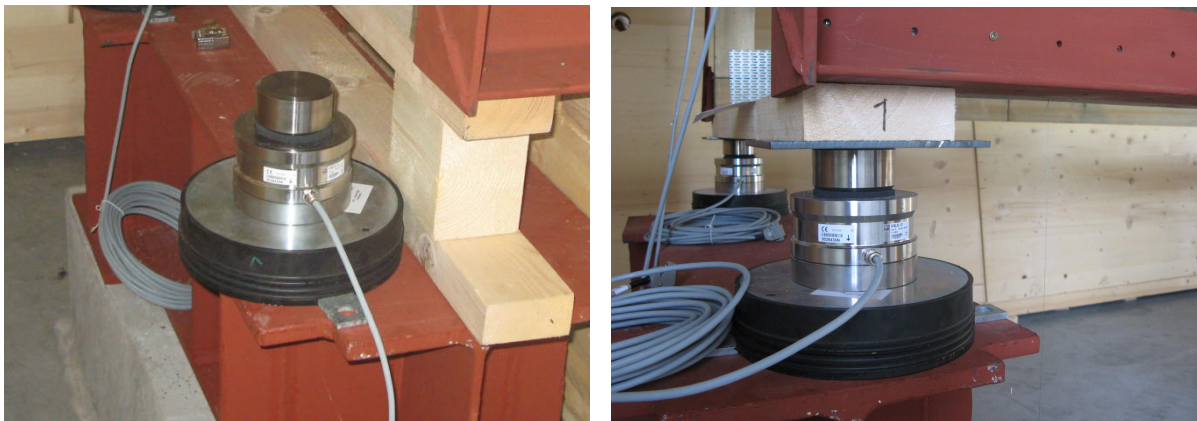
Obr. 8 – Meranie deformácií v mieste podpery a v strede rozpätia nosníka

Rozovretie prípoja na dolnom páse nosníkov bolo sledované pružinovým ihlicovým meračom vodorovných deformácií (HBM WA/20-T), ktorý sa spolu s kovovou zarážkou umiestnil v mieste spoja na spodný okraj dolného pásu priehradového nosníka (obr. 9).



Obr. 9 – Meranie rozovretia prípoja na dolnom páse 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. 10).



Obr. 10 – 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. 11).



Obr. 11 – Osadenie tenzometrov na skúšobnej vzorke

Rovnako boli osadené tenzometre aj na oceľových vystužovadlách (obr. 12).



Obr. 12 – Osadenie tenzometrov na oceľových vystužovadlách

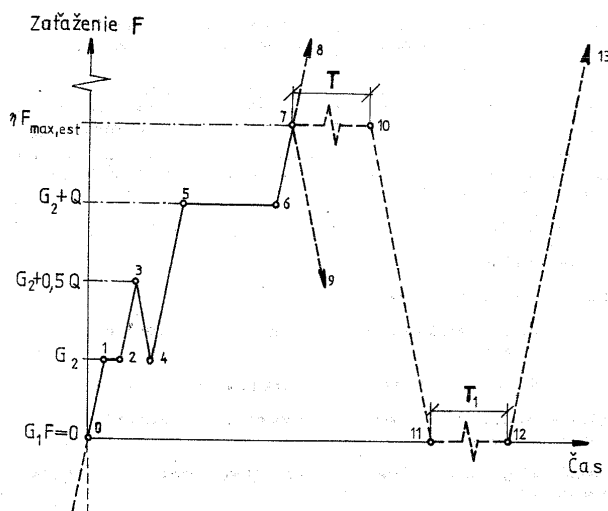
3. PRIEBEH A VYHODNOTENIE EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

Celkovo boli v priestoroch firmy Tectum Novum odskúšané 2 vzorky (1 dvojica) drevených prihradových nosníkov. Skúšobné vzorky boli označené A a B. Kapitoly uvedené v tejto časti sa zaoberajú vyhodnotením uskutočnených experimentálnych meraní, interpretáciou a porovnaním dosiahnutých výsledkov vzhľadom na vytvorené teoretické modely a tiež formuláciou čiastkových záverov.

3.1. 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 aparaturu.

Zaťažovaniu vzorky do porušenia predchádzalo niekoľko zaťažovacích cyklov (graf 1). Zaťažovací diagram bol zvolený na základe odporúčaní normy STN EN 380 (obr. 13).



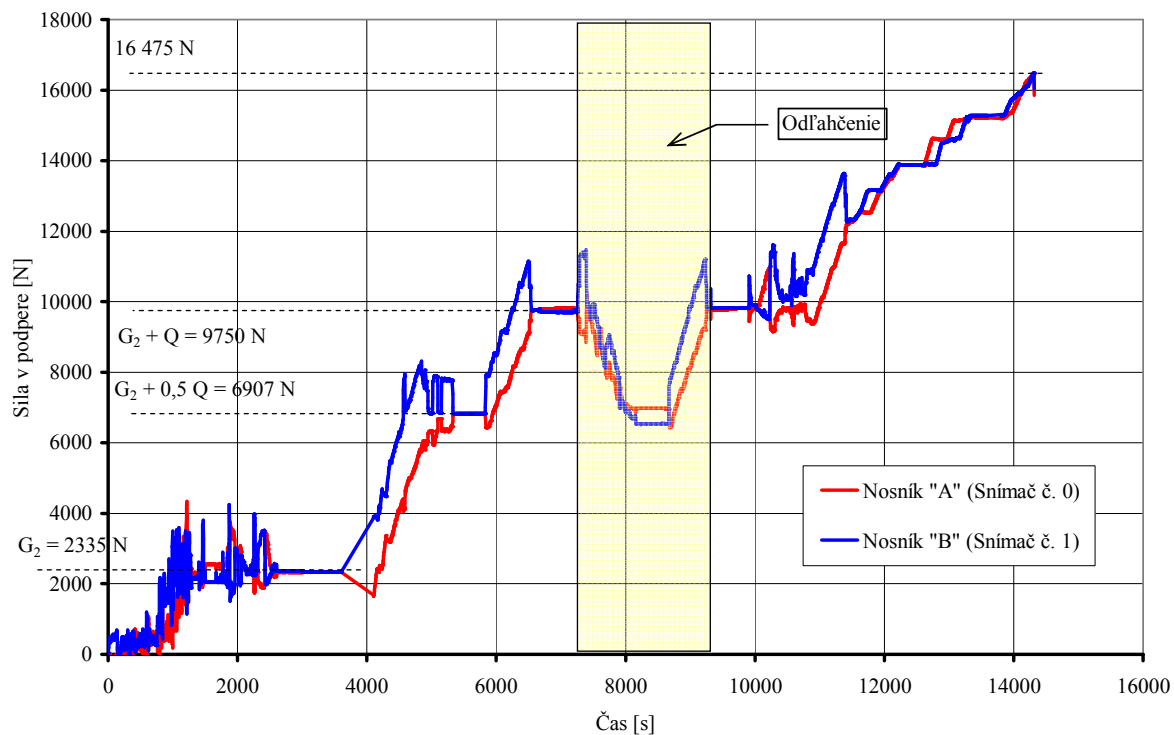
Legenda:

G_1 je vlastná tiaž konštrukcie,

G_2 je trvalo pôsobiace zaťaženie,

Q je charakteristická hodnota premenného zaťaženia

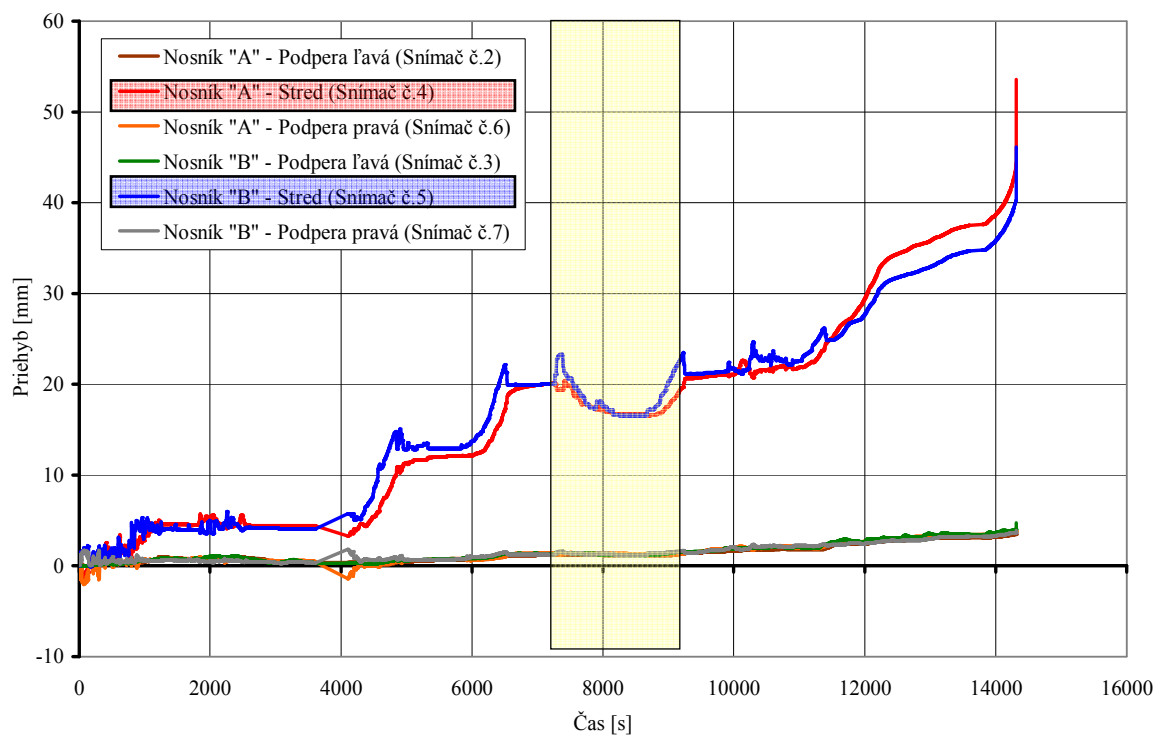
Obr. 13 – Schéma postupu zaťažovania podľa STN EN 380



Graf 1 – Závislosť zaťaženia od času

3.2. Deformácie nosníkov

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



Graf 2 – Závislosť zaznamenaných priehybov od času

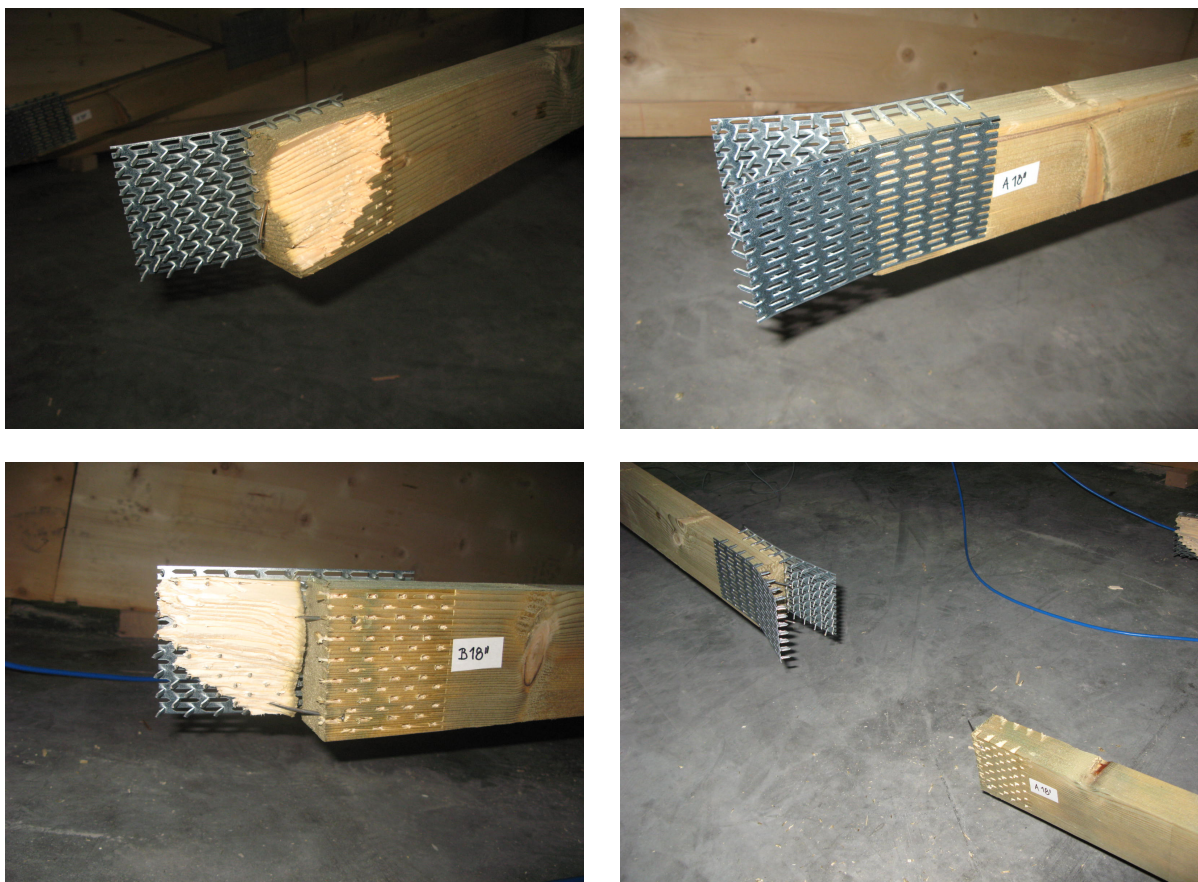
3.3. Pomerné deformácie a normálové napätia

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.

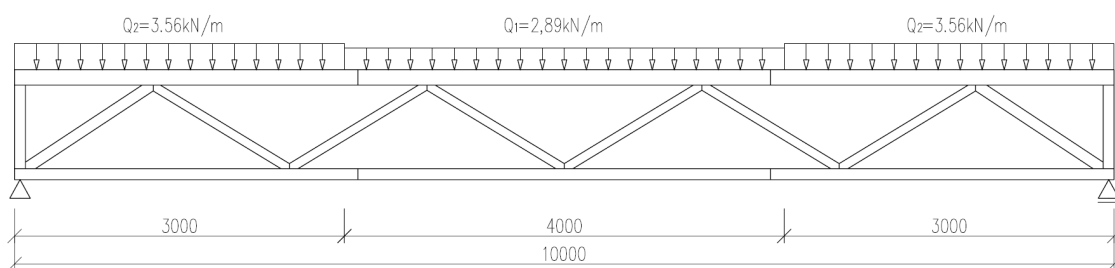
3.4. Charakter porušovania a odolnosť skúšobných vzoriek

Porušenie oboch skúšobných vzoriek nastalo súčasne vplyvom porušenia spoja (naspájania) spodného pása. Keďže dvojica nosníkov bola spojená do jednej skúšobnej zostavy, nie je možné jednoznačne stanoviť, ktorá zo skúšobných vzoriek skolabovala prvá v poradi. Kolaps druhej vzorky bol následne vyvolaný jej preťažením neúmerným nárastom zaťaženia. Podľa nameraných údajov (deformácia v mieste spoja spodného pása) je možné predpokladať, že ako prvý v poradi sa porušil nosník B.

V oboch prípadoch (nosník A aj nosník B) sa porušil spoj spodného pása. Pri skúšobnej vzorke A nastalo vytrhnutie hrotov oceľovej spojky z dreva (obr. 14 vpravo) a pri vzorke B nastalo tzv. blokové šmykové porušenie dreva v mieste spojky (obr. 14 vľavo). K porušeniu iných prvkov skúšobných vzoriek alebo skúšobnej zostavy došlo až po kolapse vzoriek.



Obr. 14 – Porušenie nosníka v mieste spoja spodného pása



Obr. 2.4 – Rozloženie a hodnoty zaťaženia pri kolapse skúšobných vzoriek

3.5. Porovnanie výsledkov experimentu s teoretickými modelmi

Výsledky experimentálnych meraní sa porovnávali s teoretickými modelmi. Overovali sa rovinné prútové modely využívajúce metódu konečných prvkov (ďalej MKP). Pri výpočtoch MKP sa používal výpočtový softvér na všeobecné použitie SCIA Nexis alebo softvér pre komplexný návrh vybraného typu priehradových nosníkov FINE Truss 2d. Fyzikálne a mechanické vlastnosti materiálov použité pri porovnávacích výpočtoch priehradových nosníkov zodpovedali triede reziva C24 a typu použitých oceľových spojok BV 15. Rozmery prierezu prútov sa upresnili podľa skutočne nameraných hodnôt. Porovnávací prepočet MKP bol zostavený pre niekoľko úrovní zaťaženia, aby bolo možné sledovať tendenciu hodnotených parametrov pri premennom (narastajúcom) zaťažení. Výsledky teoretických modelov a nameraných hodnôt boli zostavené do tabuliek (tab. 1 a 2) a grafov (kap. 2.6). Vzhľadom na merané veličiny sa porovnávacie výpočty zamerali na vyhodnotenie zvislých priehybov, deformácií spoja spodného pásu a normálových napätí na pásoch priehradového nosníka.

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					
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 styčnikoch 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 pre usporiadanie a pomer zaťaženia, aké boli dosiahnuté pri kolapse skúšobných vzoriek. 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 (nadržanie spodného pásu).

Teoretické posudky priehradových nosníkov boli rozdelené do 2 skupín vzhľadom na použité súčinitele spoľahlivosti materiálu dreva a styčnickových dosiek (skupina 3a: $\gamma_{M,drevo}=1,30$ a $\gamma_{M,spoje}=1,25$; skupina 3b: $\gamma_{M,drevo}=1,00$ a $\gamma_{M,spoje}=1,00$). Dosiahnuté 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 1955-1-1 a STN EN 1991 sú pre zaťaženia uvažované súčinitele zaťaženia $\gamma_G = 1,35$ resp. $\gamma_Q = 1,5$.

4. 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 tŕňmi 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.