

EXPERIMENTÁLNE OVEROVANIE SPRIAHNUTÉHO DREVO-BETÓNOVÉHO STROPU NA RD V STUPAVE

*M. Slivanský - L. Surovec**

Abstrakt

Experimentálne overovanie pôsobenia spriahnutých drevo-betónových nosníkov bolo zamerané na skúmanie reálneho spolupôsobenia dreva a betónu prostredníctvom systémových spriahovacích prvkov na skutočnej stropnej konštrukcii. V rámci experimentálneho výskumu boli naplánované a neskôr aj uskutočnené krátkodobé zaťažovacie skúšky reálnej stropnej konštrukcie.

Experimentálny výskum bol pripravený a zrealizovaný pracovníkmi Katedry kovových a drevených konštrukcií zo Stavebnej fakulty v Bratislave v spolupráci s firmami Würth a Cetrís.

1. ÚVOD

Obsahom rekonštrukcie rodinného domu v Stupave (obr. 1, vľavo) je kompletná obnova nosných aj nenosných častí objektu vrátane jeho technologického vybavenia a čiastočné nadstavbenie obytného podkrovia (s kompletnou výmenou stropnej konštrukcie a konštrukcie krovu).



Obr. 1 Pôvodný rodinný dom (vľavo) a novybudovaná nadstavba (vpravo)

* Miloš Slivanský, Ing., PhD., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, milos.slivansky@stuba.sk
Lukáš Surovec, Ing., STU v Bratislave, Stavebná fakulta, lukas.surovec@stuba.sk

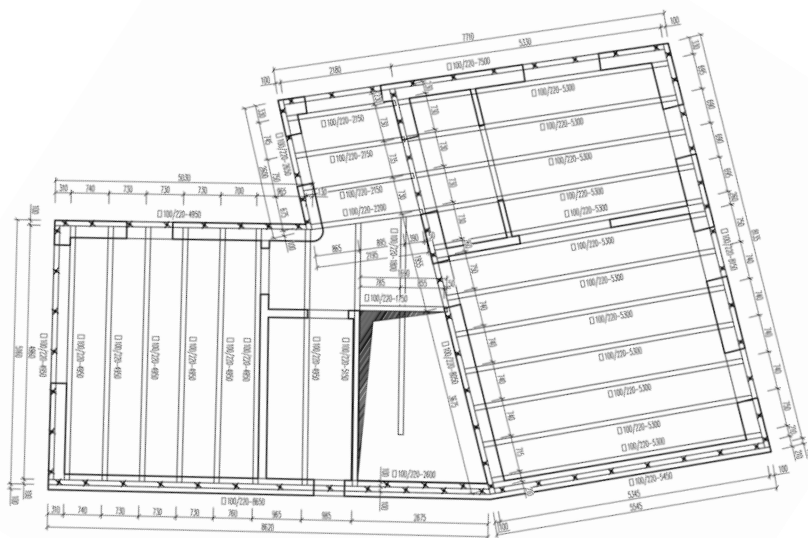
Vzhľadom na profesionálnu zainteresovanosť investorov v odbore nosných konštrukcií bolo pri riešení rekonštrukcie rodinného domu zvažovaných viacero variant nosnej konštrukcie. Medzi hlavné faktory ovplyvňujúce výsledné materiálové a tiež konštrukčné riešenie patrili:

- čo najlepší pomer medzi statickou odolnosťou novej konštrukcie a zabudovanou hmotnosťou materiálu, pretože jestvujúce nosné steny a základy vzhľadom na vek objektu vykazovali viaceré poruchy;
- obmedzenie mokrých procesov v čo najširšej miere, pretože dobudovanie väčšiny nosných konštrukcií reálne prebiehalo zimnom období;
- celkový komfort bývania a architektonický výraz rodinného domu, pretože veľká časť stropu a tiež stien nadstavby je navrhnutá ako pohľadovo priznaná, bez dodatočného prekrytia povrchov.

Ako rozumný kompromis medzi cenou a riešením spĺňajúcim vyššie uvedené kritériá bola nakoniec zvolená kombinovaná koncepcia nosného systému - drevená montovaná konštrukcia z 3-vrstvových panelov z krížom lepeného dreva hrúbky 90mm (obr. 1, vpravo) a trámový drevo-betónový strop spriahnutý s betónovou doskou hrúbky 70mm.

2. STROPNÁ KONŠTRUKCIA

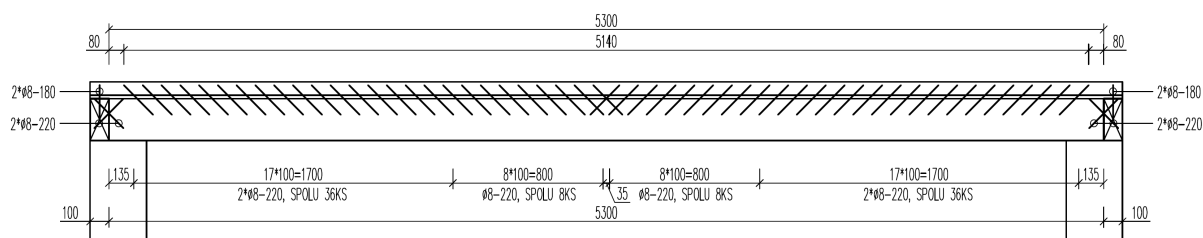
Stropná konštrukcia je zrealizovaná ako drevo-betónový spriahnutý strop, ktorý pozostáva zo sústavy stropných nosníkov dimenzie 100/220mm vo vzájomnej vzdialenosti cca. 700mm-800mm spriahnutých s betónovou doskou hrúbky 70mm (obr. 3).



Obr. 3 Pôdorys spriahnutej stropnej konštrukcie

Ako stratené debnenie sú použité veľkoformátové cemento-trieskové dosky CETRIS Basic hrúbky 18mm. Betónová doska je pri spodnom povrchu celoplošne vystužená zväranou sieťovinou dimenzie $\varnothing R6$ s rozmerom oka 150/150mm. Ako spriahovacie prvky sú použité skrutky so širokým závitom Würth typu ASSY plus VG dĺžky 220mm s priemerom 8mm. Skrutky sú orientované šikmo (uhol odklonu je cca. 45°) a sú osadené vo vzájomných osových vzdialenostiach 100mm. Rozmiestnenie skrutiek čiastočne sleduje čiaru materiálového krytia šmykového toku, pri nosníkoch s

rozpätím 4,95m a 5,30m sú na okrajoch nosníkov (približne do 1/3 rozpätia) použité 2-ice skrutiek a uprostred nosníka iba 1 rad skrutiek (obr. 2). Inými, menej tradičnými, možnosťami spriahnutia sa vo svojich prácach zaoberajú Čajka v [1] a Lokaj v [2].



Obr. 2 Rozmiestnenie spriahovacích prostriedkov

3. REALIZÁCIA SPRIAHNUTÉHO DREVO-BETÓNOVÉHO STROPU

Nová konštrukcia stropu je uložená na hornú hranu železobetónových vencov. Stropné nosníky trámového stropu dimenzie 100/220mm sú s drevenými lemovacími nosníkmi pripojené bez viditeľných spájacích prostriedkov, t.j. šikmými skríženými skrutkami (2 alebo 4 skrutky so širokým závitom Würth typu ASSY plus VG). Lemovacie nosníky trámového stropu sú kotvené do železobetónových vencov prostredníctvom oceľových svorníkov $\varnothing 16$ mm osadených do vencov pred betonážou. Na všetky prvky trámového stropu a rovnako na prvky konštrukcie krovu je použité sušené hoblované rezivo pevnostnej triedy C24(obr. 4, vľavo).



Obr. 4 - Pohľad na drevený trámový strop (vľavo) a detail osadenia spriahovacích skrutiek Würth (vpravo)

Ako stratené debnenie stropu sú použité veľkoformátové cemento-trieskové dosky CETRIS Basic hrúbky 18mm s rozmermi 3350x1250mm, ktoré sú ukladané na hornú hranu stropných nosníkov. Dosky CETRIS Basic majú hladký povrch, prirodzenú šedú farbu a vo veľkej časti interiéru budú priznané spolu s trámami ako pohľadové prvky. Boli formátované priamo na stavbe a ukladané podľa pripraveného kladačského plánu. K dreveným stropným nosníkom boli pripájané iba konštrukčne. Spoje dosiek boli pred ďalšími stavebnými prácami prelepené technickou páskou, čím sa vytvorila provizórna, ale pomerne slušne vodotesná stropná rovina. Po zadebnení stropu sa uložila celoplošne výstužná sieť a okraje schodiskového priestoru sa konštrukčne vystužili viazanou výstužou. Samovrtné spriahovacie

skrutky so širokým závitom Würth typu ASSY plus VG sa osádzali do predvrtaných otvorov v cemento-trieskových doskách (obr. 4, vpravo). Osádzanie skrutiek bez čiastočného predvrtania sa pri realizácii stropu neosvedčilo. Na osadenie skrutiek ASSY plus VG bola od firmy Würth pôvodne zapožičaná skrutkovacia šablóna, avšak pri použitom množstve skrutiek (cca. 2700ks) a pri navrhnutom rozmiestení (každých 100mm), bolo jej použitie neefektívne.

4. PRÍPRAVA EXPERIMENTU

Vzhľadom na geometriu stropnej konštrukcie sa overovali stropné nosníky pre najväčšie teoretické rozpätie, fyzická dĺžka skúmaných je nosníkov 5,30m a teoretické rozpätie nosníkov je 5,10m. Skúmaná bola dvojica susedných nosníkov. Staticky v konštrukcii pôsobia ako prosté.



Obr. 5 Meranie deformácie stropnej konštrukcie (vľavo) a zaťaženie stropnej konštrukcie (vpravo)

Experimentálne meranie prebiehalo 8 dní v marci 2015. Pri experimentálnych meraniach sa sledovali jednak pomerné pretvorenia na hornom a spodnom povrchu stropného nosníka, pomerné pretvorenia na hornom povrchu betónovej dosky, pomerné pretvorenie na spodnom povrchu debnenia a tiež zvislé deformácie stropnej konštrukcie v mieste zaťažovaných a priľahlých susedných stropných nosníkov.

Meranie a zapisovanie údajov (celkovo 16 meracích miest) bolo riešené digitálnou meracou aparátúrou Spider8 pripojenou na prenosný počítač. Osadenie meračov a lokalizáciu meraných miest ilustrujú obr. 5 a 6.

Zaťažovanie a meranie stropnej konštrukcie malo charakter krátkodobých nedeštruktúrnych skúšok a bolo realizované po dosiahnutí 28 dňovej pevnosti betónu. Keďže hlavnou ambíciou merania bolo vyhodnotiť okamžité prírastky napätí a pretvorení pri náraste, alebo poklese zaťaženia a nie dlhodobo hodnotiť konštrukciu na celom meranom časovom intervale, boli pri meraní použité odporové tenzometre v zapojení bez kompenzácie.

Zaťaženie stropnej konštrukcie bolo realizované vrecovaným štrkom (obr. 5, vpravo). Úroveň zaťaženia bola stanovená ako 100% vo výpočte uvažovaného charakteristického zaťaženia stropu (vrstvy podlahy = $0,5\text{kN/m}^2$ a úžitkové zaťaženie vrátane ľahkých priečok = $2,8\text{kN/m}^2$). Pri tejto hodnote predstavovalo zaťaženie stropu sústredené nad dvojicou nosníkov cca. 2400kg (71 vriec, $\rho=34\text{kg}$). Meranie stropnej konštrukcie bolo rozdelené do 3 fáz, odstojkovanie stropu a meranie od

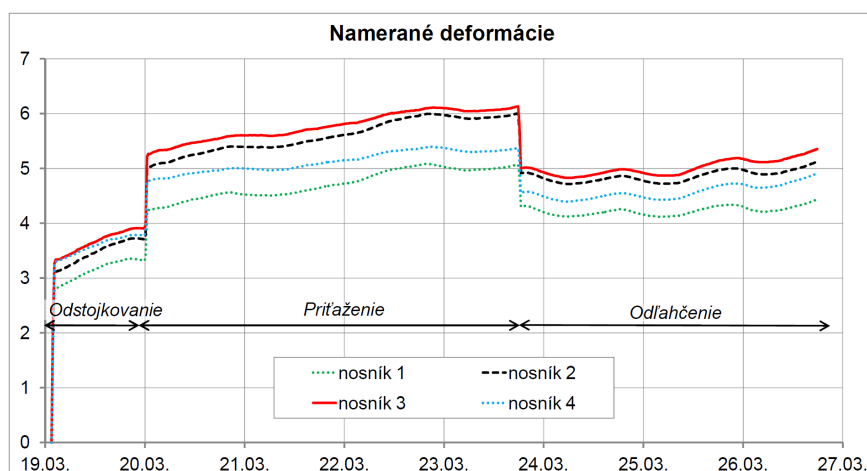
účinku vlastnej tiaže, prítiaženie dvojice nosníkov vrecovaným štrkom, odľahčenie konštrukcie.



Obr. 6 Meranie pomerných pretvorení na okraji drevených trámov (vľavo) a na hornom povrchu betónovej dosky (vpravo)

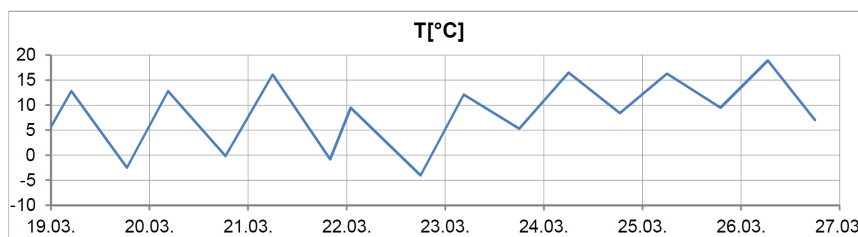
5. VÝSLEDKY MERANIA

Počas merania neboli na konštrukcii spozorované žiadne poruchy, ako je vznik trhlin alebo nadmerné deformácie. Namerané priehyby konštrukcie sa rádovo pohybovali na úrovni hodnôt predbežne určených statickým výpočtom. Maximálny okamžitý nameraný zvislý priehyb nosníka od plného zaťaženia uprostred rozpätia (po odčítaní stlačenia v podperách) pri plnom zaťažení dosiahol hodnotu cca. 4,5mm. Pri dĺžke trvania zaťaženia cca. 4 dni sa prejavil ďalší nárast zvislého priehybu vplyvom dotvarovania o cca. 0,9mm a priehyb sa zväčšil na výslednú hodnotu 5,3mm. Pri odľahčení sa konštrukcia správala skoro ideálne pružne a ďalšie dotvarovanie počas nasledujúcich 4 dní (či už nárast alebo pokles priehybu) spozorované neboli. Z grafov na obr. 7 je pomerne ľahko vyzpozorovateľný aj vplyv zmeny teploty (obr. 8) na zmenu priehybu (mierne kolísavý priebeh). Nezaťažené nosníky sú zobrazené bodkovanou čiarou.



Obr. 7 Záznam z merania deformácií

Pri experimente sa podľa očakávania výrazne prejavil pozitívny priečny roznos zaťaženia k príľahlým nezaťaženým nosníkom. Práca zaťažených nosníkoch na celkovom prenose zaťaženia bola približne iba 45-50%.



Obr. 8 Približný záznam rozkmitu vonkajšej teploty (podľa merania SHMÚ)

Globálne hodnotenie nameraných údajov pomerných pretvorení je pomerne komplikovaná úloha. Vplyv zmeny teploty na zmenu meraného pomerného pretvorenia sa prejavoval okamžite a je veľmi výrazný. V prípade tenzometrov nalepených na betónovej doske bol najvýraznejší. Predpokladáme, že tento jav súvisí hlavne s 2 faktormi - priestor podkrovia nebol počas experimentu ani len temperovaný a tepelná vodivosť betónu je násobne vyššia ako tepelná vodivosť dreva. Keďže nebolo použité zapojenie tenzometrov s kompenzáciou, v teplota najvýraznejšie ovplyvňovala merací obvod tenzometra (chyba merania) a nie stropnú konštrukciu (tepelná rozťažnosť materiálov).

6. ZÁVER

Spriahnuté stropné drevo-betónové konštrukcie predstavujú v pozemnom stavitelstve zatiaľ pomerne málo experimentálne aj teoreticky preskúmanú oblasť. Vzhľadom na neustále narastajúci trend používania prírodných a recyklovateľných materiálov v stavebníctve, je použitie dreva vysoko aktuálna téma. Spriahnutý drevo-betónový strop pri správnom návrhu (v porovnaní s tradičným dreveným trámovým stropom) zlepšuje jednak statické vlastnosti celej stropnej konštrukcie (statická odolnosť, dynamická odozva a pod.), a jednak zvyšuje komfort užívania objektu vplyvom zlepšenia akumulčných a akustických vlastností stavby.

Uskutočnené experimentálne meranie preukázalo, že vyššie spomenuté statické výhody sú platné aj pri reálnej konštrukcii. Pri experimente sa takisto výrazne prejavil pozitívny priečny roznos zaťaženia k príľahlým nezaťaženým nosníkom, ktorý je v prípade bežnej drevenej trámovej konštrukcie takmer zanedbateľný.

Podrobné porovnanie výsledkov merania s používanými výpočtovými metódami, numerickými modelmi a laboratórnymi skúškami bude spracované pri ďalšom publikovaní výsledkov tohto experimentálneho merania v spolupráci s doktorandom Katedry kovových a drevených konštrukcií Ing. Lukášom Surovcom.

LITERATÚRA

- [1] Čajka, R., Burkovič, K.: Coupled timber-concrete ceiling using bonded shear connectors. *Advanced Materials Research*, volume 772, 2013, str. 130-135.
- [2] Agel, P., Lokaj, J.: Semi-rigid joint of timber-concrete composite beams with steel plates and convex nails. *Wood Research*, 59 (3): 2014, str. 491-498.