PARAMETRICKÁ ŠTÚDIA POROVNÁVAJÚCA VPLYV ROZPÄTIA A HRÚBKY KOMPOZITOVÝCH DREVO-BETÓNOVÝCH STROPOV

PARAMETRIC STUDY COMPARING THE IMPACT OF THE MARGIN AND THICKNESS OF COMPOSITE TIMBER-CONCRETE CEILINGS

Klara Freudenberger^{*,1}

*klara.freudenberger@stuba.sk

¹Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra kovových a drevených konštrukcií, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika

Abstrakt

Príspevok predstavuje porovnanie dvoch konceptov spriahnutých drevo-betónových stropov a ich nespojených alternatív na základe parametrickej štúdie porovnaním výsledných priehybov jednotlivých variantov a zároveň so zohľadnením medzného stavu únosnosti. Zahŕňa porovnanie spojených a nespojených variantov pri zachovaní rovnakých okrajových podmienok, ako je zaťaženie, hrúbka stropu a šírka zaťaženia. Účelom tohto príspevku je zjednodušiť optimálny výber stropnej konštrukcie na základe vhodnosti nosnej konštrukcie.

Kľúčové slová

Stropné konštrukcie, spriahovacie prostriedky, krížom lepené lamelové drevo, drevo

Abstract

The article is a comparison of two concepts of composite timber-concrete ceilings and their uncoupled alternatives based on a parametric study by comparing the resulting deflections of individual variants and taking into account the ultimate limit state at the same time. It involves comparing coupled and uncoupled variants while maintaining the same boundary conditions such as load, ceiling thickness and load width. The purpose of this paper is to simplify the optimal selection of the ceiling structure based on the suitability of the supporting structure.

Key words

Ceiling structures, shear connectors, cross laminated timber, timber

1 ÚVOD

V dnešnej dobe sa pokladá za dôležité používanie materiálov, pri ktorých sa zohľadňuje vplyv zanechania čo najmenšej uhlíkovej stopy [1]. A ako je známe, za najvhodnejší základný konštrukčný materiál je považované drevo. Bežne používané drevené stropné konštrukcie nie sú dostatočne efektívne. Aby bolo možné maximálne využiť potenciál týchto konštrukcií, je potrebné aplikovať element spriahnutia [2]. Je všeobecne známe, že aplikovaním spriahnutia vieme byť efektívnejší pri návrhu stropnej konštrukcie. Spriahnutie zabezpečuje spolupôsobenie jednotlivých materiálov a zvyšuje únosnosť a tuhosť konštrukcie.

2 PARAMETRICKÁ ŠTÚDIA

Spriahnutie

Vytvorením spriahnutého prierezu zabezpečujeme spolupôsobenie dvoch elementov (Obr. 1). Tento jav vieme overiť na základe priebehu normálových síl po výške prierezu. V rámci tejto štúdie sa konkrétne jedná o vzájomné prepojenie medzi dreveným a betónovým prierezom. Na zabezpečenie spriahnutia je možné použiť mechanické spriahovacie prostriedky, vytvorenie drážok alebo lepením [3]. V tomto prípade sa zameralo na použitie skrutiek

ktoré patria do kategórie poddajných mechanických spriahovacích prostriedkov. V rámci celej štúdie je používaný rovnaký druh skrutiek a to: Rothoblaas CTC hrúbky 9 mm pri dĺžke 240 mm [4]. Skrutky sú aplikované paralelne pod sklonom 45° v dvoch radoch vedľa seba.

Obr. 1 Pozdĺžny rez zobrazujúci umiestnenie spriahovacích skrutiek.

Použité vzorky

V rámci štúdie sú vytvorené varianty spriahnutých systémov, aby bolo možné overiť ich efektívnosť. Ako kontrolné vzorky boli vyhotovené ich nespriahnuté alternatívy. Používané varianty stropných systémov pozostávajú z drevenej a betónovej časti. Ako prvý variant (Obr. 2) je zvolený stropný systém pozostávajúci z dreveného trámu (TR) triedy C24, debnenia a betónovej časti C20/25. Druhý variant (Obr. 3) pozostáva z CLT panelu a betónovej časti C20/25. Pri všetkých variantoch sa mení len výška drevenej časti prierezu a rozpätie stropnej konštrukcie. Zaťažovacia šírka 1 meter je aplikovaná na všetky vzorky.

Obr. 2 Priečný rez spriahnutého trámového drevo-betónového stropu.

Obr. 3 Priečný rez spriahnutého doskového drevo-betónového stropu.

3 METODIKA

Analytická štúdia je vypracovaná v programe MS Excel, kde je vytvorený algoritmus ktorý pri výpočte zohľadňuje rozdielne materiálové a geometrické parametre. Parametre je potrebné prepočítať tak, aby boli vzájomne kompatibilné. Keďže sa jedná o spriahnutie medzi dvomi materiálmi, pri výpočte je potrebné zohľadniť rozličnosť prierezových veličín. Vo variante s CLT panelom je v prvom kroku potrebné využiť γ -metódu - návrhový postup,

ktorý je uvedený v norme STN EN 1995-1-1 [5]. Na základe tejto metódy sa vie zohľadniť účinnosť jednotlivých vrstiev a vyjadriť prislúchajúci moment zotrvačnosti efektívneho prierezu CLT segmentu. Následne sa aplikuje metóda idealizovaného prierezu, ktorá je založená na vytvorení idealizovaného prierezu pôvodne pozostávajúceho z viacerých materiálov. Tento výsledok sa vie dosiahnuť po vypočítaní pracovného súčiniteľa, pomocou ktorého sú následne už vypočítané efektívne prierezové charakteristiky.

V rámci analýzy je v prvom kroku posudzovaná vzorka na začiatku životnosti [6]. Prierez je posúdený na medzný stav únosnosti (ULS) pri jednotlivých spôsoboch namáhania po výške prierezu. Následne je posúdenie aplikované na medzný stav použiteľnosti (SLS) kde je posudzovaný okamžitý priebeh. V ďalšom kroku je zohľadnené popustenie spojov [7]. Následne sú vyhodnotené posúdenia pre ULS a SLS aj na konci životnosti.

4 VÝSLEDKY

Na efektívnosť návrhu vplyva mnoho faktorov, ako je napr. materiálové a geometrické parametre, množstvo a druh spojovacích/spriahovacích prostriedkov, zaťažovacia šírka a efektívne rozpätie stropnej konštrukcie.

Je známe, že hrúbka konštrukcie má vplyv na konečný priebeh konštrukcie. Vplyv možno vidieť na Obr. 4 až 7. Spriahnutý doskový strop je možné aplikovať do rozpätia približne 9,5 m. Na druhej strane, trámový spriahnutý strop je možné aplikovať len do rozpätia približne 6,5 m pri ponechaní zaťažovacej šírky 1 m. Pri porovnaní s ich nespriahnutými variantmi je možné pozorovať, že nespriahnuté trámové varianty zväčša nespĺňajú podmienku SLS na konci životnosti v rámci celej pozorovanej škály rozpätí, jedine pri použití trámu o výške 280 mm pri rozpätí 5 m bolo možné splniť podmienku. Nespriahnuté doskové stropy spĺňajú okrajovú podmienku konečného priebehu do 8 m, ale už len pri najväčšej overovanej hrúbke CLT panelu 280 mm.

Obr. 4 Porovnanie konečných priebehov pri závislosti výšky trámu a jeho rozpätia pri nespriahnutom variante.

Obr. 5 Porovnanie konečných priebehov pri závislosti výšky trámu a jeho rozpätia pri spriahnutom variante.

V rámci štúdie boli taktiež sledované priebehy napätí po výške prierezu a vyhodnotené posúdenia na ULS a SLS na konci životnosti. Ako je možné pozorovať, v Tab. 1 a 2, posúdenia jednotlivých prierezov nie vždy spĺňajú oba medzné stavy. K prekročeniu napätí dochádza v najväčšej miere v drevenej časti prierezu.

Obr. 6 Porovnanie konečných priehybov pri závislosti výšky trámu a jeho rozpätia pri nespriahnutom variante.

Obr. 7 Porovnanie konečných priehybov pri závislosti výšky trámu a jeho rozpätia pri nespriahnutom variante.

Tab. 1 Vyhodnotenie posúdení na konci životnosti pre trámové drevo-betónové stropy pri rozpätí 5 m.

Spriahnutý trámový drevo-betónový strop						Nespriahnutý trámový drevo-betónový strop					
Prierez		Koniec životnosti				Prierez		Koniec životnosti			
H _T	W _T	ULS		SLS		H _T	W _T	ULS		SLS	
		$\sigma_{1,u}/f_{cd}$	$\sigma_{2M}/(f_{md} + \sigma_{2,i})/f_{t,0,d}$	τ_{2max}/f_{vd}	w_{fin}/w_{lim}			$\sigma_{1,u}/f_{cd}$	$\sigma_{2M}/(f_{md} + \sigma_{2,i})/f_{t,0,d}$	τ_{2max}/f_{vd}	w_{fin}/w_{lim}
200	120	0,396	1,578	0,500	0,916	200	120	0,843	2,887	0,694	3,705
220	120	0,344	1,368	0,466	0,756	220	120	0,659	2,481	0,656	2,898
240	120	0,302	1,199	0,437	0,632	240	120	0,523	2,146	0,618	2,300
260	120	0,268	1,059	0,411	0,535	260	120	0,420	1,868	0,583	1,850
280	120	0,240	0,943	0,389	0,456	280	120	0,342	1,637	0,550	1,507

Tab. 2 Vyhodnotenie posúdení na konci životnosti pre doskové drevo-betónové stropy pri rozpätí 5 m.

Spriahnutý doskový drevo-betónový strop						Nespriahnutý doskový drevo-betónový strop					
Prierez		Koniec životnosti				Prierez		Koniec životnosti			
H _T	W _T	ULS		SLS		H _T	W _T	ULS		SLS	
		$\sigma_{1,u}/f_{cd}$	$\sigma_{2M}/(f_{md} + \sigma_{2,i})/f_{t,0,d}$	τ_{2max}/f_{vd}	w_{fin}/w_{lim}			$\sigma_{1,u}/f_{cd}$	$\sigma_{2M}/(f_{md} + \sigma_{2,i})/f_{t,0,d}$	τ_{2max}/f_{vd}	w_{fin}/w_{lim}
200	120	0,213	0,478	0,122	0,432	200	120	0,153	0,600	0,144	0,702
220	120	0,162	0,356	0,098	0,310	220	120	0,101	0,435	0,115	0,464
240	120	0,130	0,284	0,085	0,236	240	120	0,072	0,341	0,098	0,335
260	120	0,114	0,259	0,084	0,200	260	120	0,060	0,306	0,095	0,278
280	120	0,101	0,237	0,083	0,171	280	120	0,050	0,276	0,093	0,234

5 DISKUSIA

Pri porovnaní je potrebné zohľadniť posúdenia pri medznom stave únosnosti, ale aj použiteľnosti. Ak si postupne rozoberieme už vyššie zmieňované okrajové podmienky, zistí sa z Tab. 1 a 2, že môže nastať prípad, keď posúdenie vyhovuje len na SLS. Na porovnanie sa zoberú prierezy s výškou 240 mm pri všetkých variantoch. Zaťažovacia šírka 1 meter a rozpätie konštrukcií, ktorá je 5 metrov a je v rámci nasledujúceho porovnania jednotná. Prihliada sa na prvky v rámci posúdení na konci ich navrhovanej životnosti.

Pri trámových variantoch je pozorované namáhanie vo vyššej miere oproti doskovým variantom. Už pri namáhaní pri hornom okraji betónovej časti je možné pozorovať násobné hodnoty pri posúdení. Rozdiel medzi spriahnutým a nespriahnutým variantom je 22,1 % v prospech spriahnutého variantu. Vybrané vzorky trámových variantov vykazujú prekračujúce limitné hodnoty napätí. Je možné pozorovať, že v prípade spriahnutého trámového variantu došlo k poklesu o skoro 100 % oproti pôvodným 214,6 %. Taktiež pri posúdení konečného priehybu, kde trámový variant dosahuje hodnoty využitia až 230%. Hodnoty sú násobne prekročené a prvok nevyhovuje. Pri spriahnutom trámovom variante dochádza k poklesu na 63,2 % a prvok už spĺňa podmienku pre limitný priehyb. Tak, ako bolo nožné pozorovať značné rozdiely vo využiteľnosti medzi trámovým a spriahnutým trámovým variantom, je možné vidieť aj pri posúdeniach konečného priehybu. Na základe porovnania v rámci trámových variantov bolo možné pozorovať účinnosť spriahnutia.

V prípade doskových variantov, kde sa využitie pri hornom betónovom okraji pohybuje v 7,2 % a 13 % sa jedná o minimálne rozdiely v porovnaní s trámovými variantmi. V posúdeniach je rozhodujúce namáhanie pri dolnom okraji dreveného prvku, kde normálové napätia trámových variantov značne prekračujú odolnosti materiálov. V prípade doskových variantov posúdenia vyhovujú. Pri ich vzájomnom porovnaní nie je pozorovaný značný rozdiel, jedná sa o pokles namáhania len o 5,7 %. Dosky sú schopné lepšie prenášať zaťaženia. V rámci porovnania v uvedených Tab. 1 a 2 boli porovnávané varianty pri rozpätiach 5 metrov. Toto rozpätie sa pre CLT dosky javí ako zbytočne nízke. Aby bolo možné plné využitie potenciálu CLT panelov bolo by vhodné ich aplikovať na väčšie rozpätie.

6 ZÁVER

Spriahnutie sa javí ako účinný prostriedok na vytvorenie efektívnejšieho prierezu. Potvrdilo sa to v rámci porovnania spriahnutých variantov s ich nespriahnutými alternatívami. Za pomoci spriahnutia stropných prvkov sa dokáže zvýšiť odolnosť stropnej konštrukcie a zároveň je potenciál stesniť hrúbku nosných prvkov stropnej konštrukcie pri zachovaní jej pôvodného rozpätia. Spriahnuté doskové drevo-betónové stropy vykazujú svoj predpokladaný potenciál pri väčšom rozpätí. Používanie CLT panelov v spriahnutom stropnom systéme sa javí ako vhodné riešenie pri potrebe preklenovania väčších rozpätí.

V ďalšej fáze výskumu by bolo vhodné sa zamerať na spriahnuté systémy v ktorých sú použité CLT panely a nájsť a overiť iné druhy inovatívnych spriahovacích prostriedkov ako napríklad spriahnutie za použitia drážok.

Použité zdroje

- [1] Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331–351. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>
- [2] Jiang, Y., & Crocetti, R. (2019). CLT-concrete composite floors with notched shear connectors. *Construction and Building Materials*, 195, 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.066>
- [3] Quang Mai, K., Park, A., Nguyen, K. T., & Lee, K. (2018). Full-scale static and dynamic experiments of hybrid CLT-concrete composite floor. *Construction and Building Materials*, 170, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.042>
- [4] Rotho Blaas GmbH (2021). Skrutky a konektory do dreva 2021. [Online] [Dátum: 18. 04. 2021]
- [5] Európsky výbor pre normalizáciu (2008). STN EN 1995-1-01: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy - Annex B Nosníky s poddajnými spojmami.
- [6] Hassanieh, A., Valipour, H. R., & Bradford, M. A. (2017). Experimental and numerical investigation of short-term behaviour of CLT-steel composite beams. *Engineering Structures*, 144, 43–57. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.04.052>
- [7] Kanócz, J., & Bajzeczová, V. (2012). Influence of rheological behaviour on load-carrying capacity of timber-concrete composite beams under long term loading. *Procedia Engineering*, 40, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.049>