

TEORETICKÁ ANALÝZA SPRIAHNUTÉHO DREVO-BETÓNOVÉHO STROPU RD V STUPAVE

L. Surovec - M. Slivanský*

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá možnosťami statickej analýzy spriahnutých drevo-betónových konštrukcií. Pre porovnanie rôznych metód sú výpočty realizované na jestvujúcom strope rodinného domu (RD) v Stupave. Okrem normou predpísaného postupu, tzv. γ -metódy, je použitý mierne modifikovaný postup so zohľadnením čisto tlakového namáhania betónu. Taktiež ako alternatíva k „ručným“ výpočtom je využitý statický softvér SCIA Engineer, v ktorom bola konštrukcia modelovaná jednak ako celok, a taktiež len ako izolovaný stropný nosník spojený s betónovou doskou efektívnej šírky. Výsledky jednotlivých výpočtov sú doplnené a porovnané s dátami nameranými počas experimentu, ktorý prebehol v marci 2015.

1. ÚVOD

Spojenie dreva a betónu prináša mnohé výhody oproti čisto dreveným, resp. železobetónovým konštrukciám. V rámci prierezu sa drevo, vzhľadom na svoje mechanické vlastnosti, umiestňuje k ťahanému okraju. Naopak betón, vďaka vyššej tuhosti a dostatočnej odolnosti v tlaku, sa umiestňuje práve do tlačenej zóny. Vzniká tak vysoko únosný a dostatočne tuhý prierez, pri minimalizovaní vlastnej váhy oproti železobetónu. Okrem toho má takéto spojenie z hľadiska stavebnej fyziky aj ďalšie výhody. Výrazne sa napríklad zlepšuje kmitanie v porovnaní s drevenými konštrukciami, v stropoch dochádza k značnému zlepšeniu akustických, či tepelnotechnických vlastností, zvyšuje sa požiarne odolnosť.

Spriahnutie týchto dvoch materiálov je charakteristické tým, že vo výpočtoch uvažujeme iba s tzv. čiastočným spriahnutím. Príčinou je poddajnosť spojov používaných pre vytvorenie kompozitného drevo-betónového prierezu.

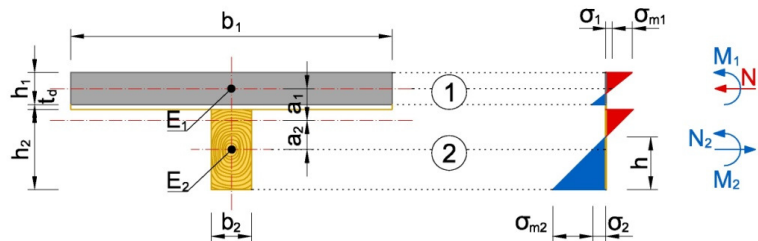
2. MOŽNOSTI ANALÝZY

2.1 Normový postup - γ -metóda

V prípade spriahnutého drevo-betónového stropu môžeme podľa Eurokódu 5 uvažovať s efektívnym prierezom tvaru „T“ (obr. 1). Tento výpočtový postup vyjadruje mieru spriahnutia pomocou súčiniteľa γ . Ten je závislý od modulu popustenia

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

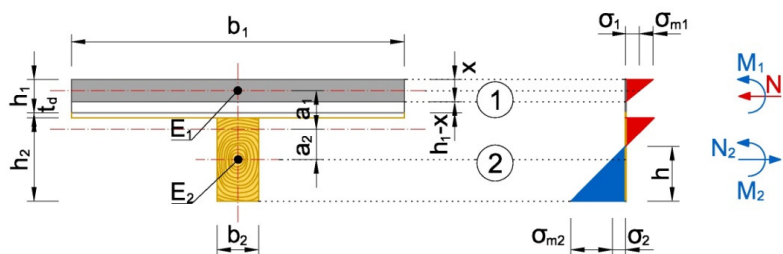
spojovacieho prostriedku K , vzdialenosti spojovacích prostriedkov s , rozpätia nosníka L a osovej tuhosti betónovej časti prierezu E_1A_1 . Norma nám ponúka vzťahy pre výpočet efektívnej ohybovej tuhosti, napätí v jednotlivých komponentoch prierezu, či namáhania spojovacích prostriedkov. Podrobnejšie popísaný postup je uvedený v [1].



Obr. 1 Výpočtová schéma spriahnutého drevo-betónového nosníka podľa EC5

2.2 Modifikovaný normový postup

V kapitole 1.1 je uvedený normový postup pre výpočet spriahnutých drevo-betónových nosníkov. V tejto metóde výpočtu je pripustený vznik ťahových napätí v betónovej časti prierezu. V skutočnosti však pri dosiahnutí určitej hladiny namáhania betónu ťahom dochádza k vzniku trhliny, ktorá sa rozšíri až po úroveň neutrálnej osi. Tým pádom betón ťahové napätia nie je schopný prenášať a dochádza k prerozdeleniu ohybovej tuhosti na prúte. Pre zohľadnenie tohto javu je možné normový výpočtový model mierne upraviť a vo výpočte efektívnej ohybovej tuhosti prierezu uvažovať iba s tlačnou časťou betónu (obr. 2). Podrobne je tento postup popísaný v [3].

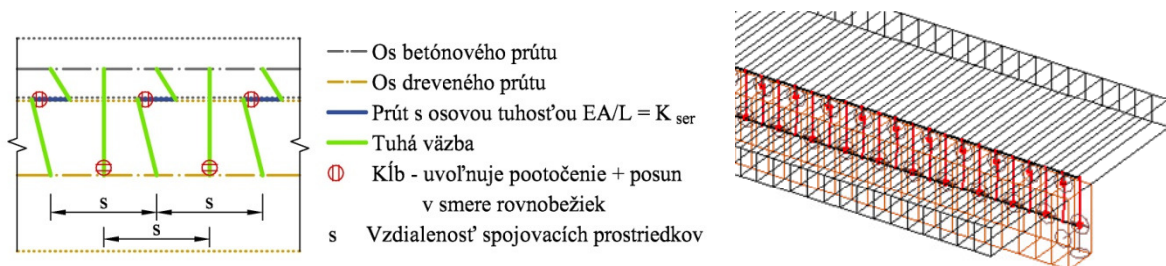


Obr. 2 Výpočtová schéma pre výpočet s uvažovaním čisto tlakového namáhania betónu

2.3 Modelovanie v MKP

V bežných komerčných programoch pre statickú analýzu konštrukcií je možné vytvoriť spriahnutý prierez rôznych tvarov a z rôznych materiálov. Kompozitné drevo-betónové konštrukcie sú však niečím špecifické – ich spriahnutie nie je ideálne tuhé. Na vytvorenie poddajného šmykového spojenia však môžeme využiť dostupné prostriedky obsiahnuté v štandardných programoch. Pre analýzu v 2D môžeme drevo a betón modelovať ako dva samostatné prúty s obdĺžnikovým prierezom, umiestnené nad sebou vo vzájomnej vzdialenosti rovnaj skutočnej vzdialenosti ťažísk čiastkových prierezov. Podopretie môžeme aplikovať na drevený prút, zaťaženie na betónový prút. Ďalej je potrebné zabezpečiť adekvátne spolupôsobenie na základe konkrétneho spôsobu spriahnutia, tzn. potrebujeme poznať modul popustenia spojovacieho prostriedku. V prípade, že túto hodnotu poznáme, môžeme pokračovať v modelovaní rozhrania. Na prenos zvislého zaťaženia je možné použiť tuhé väzby,

v ktorých však uvoľníme väzbu rovnobežnú s osou spriahnutého nosníka a taktiež pootočeniu. Tým zabezpečíme, že väzba prenáša len zvislé zaťaženie. Na prenos posúvnej sily použijeme prúty s osovou tuhosťou rovnou modulu popustenia. Tie umiestnime na zvislej osi presne na rozhraní materiálov, pričom vzájomné vzdialenosti prútov sú totožné so vzdialenosťami spojovacích prostriedkov na skutočnom nosníku. Dôležité je, aby tento prút prenášal len osové zaťaženie. To môžeme dosiahnuť uvoľnením zvislej väzby a pootočením na jednom konci prúta. Na spojenie s betónovým a dreveným prútom použijeme opäť tuhé väzby. Detail modelovania rozhrania je zobrazený na obr. 3. Pre analýzu v 3D môžeme betónový prút nahradiť dosko-stenovými prvkami s príslušnou hrúbkou.



Obr. 3: Schéma pre vytvorenie modelu rozhrania (vľavo) a príklad vytvorený v programe Scia Engineering

3. ANALÝZA STROPU RD V STUPAVE

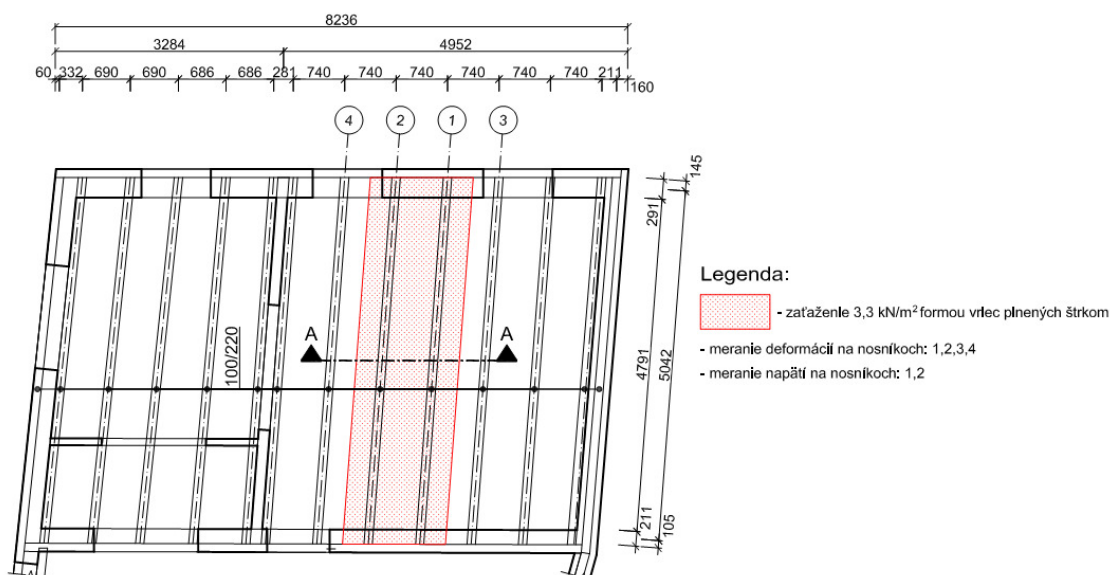
3.1 Popis konštrukcie a zaťaženia

Konštrukcia stropu RD v Stupave bola vytvorená sústavou drevených tráv rozmerov 100/220mm z KVH triedy C24. Maximálne rozpätie nosníkov bolo približne 5,1m. Trámy boli ukladané na obvodové železobetónové vence a po obvode pôdorysu boli olemované profilom z KVH, s ktorým boli spojené pomocou dvojice šikmo osadených skrutiek. Samotný lemovací nosník bol k vencom kotvený pomocou vopred osadených závitových tyčí. Ako debnenie tráv boli použité veľkoplošné cemento-vláknité dosky CETRIS Basic hr. 18mm. Tie boli k stropným nosníkom montážne prichytené pomocou stavebných klincov. Následne boli inštalované spojovacie prostriedky. V tomto prípade boli zvolené celozávitové skrutky Würth ASSY plus VG $\phi 8/220\text{mm}$, ktoré boli zaskrutkované pod uhlom 45° do vopred predvrtaných dier pozdĺž osí nosníkov. Skrutky boli od okraja nosníka do tretiny rozpätia umiestňované v dvojrade, v strednej tretine v jednom rade. Modul popustenia týchto spojovacích prostriedkov dosahuje pomerne dobré hodnoty, ktoré boli uvažované v súlade s technickým osvedčením firmy Würth [2]. Týmto typom spojovacích prostriedkov sa zaoberali aj autori článku [6]. Ďalšie možnosti spriahnutia sú spomínané napríklad v prácach Čajku [4], či Lokaja [5].

Pred samotnou betonážou bola na debnenie uložená výstuž vo forme zváraných sietí z betonárskej ocele $\phi 6$ s okami 150/150mm. Nasledovalo naniesenie čerstvej betónovej zmesi triedy C25/30 s hrúbkou 70mm. Počas betonáže, ktorá prebiehala v januári 2015, a taktiež počas samotného tvrdnutia betónu, boli drevené trámy montážne podopreté v tretinách rozpätia. Časť pôdorysu drevených nosníkov stropu je zobrazená na obr. 4.

V marci 2015 bolo na tomto strope vykonané experimentálne meranie, ktoré bolo zamerané na sledovanie krátkodobej tuhosti stropnej konštrukcie. Vyšetrovaná bola

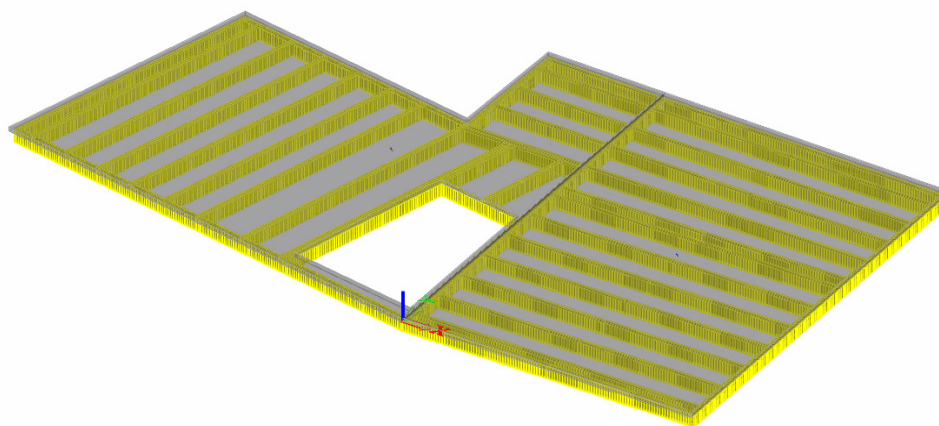
dvojica nosníkov vyznačená na obr. 4. Zaťaženie bolo vyvodené v troch krokoch. V prvej fáze boli po spustení merania odstránené dočasné podpery, a teda strop bol zaťažený vlastnou tiažou. Následne bol strop priťažný nad vyšetřovanou dvojicou nosníkov. Priťaženie bolo vyvolané vrecovaným štrkom, pričom jeho tiaž predstavovala 100% vo výpočte uvažovaného charakteristického zaťaženia stropu (spolu $3,3\text{kN/m}^2$). Poslednú fázu predstavovalo odstránenie priťaženia, pričom sa sledovalo odpruženie stropu. Samotné meranie bolo riešené digitálnou meracou aparátúrou Spider8, pričom bolo využitých 16 meracích uzlov, a celkovo trvalo 8 dní.



Obr. 4: Časť pôdorysu stropu s vyznačením zaťažených nosníkov

3.2 Model v MKP

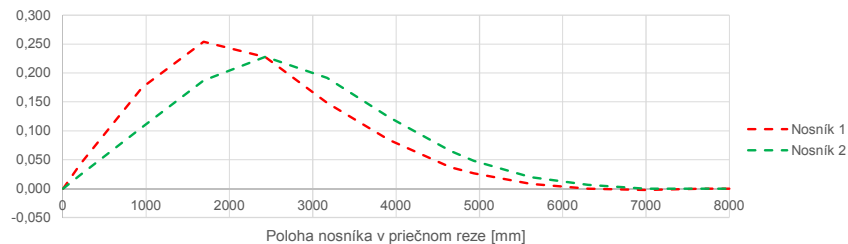
Pre porovnanie nameraných hodnôt deformácií, resp. pomerných pretvorení s teoretickými výsledkami bol vytvorený celkový 3D MKP model v programe SCIA Engineer (obr. 5). Model bol zaťažený dvomi zaťažovacími stavmi – vlastnou tiažou a pásovým zaťažením o hodnote $3,3\text{ kN/m}^2$ nad dvojicou sledovaných nosníkov. Rozhranie medzi drevom a betónom bolo modelované pomocou techniky popísanej v kapitole 2.3. Pomocou tohto modelu bolo možné porovnať výsledky s nameranými hodnotami pre konkrétny nosník. Okrem toho bol vytvorený aj MKP model izolovaného nosníka, ktorý bol zaťažený ekvivalentným zaťažením.



Obr. 5: 3D MKP model stropu

3.3 Čiara priečného roznosu

Keďže spriahnutie s betónovou doskou spôsobí prerozdelenie zaťaženia aj na susedné trámy, bola pre nosník 1 a 2 vytvorená čiara priečného roznosu zaťaženia. Jednotlivé poradnice boli vypočítané na základe deformácie nosníkov od pásového zaťaženia nad nosníkom 1, resp. 2, pričom priehyb bol určený z 3D MKP modelu. Tieto čiary priečného roznosu sú vykreslené na obr. 6. Na základe tejto analýzy bolo určené priráženie na zjednodušené modely (MKP, resp. ručné výpočty), ktoré predstavovalo len približne 45% zadaného pásového zaťaženia.



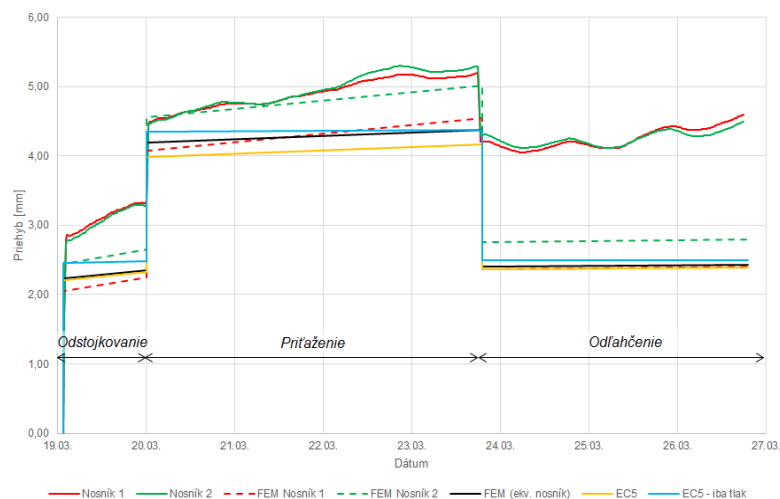
Obr. 6: Čiara priečného roznosu zaťaženia pre nosníky 1 a 2

4. POROVNANIE VÝSLEDKOV

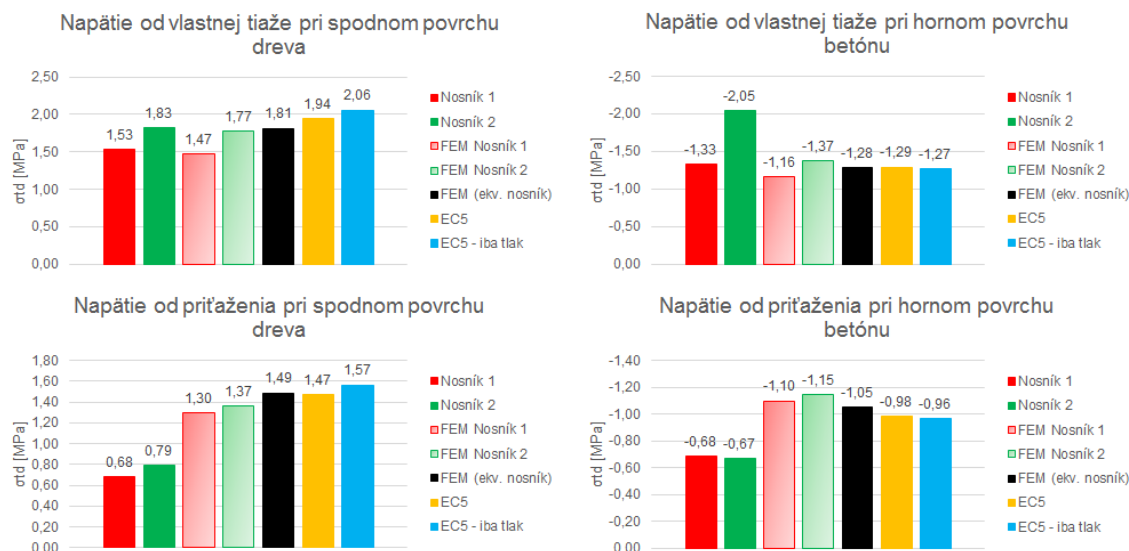
Na základe vyššie spomínaných metód boli vytvorené nasledovné modely spriahnutého stropu:

- 3D MKP model celého stropu (výsledky označené ako „FEM Nosník 1“, resp. „FEM Nosník 2“)
- MKP model izolovaného nosníka (výsledky označené ako „FEM (ekv. nosník)“)
- normový model, resp. výpočet (výsledky označené ako „EC5“)
- modifikovaný normový model, resp. výpočet, pre zohľadnenie čisto tlakového namáhania betónu (výsledky označené ako „EC5 – iba tlak“)

Všetky modely mali ekvivalentné parametre ako realizovaný spriahnutý strop RD v Stupave a boli zaťažené podľa kapitoly 3.1. Priebeh deformácií v čase pre rôzne výpočtové metódy a namerané hodnoty priehybu sú zobrazené na obr. 7. Porovnanie okamžitého prírastku napätí v dreve a v betóne pre jednotlivé zaťažovacie stavy je vo forme stĺpcových grafov zobrazený na obr. 8.



Obr. 7: Priehyb nosníkov v čase na základe rôznych metód výpočtu



Obr. 8: Porovnanie prírastkov napätí v dreve a v betóne pre jednotlivé zaťažovacie stavy

5. ZÁVER

Z grafu na obr. 7 je zrejmé, že všetky dostupné výpočtové metódy pomerne dobre korelujú s nameranými hodnotami priehybu nosníkov. Rozdiel je viditeľný najmä pri odpružení, ktoré vo výpočte nie je možné dostatočne dobre vystihnúť. Pri porovnaní prírastku napätí od zaťaženia vlastnou tiažou je opäť pozorovateľná relatívne dobrá zhoda. Jediný výrazný rozdiel je viditeľný len pri napätí v betóne na meranom nosníku č. 2. Namerané hodnoty prírastku napätia od pritaženia sú výrazne menšie ako vypočítané hodnoty. Tento rozdiel môže byť spôsobený napr. určitou chybou merania, keďže pri meraní neboli kompenzované teplotné zmeny prostredia. Taktiež by bolo vhodné upraviť materiálové vlastnosti vo výpočtových modeloch na základe reálnych skúšok materiálu. Uvedené výsledky boli určené na základe normových vlastností.

LITERATÚRA

- [1] STN EN 1995-1-1: Eurokód 5. Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecne. Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy. 2008. 114 s.
- [2] EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL ETA-13/0029. Self-Tapping Screws for use in Wood-Concrete Slab Kits. Würth Self-Tapping Screw. ETA-Danmark, 2013. 17 s.
- [3] SUROVEC, L. Pôsobenie dreva a betónu spriahnutých nosníkoch. In: Juniorstav 2015: Zborník príspevkov zo 17. odbornej konferencie doktorského studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [4] ČAJKA, R. - BURKOVIČ, K. Technologie spřažení dřevo betonových stropních konstrukcí pomocí lepených smykových lišt. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. 2013, 1. 8 s.
- [5] AGEL, P. - LOKAJ, A. Semi-rigid joint of timber-concrete composite beams with steel plates and convex nails. Wood research, 59(3): 2014, str. 491-498.
- [6] KÁNOCZ, J. & BAJZECEROVÁ, V. & ŠTELLER, Š. Timber-Concrete Composite Elements with Various Composite Connections. Part 1: Screwed Connection. Wood Research. 2013, 58 (4). str. 555-570.