

# Analýza spriahovacích prostriedkov a medzivrstvy v drevobetónových konštrukciách

Dávid Proksa<sup>1</sup>, Jaroslav Sandanus<sup>2</sup>

V príspevku je predstavená drevobetónová konštrukcia s nenosnou medzivrstvou a spriahovacími prostriedkami rôzneho typu. Je uvedené porovnanie rôznych vstupných veličín na únosnosť spriahnutej drevobetónovej konštrukcie.

Je predstavený program pre návrh spriahnutej drevobetónovej konštrukcie bez zohľadnenia a so zohľadnením časových zmien v dreve a betóne pri pôsobení dlhodobého zaťaženia.

## Úvod

Pre navrhovanie drevených konštrukcií podľa STN EN 1995-1-1 a 1995-1-2 na Slovensku bude záväzná od apríla 2010. Projektantom sa tak ponúka nástroj aj pre navrhovanie spriahnutých drevobetónových konštrukcií, ktorý v predchádzajúcej norme nebol uvedený.

Množstvo ponúkaných spriahovacích prostriedkov resp. konštrukčné riešenie spriahnutia a pomerne málo údajov o správaní sa jednotlivých typov spriahovacích prostriedkov nechávajú ešte stále možnosti rozširovania výskumných a teoretických prác v tejto oblasti.

## Spriahnutie drevo - betón

Pomocou spriahnutia môžeme vytvárať prvky zložené z rôznych materiálov alebo materiálov odlišných vlastností. Hlavnou úlohou spriahnutých drevobetónových konštrukcií je využiť dobré a potlačiť nepriaznivé vlastnosti použitých materiálov. Snažíme sa preto navrhnúť kompaktný spriahnutý prierez, ktorý spoľahlivo zabezpečí všetky výhody samotného spriahnutia. Na vzájomné spojenie dreva s betónom alebo hmotou na báze dreva sa používajú rôzne spriahovacie prostriedky. Voľbou typu spriahovacieho prostriedku ako aj voľbou pripájaného materiálu vieme výrazne ovplyvniť správanie sa navrhovanej konštrukcie.

Medzi hlavné výhody spriahnutého prierezu patrí:

- zvýšenie únosnosti pri malých priehyboch
- zvýšenie protipožiarnej odolnosti (môže byť dosiahnutá 90-minútová požiarne odolnosť)
- dobrá zvuková nepriezvučnosť (vzduchová nepriezvučnosť a zníženie kročajového hluku)
- zlepšenie tepelno-technických vlastností stropu
- zachovanie pôvodnej drevenej konštrukcie pri rekonštrukcii v historických objektoch
- krátka doba zhotovenia a nízke náklady na výstavbu
- vytvorenie z nebytového priestoru obytný z dôvodu zvýšenia únosnosti stropnej konštrukcie
- nezasahovanie stavebnými prácami do nižšie položeného podlažia, pretože pôvodná stropná konštrukcia sa rozoberá po drevený záklop.

---

1) Ing., e-mail: [david.proksa@stuba.sk](mailto:david.proksa@stuba.sk), 2) Ing. PhD., e-mail: [jaroslav.sandanus@stuba.sk](mailto:jaroslav.sandanus@stuba.sk),  
Katedra kovových a drevených konštrukcií, Stavebná fakulta STU v Bratislave

Z hľadiska pôsobenia a účinnosti spriahnutia betónovej (alebo OSB) dosky s drevenou časťou prierezu, delíme spriahnutie na tuhé a poddajné, v ktorých sú respektíve nie sú uvážené reologické zmeny. Tieto vplyvajú na celkové prerozdelenie vnútorných síl do jednotlivých častí prierezu ako aj deformácií.

Pri **tuhom spriahnutí** predpokladáme dokonalé spolupôsobenie betónovej dosky a drevenej časti prierezu prostredníctvom šmykových tokov, čo znamená, že spojovacie prvky sú dokonalé tuhé a nepoddajné. Na základe mnohých experimentálnych overovaní poddajnosti spriahnutia bolo zistené, že tuhé spriahnutie v skutočnosti nemožno považovať za tuhé. Takmer tuhé spriahnutie by bolo možné dosiahnuť použitím špeciálnych prípravkov ako napríklad kozlíkmi, oceľovými zarážkami, záchytkami, kotvami prípadne slučkami, s tým, že do dreva by bol pripevnené ďalšími spojovacími prostriedkami (klincami, skrutkami do dreva), čo je však veľmi nehospodárne.

Pri uvažovaní **poddajného spriahnutia** vo výpočtoch sa opierame o experimentálne práce únosnosti zložených ohýbaných nosníkov s poddajným spriahnutím. Poddajné spriahnutie viac zodpovedá skutočnému pôsobeniu spriahnutých nosníkov zabudovaných v konštrukciách.

## Modul popustenia v poddajnom spriahnutí

Bez ohľadu na to či pri voľbe materiálu na pripojenie k drevenému nosníku použijeme betón alebo hmotu na báze dreva (OSB dosky) alebo ako spojovacie prostriedky použijeme klince, poprípade sponky, významnú úlohu na vplyv vlastností vytvoreného prierezu bude plniť **modul popustenia**  $K_{ser}$  [N/mm] spájacieho prostriedku. Táto hodnota vyjadruje posun spriahovacieho prostriedku od príslušnej šmykovej sily v škáre drevo - betón, resp. drevo - OSB. Rôzne typy spojovacích prostriedkov majú rôzne hodnoty modulov popustenia.

Pri spriahnutí typu **drevo – betón** norma STN EN 1995-1-1 neuvádza vzťahy na výpočet modulu popustenia spojovacieho prostriedku. Preto sa opierame o výsledky mnohých experimentálnych prác, ktoré majú za úlohu merať a určiť hodnoty tohto modulu pre rôzne typy spriahnutia. Tieto práce vymedzili hranice v ktorých sa hodnota  $K_{ser}$  pohybuje. Klince, ktoré sú v tejto práci uvažované ako spriahovacie prostriedky majú hodnoty  $K_{ser}$  v rozmedzí od 2500 N/mm do 4500 N/mm.

Pre spriahnutie typu „drevo – hmota na báze dreva“ už norma STN EN 1995-1-1 vzťahuje na jeho výpočet uvádza a to pre rôzne typy spriahovacích prostriedkov.

Pre klince s predvrtaním sa hodnota modulu popustenia vypočíta podľa vzťahu:

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} d}{23}$$

pre sponky je vzťah 
$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} d^{0,8}}{80}$$

kde  $\rho_m$  je priemerná hodnota hustôt spájaných materiálov a  $d$  je priemer spájacieho prostriedku.

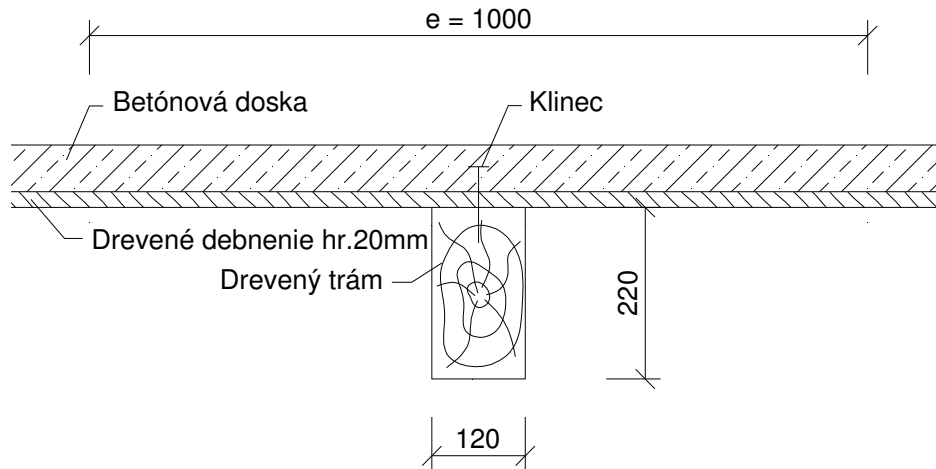
Hodnota modulu popustenia nám slúžia na výpočet znižovacieho súčiniteľa  $\gamma$ , pomocou ktorého ďalej počítame efektívny moment zotrvačnosti spriahnutého prierezu, a tým vieme určiť napätosť v rozhodujúcich častiach ideálneho prierezu. Na výpočet pre posúdenie na medzný stav použiteľnosti sa berie priamo hodnota  $K_{ser}$ , na výpočet pre posúdenie na medzný stav hodnoty musíme uvažovať hodnotu  $K_u$  [N/mm], ktorá sa určí podľa vzťahu:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

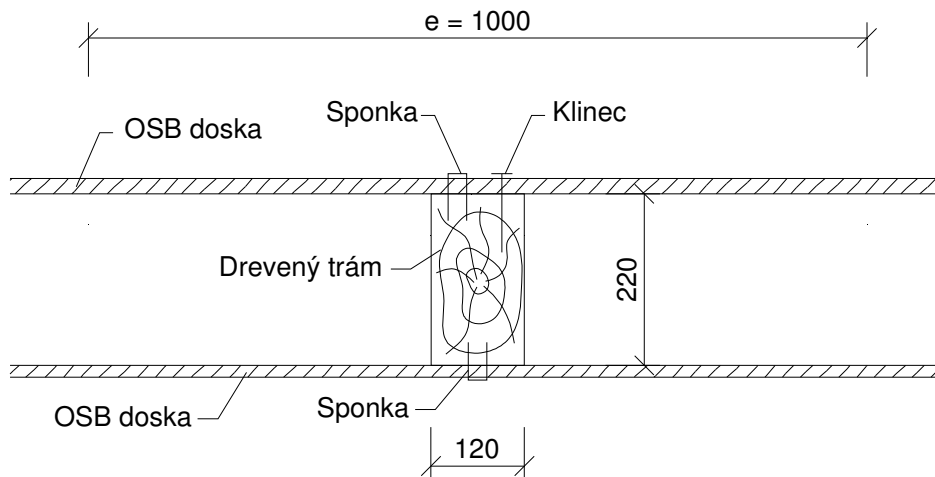
## Vstupné parametre

V príspevku sú analyzované dva typy spriahnutia, a to „drevo - betón“ a „drevo – OSB“. Priečný rez spriahnutého prierezu je tvaru „T“ pre obidva materiály, avšak pri alternatíve s OSB doskou je prierez spriahnutý aj z dolnej časti dreveného nosníka, takže priečný rez je tvaru „I“. Prostý nosník má dĺžku 4m, rozmery dreveného trámu sú 120/220, trieda dreva C22, nosníky sú od seba vzdialené 1m a zaťaženie je rovnomerné po celej dĺžke.

V alternatíve „drevo – betón“ sú ako spojovacie prostriedky uvažované klinec. Ich modul popustenia  $K_{ser}$  je v rozmedzí od 2500 N/mm – 4500 N/mm. Klinec sú rozmiestnené po celej dĺžke trámu rovnomerne. Hrúbka betónovej dosky sa pohybuje od 20 mm – 80 mm, pričom reálna hrúbka betónovej dosky v spriahnutom priereze býva od 50 mm. Spodná hranica od 20 mm je iba kvôli lepšej prehľadnosti vplyvu modulu popustenia  $K_{ser}$ . Trieda betónu je C12/15, pričom je tiež vyšetrený vplyv inej triedy betónu na spriahnutú konštrukciu. Spriahnutie je uvažované ako poddajné z dôvodu použitia klinecov ako spojovacích prostriedkov, avšak je urobené porovnanie tohto prípadu s prípadom bez spriahnutia s betónovou doskou, resp. s tuhým spriahnutím dreveného trámu a betónovej dosky.



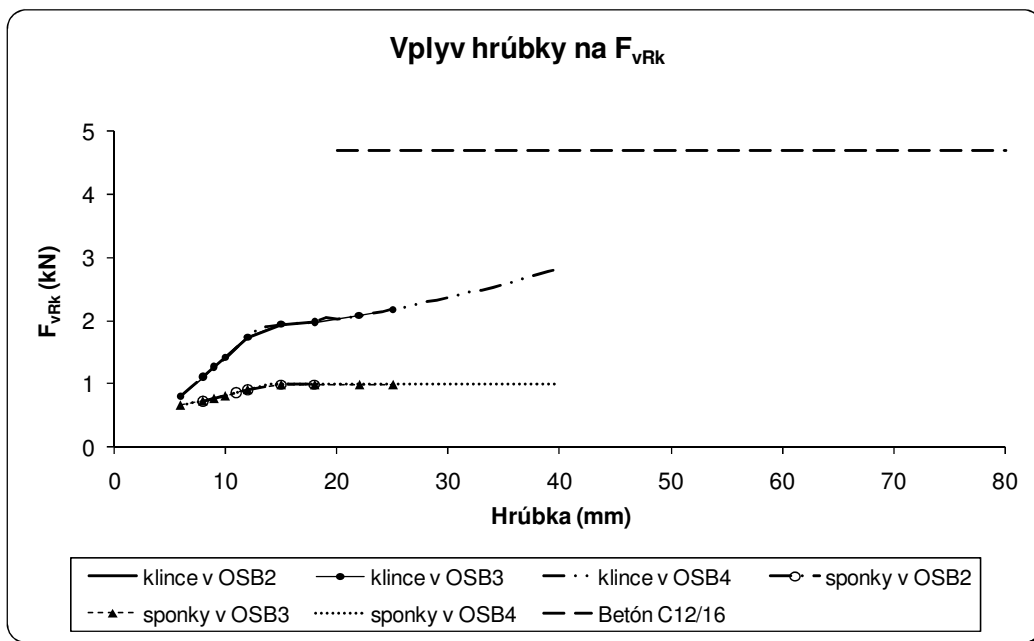
Obr.1: Priečný rez spriahnutia drevo – betón



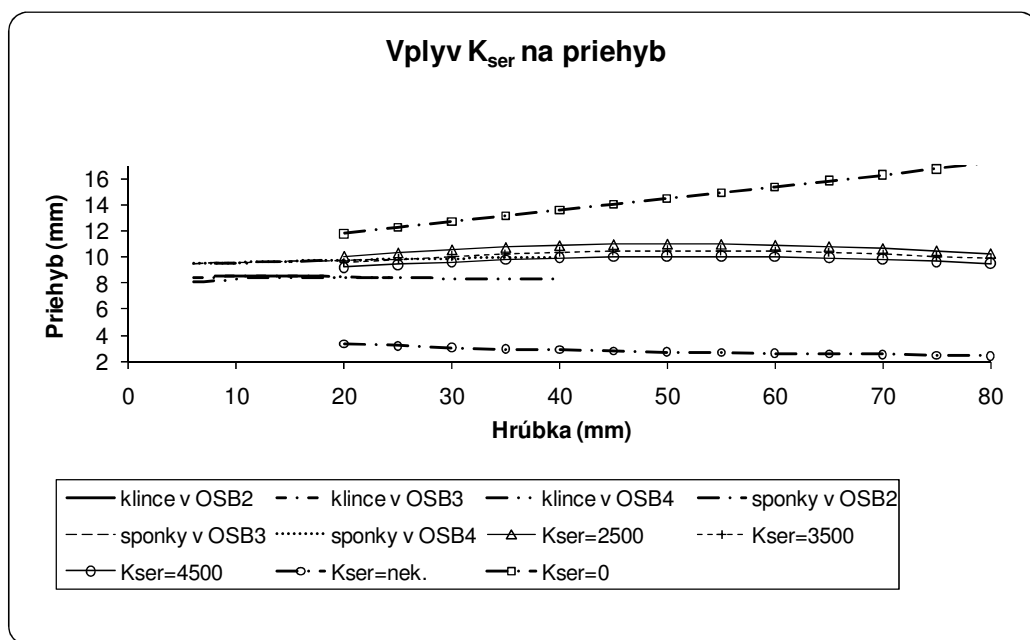
Obr.2: Priečný rez spriahnutia drevo – hmota na báze dreva

## Grafické závislosti vybraných parametrov

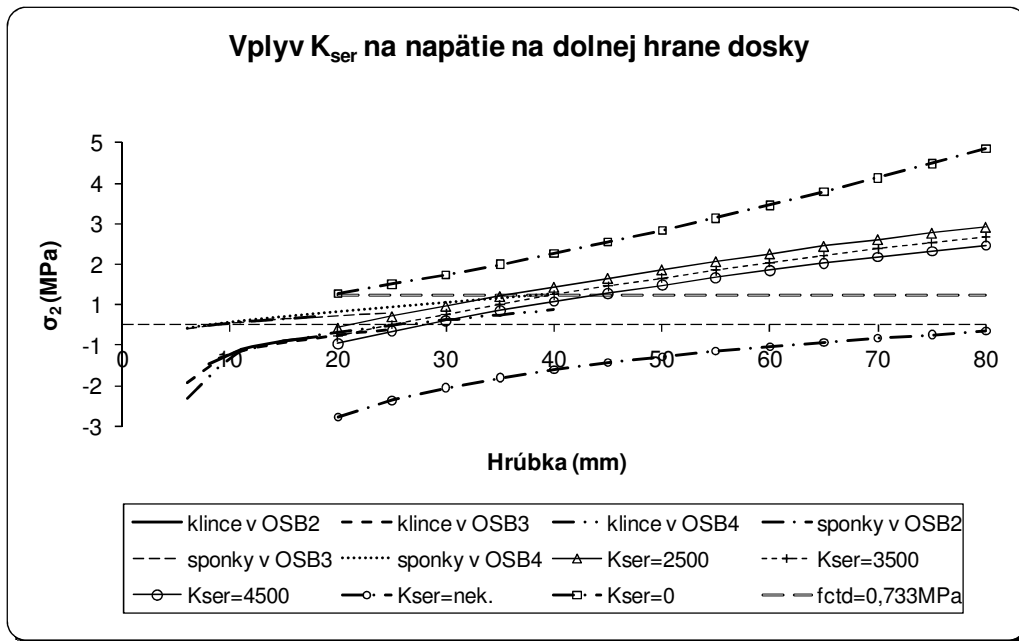
Vplyvom hrúbky v spojení drevo – betón je odolnosť klinca  $F_{vRk}$  konštantná,  $F_{vRk}$  sponiek v spojení drevo – OSB narastá lineárne, avšak len minimálne. S narastajúcou hrúbkou OSB výrazne rastie aj  $F_{vRk}$  klinca.



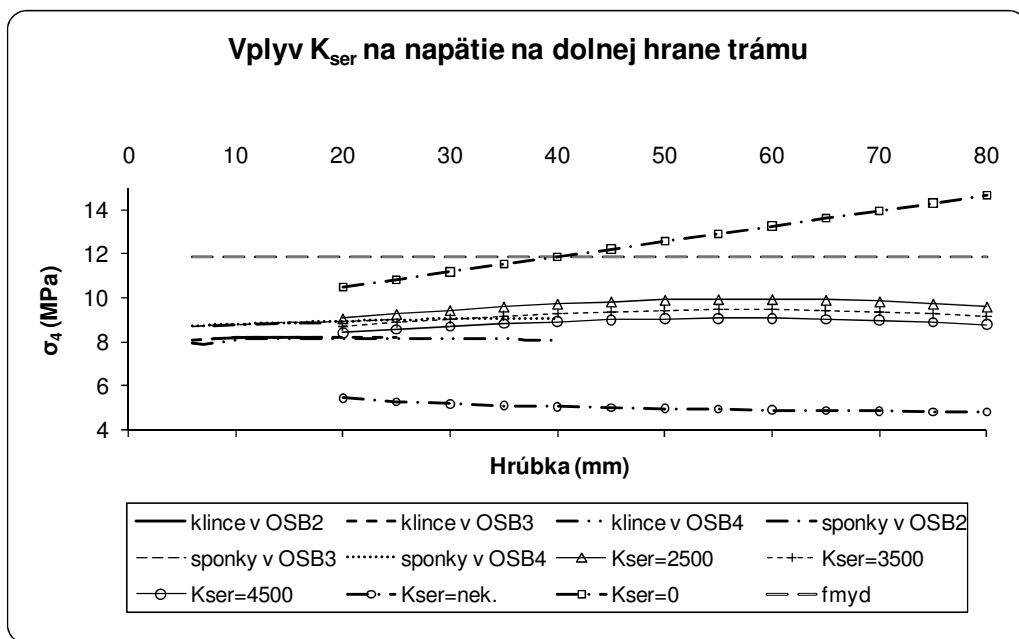
V spriahnutí drevo – OSB sa zníži priehyb asi o 15% pri použití klincov namiesto sponiek ako spojovacích prostriedkov. Priehyby, pri použití sponiek zodpovedajú priehybom spriahnutia typu drevo – betón. V tomto type spriahnutia klesajúcim modulom popustenia priehyb narastá. Dva extrémne prípady  $K_{ser} = \infty$  N/mm a  $K_{ser} = 0$  N/mm vymedzujú hranice priehybov pri použití klincov.



Normálové napätie na dolnej hrane dosky klesá vplyvom znižovania modulu popustenia vo všetkých typoch spriahnutia. Pri spriahnutí s betónovou doskou sa však toto napätie mení na ťahové, takže je nutné použiť výstužnú sieť na prenesenie týchto ťahových napätí. Sieť plní takisto funkciu voči účinkom zmrašťovania.



Znižovaním modulu popustenia v spriahnutí drevo – OSB sa napätie na dolnej hrane trámu nemení. Zníži sa iba použitím kĺncov ako spojovacích prostriedkov. Vplyvom znižovania hodnoty  $K_{ser}$  narastá normálové napätie na dolnej hrane trámu.



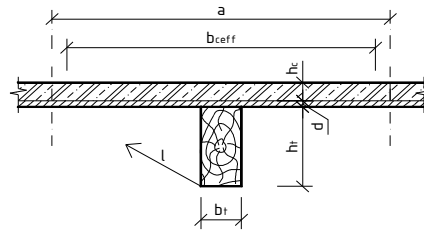
Posúdenie spriahnutého drevo-betónového stropu s uvažéním: poddajného spriahnutia,  
 s dotvarovaním dreva, s dotvarovaním betónu, s dotvarovaním spojovacích prostriedkov.  
 Posúdenie podľa STN EN 1995-1-1 Navrhovanie drevených konštrukcií, STN EN 1992-1-1 Navrhovanie  
 betónových konštrukcií. Drevený nosník je počas betonáže spojitо podopretý až do spriahnutia s doskou.

## STATICKÝ VÝPOČET

### 1. VSTUPNÉ ÚDAJE

#### 1.1 ROZMERY

rozpätie	$l$	4000	mm
šírka trámu	$b_t$	120	mm
výška trámu	$h_t$	220	mm
hrúbka záklopu	$d$	20	mm
hrúbka bet.dosky	$h_c$	60	mm
efektívna šírka dosky	$b_{eff}$	912,5	mm
vzdialenosť trávov	$a$	1000	mm
hrúbka panelu 1	$h_1$	0	mm
hrúbka panelu 2	$h_2$	0	mm



#### 1.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

##### 1.2.1 Drevený trám

Druh dreva	rastené	
Trieda dreva	C22	
$\gamma_M$	1,3	[-]
$f_{mk}$	22	MPa
$f_{vk}$	2,4	MPa
$E_{0,mean}$	10000	MPa
$\rho_k$	340	kg/m <sup>3</sup>
$f_{myd}$	11,846	MPa
$f_{vd}$	1,292	MPa
$E_{0,mean,t}$	8696	MPa

##### 1.2.2 Betónová doska

Trieda betónu	C16/20	
$\gamma_c$	1,5	
$f_{ck}$	16	MPa
$f_{ctk0,05}$	1,3	MPa
$E_{cm}$	29000	MPa
$\rho_c$	2500	kg/m <sup>3</sup>
$f_{cd}$	10,667	MPa
$f_{ctd}$	0,867	MPa
$E_{cm,t}$	7632	MPa

##### 1.2.3 Doskový materiál 1 nad trávom

Druh dreva	LVL, preglejky, OSB	
Trieda/Typ	OSB2	
$\gamma_M$	0	[-]
$f_{1mk}$	0	MPa
$f_{1vk}$	0,0	MPa
$E_1$	0	MPa
$\rho_{k1}$	0	kg/m <sup>3</sup>
$f_{1myd}$	0,000	MPa
$f_{1vd}$	0,000	MPa
$E_{1,t}$	0	MPa

##### 1.2.4 Doskový materiál 2 pod trávom

Druh dreva	LVL, preglejky, OSB	
Trieda/Typ	OSB2	
$\gamma_M$	0	[-]
$f_{2mk}$	0	MPa
$f_{2vk}$	0,0	MPa
$E_2$	0	MPa
$\rho_{k2}$	0	kg/m <sup>3</sup>
$f_{2myd}$	0,000	MPa
$f_{2vd}$	0,000	MPa
$E_{2,t}$	0	MPa

##### 1.2.3 Drevený záklop

$\rho_{záklop}$	700	kg/m <sup>3</sup>
-----------------	-----	-------------------

##### 1.3 VZDIAL. SPOJOVACÍCH PROSTRIEDKOV

$a_1$	100	mm	(klince)
-------	-----	----	----------

#### 4.2 OHYBOVÉ MOMENTY

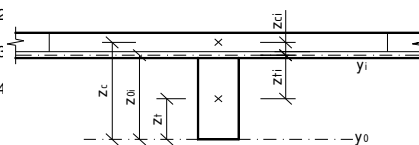
- maximálny ohybový moment (v strede rozpätia)

$M_{Ed,max}$  12,844 kNm

### 5. VÝPOČET IDEÁLNYCH PRIEREZOVÝCH VELIČÍN

#### 5.1 PRIEREZOVÉ VELIČINY DREVENÉHO TRÁMU

plocha prierezu	$A_t$	$26,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$
statický moment plochy k $y_t$	$S_{yt}$	$0,726 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
moment zotrvačnosti	$I_{yt}$	$1,065 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
vzd. ťažiska od $y_0$	$z_t$	110 mm
statický moment plochy k $y_0$	$S_{y0t}$	$2,904 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$



#### 5.2 PRIEREZOVÉ VELIČINY

##### BETÓNOVEJ DOSKY

plocha prierezu	$A_1$	$54,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$	$A_2$	$- \cdot 10^3 \text{ mm}^2$
moment zotrvačnosti	$I_{y1}$	$1,643 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$I_2$	$- \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
vzd. ťažiska od $y_0$	$z_1$	270 mm	$z_2$	$- \text{ mm}$
statický moment plochy k $y_0$	$S_{1y0}$	$14,783 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$	$S_{2y0}$	$- \cdot 10^6 \text{ mm}^3$

#### 5.3 OPRAVNÉ SÚČINITELE

pracovný súčiniteľ bez dotvarovania $n$	2,900	(pre betón)	-
pracovný súčiniteľ s dotvarovaním $n_t$	0,878	(pre betón)	-

zmenšujúci súčiniteľ  $\gamma$  s prihliadnutím na poddajnosť spojov pre posúdenie na MSÚ, MSP od  $g_k$  a MSP od  $q_k$

	MSÚ		MSP od $g_k$		MSP od $q_k$	
pre betón	$k_{\sigma,t}$	12,703	$k_{\delta,t}$	32,180	$k_{\delta,t0}$	41,974
nad trámom	$\gamma_{\sigma,t}$	0,073	$\gamma_{\delta,t}$	0,030	$\gamma_{\delta,t0}$	0,023
	$k_{2\sigma,t}$	-	$k_{2\delta,t}$	-	$k_{2\delta,t0}$	-
	$\gamma_{2\sigma,t}$	-	$\gamma_{2\delta,t}$	-	$\gamma_{2\delta,t0}$	-

#### 5.4 POLOHA NEUTRÁLNEJ OSI PRE POSÚDENIE NA:

- vzd. neutrálnej osi od $y_0$	$z_{0i}$ [mm]	MSÚ	MSP od $g_k$	MSP od $q_k$
- vzd. ťažiska drev. trámu od $y_i$	$z_{ti}$ [mm]	128,8	118,3	129,6
- vzd. ťažiska bet.dosky od $y_i$	$z_{ci}$ [mm]	18,760	8,320	19,643
		141,240	151,680	140,357

#### 5.5 OVERENIE POLOHY NEUTRÁLNEJ OSI VOČI BETÓNOVÉMU PRIEREZU

podmienka:  $\gamma_{\sigma t} \cdot z_{ci} \geq 0,5h_c$  10,3 mm < 30mm os ideálneho prierezu leží v betóne - nastáva ťah  
 ťahové napätia preberá výstužná sieťovina

#### 5.6 MOMENT ZOTRVAČNOSTI SPRIAHNUTÉHO PRIERZU PRE POSÚDENIE NA: MSÚ, MSP( $g$ ) A MSP( $q$ )

		MSÚ	MSP od $g_k$	MSP od $q_k$
moment zotrvačnosti $I_{yi}$		$0,2001 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$	$0,1560 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$	$0,2371 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

#### 5.7 STATICKÝ MOMENT PLOCHY SPRIAHNUTÉHO PRIERZU PRE POSÚDENIE NA: MSÚ

statický moment plochy  $S_{yi}$  0,995  $\cdot 10^6 \text{ mm}^3$

Obr.4: Výpočtový program (strana 3)

## Výpočtový postup

Na výpočet prierezových charakteristík zloženého prierezu, zmenšujúcich súčiniteľov  $\gamma$  s prihliadnutím na poddajnosť spojov, napätí v jednotlivých materiáloch, priehybu a následné posúdenie podľa MSÚ a MSP vrátane návrhu spriahovacích prostriedkov bol použitý výpočtový program vytvorený autormi v programe Microsoft Office Excel.

V programe je možné variovať typ spriahnutia (drevo - betón, drevo - hmota na báze dreva), spriahnutie z hľadiska účinnosti (tuhé, poddajné) a z hľadiska uváženia reologických zmien materiálov (dotvarovanie dreva, betónu, spriahovacích prostriedkov), takisto meniť rozmery prierezov, materiálové charakteristiky, veľkosť zaťaženia, typy spriahovacích prostriedkov (klince sponky), ich vzdialenosť a počet v pozdĺžnom a priečnom smere.

Na dvoch predchádzajúcich stranách (obr. 3 a obr. 4) sú zobrazené dve strany z výpočtového programu.

## Záver

Využitie spriahnutých drevobetónových konštrukcií ako alternatívy ku „klasickým“ železobetónovým stropom a tvarovkovým stropom rôznych typov nielen v rodinných domoch, ale aj v bytových domoch a administratívnych budovách a mostoch môže byť významným krokom k rozšíreniu používania dreva v stavebníctve.

Súčasný predpis pre navrhovanie drevených konštrukcií takúto možnosť ponúkajú a bolo by škoda, aby sme ju nevyužili. Môžeme tak prispieť k výraznejšiemu využitiu prírodného stále dorastajúceho materiálu – dreva.

## Literatúra

- [1] Poštulka, J.-Sandanus, J.: Berechnungsverfahren für eine Holz-Beton-Verbunddecke mit Nägeln als Verbindungsmittel, Bautechnik 11/99, str. 1026-1030, Vydavateľstvo Ernst & Sohn, Berlin, 1999
- [2] STN EN 1995-1-1 Navrhovanie drevených konštrukcií: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy, SÚTN 2008
- [3] STN EN 1991-1 Zásady navrhovania a zaťaženie konštrukcií, SÚTN 2008
- [4] STN EN 1992-1-1 Navrhovanie betónových konštrukcií: Všeobecné pravidlá pre pozemné stavby, SÚTN 2008
- [5] <http://www.minimax.sk> OSB – konštrukčné dosky, technické údaje
- [6] STN EN 1995-1-2 Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 2: Mosty, SÚTN 2008