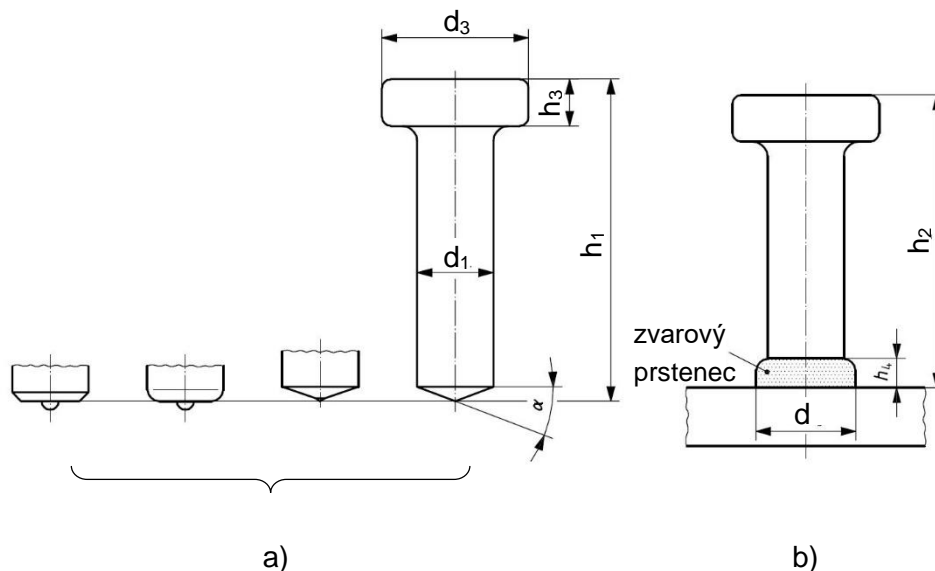


NÁVRH A POSÚDENIE SPRIAHOVACÍCH PRVKOV

Na zabezpečenie účinného šmykového spojenia medzi betónovou doskou a ocelovým nosníkom sa dnes najčastejšie používajú spriahovacie trne. Tvar a rozmery najviac používaných spriahovacích trňov v zmysle STN EN ISO 13918 sú zrejmé z obr. 1, resp. tab. 1.



Obrázok 1: Tvar a rozmery spriahovacích trňov a) pred privarením, b) po privarení

d ₁	10	13	16	19	22	25
d ₂	19	25	32	32	35	41
d ₃	13	17	21	23	29	31
h ₁	h ₂ + 3	h ₂ + 3	h ₂ + 4	h ₂ + 4,5	h ₂ + 5	h ₂ + 5,5
h ₂ (à 25)	50 – 175	50 – 200	50 – 250	50 – 350	50 – 350	75 – 350
h ₃	7	8	8	10	10	12
h ₄	2,5	3	4,5	6	6	7

Tabuľka 1: Rozmery spriahovacích trňov (mm)

Všeobecné zásady návrhu spriahovacích prvkov

Pri použití pružnostnej globálnej analýzy mostnej konštrukcie majú byť prvky spriahnutia navrhnuté tak, aby v medznom stave únosnosti preniesli pozdĺžny návrhový šmykový tok na rozhraní ocelevej a betónovej časti

$$V_{L,Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}},$$

kde $V_{z,Ed}$ je zvislá návrhová šmyková sila pôsobiaca na spriahnutý prierez

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

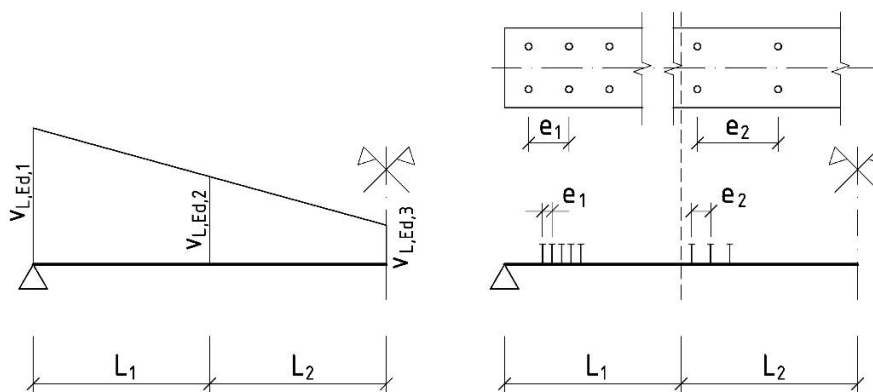
Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

$S_{y,c,ef}$ je statický moment plochy betónovej dosky redukovanej pomerom modulov,

$$S_{y,c,ef} = \frac{A_c \cdot r_c}{n_0}, \text{ resp. } S_{y,c,ef} = \frac{A_c \cdot r_c}{n_L},$$

$I_{y,ef}$ je kvadratický moment plochy efektívneho spriahnutého prierezu.

Rozmiestnenie prvkov spriahnutia je vhodné prispôbiť priebehu šmykového toku po dĺžke spriahnutého nosníka, t.j. pri podperách sa navrhnu menšie rozstupy a v strednej časti, kde je šmykový tok výrazne menší, sa navrhnu väčšie vzdialenosti medzi tržmi alebo menší počet radov spriahovacích tržňov, prípadne sa aplikuje kombinácia oboch spôsobov.



Obrázok 2: Návrh rozmiestnenia prvkov spriahnutia

Ak je vzdialenosť tržňov e_i a počet radov tržňov v priečnom smere n_i , potom návrhová sila pripadajúca na jeden tržň má vyhovovať podmienke spoľahlivosti:

$$P_{Ed} = \frac{V_{L,Ed} \cdot e_i}{n_i} \leq P_{Rd}.$$

kde P_{Rd} je návrhová odolnosť jedného tržňa, ktorá sa vypočíta z charakteristickej odolnosti

$$P_{Rd} = P_{Rk} / \gamma_V.$$

Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti sa uvažuje hodnotou $\gamma_V = 1,25$. Charakteristická odolnosť jedného spriahovacieho tržňa je daná minimálnou z hodnôt

$$P_{Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4 \\ 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \end{array} \right.$$

kde f_u je medza pevnosti materiálu tržňa,

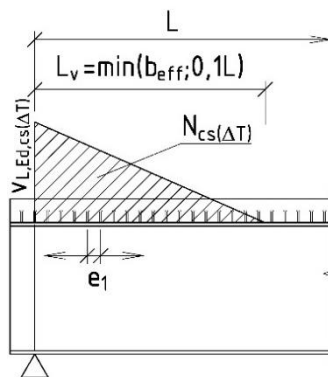
$$\alpha = \begin{cases} 0,2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) & \text{pre } 3 \leq h_{sc}/d \leq 4 \\ 1,0 & \text{pre } 4 < h_{sc}/d \end{cases}$$

h_{sc} je výška trňa (rozmer h_2 na obr. 1),

d je priemer trňa.

Vyššie uvedenú podmienku spoľahlivosti je všeobecne potrebné overiť v každom mieste zmeny rozmiestnenia spriahovacích prvkov.

Koncové prvky spriahnutia sú navyše namáhané aj lokálnymi účinkami od sústredenej pozdĺžnej sily v dôsledku primárnych účinkov zmršťovania a nerovnomernej zmeny teploty. Dĺžka L_v , na ktorej sa pozdĺžny šmykový tok od týchto účinkov prenesie, sa zjednodušene uvažuje rovná spolupôsobiacej šírke betónovej dosky b_{eff} , ale nie viac ako $L/10$. Rozdelenie šmykového toku $V_{L,Ed,cs}$, resp. $V_{L,Ed,\Delta T}$ na tejto dĺžke sa môže bezpečne uvažovať ako trojuholníkové s maximálnou hodnotou nad podporou (obr. 3). Pri použití spriahovacích trňov je možné uvažovať aj s konštantným rozdelením šmykového toku, pretože trne majú dostatočnú deformačnú kapacitu na splnenie tohto predpokladu.



Obrázok 3: Namáhanie koncových trňov od účinkov zmršťovania betónu (cs), resp. nerovnomernej zmeny teploty (ΔT)

Hodnotu šmykového toku na konci nosníka od účinkov zmršťovania $V_{L,Ed,cs}$, resp. nerovnomernej zmeny teploty $V_{L,Ed,\Delta T}$ vypočítame pomocou výsledníc normálových napätí σ_{cs} , resp. $\sigma_{\Delta T}$ v betónovej doske:

$$N_{cs} = \frac{\sigma_{cs,1} + \sigma_{cs,2}}{2} \cdot A_c, \text{ resp. } N_{\Delta T} = \frac{\sigma_{\Delta T,1} + \sigma_{\Delta T,2}}{2} \cdot A_c$$

kde A_c je celková spolupôsobiaca plocha betónovej dosky (bez vplyvu šmykového ochabnutia).

Veľkosť šmykového toku na konci nosníka vyplýva z rovnosti síl:

$$N_{cs} = \frac{v_{L,Ed,cs} \cdot L_v}{2} \quad \rightarrow \quad v_{L,Ed,cs} = 2 \cdot N_{cs} / L_v$$

$$N_{\Delta T} = \frac{v_{L,Ed,\Delta T} \cdot L_v}{2} \quad \rightarrow \quad v_{L,Ed,\Delta T} = 2 \cdot N_{\Delta T} / L_v$$

Výsledný šmykový tok je daný kombináciou šmykového toku od zvislého zaťaženia, od zmrašťovania a nerovnomernej zmeny teploty. Pri kombinácii je potrebné okrem príslušného súčiniteľa kombinácie ψ_0 zohľadniť aj smer šmykového toku od jednotlivých účinkov (od zvislých zaťažení smerom ku podpore, od zmrašťovania smerom do stredu rozpätia, od nerovnomernej zmeny teploty oboma smermi).

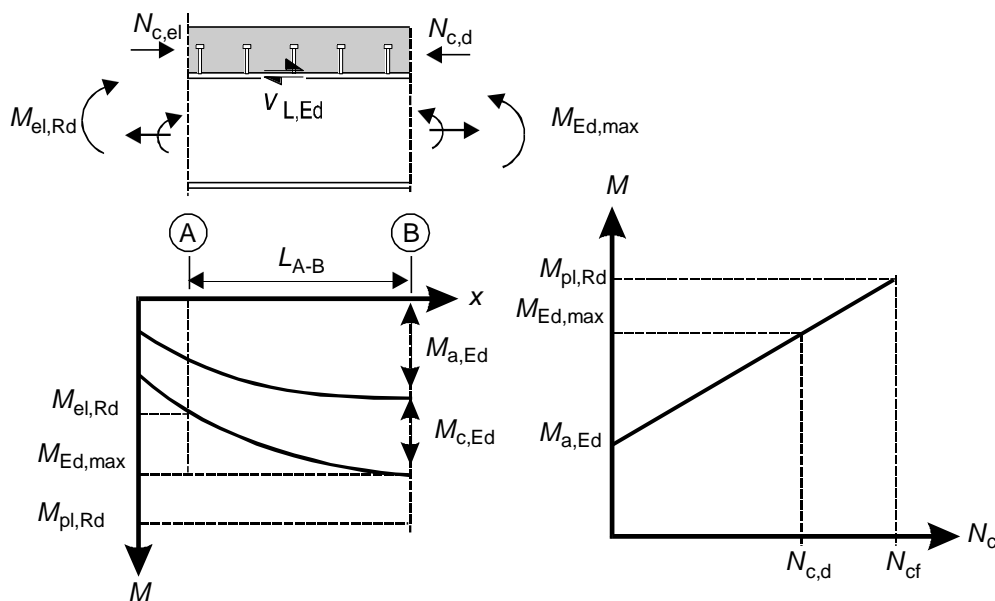
V prípade spriahnutých nosníkov s prierezmi triedy 1 alebo 2, pri ktorých sa využije plasticitná teória na určenie odolnosti prierezov, je potrebné zohľadniť nelineárnu závislosť medzi priečnym a pozdĺžnym šmykom na tzv. nepružných úsekoch nosníka. Ide o úseky, v ktorých celkový návrhový ohybový moment $M_{Ed} = M_{a,Ed} + M_{c,Ed}$ prekročí pružnú ohybovú odolnosť spriahnutého prierezu $M_{el,Rd}$ (obr. 4), ktorá sa stanoví zo vzťahu:

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + k \cdot M_{c,Ed}$$

kde $M_{a,Ed}$ je návrhový ohybový moment prenášaný iba oceľovou časťou prierezu pred spriahnutím,

$M_{c,Ed}$ je časť návrhového ohybového momentu pôsobiaca na spriahnutý prierez,

k je najmenší súčiniteľ, ktorým sa dosiahnu napätia na úrovni medzných pevností jednotlivých materiálov.



Obrázok 4: Určenie pozdĺžneho šmyku v nosníkoch s nepružným správaním sa prierezov

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Ak je betónová doska namáhaná tlakom, spriahovacie prvky v rámci nepružného úseku dĺžky L_{A-B} majú mať dostatočnú odolnosť proti pozdĺžnej šmykovej sile $V_{L,Ed}$ vyplývajúcej z rozdielu normálových síl $N_{c,d}$ a $N_{c,el}$ v betónovej doske v prierezoch „B“ a „A“:

$$V_{L,Ed} = N_{c,d} - N_{c,el}$$

Normálová sila $N_{c,el}$ v reze „A“ sa stanoví z normálových napätí v betónovej doske v tomto reze:

$$N_{c,el} = \frac{\sigma_{x,Ed,1} + \sigma_{x,Ed,2}}{2} \cdot A_c$$

Normálová sila $N_{c,d}$ v reze „B“ sa pre maximálny ohybový moment v tomto reze $M_{Ed,max}$ menší ako plastická ohybová odolnosť $M_{pl,Rd}$ môže určiť s použitím zjednodušenej lineárnej závislosti podľa obr. 4:

$$N_{c,d} = \frac{M_{Ed,max} - M_{a,Ed}}{M_{pl,Rd} - M_{a,Ed}} \cdot N_{c,f}$$

kde $N_{c,f}$ je návrhová hodnota tlakovej normálovej sily v betónovej pásnici pri úplnom spriahnutí $N_{c,f} = N_c = A_c \cdot 0,85 f_{cd} = b_{c,eff} \cdot z \cdot 0,85 f_{cd}$. Presnejší výpočet normálovej sily $N_{c,d}$ v reze „B“ je založený na využití nelineárnej ohybovej odolnosti spriahnutého prierezu podľa čl. 6.2.1.4(6) v STN EN 1994-2.

Odolnosť trňov proti pozdĺžnej šmykovej sile $V_{L,Ed}$ sa posúdi pomocou podmienky spoľahlivosti:

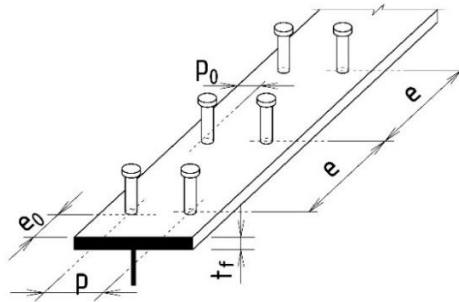
$$P_{Ed} = \frac{V_{L,Ed}}{n_{A-B}} \leq P_{Rd},$$

kde n_{A-B} je celkový počet trňov v rámci nepružného úseku dĺžky L_{A-B} .

Konštrukčné zásady šmykového spojenia

Pri návrhu šmykového spojenia medzi oceľovým nosníkom a železobetónovou doskou je potrebné rešpektovať konštrukčné zásady, uvedené v časti 6.6.5 v STN EN 1994-2, týkajúce sa minimálnej krycej vrstvy betónu, usporiadania priečnej výstuže vo vzťahu ku spriahovacím prvkom, použitia nábehov v betónovej doske, vzdialeností spriahovacích prostriedkov ako aj rozmerov oceľovej pásnice, ku ktorým sú spriahovacie prvky privarené. Dodržanie týchto zásad má vytvoriť vhodné podmienky pôsobenia počas betonáže dosky (možnosť dostatočného zhutnenia), v procese tuhnutia betónu (zabránenie porušenia čiastočne vyzretého betónu v dôsledku obmedzeného spolupôsobenia vznikajúceho pri deformácii oceľových nosníkov od účinkov nasledujúcej etapy betonáže) ako aj po vytvrdnutí betónu (zabránenie

pozdĺžnemu rozštiepeniu betónovej pásnice spôsobenému spriahovacími prvkami, zabránenie oddeleniu dosky od oceľového nosníka).



Obrázok 5: Označenie vzdialeností medzi trňmi

Pri návrhu rozmerov a vzdialeností spriahovacích trňov (obr. 5) je potrebné dodržať tieto zásady:

- Celková výška trňa h_{sc} nemá byť menšia ako $3d$, kde d je priemer drieku ($h_{sc} \geq 3d$).
- Hlava trňa nemá mať priemer menší ako $1,5d$ a výšku menšiu ako $0,4d$.
- Okrem prípadu, keď sú trne umiestnené priamo nad stenou, priemer privareného trňa nemá byť väčší ako 2,5-násobok hrúbky tej časti, ku ktorej je privarený ($d \leq 2,5t_f$).
- V prvkoch namáhaných na ťah a vystavených únavovému zaťaženiu nemá byť priemer privareného trňa väčší ako 1,5-násobok hrúbky pásnice, ku ktorej je trň privarený ($d \leq 1,5t_f$).
- Vzdialenosti trňov v smere šmykovej sily majú byť aspoň $e \geq 5d$.
- Vzdialenosti v priečnom smere k šmykovej sile majú byť aspoň $p \geq 2,5d$ v plnej doske, resp. $p \geq 4d$ v iných prípadoch (napr. doska s nábehmi).
- Svetlá vzdialenosť medzi okrajom spriahovacieho prvku a okrajom, resp. koncom pásnice nosníka, ku ktorej je prvok privarený, má byť aspoň $p_0 \geq 25$ mm, resp. $e_0 \geq 25$ mm.
- Maximálna pozdĺžna osová vzdialenosť samostatných spriahacích prvkov nemá presiahnuť $e \leq \min(4t_c; 800 \text{ mm})$.
- Ak sa o tlačenej oceľovej pásnici, ktorá by inak bola zatriedená do nižšej triedy, predpokladá, že je triedy 1 alebo 2, pretože je zabezpečená pomocou spriahovacích prvkov, nemajú byť osovú vzdialenosti spriahovacích prvkov v smere pôsobiaceho tlaku väčšie ako:

$$e \leq 22t_f \cdot \sqrt{235/f_y} \quad \text{ak je doska v kontakte po celej dĺžke (napr. plná doska)}$$

$$e \leq 15t_f \cdot \sqrt{235/f_y} \quad \text{ak doska nie je v kontakte po celej dĺžke (napr. doska s rebrami kolmo na nosník):}$$

Okrem toho svetlá vzdialenosť od okraja tlačenej pásnice k najbližšiemu radu spriahovacích prvkov nemá byť väčšia ako $p_0 \leq 9t_f$.

Návrh spriahovacích trňov pre vnútorný nosník „b“

Prvky spriahnutia navrhujeme pre vnútorný nosník „b“, v ktorom vznikajú väčšie priečne sily a aj účinky od zmrašťovania a teplotných zmien sú vzhľadom na väčšiu spolupôsobiacu šírku betónovej dosky väčšie. Rovnako aj z hľadiska namáhania vyplývajúceho z prípadného výskytu nepružných úsekov spriahnutého nosníka je rozhodujúci vnútorný nosník, ktorého ohybové namáhanie je väčšie ako krajného nosníka.

Ako prvky spriahnutia navrhujeme oceľové spriahovacie trne priemeru $d = 22$ mm a výšky $h_{sc} = 150$ mm ($h_{sc}/d = 150/22 = 6,8 \Rightarrow \alpha = 1,0$), vyrobené z ocele s medzou pevnosti $f_u = 340$ MPa. Charakteristická odolnosť trňa je:

$$P_{Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,8 \cdot 340 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot 0,022^2 / 4 = 103,40 \text{ kN} \\ 0,29 \cdot 1,0 \cdot 0,022^2 \cdot \sqrt{35 \cdot 34000} = 153,11 \text{ kN} \end{array} \right\} = \mathbf{103,40 \text{ kN}}$$

Návrhová odolnosť jedného trňa je:

$$P_{Rd} = 103,40 / 1,25 = \mathbf{82,72 \text{ kN}}$$

Posúdenie koncových trňov

Šmykový tok od 2.časti stálych zaťažení

Max. charakteristická šmyková sila nad podporou: $V_{z,g2,k} = 107,8$ kN

- v čase 60 dní

$$S_{y,c,ef} = \frac{A_c}{n_L} \cdot r_c = 102,5762 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3166 = 32,4764 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{L,g2,k} = \frac{V_{zg2,k} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}} = \frac{107,8 \cdot 32,4764}{53,6932} = 65,20 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

- v čase 36 525 dní

$$S_{y,c,ef} = \frac{A_c}{n_L} \cdot r_c = 61,8383 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4385 = 27,1172 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{L,g2,k} = \frac{V_{zg2,k} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}} = \frac{107,8 \cdot 27,1172}{47,7517} = 61,22 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Šmykový tok od zaťaženia dopravou

Max. charakteristická šmyková sila nad podporou: $V_{z,sk1a,k} = 659,5$ kN

$$S_{y,c,ef} = \frac{A_c}{n_0} \cdot r_c = 131,4667 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2645 = 32,7685 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

$$V_{L,sk1a,k} = \frac{V_{z,sk1a,k} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}} = \frac{659,5 \cdot 34,7685}{56,3147} = 407,17 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

Šmykový tok od účinkov zmrašťovania

- v čase 60 dní

$$N_{cs} = \frac{\sigma_{cs,1} + \sigma_{cs,2}}{2} \cdot A_c = \frac{0,06 + 0,45}{2} \cdot 0,81200 = 208,68 \text{ kN}$$

$$L_v = \min(b_{eff} = 2,8 \text{ m}; 0,1 \cdot L = 0,1 \cdot 32,0 = 3,2 \text{ m}) = 2,8 \text{ m}$$

$$V_{L,cs,k} = \frac{2 \cdot N_{cs}}{L_v} = \frac{2 \cdot 208,68}{2,8} = 149,05 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

- v čase 36 525 dní

$$N_{cs} = \frac{\sigma_{cs,1} + \sigma_{cs,2}}{2} \cdot A_c = \frac{0,33 + 1,02}{2} \cdot 0,81200 = 545,87 \text{ kN}$$

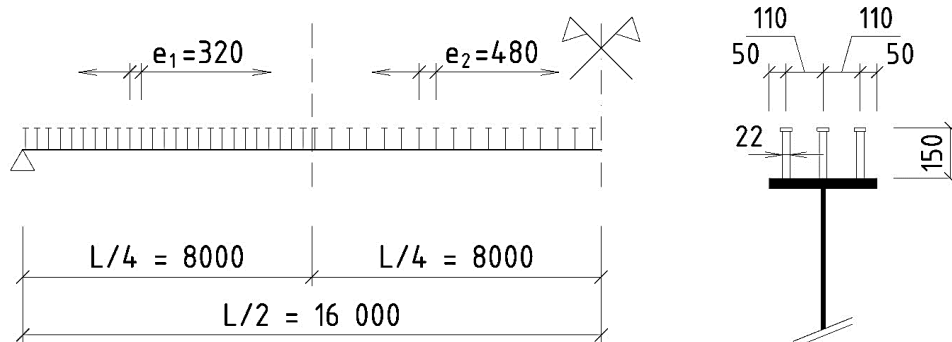
$$V_{L,cs,k} = \frac{2 \cdot N_{cs}}{L_v} = \frac{2 \cdot 389,90}{2,8} = 389,90 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

Šmykový tok od účinkov teplotných zmien

$$N_{\Delta T} = \frac{\sigma_{\Delta T,1} + \sigma_{\Delta T,2}}{2} \cdot A_c = \frac{-0,01 + 0,60}{2} \cdot 0,81200 = 241,04 \text{ kN}$$

$$V_{L,\Delta T,k} = \frac{2 \cdot N_{\Delta T}}{L_v} = \frac{2 \cdot 241,04}{2,8} = 172,17 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

Vzhľadom na priebeh šmykového toku v pozdĺžnom smere navrhujeme rozmiestnenie trňov na polovici dĺžky spriahnutého nosníka podľa obr. 6:



Obrázok 6: Rozmiestnenie trňov na ocelovom nosníku

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

Posúdenie v čase 60 dní

Návrhová hodnota šmykového toku smerom k podpere:

$$V_{L,Ed} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{L,g2,k} - \gamma_{Q,cs} \cdot V_{L,cs,k} + \gamma_{Q,sk1a} \cdot V_{L,sk1a,k} + \gamma_{Q,\Delta T} \cdot \psi_0 \cdot V_{L,\Delta T,k}$$

$$V_{L,Ed} = 1,35 \cdot 65,20 - 1,0 \cdot 149,05 + 1,35 \cdot 407,17 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 172,17 = \mathbf{643,61 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$$

Návrhová hodnota šmykového toku smerom do stredu rozpätia:

$$V_{L,Ed} = \gamma_{G,inf} \cdot V_{L,g2,k} - \gamma_{Q,cs} \cdot V_{L,cs,k} - \gamma_{Q,\Delta T} \cdot V_{L,\Delta T,k}$$

$$V_{L,Ed} = 1,00 \cdot 65,20 - 1,0 \cdot 149,05 - 1,5 \cdot 172,17 = \mathbf{-342,11 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$$

Sila od rozhodujúcej kombinácie pripadajúca na jeden koncový trň:

$$P_{Ed} = \frac{V_{L,Ed} \cdot e_i}{n_i} = \frac{643,61 \cdot 0,320}{3} = \mathbf{68,65 \text{ kN}} < P_{rd} = \mathbf{82,72 \text{ kN}} \Rightarrow \mathbf{Vyhovuje}$$

Posúdenie v čase 36 525 dní

Návrhová hodnota šmykového toku smerom k podpere:

$$V_{L,Ed} = 1,35 \cdot 61,22 - 1,0 \cdot 389,90 + 1,35 \cdot 407,17 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 172,17 = \mathbf{397,38 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$$

Návrhová hodnota šmykového toku smerom do stredu rozpätia:

$$V_{L,Ed} = 1,00 \cdot 61,22 - 1,0 \cdot 389,90 - 1,5 \cdot 172,17 = \mathbf{-586,95 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}}$$

Sila od rozhodujúcej kombinácie pripadajúca na jeden koncový trň:

$$P_{Ed} = \frac{V_{L,Ed} \cdot e_i}{n_i} = \frac{586,95 \cdot 0,320}{3} = \mathbf{62,61 \text{ kN}} < P_{rd} = \mathbf{82,72 \text{ kN}} \Rightarrow \mathbf{Vyhovuje}$$

Posúdenie trňov v 1/4 rozpätia

Hodnoty priečných síl na vnútornom nosníku „b“ v štvrtine rozpätia od jednotlivých zaťažení, stanovené s využitím priestorového výpočtového modelu:

$$V_{g2,k} = 64,62 \text{ kN}$$

$$V_{ZM1,k} = 416,50 \text{ kN}$$

$$V_{ch,k} = 1,80 \text{ kN}$$

$$V_{sk1a,k} = V_{ZM1,k} + V_{ch,k} = 416,5 + 1,80 = 418,3 \text{ kN}$$

Šmykový tok od 2.časti stálych zaťažení:

- v čase 60 dní

$$V_{L,g2,k} = \frac{V_{g2,k} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}} = \frac{64,62 \cdot 32,4764}{53,6932} = 39,09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

- v čase 36 525 dní

$$V_{L,g2,k} = \frac{V_{g2,k} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}} = \frac{64,62 \cdot 27,1172}{47,7517} = 36,70 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

Šmykový tok od zaťaženia dopravou:

$$V_{L,sk1a,k} = \frac{V_{sk1a,k} \cdot S_{y,c,ef}}{I_{y,ef}} = \frac{418,03 \cdot 34,7685}{56,3147} = 258,09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

Spriahovacie tŕne v 1/4 rozpätia nie sú namáhané účinkami zmrašťovania, či nerovnomernej zmeny teploty. Vzhľadom na hodnoty šmykového toku stačí posúdiť tŕne len v čase 60 dní.

Návrhová hodnota šmykového toku od kombinácie zaťažení v 1/4 rozpätia:

$$V_{L,Ed} = \gamma_{G,sup} \cdot V_{L,g2,k} + \gamma_{Q,sk1a} \cdot V_{L,sk1a,k} = 1,35 \cdot 39,09 + 1,35 \cdot 258,09 = 401,19 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$$

Sila pripadajúca na jeden tŕň:

$$P_{Ed} = \frac{V_{L,Ed} \cdot e_2}{n_2} = \frac{401,19 \cdot 0,480}{3} = 64,19 \text{ kN} < P_{rd} = 82,72 \text{ kN} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Overenie výskytu nepružných úsekov spriahnutého nosníka

Súčiniteľ „k“ na stanovenie pružnej návrhovej ohybovej odolnosti $M_{el,Rd}$ vypočítame z podmienky spoľahlivosti pre najviac namáhané vlákno spriahnutého prierezu (dolné vlákno ocelového nosníka v čase 36 525 dní):

$$\sigma_{x,Ed,4} = \gamma_{G1} \cdot \sigma_{g1,4} + k \cdot (\gamma_{G2} \cdot \sigma_{g2,4} + \gamma_{Q,sk1a} \cdot \sigma_{sk1a,4}) + \gamma_{Q,cs} \cdot \sigma_{cs,4} + \psi_0 \cdot \gamma_{Q,\Delta T} \cdot \sigma_{\Delta T,4} \leq f_{yd}$$

$$k = \frac{f_{yd} - (\gamma_{G1} \cdot \sigma_{g1,4} + \gamma_{Q,cs} \cdot \sigma_{cs,4} + \psi_0 \cdot \gamma_{Q,\Delta T} \cdot \sigma_{\Delta T,4})}{\gamma_{G2} \cdot \sigma_{g2,4} + \gamma_{Q,sk1a} \cdot \sigma_{sk1a,4}}$$

$$k = \frac{355,00 - (1,335 \cdot 111,26 + 1,0 \cdot 8,33 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 3,46)}{1,35 \cdot 32,96 + 1,35 \cdot 96,33} = 1,117$$

Pružná návrhová ohybová odolnosť prierezu spriahnutého vnútorného nosníka „b“ teda je:

$$M_{el,Rd} = M_{a,Ed} + k \cdot M_{c,Ed} = \gamma_{G1} \cdot M_{g1,k} + k \cdot (\gamma_{G1} \cdot M_{g2,k} + \gamma_{Q,sk1a} \cdot M_{sk1a,k})$$

Podpora edukačných aktivít pre výchovu mladých odborníkov v oblasti mostného staviteľstva v cezhraničnom regióne (ITMS kód projektu 304010U647)

Projekt je podporovaný z programu Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika a spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja

$$M_{el,Rd} = 1,335 \cdot 3016,80 + 1,1174 \cdot (1,35 \cdot 1190,20 + 1,35 \cdot 3663,90) = 11\,349,81 \text{ kNm}$$

Maximálna návrhová hodnota ohybového momentu uprostred rozpätia je:

$$M_{Ed,max} = \gamma_{G1} \cdot M_{g1,k} + \gamma_{G1} \cdot M_{g2,k} + \gamma_{Q,sk1a} \cdot M_{sk1a,k}$$

$$M_{Ed,max} = 1,335 \cdot 3016,80 + 1,35 \cdot 1190,20 + 1,35 \cdot 3663,90 = 10\,580,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = \mathbf{10\,580,46 \text{ kNm}} < M_{el,Rd} = \mathbf{11\,349,81 \text{ kNm}}$$

Maximálny návrhový ohybový moment uprostred rozpätia (rez „B“ na obr. 4) je menší ako pružný ohybový moment odolnosti spriahnutého prierezu. To znamená, že po celej dĺžke spriahnutého nosníka nedôjde k prekročeniu pružnej ohybovej odolnosti spriahnutého prierezu, a teda ani k vzniku nepružných úsekov.

Z porovnania vzťahov pre výpočet $M_{el,Rd}$ a $M_{Ed,max}$ je možné zovšeobecniť záver, že výskyt nepružných úsekov je podmienený hodnotou súčiniteľa $k \leq 1,0$. V prípade platnosti tejto podmienky je potrebné stanoviť polohu rezu „A“ (obr. 4), vymedzujúceho dĺžku nepružného úseku L_{A-B} , pomocou obálky maximálnych návrhových ohybových momentov po dĺžke rozpätia. Následne sa posúdi odolnosť trŕňov rozmiestnených v rámci nepružného úseku L_{A-B} .