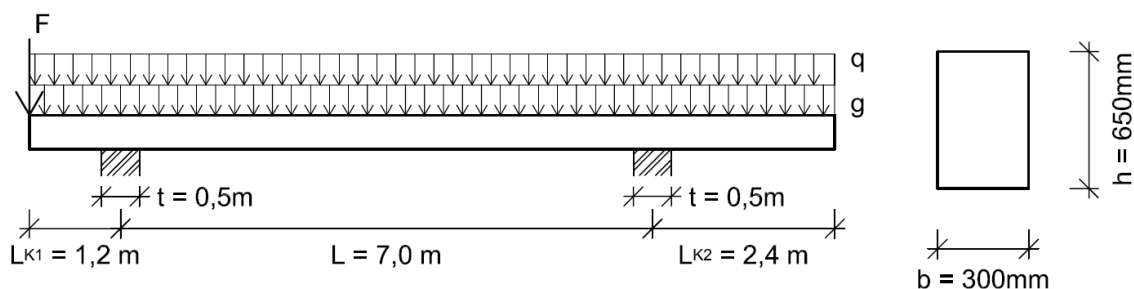


NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE ŽB TRÁMU

Navrhněte smykovou výztuž v podobě třmínků do ŽB nosníku uvedeného na obrázku. Kromě vlastní tíhy je nosník zatížen bodovou silou od obvodového pláště $F_k = 40 \text{ kN}$, ostatním stálým rovnoměrným zatížením $(g - g_0)_k = 25 \text{ kN/m'}$ a proměnným zatížením $q_k = 22,5 \text{ kN/m'}$. Krytí ohybové výztuže uvažujte $c = 35 \text{ mm}$, účinnou výšku průřezu $d = 605 \text{ mm}$.



Materiálové charakteristiky:

- beton: **C 25/30 XC2 (CZ) - Cl 0,2 - D_{max} 16 - S3** $E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,666 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 1,8 \text{ MPa} \quad f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ MPa} \quad f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

- ocel: **B 500 B** $E_s = 200 \text{ GPa}$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

Výpočet zatížení:

liniové zatížení - stálé:

druh zatížení	rozměry [m × m]	ρ_v [kN/m ³]	char. zatížení [kN/m']	γ_G	návrh. zatížení [kN/m']
ŽB nosník g_0	$0,65 \times 0,25$	$\times 25$	4,063	1,35	5,484
ostatní stálé zatížení $(g - g_0)$			25,000	1,35	33,750

celkem Σg **28,438** **39,234**

liniové zatížení - proměnné:

užitné zatížení q 22,500 1,5 33,750

Celkem $\Sigma(g+q)$ 50,938 72,984

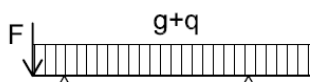
bodové zatížení - stálé:

druh zatížení	char. zatížení [kN]	γ_G	návrh. zatížení [kN]
obvodový plášť F	40,000	1,35	54,000

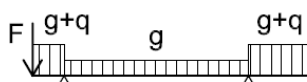
Zatěžovací stavy, výpočet vnitřních sil:

Vzhledem k variabilitě polohy proměnného zatížení je nutné řešit více zatěžovacích stavů.

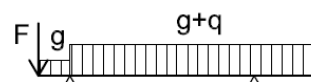
ZS1



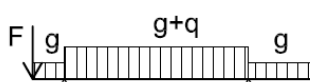
ZS3



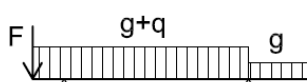
ZS5



ZS2

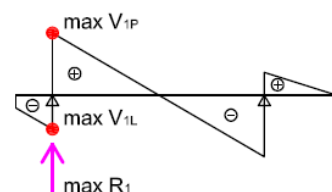
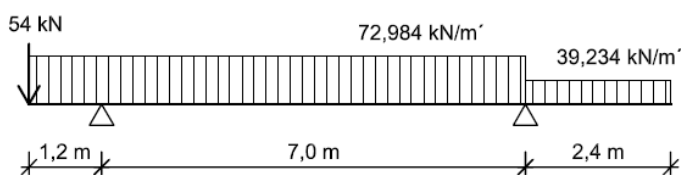


ZS4

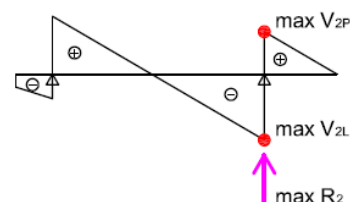
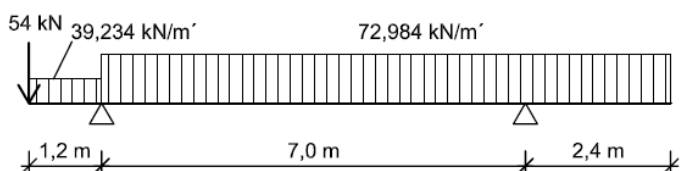


Z hlediska smykového namáhání (extrémních hodnot posouvajících sil) jsou rozhodující následující zatěžovací stavy:

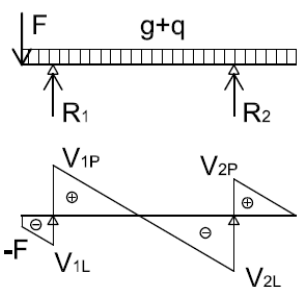
ZS4



ZS5

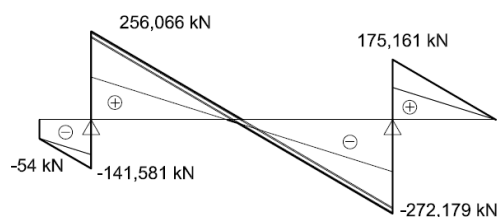


Pomocí základních vztahů stavební mechaniky vyčíslíme hodnoty posouvajících sil v rozhodujících bodech konstrukce.

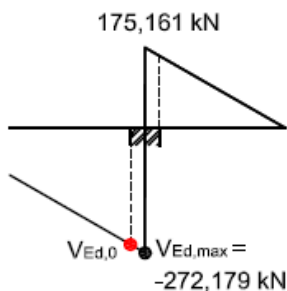
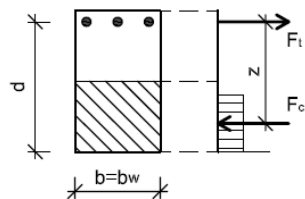


	Posouvající síly [kN]				
	okraj	V_{1L}	V_{1P}	V_{2L}	V_{2P}
ZS4	-54,0	-141,581	256,066	-254,822	94,161
ZS5	-54,0	-101,081	238,709	-272,179	175,161

obálka posouvajících sil:



- maximální posouvající síla: $V_{Ed,max} = 272,179 \text{ kN}$



Smykové posouzení, návrh smykové výztuže:

- minimální šířka průřezu: $b_w = b = 300 \text{ mm}$
- účinná výška průřezu: $d = 605 \text{ mm}$
- rameno vnitřních sil - lze zavést hodnotu: $z = 0,9 \cdot d = 544,5 \text{ mm}$

Únosnost tlačené diagonály:

Únosnost tlačené diagonály porovnáváme s posouvající silou v lici podpory.

- posouvající síla v lici pravé podpory:

$$V_{Ed,0} = V_{Ed,max} - t / 2 \cdot (g + q)_d = 272,179 - 0,5 / 2 \cdot 72,984 = 253,933 \text{ kN}$$
- ⇒ volba sklonu smykových trhlin: $\cotg \theta = 1,5$
 - požadavek EN 1992-1-1: $1 \leq \cotg \theta \leq 2,5$
 - běžné skutečné hodnoty: $1,3 \leq \cotg \theta \leq 1,6$

- redukční součinitel únosnosti tlačené diagonály:

$$\nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250} \right) = 0,54$$

- únosnost tlačené diagonály:

$$V_{Rd,max} = \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cotg \theta}{1 + \cotg^2 \theta} = 0,54 \cdot 16,667 \cdot 300 \cdot 544,5 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 678,544 \text{ kN}$$

$$\geq V_{Ed,0} = 253,933 \text{ kN}$$

.... **vyhovuje** ⇒ předpoklad $\cotg \theta = 1,5$ lze akceptovat

Návrh a posouzení smykové výztuže:

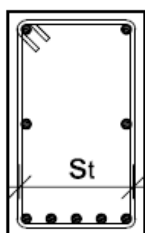
- Jelikož se jedná o prvek nosníkového typu, nemá smysl ověřovat únosnost ve smyku $V_{Rd,c}$ prvku z prostého betonu, prvek musí být v každém případě vyztužen smykovou výztuží.

⇒ *návrh profil třmínkové výztuže:* $\phi_{sw} = 8 \text{ mm}$

⇒ *navrhovaná střižnost třmínků:* $n = 2$

- plocha smykové výztuže (1 třmínek) :

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{sw}^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 100,5 \text{ mm}^2$$



Kontrola příčné vzdálenosti mezi jednotlivými větvemi třmínků:

- osová vzdálenost větví třmínků:

$$s_t = b_w - 2 \cdot c - \phi_{sw} = 300 - 2 \cdot 35 - 8 = 222 \text{ mm}$$

$$\leq s_{t,max} = \min(0,75 \cdot d; 600 \text{ mm}) = \min(0,75 \cdot 605; 600 \text{ mm}) = 453,7 \text{ mm}$$

.... **vyhovuje** ⇒ dvoustřížné třmínky lze akceptovat

Konstrukční rozmístění třmínků:

- max. vzdálenost třmínků: $s_{\max} = \min(0,75 \cdot d; 400) = \min(0,75 \cdot 605; 400) = 400 \text{ mm}$
- minimální stupeň smykové vyztužení:

$$\rho_{w,\min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{25}}{500} = 8,0 \cdot 10^{-4} \leq \rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_i}$$

- konstrukční vzdálenost třmínků:

$$s_{konstr} \leq s_{\max} = \min\left(s_{\max}; \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_{w,\min}}\right) = \min\left(400; \frac{100,5}{300 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4}}\right) = \min(400; 418,8) = 400 \text{ mm}$$

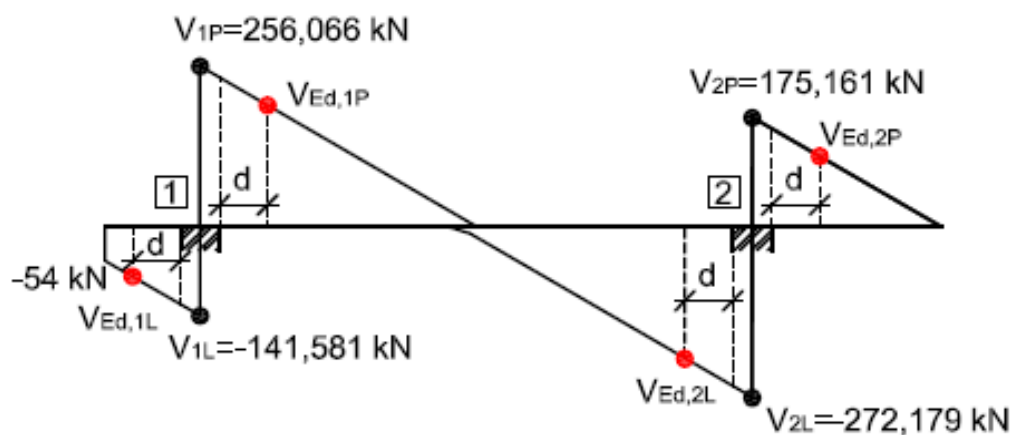
⇒ návrh konstrukční smykové výztuže: **Ø 8 mm à 400 mm**

- únosnost konstrukční smykové výztuže:

$$V_{Rd,s,\min} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{konstr}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{400} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 89,221 \text{ kN}$$

Návrhové třmínky:

Největší sílu pro návrh třmínků v prvcích zatížených přímým spojitým zatížením uvažujeme ve vzdálenosti d za lícem přímé podpory.



- posouvající síly ve vzdálenosti d za lícem podpor:

$$V_{Ed,1L} = V_{1L} - (t/2 + d) \cdot (g + q)_d = 141,581 - (0,5/2 + 0,605) \cdot 72,984 = 79,180 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1P} = V_{1P} - (t/2 + d) \cdot (g + q)_d = 256,066 - (0,5/2 + 0,605) \cdot 72,984 = 193,665 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2L} = V_{2L} - (t/2 + d) \cdot (g + q)_d = 272,179 - (0,5/2 + 0,605) \cdot 72,984 = 209,778 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2P} = V_{2P} - (t/2 + d) \cdot (g + q)_d = 175,161 - (0,5/2 + 0,605) \cdot 72,984 = 112,760 \text{ kN}$$

- návrh vzdáleností třmínků:

$$s_{1L} \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed,1L}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{79,180 \cdot 10^3} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 450,7 \text{ mm}$$

⇒ návrh: **Ø 8 mm à 400 mm**

$$V_{Rd,s,1L} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{1L}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{400} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 89,221 \text{ kN}$$

$$> V_{Ed,1L} = 79,180 \text{ kN}$$

$$s_{1P} \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed,1P}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{193,665 \cdot 10^3} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 184,3 \text{ mm}$$

⇒ návrh: **Ø 8 mm à 180 mm**

$$V_{Rd,s,1P} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{1P}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{180} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 198,269 \text{ kN}$$

$$> V_{Ed,1P} = 193,665 \text{ kN}$$

$$s_{2L} \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed,2L}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{209,778 \cdot 10^3} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 170,1 \text{ mm}$$

⇒ návrh: **Ø 8 mm à 170 mm**

$$V_{Rd,s,2L} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{2L}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{170} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 209,932 \text{ kN}$$

$$> V_{Ed,2L} = 209,778 \text{ kN}$$

$$s_{2P} \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed,2P}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{112,760 \cdot 10^3} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 316,5 \text{ mm}$$

⇒ návrh: **Ø 8 mm à 300 mm**

$$V_{Rd,s,2P} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{2P}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{300} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 118,961 \text{ kN}$$

$$> V_{Ed,2P} = 112,760 \text{ kN}$$

- dosah účinnosti třmínků:

$$\Delta l = z \cdot \cotg \theta = 544,5 \cdot 1,5 = 816 \text{ mm}$$

Kontrola maximálního stupně smykové vyztužení (zajištění duktility):

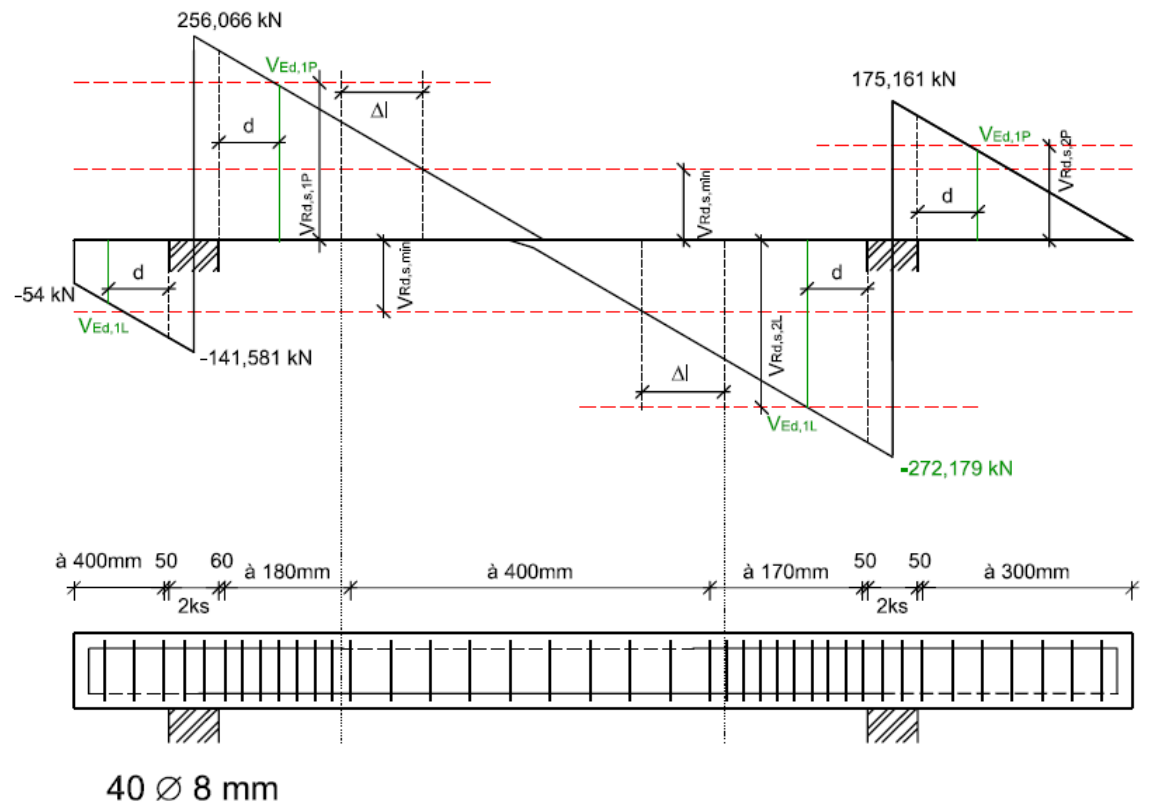
- max. stupeň vyztužení: $\rho_{w,max} = \frac{0,5 \cdot \nu \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 0,08 \cdot \frac{0,5 \cdot 0,54 \cdot 16,666}{434,783} = 10,3 \cdot 10^{-3}$

Splnění max. stupně smykového vyztužení stačí ověřit pro nejvíce vyztuženou oblast trámu:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s_{2L}} = \frac{100,5}{300 \cdot 170} = 1,97 \cdot 10^{-3} \leq \rho_{w,max} = 10,3 \cdot 10^{-3} \text{ vyhovuje}$$

Navržená smyková výztuž:

Středová oblast trámu bude vyztužena konstrukční smykovou výztuží v podobě dvoustřížných třmínků rozmístěných po vzdálenosti 400 mm. Oblasti v blízkosti podpor budou vyztuženy dvoustřížnými třmínky rozmístěnými po příslušných návrhových vzdálenostech (170, 180, 300 a 400 mm).



Toto řešení je teoreticky možné i materiálově hospodárné, z hlediska provádění však složité (příliš mnoho odlišných oblastí). Z toho důvodu přistoupíme k optimalizaci návrhu rozmístění třmínků.

Optimalizace návrhu rozmístění třmínků:

Z důvodu snížení pracnosti při provádění je vhodné některé oblasti rozmístění třmínků sjednotit.

V konečném důsledku budou navrženy 2 odlišné oblasti rozmístění třmínků:

⇒ návrh: **Ø 8 mm à 300 mm**

$$V_{Rd,s,300} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{300}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{300} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 118,961 \text{ kN}$$

⇒ návrh: **Ø 8 mm à 150 mm**

$$V_{Rd,s,150} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{150}} \cdot z \cdot \cotg \theta = \frac{100,5 \cdot 434,783}{150} \cdot 544,5 \cdot 1,5 = 237,923 \text{ kN}$$

