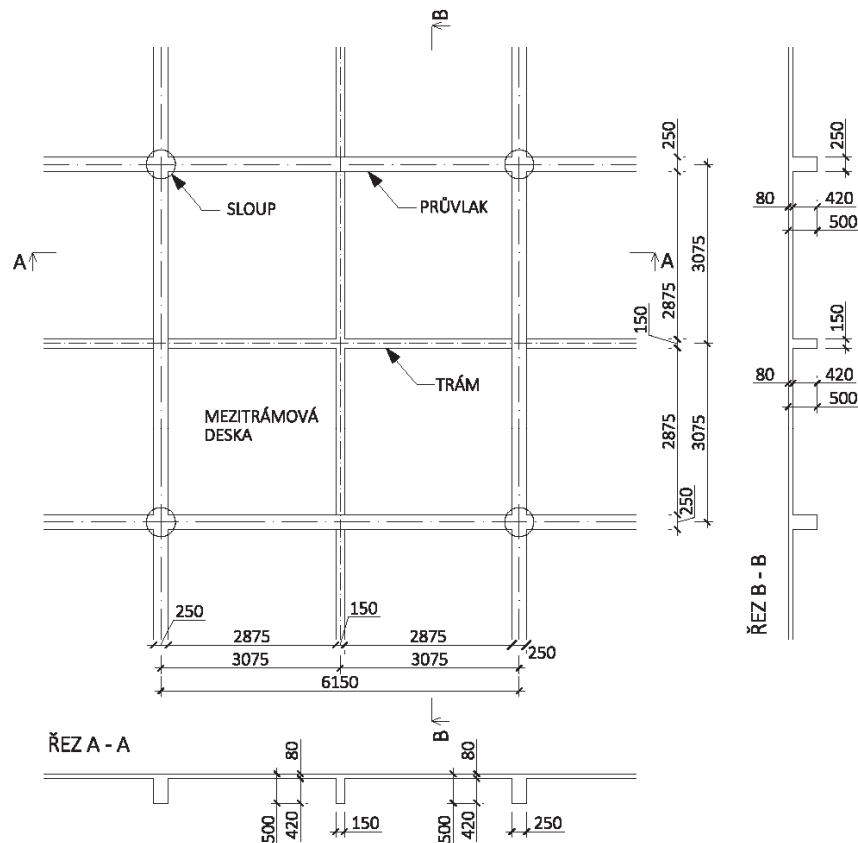


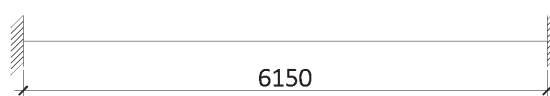
STATICKÝ VÝPOČET ÚNOSNOSTI PRŮVLAKU

1. GEOMETRIE

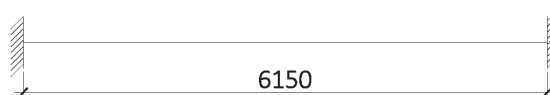
- SCHÉMA GEOMETRIE JEDNOHO POLE PŮVODNÍ ČÁSTI OBJEKTU (ČÁST C)



- ULOŽENÍ PRŮVLAKU NA SLOUPY



- ULOŽENÍ TRÁMU NA PRŮVLAKY

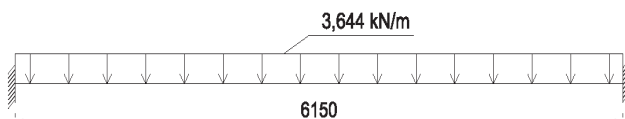


2. ZATÍŽENÍ PRŮVLAKU

ZS P1: VI.tíha průvlaku (bez desky)

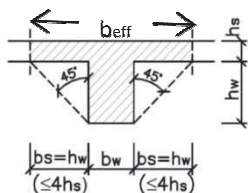
$$g_{0,P,k} = b \cdot (h - h_s) \cdot \gamma_{zB} = 0,25 \cdot (0,5 - 0,08) \cdot 25 = 2,625 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{0,P,d} = g_{0,P,k} \cdot \gamma_G = 2,625 \cdot 1,35 = 3,644 \text{ kNm}^{-1}$$



ZS P2: Tíha desky na průvlak

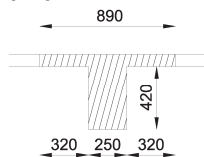
Plošné zatížení působící na desku podepřenou po obvodě se roznáší mezi průvlaky a trámy (podpírající desku) podle jejich tuhosti, resp. podle šířky jejich účinných průřezů b_{eff} . Tužší průvlak tak přenáší zatížení z mírně větší plochy než trám.



pro vnitřní pole platí:

$$b_{eff} = b_w + 2 \cdot b_s$$

průvlak:

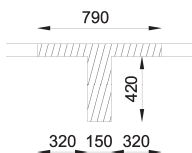


$$b_{eff} = b_w + 2 \cdot b_s$$

$$b_s = h_w = 420 \text{ mm} > 4 h_s = 4 \cdot 80 = 320 \text{ mm} \rightarrow b_{s,p} = 320 \text{ mm}$$

$$b_{eff,p} = 250 + 2 \cdot 320 = 890 \text{ mm}$$

trám:

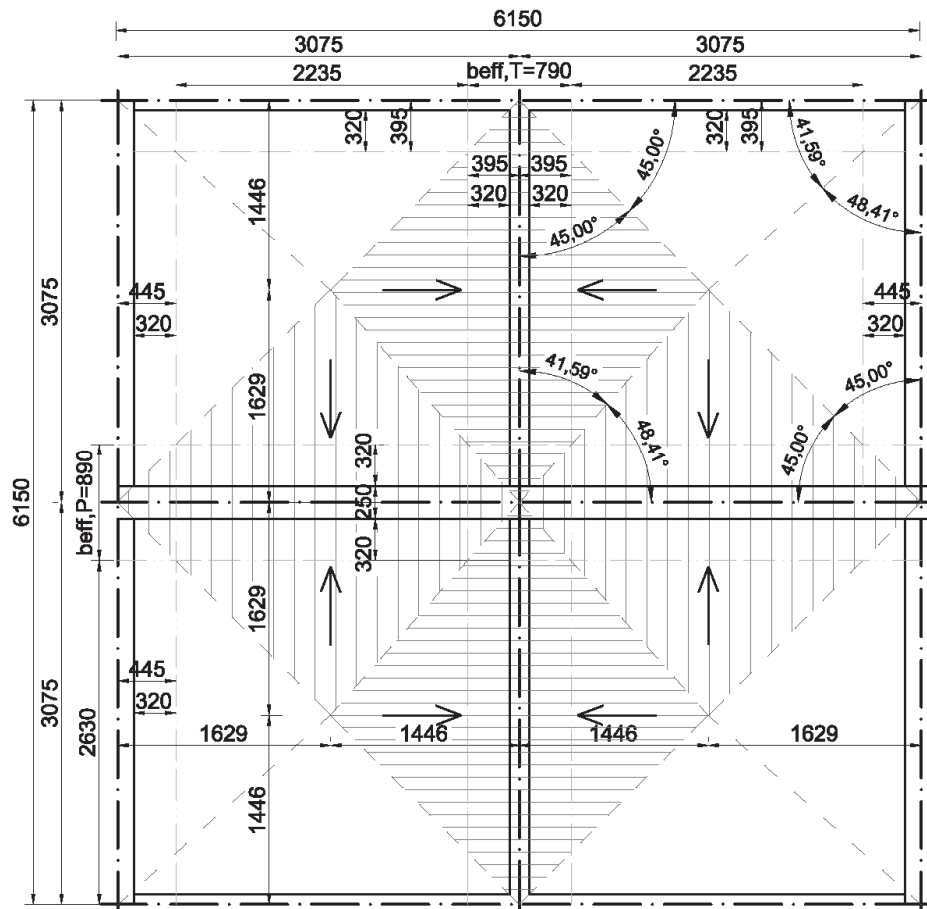


$$b_{eff} = b_w + 2 \cdot b_s$$

$$b_s = h_w = 420 \text{ mm} > 4 h_s = 4 \cdot 80 = 320 \text{ mm} \rightarrow b_{s,T} = 320 \text{ mm}$$

$$b_{eff,T} = 150 + 2 \cdot 320 = 790 \text{ mm}$$

Rozdělení plošného zatížení mezi průvlaky (P) a trámy (T):



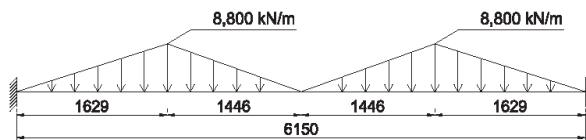
Tíha desky na průvlak:

$$g_{1,P,k} = b_s \cdot \gamma_{\text{žB}} = 0,08 \cdot 25 = 2,000 \text{ kNm}^{-2}$$

$$\text{maximální hodnota trojúhelníkového zatížení } g_{1,P,\text{max},k} = 2 \cdot (1,629 \cdot g_{1,P,k}) = 2 \cdot (1,629 \cdot 2,000)$$

$$g_{1,P,\text{max},k} = 6,516 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{1,P,\text{max},d} = g_{1,P,\text{max},k} \cdot \gamma_G = 6,516 \cdot 1,35 = 8,800 \text{ kNm}^{-1}$$



ZS P3: Tíha podlahy na průvlak

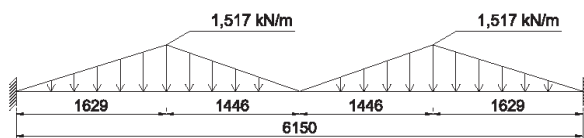
Cementový potěr tl. 15 mm

$$g_{2,P,k} = b_s \cdot \gamma_{\text{Cem.Pot.}} = 0,015 \cdot 23 = 0,345 \text{ kNm}^{-2}$$

$$\text{maximální hodnota trojúhelníkového zatížení } g_{2,P,\max,k} = 2 \cdot (1,629 \cdot g_{2,P,k}) = 2 \cdot (1,629 \cdot 0,345)$$

$$g_{2,P,\max,k} = 1,124 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{2,P,\max,d} = g_{2,P,\max,k} \cdot \gamma_G = 1,124 \cdot 1,35 = 1,157 \text{ kNm}^{-1}$$



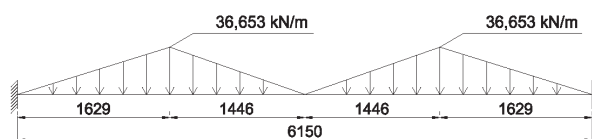
ZS P4: Užitélné zatížení na průvlak

$$q_k = 2,5 \text{ kNm}^{-2} = q_{P,k}$$

$$\text{maximální hodnota trojúhelníkového zatížení } q_{P,\max,k} = 2 \cdot (1,629 \cdot q_{P,k}) = 2 \cdot (1,629 \cdot 2,5)$$

$$q_{P,\max,k} = 8,145 \text{ kNm}^{-1}$$

$$q_{P,\max,d} = q_{P,\max,k} \cdot \gamma_Q = 8,145 \cdot 1,50 = 12,218 \text{ kNm}^{-1}$$

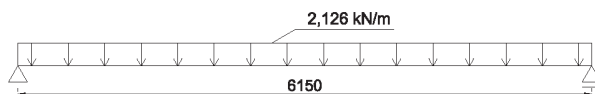


ZS P5: Reakce od trámu

ZS P5-T1: Vl.tíha trámu (bez desky)

$$g_{0,T,k} = b \cdot (h - h_s) \cdot \gamma_{\text{žB}} = 0,15 \cdot (0,5 - 0,08) \cdot 25 = 1,575 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{0,T,d} = g_{0,T,k} \cdot \gamma_G = 1,575 \cdot 1,35 = 2,126 \text{ kNm}^{-1}$$



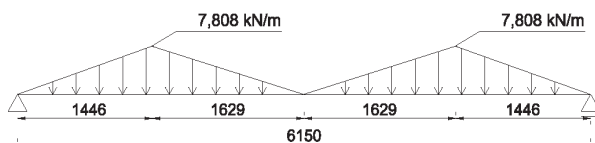
ZS P5-T2: Tíha desky na trám

$$g_{1,T,k} = b_s \cdot \gamma_{\text{žB}} = 0,08 \cdot 25 = 2,000 \text{ kNm}^{-2}$$

$$\text{maximální hodnota trojúhelníkového zatížení } g_{1,T,\max,k} = 2 \cdot (1,446 \cdot g_{1,T,k}) = 2 \cdot (1,446 \cdot 2,000)$$

$$g_{1,T,\max,k} = 5,784 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{1,T,\max,d} = g_{1,T,\max,k} \cdot \gamma_G = 5,784 \cdot 1,35 = 7,808 \text{ kNm}^{-1}$$



ZS P5-T3: Tíha podlahy na trám

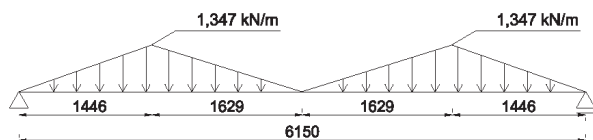
Cementový potěr tl. 15 mm

$$g_{2,T,k} = b_s \cdot \gamma_{\text{Cem.Pot.}} = 0,015 \cdot 23 = 0,345 \text{ kNm}^{-2}$$

$$\text{maximální hodnota trojúhelníkového zatížení } g_{2,T,\max,k} = 2 \cdot (1,446 \cdot g_{2,T,k}) = 2 \cdot (1,446 \cdot 0,345)$$

$$g_{2,T,\max,k} = 0,998 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_{2,T,\max,d} = g_{2,T,\max,k} \cdot \gamma_G = 0,998 \cdot 1,35 = 1,347 \text{ kNm}^{-1}$$



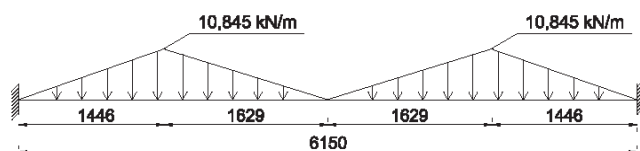
ZS P5-T4: Užitéčné zatížení na trám

$$q_{T,k} = 2,5 \text{ kNm}^{-2}$$

$$\text{maximální hodnota trojúhelníkového zatížení } q_{T,\max,k} = 2 \cdot (1,446 \cdot q_{T,k}) = 2 \cdot (1,446 \cdot 2,5)$$

$$q_{p,\max,k} = 7,230 \text{ kNm}^{-1}$$

$$q_{T,\max,d} = q_{T,\max,k} \cdot \gamma_Q = 7,230 \cdot 1,50 = 10,845 \text{ kNm}^{-1}$$



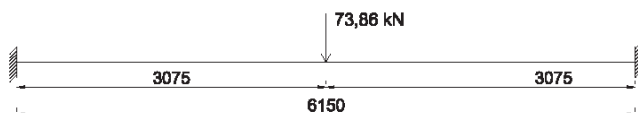
Reakce od trámu:

Výsledný obrazec podporových reakcí trámu R_T (výstup ze Scia Engineer):



V polovině rozpětí průvlaku jsou uloženy dva trámy, průvlak je pak v místě uložení trámu zatížen dvojnásobkem reakce od trámu:

$$f_{p,d} = 2 \cdot R_T = 2 \cdot 36,93 = 73,86 \text{ kN}$$

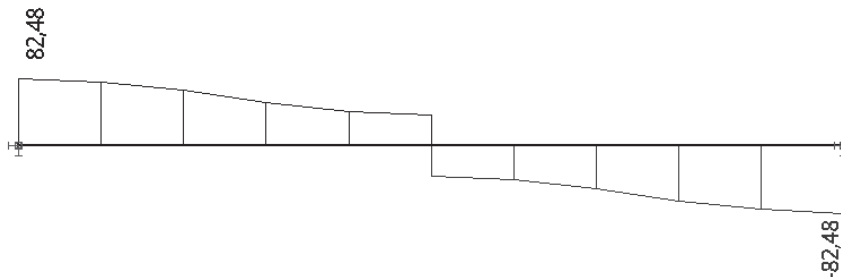


3. VNITŘNÍ SÍLY PRŮVLAKU

Vnitřní síly působící na modelu průvlaku byly stanoveny s pomocí softwaru Scia Engineer.

Posouvající síly:

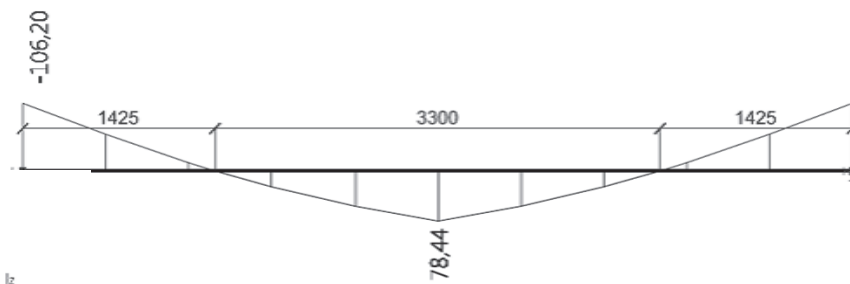
$$V_{ed} = 82,48 \text{ kN}$$



Ohybové momenty:

v poli: $M_{ed}(\text{pole}) = 78,44 \text{ kNm}$

v podpoře: $M_{ed}(\text{podp.}) = -106,20 \text{ kNm}$



A. POSOUZENÍ PRŮVLAKU PŘED PŮSOBENÍM POŽÁRU

1. MATERIÁLY

Beton: třída C 20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1,5 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

Ocel: třída 37

$$\text{mez průtažnosti } 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{mez kluzu } f_{yk} = 210 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 210 / 1,15 = 182,61 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

2. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA NAMÁHANÍ OHYBOVÝM MOMENTEM

a) POSOUZENÍ UPROSTŘED ROZPĚTÍ

Šířka spolupůsobící desky:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b_i \quad b = L = 6,15 \text{ m}$$

$$b_{eff,i} = 0,2b_i + 0,1L_0 \leq 0,2L_0 \quad b_w = 0,25 \text{ m}$$

$$b_i = (6,15 - 0,25) / 2 = 2,95 \text{ m}$$

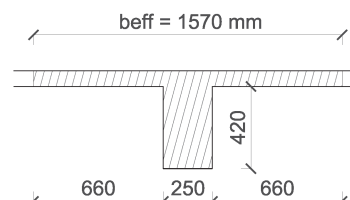
vzdálenost průřezů s nulovými momenty $L_0 = 3,300 \text{ m}$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot 2,95 + 0,1 \cdot 3,3 = 0,92 \leq 0,2 \cdot 3,3 = 0,66 \text{ m}$$

$$\rightarrow b_{eff,i} = 0,66 \text{ m}$$

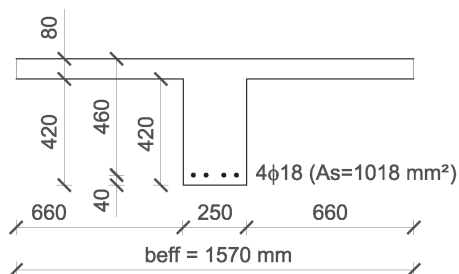
$$b_{eff,i} = b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0,66 \text{ m} \leq b_i = 2,95 \text{ m}$$

$$\underline{b_{eff}} = 2 \cdot 0,66 + 0,25 = \underline{1,57 \text{ m}} \leq b = 6,15 \text{ m}$$



Posouzení průřezu metodou mezní rovnováhy:

- posuzovaný průřez v poli:



$$A_{st} = 1018 \text{ mm}^2$$

- silová podmínka rovnováhy $F_{st} - F_c = 0$

$$A_{st} \cdot f_{yd} - A_{cc} \cdot f_{cd} = 0$$

- tlačená plocha

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61}{13,33} = 0,0139 \text{ m}^2$$

- poloha n.o.

$$x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b_{eff}} = \frac{0,0139}{0,8 \cdot 1,57} = 0,0111 \text{ m} (\leq h_s = 0,08 \text{ m})$$

- výška tlačného průřezu

$$\lambda x = x \cdot \lambda = 0,0111 \cdot 0,8 = 0,0089 \text{ m}$$

- účinná výška

$$d = 0,460 \text{ m}$$

- rameno vnitřních sil

$$z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,46 - \frac{0,0089}{2} = 0,4555 \text{ m}$$

Kontrola využití výztuže:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{182,61}{200 \cdot 10^3} = 9,1 \cdot 10^{-4} = 0,91 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,0111} \cdot (0,46 - 0,0111) = 0,142 = 142 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = 0,91 \text{ ‰} < \varepsilon_s = 142 \text{ ‰} \quad \text{Výztuž je plně využita, ve výztuži je napětí na mezi kluzu.}$$

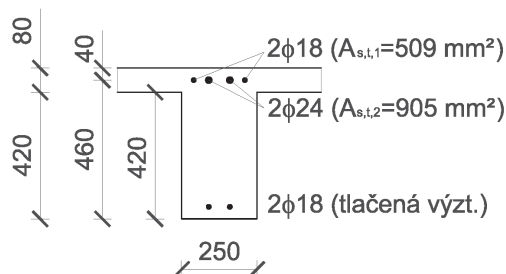
Kontrola únosnosti průřezu:

- moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61 \cdot 10^3 \cdot 0,4555$
 $M_{Rd} = 84,68 \text{ kNm}$
- moment od zatížení $M_{Ed} = 78,44 \text{ kNm}$
- posudek $M_{Rd} = 84,68 \text{ kNm} > M_{Ed} = 78,44 \text{ kNm}$
- stupeň využití $\mu = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{78,44}{84,68} = 0,925 = 92,6 \%$

Únosnost posuzovaného průvlaku v poli na působení ohybového namáhání **VYHOVUJE**, uvedeným zatížením je průvlak v poli využit z 92,6 % své ohybové únosnosti.

b) POSOUZENÍ U PODPORY
Posouzení průřezu metodu mezní rovnováhy:

- posuzovaný průřez nad podporou:



$$A_{st} = A_{st,1} + A_{st,2} = 509 + 905 = 1414 \text{ mm}^2$$

- silová podmínka rovnováhy $F_{st} - F_c = 0$
 (uvažována pouze tažená výztuž) $A_{st} \cdot f_{yd} - A_{cc} \cdot f_{cd} = 0$
- tlačená plocha $A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{14,14 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61}{13,33} = 0,0194 \text{ m}^2$
- poloha n.o. $x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0,0194}{0,8 \cdot 0,25} = 0,0969 \text{ m}$
- účinná výška $d = 0,460 \text{ m}$
- rameno vnitřních sil $z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,46 - \frac{0,8 \cdot 0,0969}{2} = 0,421 \text{ m}$

Kontrola využití výztuže:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{182,61}{200 \cdot 10^3} = 9,1 \cdot 10^{-4} = 0,91 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,0969} \cdot (0,46 - 0,0969) = 13,1 \cdot 10^{-3} = 13,1 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = 0,91 \text{ ‰} < \varepsilon_s = 13,1 \text{ ‰}$$

Výztuž je plně využita, ve výztuži je napětí na mezi kluzu.

Kontrola únosnosti průřezu:

- moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 14,14 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61 \cdot 10^3 \cdot 0,421$
 $M_{Rd} = 108,71 \text{ kNm}$
- moment od zatížení $M_{Ed} = 106,20 \text{ kNm}$
- posudek $M_{Rd} = 108,71 \text{ kNm} > M_{Ed} = 106,20 \text{ kNm}$
- stupeň využití $\mu = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{106,20}{108,71} = 0,977 = 97,7 \%$

Únosnost posuzovaného průvlaku v podpoře na působení ohybového namáhání **VYHOVUJE**, uvedeným zatížením je průvlak v podpoře využit z 97,7 % své ohybové únosnosti.

3. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA NAMÁHÁNÍ SMYKEM

- posouvající síla od zatížení $V_{Ed} = 82,48 \text{ kN}$
- únosnost prvku při smyku se určí součtem smykové únosnosti bez smykové výztuže (tj. únosnost betonu a podélné výztuže) s únosností se smykovou výztuží (třmínky).

a) ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

- smyková únosnost betonu a podélné výztuže $V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] \cdot b_w \cdot d$
 $V_{Rd,c} \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d$
- souč. smykové únosnosti $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$
- souč. výšky $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{460}} = 1,659 \leq 2,0$
- plocha tahové výztuže $A_{sl} = 14,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 14,14 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \text{ (2}\varnothing 18 + 2\varnothing 24\text{)}$
- min. šířka v tažené oblasti $b_w = 250 \text{ mm}$
- stupeň vyztužení $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{14,14 \cdot 10^2}{250 \cdot 460} = 0,01230 < 0,02$
- min. smykové napětí $v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,659^{\frac{3}{2}} \cdot 20^{\frac{1}{2}} = 0,334 \text{ MPa}$
- $V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,659 \cdot (100 \cdot 0,01230 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot 250 \cdot 460 = 66\,584 \text{ N} = 66,584 \text{ kN}$
 $V_{Rd,c} \geq 0,334 \cdot 250 \cdot 460 = 38\,410 \text{ N} = 38,410 \text{ kN}$
 $66,584 \text{ kN} \geq 38,410 \text{ kN} \text{ (vyhovuje)}$

- posudek bez smykové výztuže $V_{Rd,c} = 66,584 \text{ kN} < V_{Ed} = 82,48 \text{ kN}$

Únosnost posuzovaného průvlaku na působení smykového namáhání bez započítání smykové výztuže **NEVYHOVUJE**.

b) ÚNOSNOST SE SMYKOVOU VÝZTUŽÍ

Průvlak je na smyk vyztužen svislou smykovou výztuží (třmínky).

- Úhel mezi smykovou výztuží a osou nosníku $\alpha = 90^\circ$

b.1) ÚNOSNOST TLAČENÉ DIAGONÁLY

-smyková únosnost tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot g(\theta) + \tan(\theta)}$$

-souč. stavu napětí v tlačném pásu

$$\alpha_{cw} = 1,0 \text{ (pro nepředepnutý prvek)}$$

-redukční souč. pevnosti betonu
při porušení smykem

$$v_1 = v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \left[1 - \frac{20}{250} \right] = 0,552$$

-min. šířka vyšetřovaného průřezu

$$b_w = 0,25 \text{ m}$$

-rameno vnitřních sil

$$z \cong 0,9 d = 0,9 \cdot 0,46 = 0,414 \text{ m}$$

-úhel odklonu tlačené diagonály
od podélné osy nosníku

$$\theta = 22,5^\circ$$

-návrhová pevnost betonu v tlaku

$$f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,414 \cdot 0,552 \cdot 13,33 \cdot 10^3}{\cot g(22,5^\circ) + \tan(22,5^\circ)} = 269,256 \text{ kN}$$

b.2) ÚNOSNOST TAŽENÉ DIAGONÁLY

-smyková únosnost tažené diagonály

$$V_{Rd,s,w} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot g(\theta)$$

-plocha smykové výztuže

$$A_{sw} = 5,65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 56,5 \cdot \text{mm}^2$$

(dvojstržný třmínek $\phi 6$)

-osová vzdálenost třmínků

$$s = 0,300 \text{ m}$$

-návrhová mez kluzu smykové výztuže

$$f_{ywd} = f_{yd} = 182,91 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,s,w} = \frac{5,65 \cdot 10^{-5}}{0,300} \cdot 0,414 \cdot 182,91 \cdot 10^3 \cdot \cot g(22,5^\circ) = 34,374 \text{ kN}$$

ad b) Únosnost se smykovou výztuží

-smyková únosnost prvku se smykovou výztuží

$$V_{Rd,s} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s,w})$$

$$V_{Rd,s} = \min(269,256 \text{ kN}; 34,374 \text{ kN})$$

$$V_{Rd,s} = 34,374 \text{ kN}$$

ad 3.) Posouzení únosnosti na namáhání smykem

únosnost prvku při smyku se určí součtem únosnosti bez smykové výztuže (tj. únosnost betonu a podélné výztuže) s únosností se smykovou výztuží (třmínky).

-celková smyková únosnost $V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$

-smyková únosnost bez smykové výztuže $V_{Rd,c} = 66,584 \text{ kN}$

-smyková únosnost se smykovou výztuží $V_{Rd,s} = 34,374 \text{ kN}$

$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 66,584 + 34,374 = \mathbf{100,96 \text{ kN}}$

- posudek smykové únosnosti $V_{Rd} = \mathbf{100,96 \text{ kN}} > V_{Ed} = \mathbf{82,48 \text{ kN}}$

- stupeň využití $\mu = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{82,48}{100,96} = 0,817 = \mathbf{81,7 \%}$

Únosnost posuzovaného průvlaku na působení smykového namáhání **VYHOVUJE**, uvedeným zatížením je průvlak využit z 81,7 % své smykové únosnosti.

B. PRŮVLAK POŠKOZENÝ POŽÁREM

1. MATERIÁLY

Beton:	třída C 9/12,5	$f_{ck} = 9 \text{ MPa}$
		$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 20/1,5 = 6,00 \text{ MPa}$
		$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$
Ocel:	třída 37	mez průtažnosti 2100 kg/cm^2
		mez kluzu $f_{yk} = 210 \text{ Mpa}$
		$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 210/1,15 = 182,61 \text{ MPa}$
		$E_s = 200 \text{ GPa}$

2. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA NAMÁHANÍ OHYBOVÝM MOMENTEM

a) POSOUZENÍ UPROSTŘED ROZPĚTÍ

Šířka spolupůsobící desky:

$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b \quad b = L = 6,15 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2b_i + 0,1L_0 \leq 0,2L_0 \quad b_w = 0,25 \text{ m}$$

$$b_i = (6,15 - 0,25)/2 = 2,95 \text{ m}$$

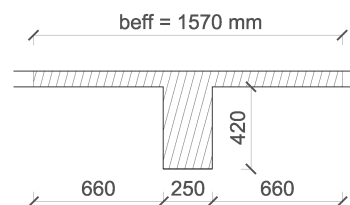
vzdálenost průřezů s nulovými momenty $L_0 = 3,300 \text{ m}$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot 2,95 + 0,1 \cdot 3,3 = 0,92 \leq 0,2 \cdot 3,3 = 0,66 \text{ m}$$

$$\rightarrow b_{\text{eff},i} = 0,66 \text{ m}$$

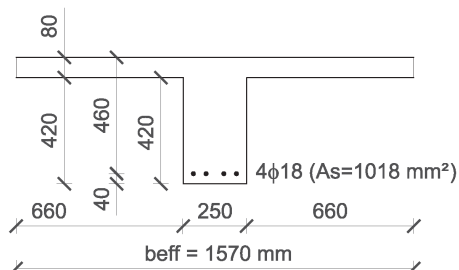
$$b_{\text{eff},i} = b_{\text{eff},1} = b_{\text{eff},2} = 0,66 \text{ m} \leq b_i = 2,95 \text{ m}$$

$$\underline{b_{\text{eff}}} = 2 \cdot 0,66 + 0,25 = \underline{1,57 \text{ m}} \leq b = 6,15 \text{ m}$$



Posouzení průřezu metodu mezní rovnováhy:

- posuzovaný průřez v poli:



$$A_{st} = 1018 \text{ mm}^2$$

- silová podmínka rovnováhy $F_{st} - F_c = 0$

$$A_{st} \cdot f_{yd} - A_{cc} \cdot f_{cd} = 0$$

- tlačená plocha

$$A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61}{6,00} = 0,0310 \text{ m}^2$$

- poloha n.o. $x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b_{eff}} = \frac{0,0310}{0,8 \cdot 1,57} = 0,0247 \text{ m } (\leq h_s = 0,08 \text{ m})$
- výška tlačенého průřezu $\lambda x = x \cdot \lambda = 0,0247 \cdot 0,8 = 0,0198 \text{ m}$
- účinná výška $d = 0,460 \text{ m}$
- rameno vnitřních sil $z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,46 - \frac{0,0198}{2} = 0,4501 \text{ m}$

Kontrola využití výztuže:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{182,61}{200 \cdot 10^3} = 9,1 \cdot 10^{-4} = 0,91 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,0247} \cdot (0,46 - 0,0247) = 0,062 = 62 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = 0,91 \text{ ‰} < \varepsilon_s = 62 \text{ ‰} \quad \text{Výztuž je plně využita, ve výztuži je napětí na mezi kluzu.}$$

Kontrola únosnosti průřezu:

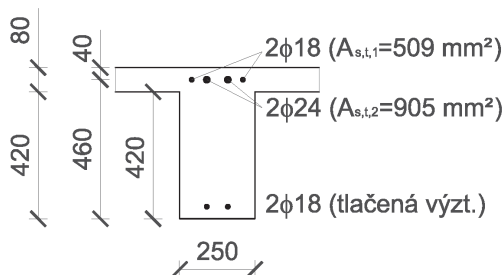
- moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61 \cdot 10^3 \cdot 0,4501$
 $M_{Rd} = 83,67 \text{ kNm}$
- moment od zatížení $M_{Ed} = 78,44 \text{ kNm}$
- posudek $M_{Rd} = 83,67 \text{ kNm} > M_{Ed} = 78,44 \text{ kNm}$
- stupeň využití $\mu = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{78,44}{83,67} = 0,937 = 93,7 \text{ ‰}$

Únosnost posuzovaného průvlaku v poli na působení ohybového namáhání **VYHOVUJE**, uvedeným zatížením je průvlak v poli využit z 93,7 % své ohybové únosnosti.

b) POSOUZENÍ U PODPORY

Posouzení průřezu metodou mezní rovnováhy:

- posuzovaný průřez nad podporou:



$$A_{st} = A_{st,1} + A_{st,2} = 509 + 905 = 1414 \text{ mm}^2$$

- silová podmínka rovnováhy
(uvažována pouze tažená výztuž) $F_{st} - F_c = 0$
 $A_{st} \cdot f_{yd} - A_{cc} \cdot f_{cd} = 0$
- tlačená plocha $A_{cc} = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{14,14 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61}{6,00} = 0,0430 \text{ m}^2$
- poloha n.o. $x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0,0430}{0,8 \cdot 0,25} = 0,2152 \text{ m}$
- účinná výška $d = 0,460 \text{ m}$
- rameno vnitřních sil $z = d - \frac{\lambda \cdot x}{2} = 0,46 - \frac{0,8 \cdot 0,2152}{2} = 0,374 \text{ m}$

Kontrola využití výztuže:

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{182,61}{200 \cdot 10^3} = 9,1 \cdot 10^{-4} = 0,91 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,2152} \cdot (0,46 - 0,2152) = 4,0 \cdot 10^{-3} = 4,0 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = 0,91 \text{ ‰} < \varepsilon_s = 4,0 \text{ ‰}$$

Výztuž je plně využita, ve výztuži je napětí na mezi kluzu.

Kontrola únosnosti průřezu:

- moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = A_{st} \cdot f_{yd} \cdot z = 14,14 \cdot 10^{-4} \cdot 182,61 \cdot 10^3 \cdot 0,374$
 $M_{Rd} = 96,57 \text{ kNm}$
- moment od zatížení $M_{Ed} = 106,20 \text{ kNm}$
- posudek $M_{Rd} = 96,57 \text{ kNm} < M_{Ed} = 106,20 \text{ kNm}$
- stupeň využití $\mu = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{106,20}{96,57} = 1,100 = 110,0 \text{ ‰}$

Únosnost posuzovaného průvlaku v podpoře na působení ohybového namáhání **NEVYHOVUJE**, uvedeným zatížením je průvlak v podpoře využit z 110 % své ohybové únosnosti.

3. POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI NA NAMÁHANÍ SMYKEM

- posouvající síla od zatížení $V_{Ed} = 82,48 \text{ kN}$
- únosnost prvku při smyku se určí součtem smykové únosnosti bez smykové výztuže (tj. únosnost betonu a podélné výztuže) s únosností se smykovou výztuží (třmínky).

a) ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

- smyková únosnost betonu a $V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] \cdot b_w \cdot d$
- podélné výztuže $V_{Rd,c} \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d$

-souč. smykové únosnosti	$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$
-souč. výšky	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{460}} = 1,659 \leq 2,0$
-plocha tahové výztuže	$A_{sl} = 14,14 \cdot 10^{-4} m^2 = 14,14 \cdot 10^2 mm^2 (2\emptyset 18 + 2\emptyset 24)$
-min. šířka v tažené oblast	$b_w = 250 mm$
-stupeň vyztužení	$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{14,14 \cdot 10^2}{250 \cdot 460} = 0,01230 < 0,02$
-min. smykové napětí	$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,659^{\frac{3}{2}} \cdot 9^{\frac{1}{2}} = 0,224 MPa$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,659 \cdot (100 \cdot 0,01230 \cdot 9)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot 250 \cdot 460 = 51\,024 N = \mathbf{51,024 kN}$$

$$V_{Rd,c} \geq 0,224 \cdot 250 \cdot 460 = 25\,760 N = 25,760 kN$$

$$51,024 kN \geq 25,760 kN \text{ (vyhovuje)}$$

$$\text{-posudek bez smykové výztuže} \quad V_{Rd,c} = \mathbf{51,024 kN} < V_{Ed} = \mathbf{82,48 kN}$$

Únosnost posuzovaného průvlaku na působení smykového namáhání bez započítání smykové výztuže **NEVYHOVUJE**.

b) ÚNOSNOST SE SMYKOVOU VÝZTUŽÍ

Průvlak je na smyk vyztužen svislou smykovou výztuží (třmínky).

- Úhel mezi smykovou výztuží a osou nosníku $\alpha = 90^\circ$

b.1) ÚNOSNOST TLAČENÉ DIAGONÁLY

-smyková únosnost tlačené diagonály	$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot g(\theta) + \tan g(\theta)}$
-souč. stavu napětí v tlačném pásu	$\alpha_{cw} = 1,0$ (pro nepředepnutý prvek)
-redukční souč. pevnosti betonu při porušení smykem	$v_1 = v = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \left[1 - \frac{9}{250} \right] = 0,578$
-min. šířka vyšetřovaného průřezu	$b_w = 0,25 m$
-rameno vnitřních sil	$z \cong 0,9 d = 0,9 \cdot 0,46 = 0,414 m$
-úhel odklonu tlačené diagonály od podélné osy nosníku	$\theta = 22,5^\circ$
-návrhová pevnost betonu v tlaku	$f_{cd} = 6,00 MPa$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,414 \cdot 0,578 \cdot 6,00 \cdot 10^3}{\cot g(22,5^\circ) + \tan g(22,5^\circ)} = \mathbf{126,904 kN}$$

b.2) ÚNOSNOST TAŽENÉ DIAGONÁLY

-smyková únosnost tažené diagonály

$$V_{Rd,s,w} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot g(\theta)$$

-plocha smykové výztuže

$$A_{sw} = 5,65 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 56,5 \cdot \text{ mm}^2$$

(dvojitřizný třmínek $\phi 6$)

-osová vzdálenost třmínků

$$s = 0,300 \text{ m}$$

-návrhová mez kluzu smykové výztuže

$$f_{ywd} = f_{yd} = 182,91 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,s,w} = \frac{5,65 \cdot 10^{-5}}{0,300} \cdot 0,414 \cdot 182,61 \cdot 10^3 \cdot \cot g(22,5^\circ) = \mathbf{34,374 \text{ kN}}$$

ad b) Únosnost se smykovou výztuží

-smyková únosnost prvku se smykovou výztuží

$$V_{Rd,s} = \min(V_{Rd,max}; V_{Rd,s,w})$$

$$V_{Rd,s} = \min(126,904 \text{ kN}; 34,374 \text{ kN})$$

$$V_{Rd,s} = \mathbf{34,374 \text{ kN}}$$

ad 3.) Posouzení únosnosti na namáhání smykem

únosnost prvku při smyku se určí součtem únosnosti bez smykové výztuže (tj. únosnost betonu a podélné výztuže) s únosností se smykovou výztuží (třmínky).

-celková smyková únosnost

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$$

-smyková únosnost bez smykové výztuže

$$V_{Rd,c} = 51,024 \text{ kN}$$

-smyková únosnost se smykovou výztuží

$$V_{Rd,s} = 34,374 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 51,024 + 34,374 = \mathbf{85,398 \text{ kN}}$$

- posudek smykové únosnosti

$$V_{Rd} = \mathbf{85,398 \text{ kN}} > V_{Ed} = \mathbf{82,48 \text{ kN}}$$

- stupeň využití

$$\mu = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{82,48}{85,398} = 0,966 = \mathbf{96,6 \%}$$

Únosnost posuzovaného průvlaku na působení smykového namáhání **VYHOVUJE**, uvedeným zatížením je průvlak využit z 96,6 % své smykové únosnosti.