

FAKULTA STAVEBNÍ, ČVUT V PRAZE



Komentovaný příklad návrhu prefamolitického stropu

Výuková pomůcka

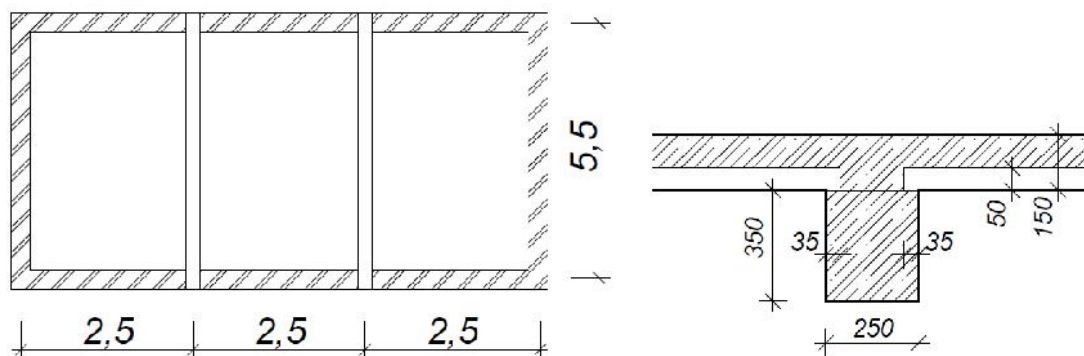
Ing. Josef Fládr

1.12.2012

Tento dokument vznikl za finanční podpory projektu FRVŠ 239/2012/G1 „Navrhování betonových a zděných prvků pro neobvyklé návrhové situace“.

1. Zadání

Tento komentovaný příklad má za úkol seznámit studenty Fakulty stavební, VUT v Praze s návrhem prefamolitické stropní konstrukce. Návrh obou nosných prvků je proveden i s ohledem na montážní stadia jednotlivých prefabrikovaných dílů stropní konstrukce. Cílem vzorového příkladu je seznámení s komplexností návrhu konstrukce.



Obr. 1 Schéma konstrukce

2. Návrh konstrukce v hlavní fázi životnosti

Konstrukce bude nejprve navržena na koncovou fázi životnosti, protože v této fázi působí dominantní zatížení.

2.1. Zatížení stropní konstrukce

Tabulka zatížení stropní konstrukce v koncové fázi

Stálé	Tloušťka [mm]	Objemová tíha [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Návrhové zatížení [kN/m ²]
Ker. dlažba	8	2000	0,16	1,35	0,22
Flexibilní lepidlo	2	2100	0,04	1,35	0,06
Beton	100	2500	2,50	1,35	3,38
Vlastní tíha	150	2500	3,75	1,35	5,06
Omítka	15	1800	0,27	1,35	0,36
Stálé celkem		Σ	6,72	Σ	9,07
Proměnné					
Kategorie C4: Plochy pro pohybové aktivity			5,00	1,5	7,5
Přemístitelné příčky s hmotností < 3,0 kN/m			1,20	1,5	1,8
Proměnné celkem			Σ	Σ	9,3
Celkové zatížení			12,92		18,4

2.2. Stanovení krytí panelu

Popis konstrukce:

- Konstrukce je uvnitř budovy s provozem s nízkou vlhkostí => **XC1**
- Povrch není vystaven korozi způsobenou chloridy
- Povrch není v kontaktu s močkovou vodou
- Konstrukce je chráněna, proto není vystavena zmrazovacím cyklům
- U konstrukce nehrozí chemické napadení
- Desková konstrukce

Požadavky: XC1 C 30/37; w/c < 0,6, c > 260 kg/m³
 Životnost konstrukce 50 let => konstrukční třída **S4**

$$c_{nom} = c_{min} + U_{c_{dev}}$$

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur, -} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm (předpokládaný profil výztuže)}$$

$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

Požadavek prostředí pro $c_{min,dur}$ [mm]							
Konstrukční třída	Stupeň prostředí podle podmínek prostředí						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

$c_{dur, -}$; $c_{dur,st}$; $c_{dur,add}$ uvažujeme rovné nule
 $c_{min,st} = \max \{ 10; 100 + 0 - 0 - 0; 10 \} = 10 \text{ mm}$
 $U_{c_{dev}} = 10 \text{ mm (prefabrikovaná konstrukce)}$
 $c_{nom,st} = c_{min,st} + U_{c_{dev}} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$

2.3. Charakteristika materiálu

BETON C 30/37 =>

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 2,0 \text{ MPa}$$

$$v_{cu3} = 3,5\%$$

OCEL B500B =>

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

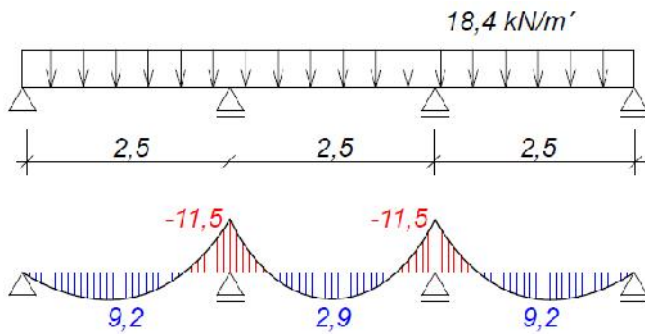
$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa}$$

$$v_s = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434}{200\,000} = 2,174\%$$

$$\epsilon_{bal} = \frac{v_{cu3}}{v_{cu3} + v_s} = \frac{3,5}{3,5 + 2,174} = 0,616$$

Pr b h vnitních sil

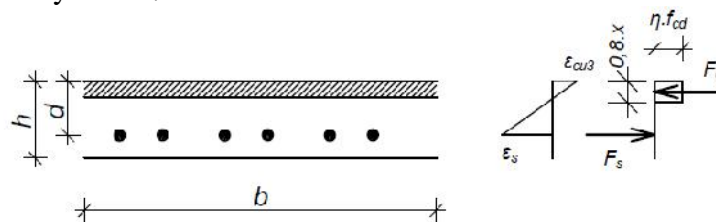


P i finálním p sobení filigránové panely p sobí jako spojité nosník. Proto je nutné nad podpory (trámy) umístit horní výztuž, která bude dopln na p i realizaci monolitické nadbetonávky.

2.4. Návrh ohybové výztuže v kone né fázi na MSÚ

- Návrh výztuže v poli (*kladný moment*)

P edpokládáný profil výztuže $\text{Ø } 8$



Obr. 2 Rozložení sil v desce p i kladném momentu

$$d = h - c - \text{Ø} / 2 = 150 - 20 - 8 / 2 = 126 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d_1^2 \cdot \gamma \cdot f_{cd}} = \frac{9,2}{1,0 \cdot 0,126^2 \cdot 1,0 \cdot 0,20 \cdot 0,10^3} = 0,0289 \Rightarrow \eta' = 0,980$$

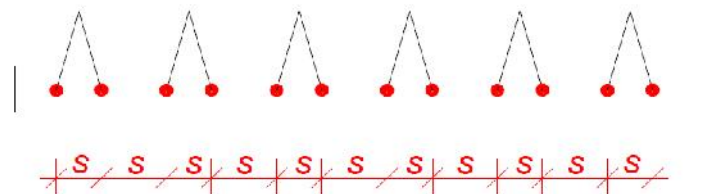
$$\xi = 0,038$$

$$\xi < 0,038 \leq 0,45 = \xi_{lim} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot \gamma \cdot d} = \frac{9,2 \cdot 10^6}{434,7 \cdot 10^3 \cdot 0,98 \cdot 0,126} = 171,4 \text{ mm}^2$$

Volba $\text{Ø}8$ po 150 mm ($A_{s,prov} = 335 \text{ mm}^2$)

Posouzení vzdálenosti vložek (*podle konstrukčních zásad*)



Obr. 3 Ukázka rozmístění dolní výztuže

$$s_{prov} = 150 \text{ mm}$$

$$s_{max,1} = 2 \cdot h = 2 \cdot 150 = 300 \text{ mm}$$

$$s_{max,2} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(s_{max,1}; s_{max,2}) = 300 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max(1,2W; d_g + 5; 20\text{mm}) = \max(1,2 \cdot 8; 22 + 5; 20) \Rightarrow s_{min} = 27 \text{ mm}$$

(d_g maximální průměr zrna kameniva)

$$s_{\min} \leq s_{prov} \leq s_{\max}$$

$$\underline{27 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení navržené plochy výztuže

$$A_{s,prov} = 335 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 150 \cdot 1000 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 1000 \cdot 126}{500} = 190,0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 126 = 163,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$\underline{190,0 \leq 335 \leq 6000} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení výztuže

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot y \cdot f_{cd}} = \frac{335 \cdot 434,7}{0,8 \cdot 1000 \cdot 1,0 \cdot 20,0} = 9,1 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{9,1}{126} = 0,072 \leq 0,45 = \xi_{lim}$$

$$z = d - 0,5 \cdot x = 0,126 - 0,5 \cdot 0,0091 = 0,121 \text{ m}$$

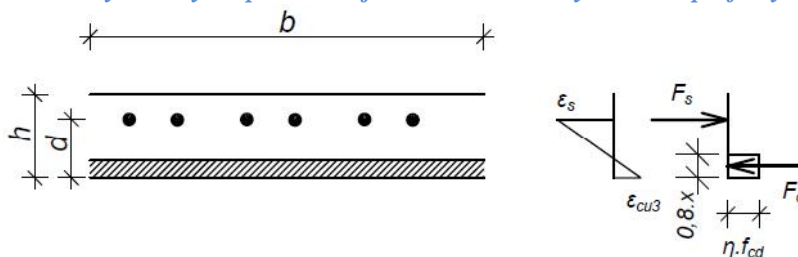
$$m_{Rd} = a_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 335 \cdot 434,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,121 = 17,69 \text{ kNm}$$

$$\underline{m_{Rd} = 17,69 \text{ kNm} \geq 9,2 \text{ kNm} = m_{Ed}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

rezerva 92%

- Výztuž nad podporou (záporný moment)

Volba Ø 10 profil horní výztuže bývá zpravidla o jednu nebo dvě třídy v tůňce než profil výztuže spodní



Obr. 4 Rozložení sil v desce p i záporném momentu

$$d = h - c - \varnothing / 2 = 150 - 20 - 10 / 2 = 125 \text{ mm}$$

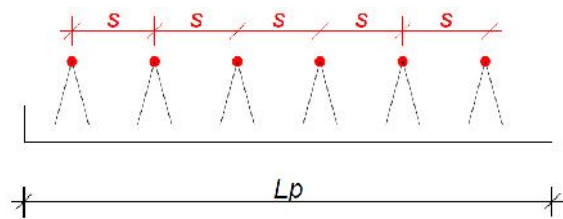
$$\xi = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot y \cdot f_{cd}} = \frac{11,48}{1,0 \cdot 0,125^2 \cdot 1,0 \cdot 20,0 \cdot 10^3} = 0,037 \Rightarrow \xi' = 0,982$$

$$= 0,045$$

$$\xi = 0,045 \leq 0,45 = \xi_{lim} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{f_{yd} \cdot y \cdot d} = \frac{11,48 \cdot 10^6}{434,7 \cdot 10^3 \cdot 0,982 \cdot 0,125} = 215,2 \text{ mm}^2$$

Volba Ø10 po 300 mm ($A_{s,prov} = 262 \text{ mm}^2$)



Obr. 5 Ukázka rozmístění horní výztuže

Posouzení vzdálenosti vložek

$$s_{prov} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{max,1} = 2 \cdot h = 2 \cdot 150 = 300 \text{ mm}$$

$$s_{max,2} = 300 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(s_{max,1}; s_{max,2}) = 300 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max(1,2 \cdot w; d_g + 5; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 10; 22 + 5; 20) \Rightarrow s_{min} = 27 \text{ mm}$$

(d_g maximální průměr zrna kameniva)

$$s_{min} \leq s_{prov} \leq s_{max}$$

$$27 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení plochy výztuže

$$A_{s,prov} = 262 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 150 \cdot 1000 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 1000 \cdot 125}{500} = 188 \text{ mm}^2 \quad (\text{k ehký lom})$$

$$A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 125 = 163 \text{ mm}^2 \quad (\text{stupe vyztužení})$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$188 \leq 262 \leq 6000 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení navržené výztuže na MSÚ

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot y \cdot f_{cd}} = \frac{262 \cdot 434,7}{0,8 \cdot 1000 \cdot 1,0 \cdot 20,0} = 7,1 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{x}{d} = \frac{7,1}{125} = 0,056 \leq 0,45 = \kappa_{lim}$$

$$z = d - 0,5 \cdot x = 125 - 0,5 \cdot 7,1 = 121,45 \text{ mm} \approx 0,121 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 262 \cdot 434,7 \cdot 0,121 = 13,83 \text{ kNm}$$

$$m_{Rd} = 13,83 \text{ kNm} \geq 11,48 \text{ kNm} = m_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

rezerva 20%

2.5. Posouzení panelu na MSP

Pro pot eby tohoto p íkladu bude pro ov ení druhého mezního stavu použita pouze zjednodušená metoda založená na ohybové štíhlosti prvku.

Třída betonu: **C 30/37**

Typ konstrukce: **spojitý nosník** \longrightarrow $d_{tab} = 30,8$ pro $\rho = 0,5\%$

$A_{s,prov} = 335 \text{ mm}^2$ (o pr. hybu rozhoduje spodní výztuž) $d_{tab} = 21,0$ pro $\rho = 1,5\%$

$A_{s,req} = 171 \text{ mm}^2$ (požadovaná plocha výztuže z MSÚ)

Rozpětí prvku: $l = 2,5 \text{ m}$

Stupeň vyztužení $= A_{s,prov} / A_c = 335 / (1000 \cdot 150) = 0,22\%$

Protože stupeň vyztužení v našem panelu je menší než 0,5% uvažuje se d_{tab} hodnotou 30,8 a interpolace se neprovádí.

$$d_{tab} = 30,8 \text{ pro } \rho = 0,5\%$$

$$c_1 = 1,0 \text{ (pro obdelníkový pr. ez)}$$

$$c_2 = 1,0 \text{ (rozpětí je menší než 7,0 m)}$$

$$c_3 = \frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot \frac{335}{171} = 1,96$$

$$d = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot d_{tab} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,96 \cdot 21,00 = \underline{\underline{41,16}} -$$

$$l/d = 2,5 / 0,126 = \underline{\underline{19,84}} -$$

$$l/d < d$$

19,84 < 41,16 => Vyhovuje

3. Posouzení trámu

3.1. Stanovení krytí trámu

Popis konstrukce:

- Konstrukce je uvnitř budovy s provozem s nízkou vlhkostí => **XC1**
- Povrch není vystaven korozi způsobené chloridy
- Povrch není v kontaktu s močkovou vodou
- Konstrukce je chráněna, proto není vystavena zmrazovacím cyklům
- U konstrukce nehrozí chemické napadení

Požadavky: XC1 C 30/37; w/c < 0,6, c > 260 kg/m³

Životnost konstrukce 50 let => konstrukční třída **S4**

- Stanovení krytí pro t mínus

$$c_{nom} = c_{min} + U_{c,dev}$$

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min,b} = 8 \text{ mm (p edpokládáný profil t mínus Ø8)}$$

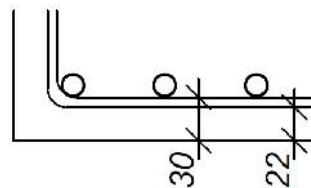
$$c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$$

Požadavek prostředí pro $c_{min,dur}$ [mm]							
Konstrukční třída	Stupeň prostředí podle podmínek prostředí						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

c_{dur} ; $c_{dur,st}$; $c_{dur,add}$ uvažujeme rovné nule
 $c_{min,st} = \max\{8; 10 + 0 - 0 - 0; 10\} = 20 \text{ mm}$
 $U_{cdev} = 10 \text{ mm}$ (prefabrikovaná konstrukce)
 $c_{nom,st} = c_{min,st} + U_{cdev} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$

- Stanovení krytí pro hlavní nosnou výztuž

$c_{nom} = c_{min} + U_{cdev}$
 $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$
 $c_{min,b} = 22 \text{ mm}$ (p edpokládáný profil výztuže $\varnothing 22$)
 $c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$
 c_{dur} ; $c_{dur,st}$; $c_{dur,add}$ uvažujeme rovné nule
 $c_{min,st} = \max\{22; 10 + 0 - 0 - 0; 10\} = 22 \text{ mm}$
 $U_{cdev} = 5 \text{ mm}$ (prefabrikovaná konstrukce)
 $c_{nom,st} = c_{min,st} + U_{cdev} = 22 + 5 = 27 \text{ mm}$

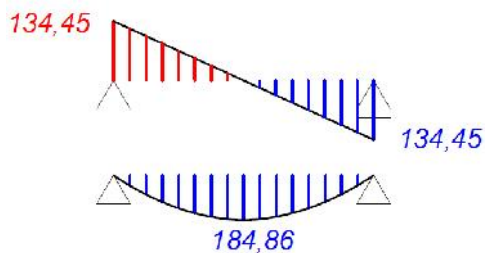
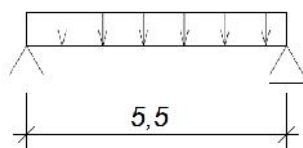


3.2. Návrh hlavní ohybové výztuže v poli

- Výpočet zatížení

$(18,4 \cdot 2,5 + 0,25 \cdot 0,35 \cdot 25 \cdot 1,35) = 48,9 \text{ kN/m'}$

48,9 kN/m'

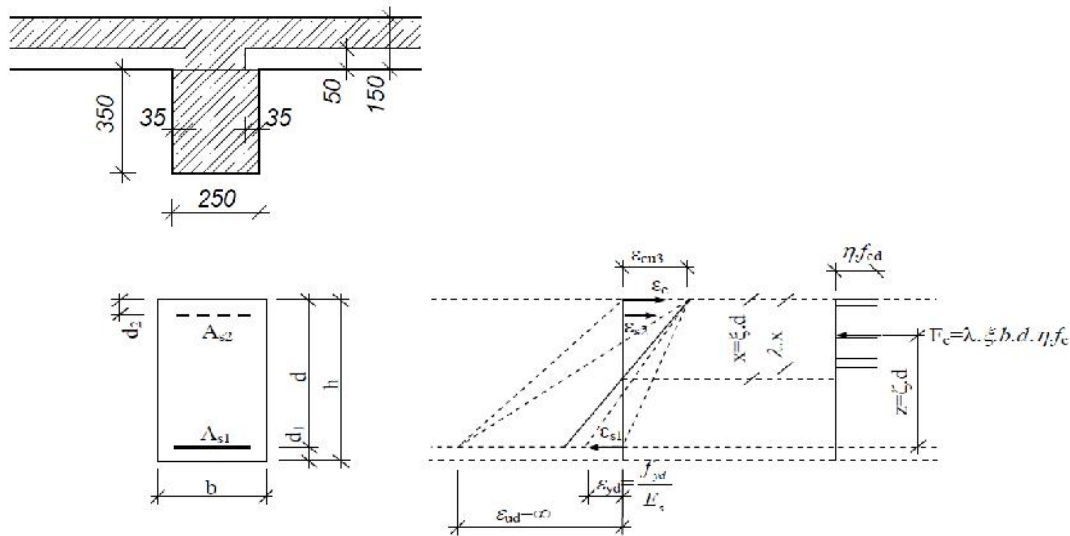


Stropní trám je v tomto případě uložený do cihelného zdiva a proto jeho statické působení je jako prostý nosník.

Zatížení, které působí na trám je zatížení z desky vynásobené zatřovácí šířkou trámu (v našem případě osovou vzdáleností) + tíha trámu pod deskou.

$M_{Ed,v poli} = 184,86 \text{ kNm}$

Volba Ø22



Obr. 6 Rozložení sil v trámu p i kladném momentu

$$d = h - c - \frac{22}{2} = 500 - 30 - \frac{22}{2} = 459 \text{ mm} \quad (P \text{ i finálním stavu konstrukce } p \text{ sobí celý trám i s deskou} \Rightarrow 350 + 150 = 500 \text{ mm})$$

$$\tilde{\eta} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{184,86}{0,25 \cdot 0,459^2 \cdot 20 \cdot 0,10^3} = 0,175 \Rightarrow \begin{aligned} &= 0,245 \\ \zeta &= 0,902 \end{aligned}$$

$$= 0,245 \quad 0,45 = \lim \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot \eta \cdot d} = \frac{184,86 \cdot 10^3}{434 \cdot 10^6 \cdot 0,902 \cdot 0,459} = 1028 \text{ mm}^2$$

Posouzení stupn vyztužení

$$A_{s,prov} = 1140 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 500 \cdot 250 = 5000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,9 \cdot 250 \cdot 459}{500} = 173 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b_w \cdot d = 0,0013 \cdot 250 \cdot 459 = 149 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$173 \leq 1140 \leq 5000 \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Posouzení vzdálenosti vložek

$$s_{prov} = \frac{b_w - 2 \cdot c - n \cdot W}{n - 1} = \frac{250 - 2 \cdot 30 - 3 \cdot 22}{2} = 62 \text{ mm}$$

$$s_{min} = \max(1,2W; d_g + 5; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20) \Rightarrow s_{min} = 26,4 \text{ mm}$$

(d_g maximální pr m r zrna kameniva)

$$s_{min} \leq s_{prov} \leq s_{max}$$

$$26,4 \text{ mm} \leq 62 \text{ mm} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- Posouzení výztuže na MSÚ

Návrh 3Ø22 ($A_{s,prov} = 1140 \text{ mm}^2$)

$$x = \frac{A_{sd} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1140 \cdot 10^{-6} \cdot 434}{0,8 \cdot 0,25 \cdot 20,0} = 124 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,124}{0,459} = 0,270 \leq 0,45 = \xi_{lim} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 459 - 0,4 \cdot 124 = 409 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1140 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 0,409 = 194,32 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 194,32 \text{ kNm} \geq 184,86 \text{ kNm} = M_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

rezerva 5%

3.3. Návrh smykové výztuže

$$V_{Ed} = 134,4 \text{ kNm} \quad (\text{velikost plné posouvající síly})$$

Únosnost tlakové diagonály

$$\cot \alpha = 1,5 \quad (\text{doporučená hodnota pro optimální sklon trhliny})$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250} \right) = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \alpha}{1 + \cot^2 \alpha} = 0,528 \cdot 20,0 \cdot 0,25 \cdot 0,409 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 356,9 \text{ kN}$$

Návrh třmínku

Ø 8
st ižnost 2
s 150 mm
 $f_{y,wk}$ 500 MPa

(maximální únosnost betonu v tlaku ve směru kolmém na předpokládanou smykovou trhlinu)

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{y,wk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00088$$

$$s_{1,max} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot \rho_{w,min}} = \frac{2,50,6}{250 \cdot 0,00088} = 460 \text{ mm}$$

$$s_{2,max} = \min(0,75 \cdot d; 400) = 0,75 \cdot 459 = 344 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \min(460; 344) = 344 \text{ mm} \quad (\text{maximální vzdálenost třmínků podle konstrukčních zásad})$$

$$s_{prov} = 150 \text{ mm} \leq 344 \text{ mm} = s_{max} \quad \text{VYHOVUJE}$$

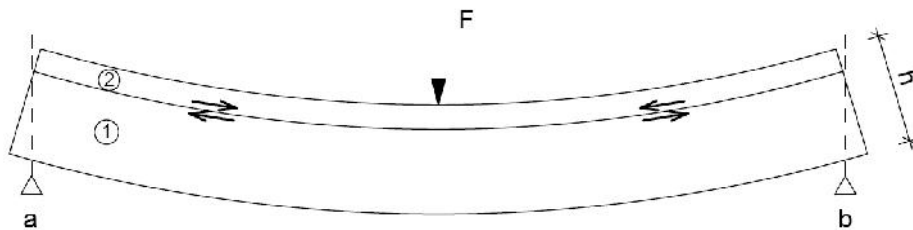
$$V_{Rd,s} = \frac{n \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{4,50 \cdot 26.500 / 1,15}{150} \cdot 459 \cdot 1,5 = 171,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 134,4 \text{ kN} \leq 171,4 \text{ kN} = V_{Rd} \leq 356,9 \text{ kN} = V_{Rd,max}$$

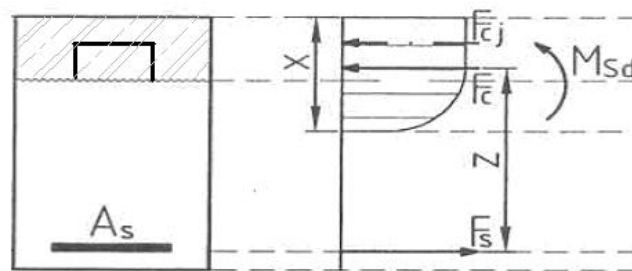
VYHOVUJE
rezerva 27%

3.4. Spřažení

Jedná-li se o prvek plně spřažený, pak v rozhodujícím průřezu je pětvoení zpočátku spojitě a to až do dosažení meze pružného chování průřezu. Tuto mez lze nejjednodušeji vyjádřit z předpokladu, že je to stav, při kterém je v tahové výztuži právě dosaženo meze kluzu při poměrném pětvoení ϵ_{sy} . Únosnost takové průřezu je dána dvojicí sil N_c a N_{sy} , které na rameni tvoří vnitřní vzdorující moment v jšším zatížení.

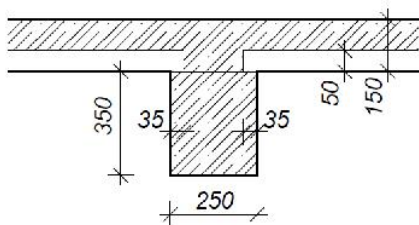


Obr. 7 Chování dvou ohýbaných prvků při plném spřažení



Obr. 8 Rozložení sil v trámu mezi prefabrikovanou a monolitickou částí

$b_i = b_w - 2 \cdot u_p = 250 - 2 \cdot 35 = 180 \text{ mm}$ (šířka trámu pro přenos smykového napětí mezi monolitickou a prefabrikovanou částí)



Minimální hodnota uložení filigránového panelu na trám je 35 mm. Z technologického hlediska je samozřejmě možné realizovat i hodnoty menší, ale pak je nutné hned vedle trámu umístit liniovou podporu podélně s trámem. Tato varianta vyžaduje jiný způsob podpenění, než je ukázán v tomto příkladě.

Provedení redukce posouvající síly (provedeno z důvodu optimalizace výsledků)

$$V_{Ed,1} = V_{Ed} - \left(\left(\frac{b}{2} + d \right) \cdot (g + q)_d \right) = 134,45 - \left(\left(\frac{0,250}{2} + 0,459 \right) \cdot (48,9) \right) = 105,9 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = \frac{S \cdot V_{Ed,1}}{z \cdot b_i} = \frac{1,0 \cdot 105,9 \cdot 10^3}{409 \cdot (250 - 2 \cdot 35)} = 1,43 \text{ MPa}$$

S je poměr podélné síly v ploše monolitické části průřezu ku celkové podélné síle v tlakové části průřezu (F_{cj}/F_c), v našem případě $S = 1,0$, jelikož neutrálná osa leží v monolitické části (viz posouzení trámu),

z je rameno vnitřních sil (viz posouzení trámu),

b_i je šířka styčné plochy monolitického a prefabrikovaného betonu,

$$v_{Rd} = c \cdot f_{ctd} + \eta \cdot \tau_n + \dots \cdot f_{yd} \cdot (\eta \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot \epsilon \cdot f_{cd}$$

Typ spoje: drsný spoj

c = 0,45 ; $\mu = 0,7$

kde:

c, η jsou součinitele závislé na drsnosti styčné plochy,

f_{ctd} je návrhová pevnost betonu v tahu, spočte se z charakteristické pevnosti $f_{ctk,0.05}$

τ_n je normálové napětí působící kolmo na styčnou plochu, uvažujeme $\tau_n = 0$,

...1 je stupeň vyztužení styčné plochy spřahovací výztuží,

α je úhel mezi prutem spřahovací výztuže a smykovou plochou, pruty budou kolmé na povrch betonu, takže $\alpha = 90^\circ$,

v je redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem, $\epsilon = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$

$$\epsilon = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$v_{Rd} = 0,45 \cdot \frac{2,0}{1,5} + 0,7 \cdot 0 + \frac{100,5 \cdot 6,66}{250 \cdot 1000} \cdot 434,7 \cdot (0,7 \cdot 1 + 0) \leq 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20$$

$$v_{Rd} = 1,45 \text{ MPa} \leq 5,28 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$v_{Ed} = 1,43 \text{ MPa} \leq 1,45 \text{ MPa} = v_{Rd} \quad \text{VYHOVUJE}$$

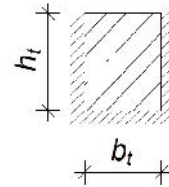
4. Do asné návrhové situace

4.1. Návrh manipula ních úchyt trámu

$$F_p = V \cdot \dots = 0,25 \cdot 0,35 \cdot 5,5 \cdot 25 = 12,03 \text{ kN} \quad (\text{vlastní tíha trámu})$$

$$F_{adh} = A \cdot q = [(0,35 + 0,25 + 0,35) \cdot 5,5 + (0,35 \cdot 0,25) \cdot 2] \cdot 1 = 5,4 \text{ kN} \quad (\text{p ídavek vlastní tíhy vlivem p ílnavosti betonového prvku k bedn ní})$$

Sou initel p ílnavosti k bedn ní	
Hladké, naolejované bedn ní	$q = 1 \text{ kN/m}^2$
Hladké, neolejované bedn ní	$q = 2 \text{ kN/m}^2$
Hrubé bedn ní	$q = 3 \text{ kN/m}^2$



P edpokladem tohoto p íkladu je co nejmenší pracnost p í výrob , a proto je po ítána nejhorší varianta, kdy je prvek bedn n ze všech t ech stran + ob ěla panelu.

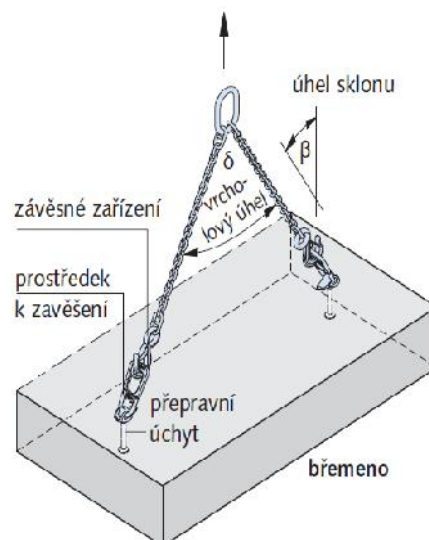
$$N_{d,1} = u \cdot \frac{\chi_{go}}{n \cdot \cos \gamma} \cdot (F_p + F_{adh}) = 1,3 \cdot \frac{1,35}{2 \cdot \cos 30} \cdot (12,03 + 5,4) = 11,26 \text{ kN} \quad (\text{síla do jednoho úchytu p í obded ování})$$

$$N_{d,2} = u \cdot \frac{\chi_{go}}{n \cdot \cos \gamma} \cdot F_p = 2 \cdot \frac{1,35}{2 \cdot \cos 30} \cdot 12,03 = 13,13 \text{ kN} \quad (\text{síla do jednoho úchytu p í staveništní manipulaci})$$

$$N_d = \max(N_{d,1}; N_{d,2}) = \max(11,26; 13,13) = 13,13 \text{ kN}$$

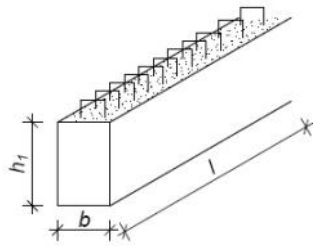
P í manipulaci s prvkem je prvek také namáhán dynamickými ú ínky. Tyto dynamické ú ínky se ve výpo tu zohled ují zavedením dynamického sou initele , kterým se zv ěšují statické ú ínky. Velikost dynamického sou initele je dána zvedacím za ízením a jeho rektifikací.

Doporu ěné hodnoty dynamického sou initele	
Nepohyblivý je áb, kolejový je áb < 90m/min	1,0 – 1,2
Nepohyblivý je áb, kolejový je áb > 90m/min	1,3 – 1,4
Zvedání a doprava na rovném terénu	1,5 – 1,65
Zvedání a doprava na nerovném terénu (staveníšt ě)	> 2,0



Obr. 9 Zp sob zvedání prvku

4.2. Stanovení množství sp a hovacích úchyt pro manipulaci



U prvku z kterého vystupuje sp a hovací výztuž se již neosazují žádné další úchyty pro manipulaci, ale využívá se již osazené výztuže.

Stanovení síly do jednoho ramene úchytu

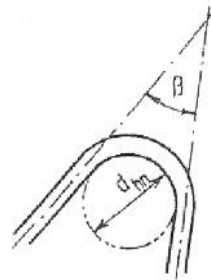
$$N = 0,6 \cdot \frac{N_d}{\cos(\alpha + 30)} = 0,6 \cdot \frac{13,13}{\cos(45 + 30)} = 21,56 \text{ kN}$$

$$t = 0,05 \cdot w + 0,3 = 0,05 \cdot 8 + 0,3 = 0,7$$

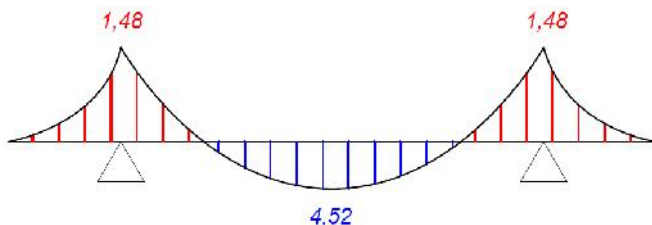
$$A_{s,req} = \frac{N_d}{t \cdot f_{yd}} = \frac{21,56}{0,7 \cdot 434,7} = 70,8 \text{ mm}^2$$

Plocha jedné v tve t mínku $\varnothing 8=50,3 \text{ mm}^2$

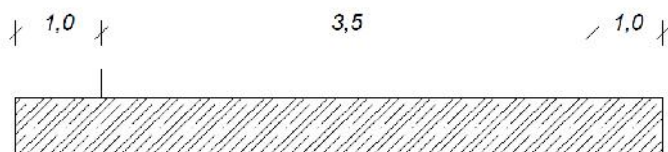
Nutný počet t mínků $n = 70,8/50,3=1,4 \Rightarrow 2$ kusy



4.3. Posouzení trámu p i p eprav



Pro manipulaci budou využity manipulační úchyty vzdálené 1,0 m od kraje trámu.



$$M_{Ed,v polí} = 4,52 \text{ kNm}$$

$$d = h - c - \frac{22}{2} = 350 - 30 - \frac{22}{2} = 309 \text{ mm} \text{ (P i transportu p sobí pouze prefabrikovaná ást)}$$

- Posouzení výztuže

Návrh 3 $\varnothing 22$ ($A_{s,prov} = 1140 \text{ mm}^2$) (Již navrženo)

$$x = \frac{A_{sd} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1140 \cdot 10^{-6} \cdot 434}{0,8 \cdot 0,25 \cdot 20,0} = 124 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,124}{0,309} = 0,40 \leq 0,617 = \xi_{\max} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 309 - 0,4 \cdot 124 = 256 \text{ mm}$$

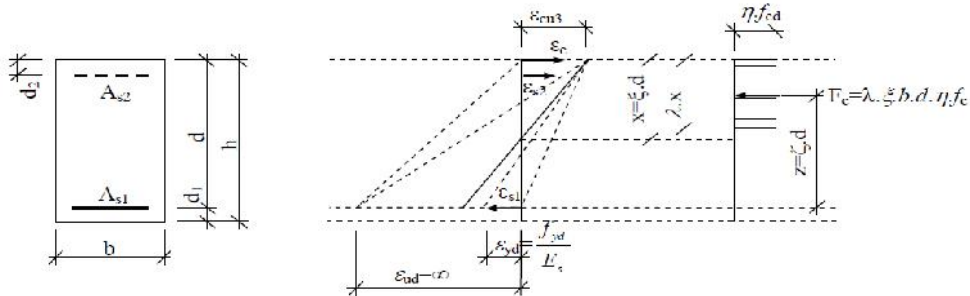
$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1140 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 0,256 = 128,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 128,34 \text{ kNm} \geq 4,52 \text{ kNm} = M_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$M_{Ed, \text{zapyony}} = 1,48 \text{ kNm}$$

- Návrh výztuže nad podporou
Volba 2Ø10 (*konstruk ní výztuž trámu*)

$$d = h - c - \frac{10}{2} = 350 - 30 - \frac{10}{2} = 315 \text{ mm} \quad (P \text{ i transportu } p \text{ sobí pouze prefabrikovaná ást})$$



Obr. 10 Rozložení sil v trámu p i kladném momentu

$$\tilde{\sigma} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1,48}{0,25 \cdot 0,315^2 \cdot 20,0 \cdot 10^3} = 0,003 \Rightarrow \tilde{\sigma} = 0,013$$

$$\zeta = 0,995$$

$$\tilde{\sigma} = 0,013 \leq 0,45 = \lim \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$A_{s, \text{req}} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot \eta \cdot d} = \frac{1,48 \cdot 10^3}{434 \cdot 10^6 \cdot 0,995 \cdot 0,315} = 10,8 \text{ mm}^2$$

- Posouzení výztuže
Návrh 2Ø10 ($A_{s, \text{prov}} = 157 \text{ mm}^2$)

$$x = \frac{A_{sd} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{157 \cdot 10^{-6} \cdot 434}{0,8 \cdot 0,25 \cdot 20,0} = 17 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,017}{0,315} = 0,05 \leq 0,617 = \xi_{\max} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 315 - 0,4 \cdot 17 = 308 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 157 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 0,308 = 20,98 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 20,98 \text{ kNm} \geq 1,48 \text{ kNm} = M_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

4.4. Návrh manipulačních úchytů filigránového panelu

$$F_p = V \cdot \dots = 0,05 \cdot 1,2 \cdot 2,5 \cdot 25 = 3,75 \text{ kN} \quad (\text{vlastní tíha panelu})$$

$$F_{adh} = A \cdot q = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 1 = 3,25 \text{ kN} \quad (\text{přídavek vlastní tíhy na vlivem plošnosti betonového prvku k bednění})$$

$$N_{d,1} = u \cdot \frac{\chi_{go}}{n \cdot \cos \gamma} \cdot (F_p + F_{adh}) = 1,3 \cdot \frac{1,35}{2 \cdot \cos 30} \cdot (3,75 + 3,25) = 6,55 \text{ kN} \quad (\text{síla do jednoho úchytu p i odbedování})$$

$$N_{d,2} = u \cdot \frac{\chi_{go}}{n \cdot \cos \gamma} \cdot F_p = 2 \cdot \frac{1,35}{2 \cdot \cos 30} \cdot 3,25 = 4,09 \text{ kN} \quad (\text{síla do jednoho úchytu p i stavební manipulaci})$$

$$N_d = \max(N_{d,1}; N_{d,2}) = \max(6,55; 4,09) = 6,55 \text{ kN}$$

- Nutný počet tisků pro úchyt

$$n = 0,6 \cdot \frac{N_d}{\cos(\alpha + 30)} = 0,6 \cdot \frac{6,55}{\cos(45 + 30)} = 9,25 \text{ kusy}$$

$$t = 0,05 \cdot w + 0,3 = 0,05 \cdot 8 + 0,3 = 0,7$$

$$A_{s,req} = \frac{N_d}{t \cdot f_{yd}} = \frac{9,25}{0,7 \cdot 434,7} = 35,5 \text{ mm}^2$$

Plocha jedné vtevy $\varnothing 6 = 28,3 \text{ mm}^2$

Nutný počet tisků $n = 35,5 / 28,3 = 1,2 \Rightarrow 2$ kusy

5. Stanovení montážních podpor pro betonáž

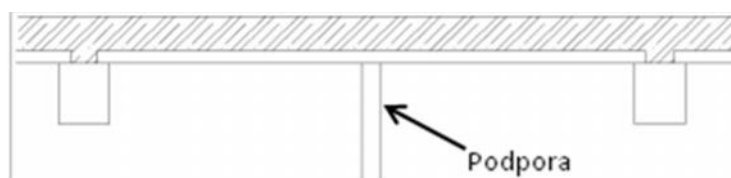
5.1. Návrh podepní filigránového panelu

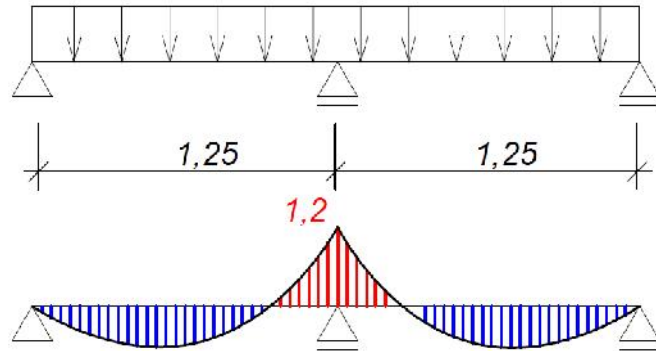
Montážní zatížení

Stálé	Tloušťka [mm]	Objemová tíha [kg/m ³]	Char. zatížení [kN/m ²]	Souinitel zatížení	Návrhové zatížení [kN/m ²]
Nadbetonávka	100	2500	2,5	1,35	3,38
Filigránový panel	50	2500	1,25	1,35	1,69
Stálé celkem		Σ	3,75	Σ	5,06
Proměnné					
Užitné montážní zatížení			0,75	1,5	1,13
Proměnné celkem		Σ	0,75	Σ	1,13
Celkové zatížení		Σ	4,05	Σ	6,19

Pro montáž je stanovena normou užitná zatížení na 0,75 kN/m².

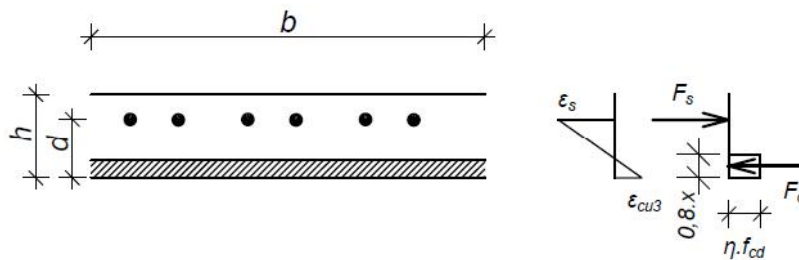
Předpokladem výpočtu je jedna montážní podpora uprostřed rozpětí filigránového panelu.





Obr. 11 Průběh momentu na panelu p i montážním podepření

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g + q)_d \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{8} \cdot 6,19 \cdot \left(\frac{2,5}{2}\right)^2 = 1,20 \text{ kNm}$$



Obr. 12 Rozložení sil v desce p i záporném momentu

- Posouzení výztuže na MSÚ

Ø10 po 300 ($A_{s,prov} = 262 \text{ mm}^2$) (již navržená výztuž)

$$d = h - c - \varnothing / 2 = 50 - 20 - 8/2 = 26 \text{ mm}$$

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot y \cdot f_{cd}} = \frac{262 \cdot 434,7}{0,8 \cdot 1000 \cdot 1,0 \cdot 20,0} = 7,1 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{7,1}{26} = 0,27 \leq 0,617 = \xi_{lim}$$

$$z = d - 0,5 \cdot x = 26 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 7,1 = 23,2 \text{ mm}$$

$$m_{Rd} = a_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 262 \cdot 434,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,023 = 2,6 \text{ kNm}$$

$$m_{Rd} = 2,6 \text{ kNm} \geq 1,20 \text{ kNm} = m_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE}$$

rezerva 116%

Uprostřed rozpětí je nutné vložit jednu podporu. P edpoklad vyšel.

5.2. Návrh podepření trámu

Zatěžovací plocha $s = 2,5/2 = 1,25 \text{ m}$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot [(g + q)_d \cdot s] \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{8} \cdot 6,19 \cdot 1,25 \cdot 5,5^2 = 29,25 \text{ kNm}$$

- Návrh výztuže v poli

$$d = h - c - \frac{22}{2} = 350 - 30 - \frac{22}{2} = 309 \text{ mm (P i transportu p sobí pouze prefabrikovaná ást)}$$

- Posouzení výztuže

Návrh 3Ø22 ($A_{s,prov} = 1140 \text{ mm}^2$) (Již navrženo)

$$x = \frac{A_{sd} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1140 \cdot 10^{-6} \cdot 434}{0,8 \cdot 0,25 \cdot 20,0} = 124 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,124}{0,309} = 0,40 \leq 0,617 = \xi_{\max} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 309 - 0,4 \cdot 124 = 256 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1140 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 0,256 = 128,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 128,34 \text{ kNm} \geq 29,25 \text{ kNm} = M_{Ed} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

Trám není nutno montážn podepírat.