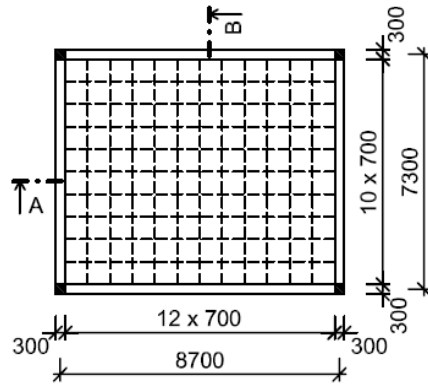
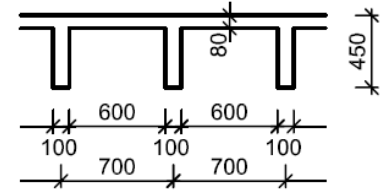




ČESKÉ VYSOKÉ
UCENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



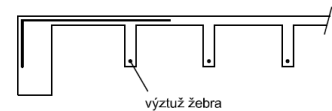
ŘEZ (platí pro oba směry)



ŘEZ žebrem výztuž pro zachycení záporných momentů nad krajními průvlakly



ŘEZ mimo žebro

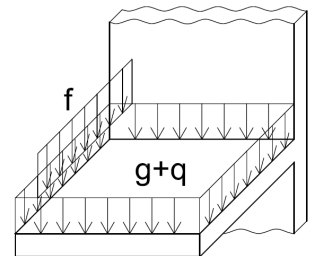
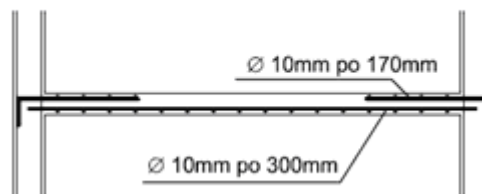


Základní typy betonových konstrukcí pozemních staveb se vzorovými příklady

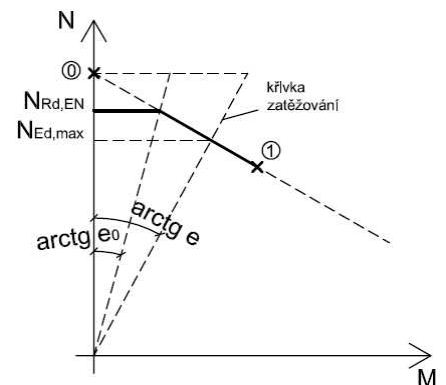
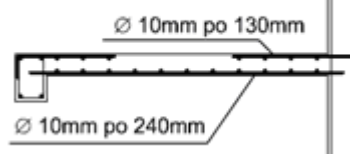
2. PŘÍKLADOVÁ ČÁST

Komentované příklady

ŘEZ A



ŘEZ B



projekt FRVŠ 294/2012/G1

řešitelský kolektiv : Ing. Ondřej Vrátný

Ing. Martin Tipka

doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

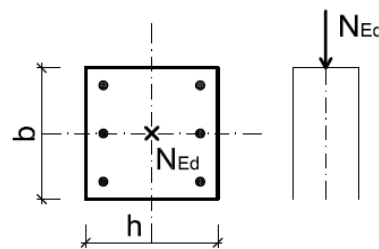
PŘÍKLAD Č. 1 :

Navrhnete rozměry a vyztužení masivního ŽB sloupu zatíženého centrickou tlakovou silou N_{Ed} .

tlaková síla : $N_{Ed} = 2250 \text{ kN}$

beton : C 30/37

ocel : B 500 B



Návrh vychází z rovnosti (rovnováhy) mezi zatížením N_{Ed} a únosností N_{Rd} .

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Pro případ návrhu centricky tlačeneho sloupu lze s výhodou použít vztah z evropské přednormy ČSN P ENV 1992-1-1 :

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s \quad \text{člen } 0,8 \text{ vyjadřuje fakt, že dokonale centrický tlak je pouze teoretický pojem, reálně se vždy vyskytuje minimální (náhodná) imperfekce}$$

Pokud předpokládáme spolupůsobení výztuže a betonu, je napětí v tlačené výztuži limitováno nejen mezí kluzu výztuže f_{yd} , ale také mezním přetvořením betonu v tlaku ε_{cu} :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \Rightarrow \text{napětí ve výztuži : } \sigma_s = \min(E_s \cdot \varepsilon_{cu} ; f_{yd})$$

$$\text{např. pro ocel B 500 B : } \varepsilon_s = \varepsilon_{cu} = 0,002$$

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,002 = 400 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

V případě, že bychom použili ocelovou výztuž s nižší mezí kluzu (např. $f_{yd} = 380 \text{ MPa}$), nebude rozhodujícím faktorem mezní přetvoření betonu, ale právě mez kluzu výztuže :

$$\sigma_s = \min(E_s \cdot \varepsilon_{cu} ; f_{yd}) = \min(200 \cdot 10^3 \cdot 0,002 ; 380) = 380 \text{ MPa}$$

Postup řešení :

V prvotních fázích návrhu sloupu neznáme ani rozměry sloupu, ani množství výztuže. Pro potřeby návrhu je nutné jednu z neznámých odhadnout nebo vyjádřit.

⇒ Tuto eliminaci neznámé provádíme odhadem vyztužení, kdy se množství výztuže vyjadřuje pomocí stupně vyztužení ρ , který představuje poměr mezi plochou výztuže a betonu :

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} \Rightarrow A_s = \rho \cdot A_c \quad N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + \rho \cdot A_c \cdot \sigma_s$$

Stupeň vyztužení železobetonového prvku musí být větší než minimální hodnota ρ_{min} , která zaručuje, že se nebude jednat o slabě vyztužený průřez, který se vyznačuje křehkým porušením a zároveň menší než maximální hodnota ρ_{max} , která zaručuje možnost probetonování prvku.

- min. stupeň vyztužení pro ŽB prvky je : $\rho_{min} = 0,0013$
- max. stupeň vyztužení pro ŽB prvky je : $\rho_{max} = 0,04$

Pro účely návrhu volíme stupeň vyztužení ρ v rozmezí $0,015 \div 0,03$ v závislosti na známém momentovém zatížení sloupu.

Z podmínky rovnováhy mezi zatěžovací silou N_{Ed} a únosností N_{Rd} stanovíme průřezovou plochu sloupu A_c , resp. rozměry sloupu $b \times h$

$$A_c \geq A_{c,req} = \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + \rho \cdot \sigma_s} \Rightarrow b \times h$$

Následně z téže rovnice navrhne konkrétní výztuž (plochu i uspořádání), bez ohledu na výše volený stupeň vyztužení (ten by měl přesto zůstat v relaci).

$$A_s \geq \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{\sigma_s} \Rightarrow \mathbf{n \times \varnothing \text{ mm}}$$

Po návrhu může následovat posouzení. Případné posouzení je nutné provádět dle ČSN EN 1992-1-1 v podobě řešení interakčního diagramu (nebo alespoň jeho části) se zohledněním náhodné výstřednosti.

Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

beton : **C 30/37** $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

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

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

- napětí ve výztuži :

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} = 0,002 \Rightarrow \text{napětí ve výztuži : } \sigma_s = \min(E_s \cdot \varepsilon_{cu}; f_{yd})$$

$$\sigma_s = \min(E_s \cdot \varepsilon_{cu}; f_{yd}) = \min(200 \cdot 10^3 \cdot 0,002; 434,783) = 400 \text{ MPa}$$

- volba stupně vyztužení : $\rho = 0,025$

- návrh průřezu sloupu : $N_{Ed} \leq N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s$

$$A_c \geq A_{c,req} = \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + \rho \cdot \sigma_s} = \frac{2250 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 20 + 0,025 \cdot 400} = 86538 \text{ mm}^2$$

- při volbě čtvercového průřezu sloupu : $b = h = \sqrt{A_{c,req}} = \sqrt{86538} = 294,2 \text{ mm}$

$$\Rightarrow \text{návrh rozměrů sloupu : } \underline{\underline{300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}}} \quad A_c = 90000 \text{ mm}^2$$

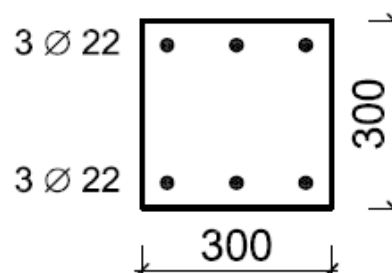
- návrh výztuže : $N_{Ed} \leq N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s$

$$A_s \geq A_{s,req} = \frac{N_{Ed} - 0,8 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{2250 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 300 \cdot 300 \cdot 20}{400} = 2025 \text{ mm}^2$$

- při volbě profilu výztuže $\phi = 22 \text{ mm}^2$: $A_{s1} = \pi \cdot \frac{22^2}{4} = 381 \text{ mm}^2$

$$n \geq \frac{A_{s,req}}{A_{s1}} = \frac{2025}{381} = 5,3 \text{ mm}$$

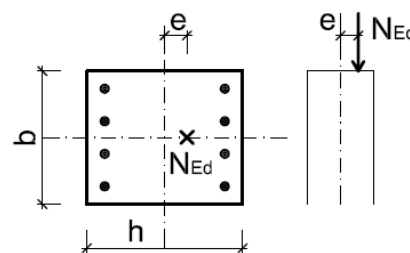
$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } \underline{\underline{6 \varnothing 22 \text{ mm}}} \quad A_s = 2281 \text{ mm}^2$$



PŘÍKLAD Č. 2 :

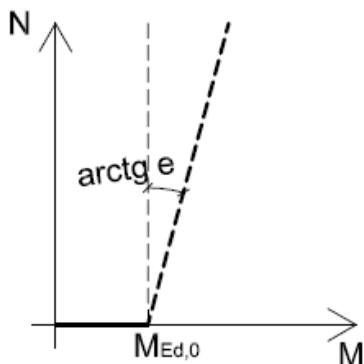
Určete max. možné silové zatížení masivního ŽB sloupu $N_{Ed,max}$, působící na excentricitě e , které je schopný daný sloup přenést.

rozměry sloupu : $b = 300 \text{ mm}$
 $h = 350 \text{ mm}$
 tlačená výztuž : $8 \text{ } \varnothing 25 \text{ mm}$
 třmínková výztuž : $\phi_{sw} = 10 \text{ mm}$
 návrhové krytí : $c = 30 \text{ mm}$
 beton : C 25/30
 ocel : B 500 B



Excentrické silové zatížení je obdobou kombinace zatížení centrické síly a ohybového momentu. Jedinou odlišností je skutečnost, že ohybový moment vyvolaný excentrickou silou narůstá lineárně s velikostí této síly.

V případě kombinace zatížení daného časově konstantním momentem $M_{Ed,0}$ a excentrickou silou N_{Ed} na rameni e lze křivku zatížení znázornit následovně :



V libovolném bodě diagramu lze ohybové momenty počítat :

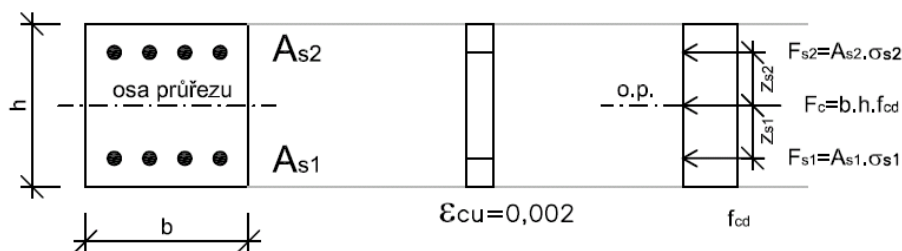
$$M_{Ed} = M_{Ed,0} + M_{Ed,e}$$

$M_{Ed,0}$ je časově konstantní složka ohybového momentu

$M_{Ed,e}$ je složka ohybového momentu vyvolaná excentrickou silou

Vzhledem k charakteru daného zatížení (excentrická normálová síla) je v tomto případě nutné řešit část interakčního diagramu, konkrétně **bod 0** (dostředný tlak) a **bod 1** (neutrálná osa v těžišti výztuže A_{s1}).

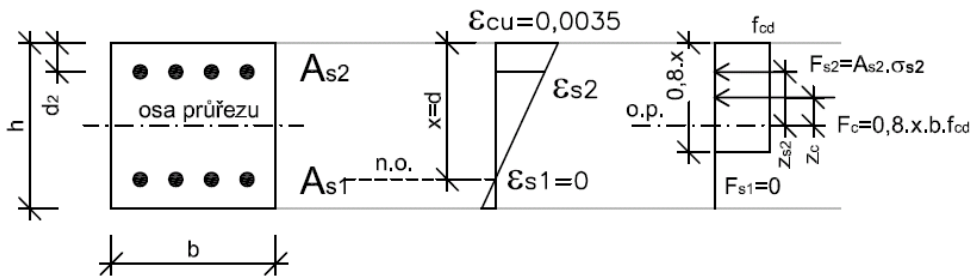
Bod 0 představuje dokonalý dostředný tlak, kdy je napětí v celém betonovém průřezu rovno pevnosti betonu v tlaku f_{cd} a napětí ve výztuži σ_s odpovídá jejímu přetvoření (limitující hodnotou je mezní přetvoření betonu v tlaku $\epsilon_{cu} = 0,002$).



- napětí ve výztuži : $\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = \min(E_s \cdot \epsilon_{s1}; f_{yd}) = \min(E_s \cdot \epsilon_{s2}; f_{yd}) = \min(E_s \cdot \epsilon_{cu}; f_{yd})$
- normálová únosnost : $N_{Rd,0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$
- momentová únosnost : $M_{Rd,0} = (A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_{s2} - A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot z_{s1}) = 0$

Bod 1 představuje kombinaci normálové síly a ohybového momentu, při které neutrálná osa průřezu prochází těžištěm výztuže A_{s1} ($d = x$). Tlačený okraj průřezu je na mezním přetvoření betonu v tlaku za ohybu ($\epsilon_{cu} = 0,0035$), napětí v betonu se zavádí hodnotou pevnosti betonu v tlaku f_{cd} , rovnoměrně rozdělenou na 80% tlačené oblasti. Síla v betonu F_c je dána součinem tohoto napětí a plochou, na

kterém působí $(0,8 \cdot x \cdot b)$. Síla v tlačené výztuži F_{s2} je dána součinem její průřezové plochy A_{s2} a napětím σ_{s2} v ní vyvolaném. Napětí ve výztuži odpovídá jejímu přetvoření ε_{s2} (většinou návrhová mez kluzu f_{yd} , neboť přetvoření překračuje hodnotu přetvoření na mezi kluzu ε_{yd}).



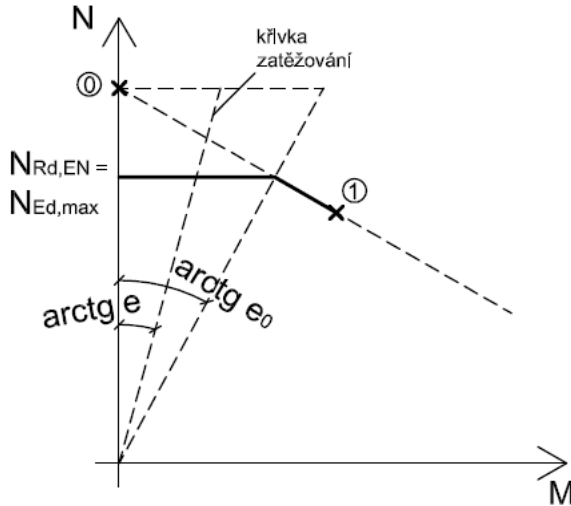
- přetvoření betonu (krajní vlákna): $\varepsilon_{cu} = 0,0035$
- přetvoření oceli: $\varepsilon_{s1} = 0 \Rightarrow \sigma_{s1} = 0$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (x - d_2) \Rightarrow \sigma_{s2} = \min(E_s \cdot \varepsilon_{s2}; f_{yd})$$

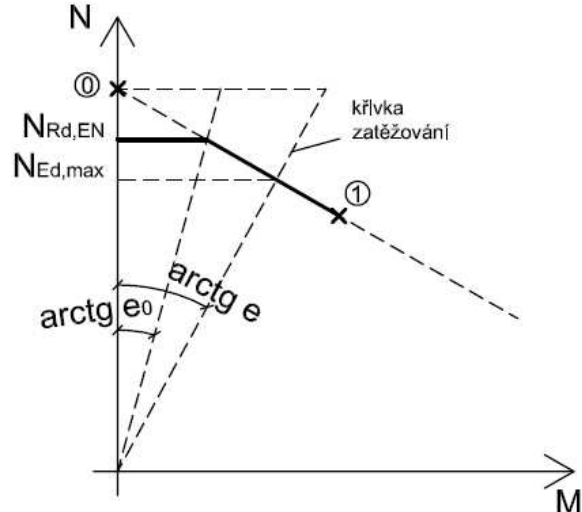
- normálová únosnost: $N_{Rd,1} = F_c + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$
- momentová únosnost: $M_{Rd,1} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_s = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x\right) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_s$

Zároveň je nutné **porovnat excentricitu zatížení s excentricitou náhodnou**. Pokud by zadaná excentricita zatížení byla menší než excentricita náhodná, limitující hodnotou zatížení by byla únosnost v dostředném tlaku se zahrnutím náhodné excentricity ($N_{Rd,EN}$) - viz **Obr. A**. Sloup navržený na podmínku $N_{Ed} = N_{Rd,EN}$ by v takovém případě vykazoval rezervu z hlediska ohybového namáhání.

Pokud je excentricita zatížení větší než excentricita náhodná, je rozhodujícím parametrem pro určení $N_{Ed,max}$ právě tato excentricita - viz **Obr. B**.



Obr. A



Obr. B

V obou případech je možné získat řešení graficky vynesení známé výstřednosti e , resp. e_0 ($\arctg e$ je směrnici křivky zatěžování) a následným odečtením pořadnice průsečíku této přímky s interakčním diagramem nebo analyticky:

$$e \cdot N_{Ed,max} = \frac{M_{Rd,1}}{N_{Rd,1} - N_{Rd,0}} \cdot (N_{Ed,max} - N_{Rd,0})$$

Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

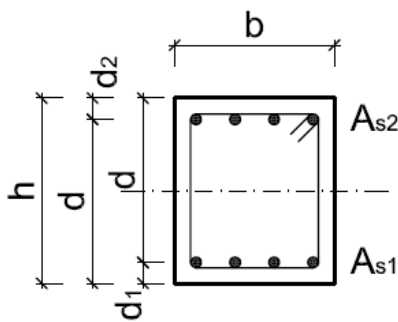
beton : **C 25/30** $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa}$$

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

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

- geometrické parametry :



$$d = h - c - \phi_{sw} - \phi / 2 = 350 - 30 - 10 - 25 / 2 = 297,5 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 = c + \phi_{sw} + \phi / 2 = 30 + 10 + 25 / 2 = 52,5 \text{ mm}$$

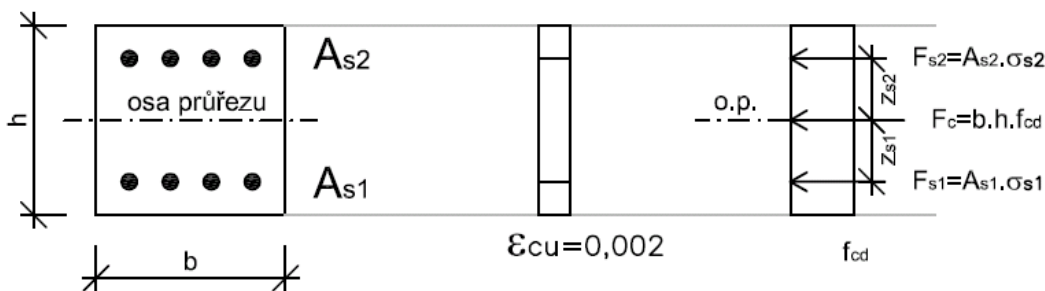
$$z_{s1} = z_{s2} = h / 2 - d_1 = 350 / 2 - 52,5 = 122,5 \text{ mm}$$

$$A_s = n \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} = 8 \cdot \pi \cdot \frac{25^2}{4} = 3927 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 1963,5 \text{ mm}^2$$

Interakční diagram :

Bod 0 - dostředný tlak : $N_{Rd,max}$

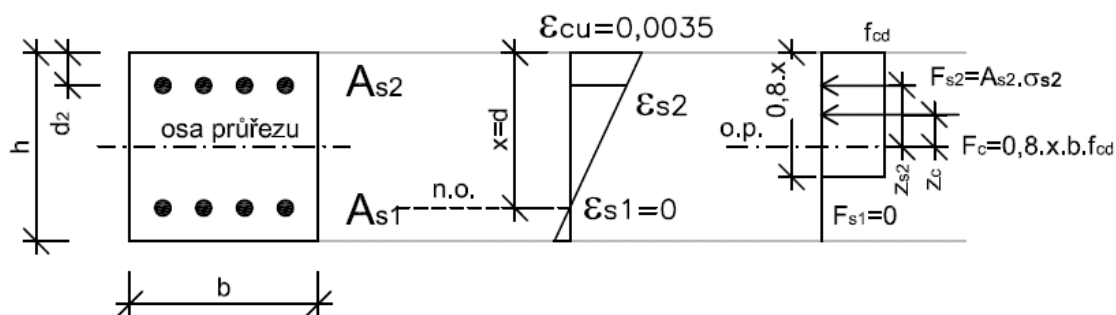


- limitující hodnotou pro napětí v oceli je přetvoření betonu ϵ_{cu} při f_{cd} : $\epsilon_{s1} = \epsilon_{s2} = \epsilon_{cu} = 0,002$
- napětí v oceli : $\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{s1} = E_s \cdot \epsilon_{s2} = 200 \cdot 10^3 \cdot 0,002 = 400 \text{ MPa}$
- síla a moment únosnosti :

$$N_{Rd,0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = b \cdot h \cdot f_{cd} + A_{s1} \cdot \sigma_{s1} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 300 \cdot 300 \cdot 16,667 + 3927 \cdot 400 = 3320,835 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_{s2} - A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot z_{s1}) = (1963,5 \cdot 400 \cdot 122,5 - 1963,5 \cdot 400 \cdot 122,5) = 0$$

Bod 1 - excentrický tlak (neutrálná osa v těžišti výztuže A_{s1}) : $F_{s1} = 0$, $x = d$



- přetvoření betonu (krajní vlákna) : $\epsilon_{cu} = 0,0035$

- přetvoření oceli : $\varepsilon_{s1} = 0 \Rightarrow \sigma_{s1} = 0$

- napětí v tlačené oceli dáno přetvořením průřezu : $\frac{\varepsilon_{cu}}{x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x - d_2}$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (x - d_2) = \frac{0,0035}{297,5} \cdot (297,5 - 52,5) = 0,0029 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783}{200 \cdot 10^3} = 0,00217$$

$$\Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

- síla a moment únosnosti :

$$N_{Rd,1} = F_c + F_{s2} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 0,8 \cdot 297,5 \cdot 300 \cdot 16,667 + 1963,5 \cdot 434,783 = 2043,720 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = F_c \cdot z_c + F_{s2} \cdot z_s = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x \right) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_s =$$

$$= 0,8 \cdot 2297,5 \cdot 300 \cdot 16,667 \cdot \left(\frac{350}{2} - 0,4 \cdot 297,5 \right) + 1963,5 \cdot 434,783 \cdot 122,5 = 171,219 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

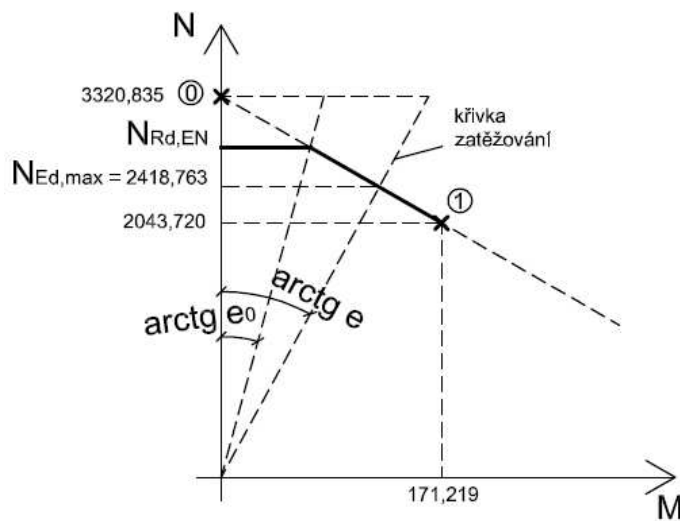
Zavedení náhodné excentricity :

- náhodná excentricita : $e_0 = \max(h/30; 20) = \max(350/30; 20) = 20 \text{ mm}$
- excentricita zatížení : $e = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m} \Rightarrow$ **rozhodující**
- analytický výpočet :

$$e \cdot N_{Ed,max} = \frac{M_{Rd,1}}{N_{Rd,1} - N_{Rd,0}} \cdot (N_{Ed,max} - N_{Rd,0})$$

$$0,05 \cdot N_{Ed,max} = \frac{171,219}{2043,720 - 3320,835} \cdot (N_{Ed,max} - 3320,835)$$

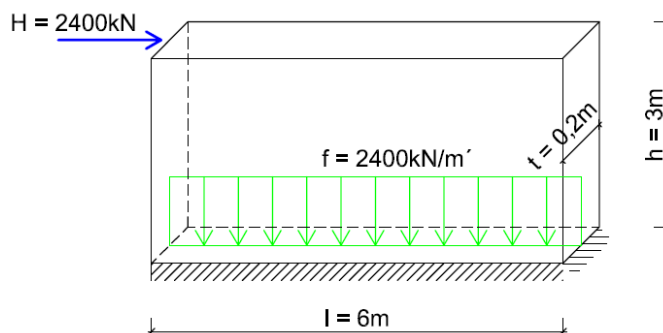
$$\underline{N_{Ed,max} = 2418,763 \text{ kN}}$$



PŘÍKLAD Č. 3 :

Navrhnete vyztužení ŽB stěny zatížené dle obrázku. Zatížení je uvedeno již v návrhových hodnotách, hodnota spojitěho zatížení f zahrnuje i vlastní tíhu stěny.

délka stěny : $l = 6,0 \text{ m}$
 výška stěny : $h = 3,0 \text{ m}$
 tloušťka stěny : $t = 0,2 \text{ m}$
 svislé zatížení : $f = 2400 \text{ kN/m'}$
 vodorovné zatížení : $H = 2400 \text{ kN}$
 beton : C 25/30
 ocel : B 500 B

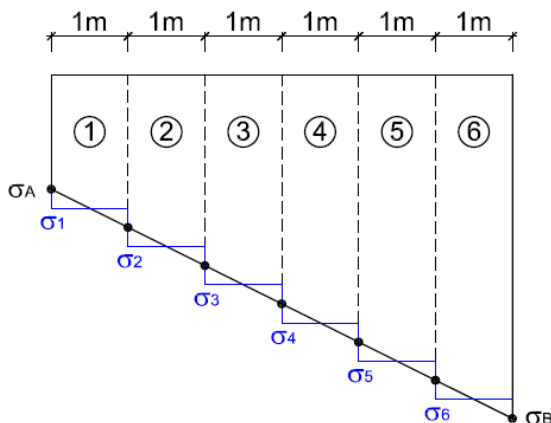


Nejprve je nutné vyčíslit normálové napětí v patní spáře σ . Toto napětí se skládá z příspěvku od svislého spojitěho zatížení f , které vyvolá rovnoměrně rozložené napětí σ_N a příspěvku od vodorovné síly H , která při přepočtu na moment M vyvolá lineárně rozložené napětí σ_M . Celkové napětí σ získáme superpozicí těchto dvou stavů.

σ_N		$\sigma_N = \frac{f \cdot l}{A} = \frac{f \cdot l}{l \cdot t} = \frac{f}{t}$
+		
σ_M		$\sigma_M = \frac{M}{W} \quad M = H \cdot h$
=		$W = \frac{1}{6} \cdot t \cdot l^2$
σ		$\sigma_A = \sigma_N - \sigma_M$ $\sigma_B = \sigma_N + \sigma_M$

Následuje optimalizace napětí po délce stěny. Napětí je možné vyjádřit jako po částech konstantní a každou část poté řešit odděleně (rovnoměrně zatížený díl).

OPTIMALIZACE NAPĚTÍ



$$N_{Ed,i} = \sigma_i \cdot b_i \cdot t$$

$$a_{s,i,req} = \frac{N_{Ed,i} - 0,8 \cdot b_i \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s}$$

⇒ návrh **konkrétní výztuže** $a_{s,i}$ pro každou část stěny, přičemž platí :

$$a_{s,i} \geq a_{s,i,req}$$

$$a_{s,min} \leq a_{s,i} \leq a_{s,max}$$

$$a_{s,min} \approx 0,0013 \cdot b \cdot t$$

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot t$$

Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

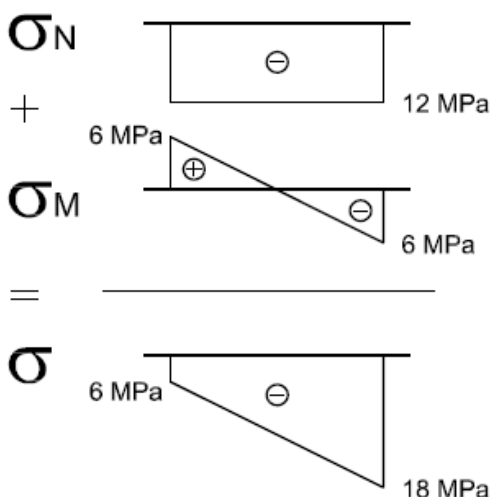
beton : **C 25/30** $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa}$$

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

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

- napětí v základové spáře :



$$\sigma_N = \frac{f \cdot l}{A} = \frac{f \cdot l}{l \cdot t} = \frac{f}{t} = \frac{2400 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 12 \text{ MPa}$$

$$M = H \cdot h = 2400 \cdot 3,0 = 7200 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

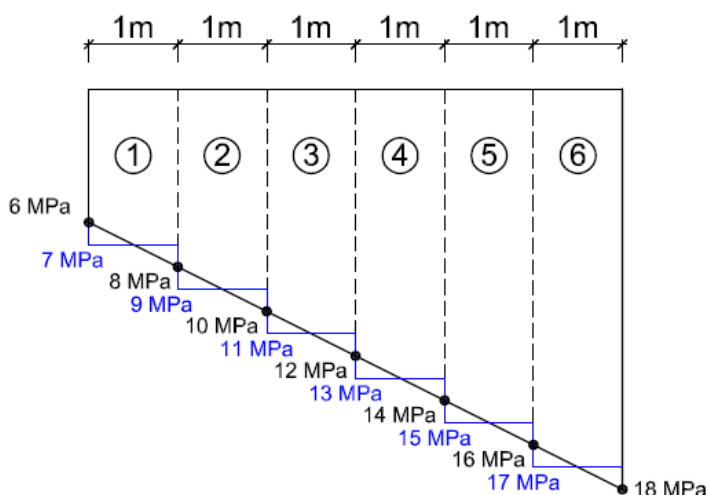
$$W = \frac{1}{6} \cdot t \cdot l^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 6,0^2 = 1,2 \text{ m}^3$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{7200 \cdot 10^{-3}}{1,2} = 6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_A = \sigma_N - \sigma_M = 12 - 6 = 6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = \sigma_N + \sigma_M = 12 + 6 = 18 \text{ MPa}$$

- minimální plocha výztuže : $a_{s,\min} \approx 0,0013 \cdot b \cdot t = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 200 = 260 \text{ mm}^2 / \text{m}'$
 \Rightarrow konstrukční výztuž : **2 Ø 12 mm po 300 mm** $a_{s,\text{konstr}} = 754 \text{ mm}^2 / \text{m}'$
- maximální plocha výztuže : $a_{s,\max} = 0,04 \cdot b \cdot t = 0,04 \cdot 1000 \cdot 200 = 8000 \text{ mm}^2 / \text{m}'$
- optimalizace napětí :



$$N_{Ed,i} = \sigma_i \cdot b_i \cdot t$$

$$a_{s,i,req} = \frac{N_{Ed,i} - 0,8 \cdot b_i \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s}$$

\Rightarrow návrh **konkrétní výztuže** $a_{s,i}$ pro každou část stěny, přičemž platí :

$$a_{s,i} \geq a_{s,i,req}$$

$$a_{s,\min} \leq a_{s,i} \leq a_{s,\max}$$

- řešení jednotlivých částí stěny :

$$N_{Ed,1} = \sigma_1 \cdot b_1 \cdot t = 7000 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 1400 \text{ kN}$$

$$a_{s,1,req} = \frac{N_{Ed,1} - 0,8 \cdot b_1 \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{1400 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 16,667}{400} = -3167 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{konstrukční výztuž : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm po } 300 \text{ mm } a_{s,konstr} = 754 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$N_{Ed,2} = \sigma_2 \cdot b_2 \cdot t = 9000 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 1800 \text{ kN}$$

$$a_{s,2,req} = \frac{N_{Ed,2} - 0,8 \cdot b_2 \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{1800 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 16,667}{400} = -2167 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{konstrukční výztuž : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm po } 300 \text{ mm } a_{s,konstr} = 754 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$N_{Ed,3} = \sigma_3 \cdot b_3 \cdot t = 11000 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 2200 \text{ kN}$$

$$a_{s,3,req} = \frac{N_{Ed,3} - 0,8 \cdot b_3 \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{2200 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 16,667}{400} = -1167 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{konstrukční výztuž : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm po } 300 \text{ mm } a_{s,konstr} = 754 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$N_{Ed,4} = \sigma_4 \cdot b_4 \cdot t = 13000 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 2600 \text{ kN}$$

$$a_{s,4,req} = \frac{N_{Ed,4} - 0,8 \cdot b_4 \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{2600 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 16,667}{400} = -167 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{konstrukční výztuž : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm po } 300 \text{ mm } a_{s,konstr} = 754 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$N_{Ed,5} = \sigma_5 \cdot b_5 \cdot t = 1500 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 3000 \text{ kN}$$

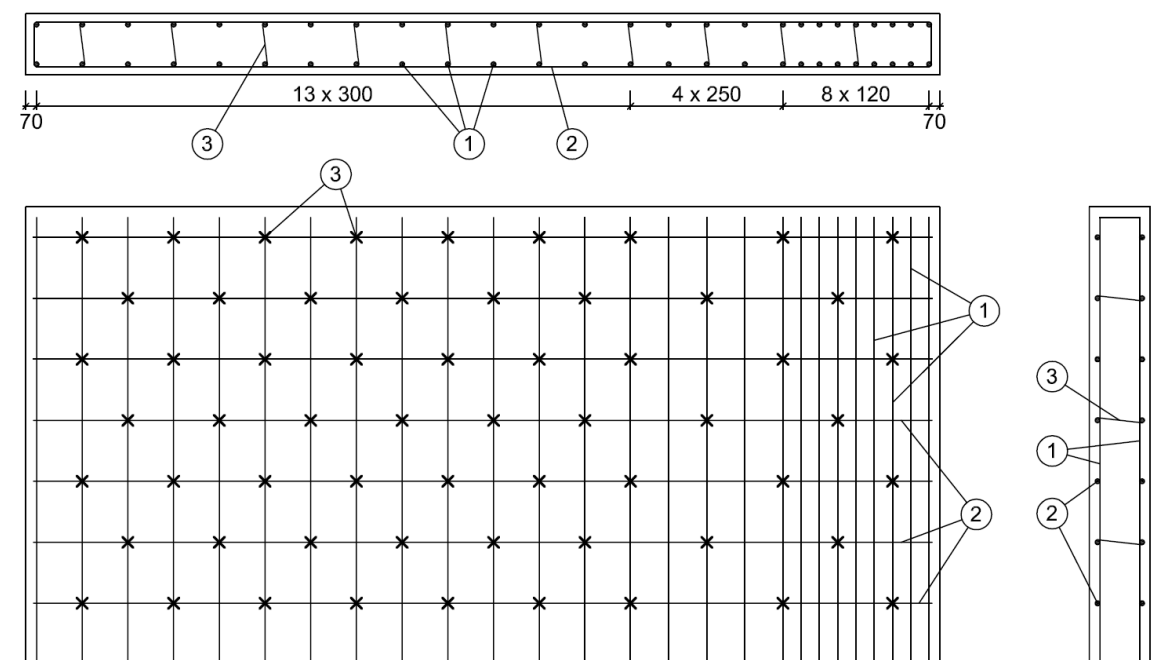
$$a_{s,5,req} = \frac{N_{Ed,5} - 0,8 \cdot b_5 \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{3000 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 16,667}{400} = 833 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm po } 250 \text{ mm } a_{s,5} = 905 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$N_{Ed,6} = \sigma_6 \cdot b_6 \cdot t = 17000 \cdot 1,0 \cdot 0,2 = 3400 \text{ kN}$$

$$a_{s,6,req} = \frac{N_{Ed,6} - 0,8 \cdot b_6 \cdot t \cdot f_{cd}}{\sigma_s} = \frac{3400 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 16,667}{400} = 1833 \text{ kNmm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm po } 120 \text{ mm } a_{s,6} = 1885 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$



PŘÍKLAD Č. 4 :

Navrhnete vyztužení (hlavní tahovou výztuž) jednoramenného monolitického ŽB schodiště uvedeného na obrázku. Nakreslete skicu vyztužení.

tloušťka desky : $h_d = 250 \text{ mm}$

profil výztuže : $\phi = 12 \text{ mm}$

krytí : $c = 25 \text{ mm}$

stálé zatížení : viz OBR.

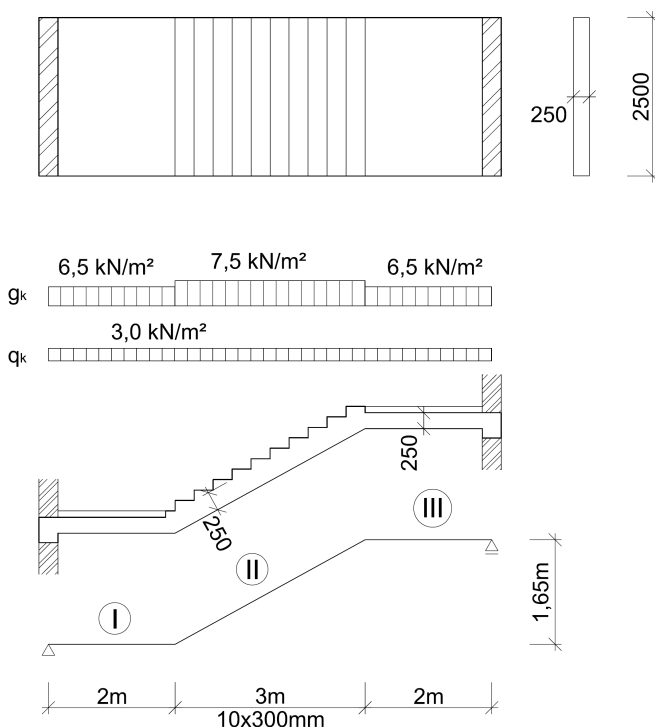
$$g_{k,I} = g_{k,III} = 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k,II} = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

užitné zatížení : $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

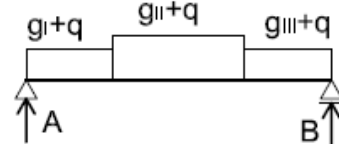
beton : C 25/30

ocel : B 500 B



Nejprve vypočteme návrhové hodnoty zatížení (stálého i proměnného)

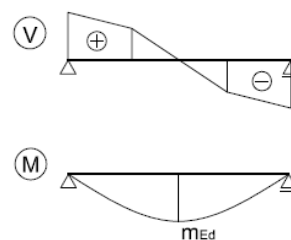
$$\begin{aligned} g_{d,I} &= 1,35 \cdot g_{k,I} & (g_I + q)_d &= g_{d,I} + q_d \\ g_{d,II} &= 1,35 \cdot g_{k,II} & (g_{II} + q)_d &= g_{d,II} + q_d \\ g_{d,III} &= 1,35 \cdot g_{k,III} & (g_{III} + q)_d &= g_{d,III} + q_d \\ q_d &= 1,5 \cdot q_k \end{aligned}$$



Následuje výpočet průběhů vnitřních sil, tj. ve výsledku návrhová hodnota ohybového momentu m_{Ed} .

Pro prostý nosník zatížený spojitým rovnoměrným zatížením f platí :

$$\begin{aligned} V_{(x)} &= \frac{f \cdot L}{2} - f \cdot x & V_{Ed} &= \frac{f \cdot L}{2} \\ M_{(x)} &= \frac{f \cdot L \cdot x}{2} - \frac{f \cdot x^2}{2} & M_{Ed} &= \frac{1}{8} \cdot f \cdot L^2 \end{aligned}$$



V tomto případě je spojitě zatížení po částech konstantní, proto nejjednodušším způsobem, jak nalézt návrhový moment m_{Ed} , bude výpočet reakcí, z nich sestavení průběhu posouvající síly a následně ohybového momentu. Vzhledem k symetrii konstrukce víme, že největší hodnota ohybového momentu leží uprostřed rozpětí.

Ve chvíli, kdy známe návrhový účinek zatížení (v tomto případě návrhový ohybový moment m_{Ed}), můžeme přistoupit k návrhu výztuže konstrukce.

- účinná výška průřezu : $d = h_d - c - \phi / 2$
 - minimální plocha výztuže : $a_{s,min} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d_x ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d_x}{f_{yk}}\right)$
 - požadovaná plocha výztuže : $a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}}$
- ⇒ návrh výztuže při splnění podmínek : $a_s \geq a_{s,req}$
 $a_s \geq a_{s,min}$

Při návrhu rozmístění výztuže (v tomto případě skica výztuže) je nutné zohlednit nepřesnost zvoleného výpočetního modelu. Pro výpočet byl zvolen staticky určitý model prostého nosníku s jednou posuvnou podporou (**Obr. A**). Skutečná tuhost uložení schodiště (průvlaky) však volné posunutí ani natáčení konců neumožňuje. Alternativním výpočetním modelem je tak nosník s neposuvnými klouby na obou koncích nebo oboustranně vetknutý nosník (**Obr. B**). Při takovém modelu dochází v konstrukci ke vzniku normálových sil a odlišnému rozložení ohybových momentů.



Obr. A



Obr. B

Skutečnost leží někde mezi oběma případy. Z důvodu bezpečnosti je schodiště vyztuženo při obou površích.

Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

beton : **C 25/30** $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} \quad f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

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 :

$$g_{d,I} = 1,35 \cdot g_{k,I} = 1,35 \cdot 6,5 = 8,775 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,II} = 1,35 \cdot g_{k,II} = 1,35 \cdot 7,5 = 10,125 \text{ kN/m}^2$$

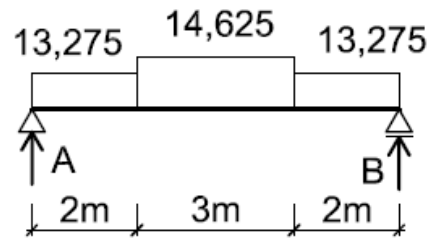
$$g_{d,III} = 1,35 \cdot g_{k,III} = 1,35 \cdot 6,5 = 8,775 \text{ kN/m}^2$$

$$(g_I + q)_d = g_{d,I} + q_d = 8,775 + 4,5 = 13,275 \text{ kN/m}^2$$

$$(g_{II} + q)_d = g_{d,II} + q_d = 10,125 + 4,5 = 14,625 \text{ kN/m}^2$$

$$(g_{III} + q)_d = g_{d,III} + q_d = 8,775 + 4,5 = 13,275 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 1,5 \cdot q_k = 1,5 \cdot 3,0 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$



- výpočet reakcí a vnitřních sil :

- reakce :

$$A \cdot 7 = 13,275 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{2} + 3 + 2 \right) + 14,625 \cdot 3 \cdot \left(\frac{3}{2} + 2 \right) + 13,275 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2}$$

$$A = 48,488 \text{ kN} = B$$

- posouvající síla :

$$V_{(x)} = \frac{f \cdot L}{2} - f \cdot x \quad v_{Ed} = A = 48,488 \text{ kN/m'}$$

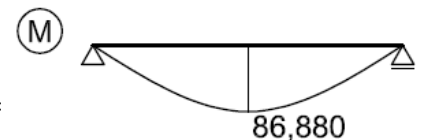
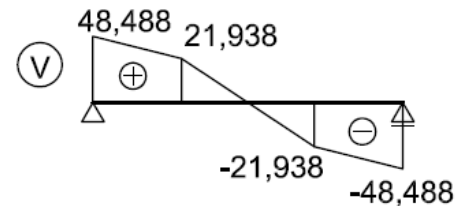
- ohybový moment :

$$M_{(x)} = \frac{f \cdot L \cdot x}{2} - \frac{f \cdot x^2}{2}$$

vzhledem k symetrii konstrukce je m_{Ed} uprostřed rozpětí :

$$m_{Ed} = A \cdot \left(2 + \frac{3}{2} \right) - (g_I + q)_d \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{2} + \frac{3}{2} \right) - (g_{II} + q)_d \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{4} =$$

$$= 48,488 \cdot \left(2 + \frac{3}{2} \right) - 13,275 \cdot 2 \cdot \left(\frac{2}{2} + \frac{3}{2} \right) - 14,625 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{4} = 86,880 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$



- účinná výška průřezu : $d = h_d - c - 0,5 \cdot \phi = 250 - 25 - 0,5 \cdot 12 = 219 \text{ mm}$

- minimální plocha výztuže : $a_{s,\min} = \max \left(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} \right)$

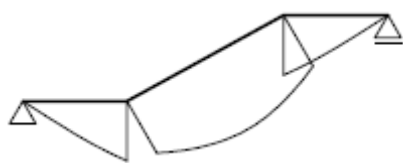
$$a_{s,\min} = \max \left(0,0013 \cdot 1000 \cdot 219; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 1000 \cdot 219}{500} \right) = 296 \text{ mm}^2 / \text{m'}$$

- návrh výztuže :

$$a_{s,\text{req}} = \frac{m_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{86,880 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 219 \cdot 434,783} = 1014 \text{ mm}^2 / \text{m'}$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } \varnothing 12 \text{ mm po } 110 \text{ mm} \quad a_s = 1028 \text{ mm}^2 / \text{m'}$$

Pro výpočet byl zvolen staticky určitý model prostého nosníku s jednou posuvnou podporou (**Obr. A**). Skutečná tuhost uložení schodiště (průvlaky) však volné posunutí ani natáčení konců neumožňuje. Alternativním výpočetním modelem je oboustranně vetknutý nosník (**Obr. B**).

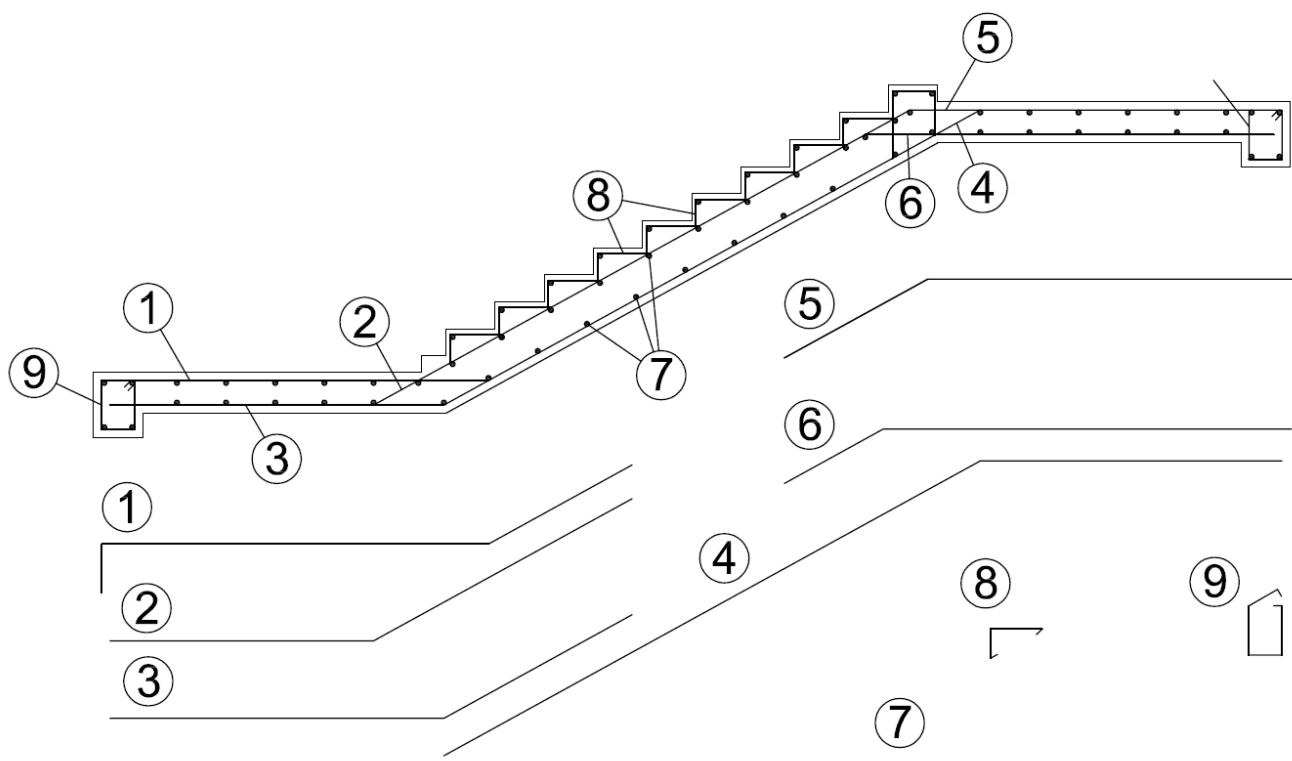


Obr. A



Obr. B

Skutečnost leží někde mezi oběma případy. Z důvodu bezpečnosti je schodiště vyztuženo při obou površích.



PŘÍKLAD Č. 5 :

Navrhněte vyztužení (hlavní tahovou výztuž) jednoramenného ŽB schodiště (rameno a podesty) uvedeného na obrázku. Podesty jsou monolitické, vetknuté do ŽB schodišťových stěn. Rameno je prefabrikované, osazené přes ozub na podesty. Nakreslete skicu vyztužení (řezy A, B, DETAIL).

šířka podesty : $B_p = 2,0 \text{ m}$

délka podesty : $L_p = 3,0 \text{ m}$

tloušťka podesty : $H_p = 260 \text{ mm}$

šířka ramene : $B_R = 2,8 \text{ m}$

délka ramene : $L_R = 2,7 \text{ m}$

tloušťka podesty : $H_R = 260 \text{ mm}$

profil výztuže : $\phi = 10 \text{ mm}$

krytí : $c = 40 \text{ mm}$

hmotnost ramene včetně povrchů :

$$m_R = 5000 \text{ kg}$$

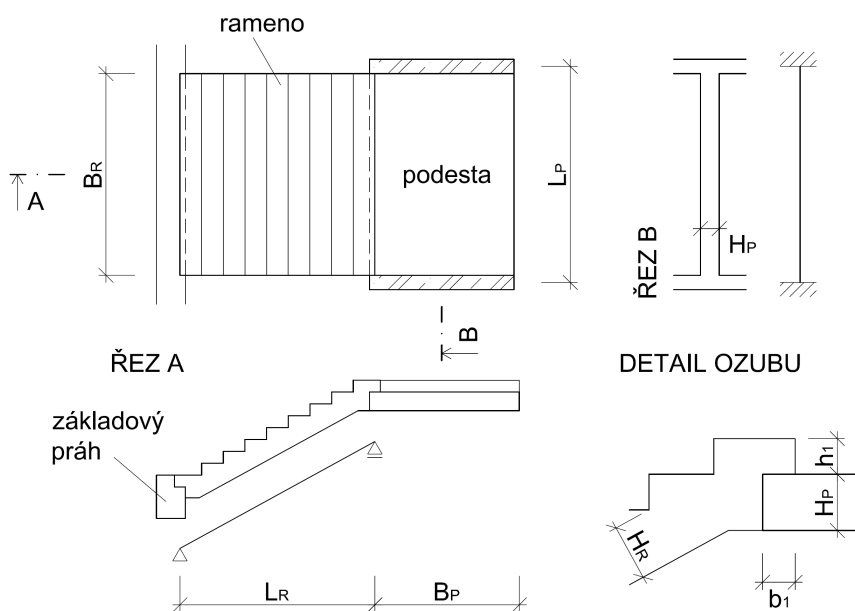
ostatní stálé zatížení podesty :

$$(g - g_0)_{P,k} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

užitné zatížení : $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$

beton : C 25/30

ocel : B 500 B



Návrh schodiště bude rozdělen na 3 oddělené části - návrh schodišťového ramene, návrh ozubu schodišťového ramene a návrh schodišťové podesty.

Návrh schodišťového ramene :

Schodišťové rameno představuje prefabrikovaný ŽB prvek, který je svými konci uloženo přes ozuby na schodišťovou podestu a základový práh. Jeho zatížení je dáno hmotností prefabrikátu a užitným zatížením. Vzhledem k faktu, že se jedná o prefabrikát, jsou při výpočtu všechny parametry (zatížení, vnitřní síly, množství výztuže) vztahovány na celou šířku prvku.

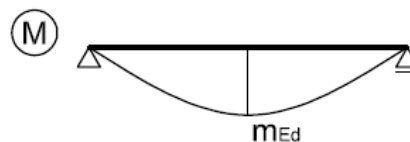
$$(g + q)_{R,d} = g_{R,d} + q_{R,d} \quad [\text{kN/m}]$$

$$g_{R,d} = \gamma_G \cdot \frac{m_R \cdot g}{L_R} \quad [\text{kN/m}]$$

$$q_{R,d} = \gamma_Q \cdot q_k \cdot B_R \quad [\text{kN/m}]$$

Vzhledem ke způsobu uložení ramene je rozhodující vnitřní silou pro návrh hlavní výztuže prefabrikátu ohybový moment prostého nosníku.

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g + q)_{R,d} \cdot L_R^2 \quad [\text{kN} \cdot \text{m}]$$



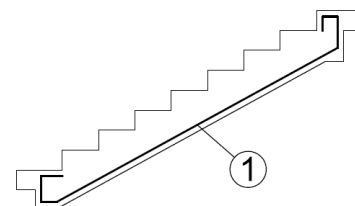
Následuje klasický návrh jednostranné ohybové výztuže.

- účinná výška průřezu : $d_R = H_R - c - \phi / 2$
- minimální plocha výztuže : $A_{s,\min} = \max \left(0,0013 \cdot B_R \cdot d_R ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot B_R \cdot d_R}{f_{yk}} \right)$

$$\text{požadovaná plocha výztuže : } A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d_R \cdot f_{yd}}$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže při splnění podmínek : } A_s \geq A_{s,req}$$

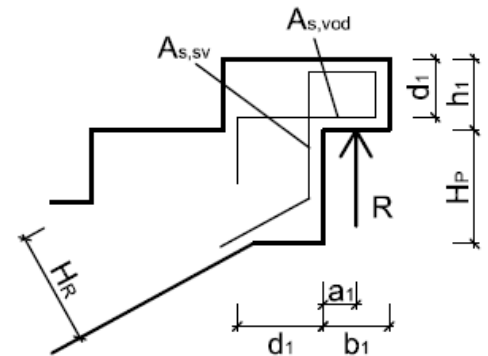
$$A_s \geq A_{s,\min}$$



Návrh ozubu schodišťového ramene :

Ozub prefabrikátu představuje tzv. D-oblast (oblast diskontinuit), ve které nelze zcela jednoduše popsat napjatost. Pro podrobné řešení takových oblastí se obvykle používají modely příhradové analogie. Přesto lze množství hlavní výztuže (ohybové a tahové) vyčíslit pomocí jednoduchých vztahů.

- poloha reakce ramene : $a_1 = \frac{b_1}{2}$
- účinná výška průřezu ozubu : $d_1 = h_1 - c - \phi_1 / 2$
- reakce schodišťového ramene : $R = \frac{(g + q)_{R,d} \cdot L_R}{2}$



Reakce ramene vyvolává ohyb ozubu.

- ohybový moment ozubu : $M_{Ed,1} = R \cdot (a_1 + d_1)$

Tento ohyb je nutné zachytit samostatnou ohybovou výztuží ozubu. Výztuž musí být dostatečně zakotvena v tlačené oblasti.

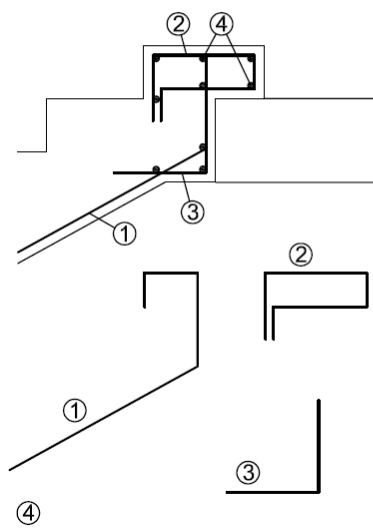
- plocha vodorovné ohybové výztuže : $A_{s,vod} \geq A_{s,vod,req} = \frac{M_{Ed,1}}{z_1 \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed,1}}{0,9 \cdot d_1 \cdot f_{yd}}$

Kromě porušení ohybem může také dojít k odtržení celého ozubu od zbytku schodišťového ramene. Z toho důvodu je nutné v této oblasti umístit tahovou výztuž. Pro tu lze s výhodou využít hlavní ohybovou výztuž schodišťového ramene.

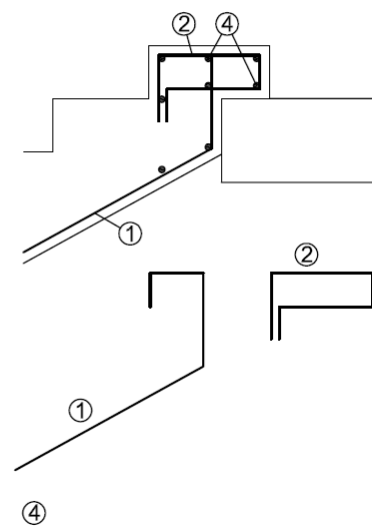
- plocha svislé tahové výztuže : $A_{s,sv} \geq A_{s,sv,req} = \frac{R}{f_{yd}}$

Problematickým místem z hlediska betonáže může být výstupek na spodní straně schodišťového ramene, přiléhající k podestě (nutnost značného vyvločkování bednění). V případě jeho zachování je nutné přistoupit k jeho řádnému vyztužení (VARIANTA A). Druhou možností je provést rameno bez tohoto výstupku (VARIANTA B). V takovém případě však nebude zachován rovinný pohled konstrukce (dodržení plynulého přechodu by vedlo k příliš tlusté desce ramene).

VARIANTA A

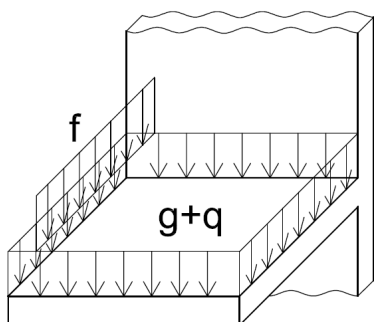


VARIANTA B

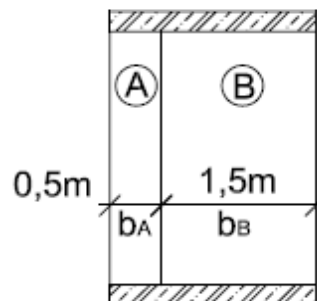


Návrh schodišťové podesty :

Podesta přenáší vlastní tíhu g_0 , ostatní stálé zatížení podesty ($g-g_0$), užité zatížení q a přitížení od schodišťového ramene f_R (Obr. 1). Zatížení od schodišťového ramene však nelze rozložit rovnoměrně na celou plochu podesty. Podestu rozdělíme na **část A** (širokou 0,5 m), která bude přenášet veškeré stálé a užité zatížení podesty + přitížení od schodišťového ramene a zbývající **část B**, která bude přenášet pouze stálé a užité zatížení podesty (Obr. 2).



Obr. 1



Obr. 2

Pro výpočet jednotlivých částí je nutné přepočítat zatížení na liniové hodnoty, vztažené na šířky daných částí.

$$(g+q)_{P,d} = g_{0,P,d} + (g-g_0)_{P,d} + q_{P,d} \quad [kN/m^2] \quad g_{0,P,d} = \gamma_G \cdot H_P \cdot \gamma_{BETON} \quad [kN/m^2]$$

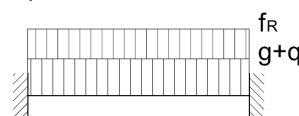
$$(g-g_0)_{P,d} = \gamma_G \cdot (g-g_0)_{P,k} \quad [kN/m^2]$$

$$q_{P,d} = \gamma_Q \cdot q_{P,k} \quad [kN/m^2]$$

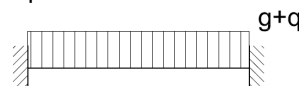
$$f_{d,A} = (g+q)_{P,d} \cdot b_A + f_{R,d} = (g+q)_{P,d} \cdot b_A + \frac{R_d}{L_P} \quad [kN/m]$$

$$f_{d,B} = (g+q)_{P,d} \cdot b_B \quad [kN/m]$$

pruh A



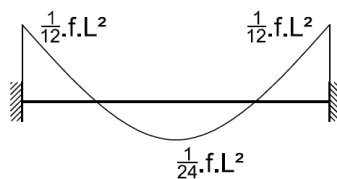
pruh B



Podesta je monolitická, vetknutá do železobetonových stěn. Statické schéma obou částí je stejné - oboustranně vetknutý nosník.

$$M_{Ed,podp} = \frac{1}{12} \cdot f_d \cdot L_P^2$$

$$M_{Ed,mezi} = \frac{1}{24} \cdot f_d \cdot L_P^2$$



Následuje klasický návrh jednostranné ohybové výztuže.

- účinná výška průřezu : $d_p = H_p - c - 1,5 \cdot \phi$
 - minimální plocha výztuže : $A_{s,min} = \max \left(0,0013 \cdot b \cdot d_p ; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d_p}{f_{yk}} \right)$
 - požadovaná plocha výztuže : $A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{z_P \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d_p \cdot f_{yd}}$
- ⇒ návrh výztuže při splnění podmínek : $A_s \geq A_{s,req}$
 $A_s \geq A_{s,min}$

Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

beton : **C 25/30** $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} \quad f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

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

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

Návrh schodišťového ramene :

- výpočet zatížení : $g_{R,d} = \gamma_G \cdot \frac{m_R \cdot g}{L_R} = 1,35 \cdot \frac{5,0 \cdot 10}{2,7} = 25,0 \text{ kN/m}$

$$q_{R,d} = \gamma_Q \cdot q_k \cdot B_R = 1,5 \cdot 3,0 \cdot 2,8 = 12,6 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{R,d} = g_{R,d} + q_{R,d} = 25,0 + 12,6 = 37,6 \text{ kN/m}$$

- výpočet návrhového ohybového momentu :

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot (g + q)_{R,d} \cdot L_R^2 = \frac{1}{8} \cdot 37,6 \cdot 2,7^2 = 34,263 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- účinná výška průřezu : $d_R = H_R - c - 0,5 \cdot \phi = 260 - 40 - 0,5 \cdot 10 = 215 \text{ mm}$

- minimální plocha výztuže : $A_{s,\min} = \max\left(0,0013 \cdot B_R \cdot d_R; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot B_R \cdot d_R}{f_{yk}}\right)$

$$A_{s,\min} = \max\left(0,0013 \cdot 2800 \cdot 215; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 2800 \cdot 215}{500}\right) = 814 \text{ mm}^2$$

- návrh výztuže :

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{34,263 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 215 \cdot 434,783} = 407 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 11 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm (} \sim \varnothing 10 \text{ mm po } 270 \text{ mm)} \quad A_s = 864 \text{ mm}^2$$

Návrh ozubu schodišťového ramene :

- návrh rozměrů ozubu : $b_1 = 150 \text{ mm}$

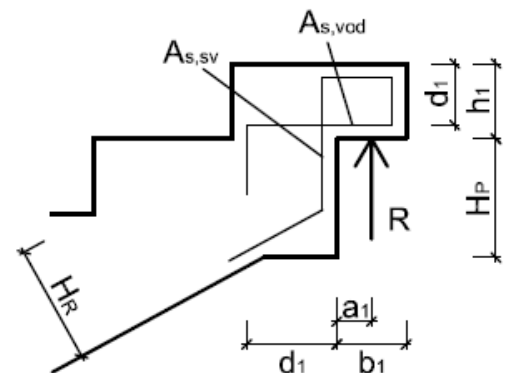
$$h_1 = 165 \text{ mm}$$

- předpokládaná ohybová výztuž ozubu : $\phi_1 = 6 \text{ mm}$

- poloha reakce ramene : $a_1 = \frac{b_1}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$

- účinná výška průřezu ozubu :

$$d_1 = h_1 - c - \phi_1 / 2 = 165 - 40 - 6 / 2 = 122 \text{ mm}$$



- reakce schodišťového ramene : $R_d = \frac{(g + q)_{R,d} \cdot L_R}{2} = \frac{37,6 \cdot 2,7}{2} = 50,76 \text{ kN}$

- ohybový moment ozubu : $M_{Ed,1} = R_d \cdot (a_1 + d_1) = 50,76 \cdot (0,075 + 0,121) = 10,0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- návrh vodorovné ohybové výztuže :

$$A_{s,vod,req} = \frac{M_{Ed,1}}{z_1 \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed,1}}{0,9 \cdot d_1 \cdot f_{yd}} = \frac{10,0 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 122 \cdot 434,783} = 210 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,vod,min} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}\right) =$$

$$= \max\left(0,0013 \cdot 2800 \cdot 122; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 2800 \cdot 122}{500}\right) = 531 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 19 \text{ } \varnothing 6 \text{ mm (} \sim \varnothing 6 \text{ mm po } 150 \text{ mm)} \quad A_{s,vod} = 537 \text{ mm}^2$$

- návrh svislé tahové výztuže :

$$A_{s,sv,req} = \frac{R_d}{f_{yd}} = \frac{50,76 \cdot 10^3}{434,783} = 117 \text{ mm}^2$$

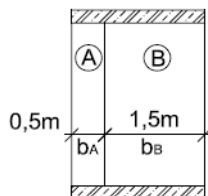
$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 11 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm (} \sim \varnothing 10 \text{ mm po } 270 \text{ mm)} \quad A_{s,sv} = 864 \text{ mm}^2$$

Návrh schodišťové podesty :

- rozdělení podesty na 2 části :

$$b_A = 0,5 \text{ m}$$

$$b_B = 1,5 \text{ m}$$



- výpočet zatížení :

$$g_{0,P,d} = \gamma_G \cdot H_P \cdot \gamma_{BETON} = 1,35 \cdot 0,26 \cdot 25 = 8,775 \text{ kN/m}^2$$

$$(g - g_0)_{P,d} = \gamma_G \cdot (g - g_0)_{P,k} = 1,35 \cdot 2,0 = 2,7 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{P,d} = \gamma_Q \cdot q_{P,k} = 1,5 \cdot 3,0 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

$$(g + q)_{P,d} = g_{0,P,d} + (g - g_0)_{P,d} + q_{P,d} = 8,775 + 2,7 + 4,5 = 15,975 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{d,A} = (g + q)_{P,d} \cdot b_A + f_{R,d} = (g + q)_{P,d} \cdot b_A + \frac{R_d}{L_P} = 15,975 \cdot 0,5 + \frac{50,76}{3,0} = 24,908 \text{ kN/m}$$

$$f_{d,B} = (g + q)_{P,d} \cdot b_B = 15,975 \cdot 1,5 = 23,963 \text{ kN/m}$$

- výpočet návrhového ohybového momentu :

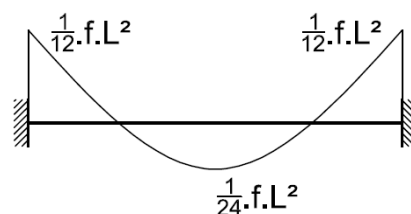
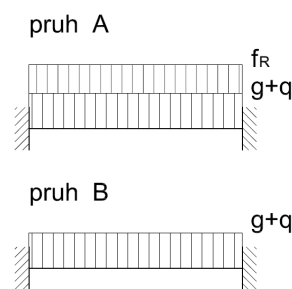
$$M_{Ed,podp,A} = \frac{1}{12} \cdot f_{d,A} \cdot L_P^2 = \frac{1}{12} \cdot 24,908 \cdot 3,0^2 = 18,681 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,mezi,A} = \frac{1}{24} \cdot f_{d,A} \cdot L_P^2 = \frac{1}{24} \cdot 24,908 \cdot 3,0^2 = 9,341 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,podp,B} = \frac{1}{12} \cdot f_{d,B} \cdot L_P^2 = \frac{1}{12} \cdot 23,963 \cdot 3,0^2 = 17,972 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Ed,mezi,B} = \frac{1}{24} \cdot f_{d,B} \cdot L_P^2 = \frac{1}{24} \cdot 23,963 \cdot 3,0^2 = 8,986 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- účinná výška průřezu : $d_p = H_P - c - 1,5 \cdot \phi = 260 - 40 - 1,5 \cdot 10 = 205 \text{ mm}$



- minimální plocha výztuže : $A_{s,min} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d_p; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d_p}{f_{yk}}\right)$

$$A_{s,min,A} = \max\left(0,0013 \cdot 500 \cdot 205; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 500 \cdot 205}{434,783}\right) = 160 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,B} = \max\left(0,0013 \cdot 1500 \cdot 205; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 1500 \cdot 205}{434,783}\right) = 478 \text{ mm}^2$$

- požadovaná plocha výztuže : $A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{z_p \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed}}{0,9 \cdot d_p \cdot f_{yd}}$

$$A_{s,req,podp,A} = \frac{M_{Ed,podp,A}}{0,9 \cdot d_p \cdot f_{yd}} = \frac{18,681 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 205 \cdot 434,783} = 233 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 3 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm } (\sim \varnothing 10 \text{ mm po } 160 \text{ mm}) \quad A_{s,podp,A} = 246 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req,mezi,A} = \frac{M_{Ed,mezi,A}}{0,9 \cdot d_p \cdot f_{yd}} = \frac{9,341 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 205 \cdot 434,783} = 117 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 3 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm } (\sim \varnothing 10 \text{ mm po } 240 \text{ mm}) \quad A_{s,mezi,A} = 164 \text{ mm}^2$$

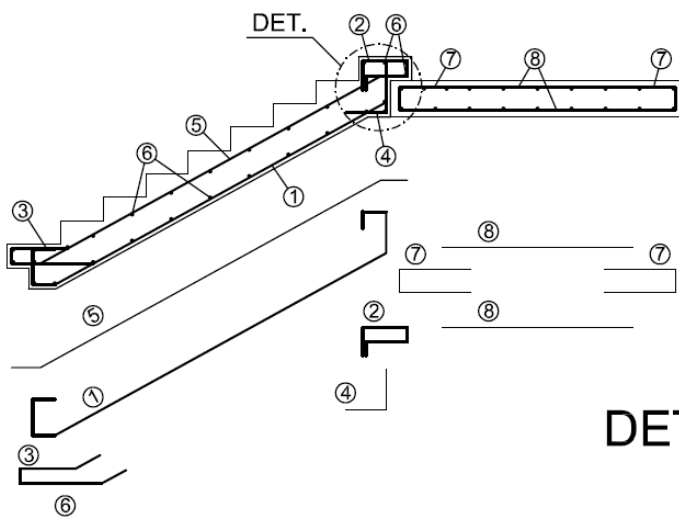
$$A_{s,req,podp,B} = \frac{M_{Ed,podp,B}}{0,9 \cdot d_p \cdot f_{yd}} = \frac{17,972 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 205 \cdot 434,783} = 224 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 6 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm } (\sim \varnothing 10 \text{ mm po } 240 \text{ mm}) \quad A_{s,podp,B} = 491 \text{ mm}^2$$

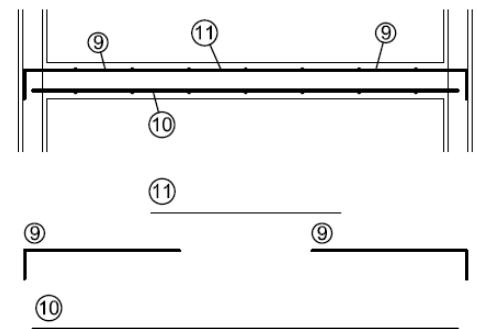
$$A_{s,req,mezi,B} = \frac{M_{Ed,mezi,B}}{0,9 \cdot d_p \cdot f_{yd}} = \frac{8,986 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 205 \cdot 434,783} = 112 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 6 \text{ } \varnothing 10 \text{ mm } (\sim \varnothing 10 \text{ mm po } 240 \text{ mm}) \quad A_{s,mezi,B} = 491 \text{ mm}^2$$

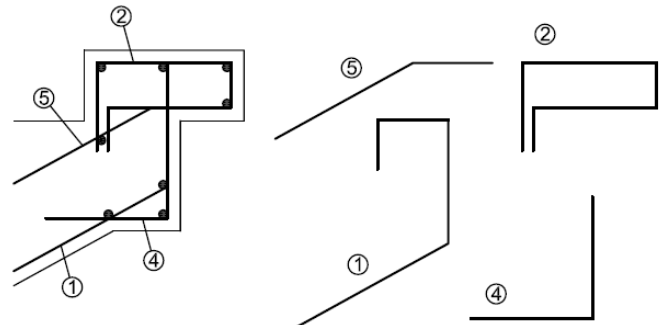
ŘEZ A



ŘEZ B



DET.



PŘÍKLAD Č. 6 :

Navrhňte vyztužení ŽB stropní desky uvedené na obrázku. Deska je po třech stranách vetknutá (monolitické spojení s dostatečně ohybově tuhou ŽB stěnou) a po jedné straně kloubově uložena (průvlak). Nakreslete schéma vyztužení.

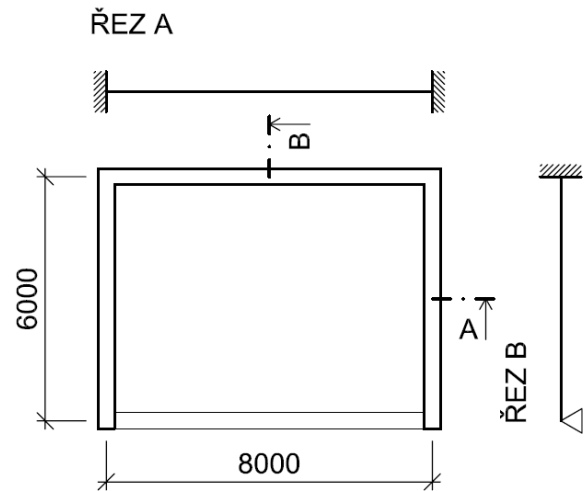
tloušťka desky : $h_d = 200 \text{ mm}$

krytí ohybové výztuže : $c = 20 \text{ mm}$

zatížení desky : $(g + q)_d = 14,0 \text{ kN/m}^2$

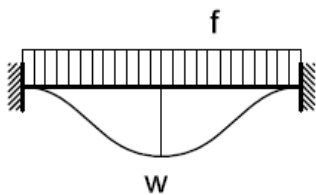
beton : C 25/30

ocel : B 500 B

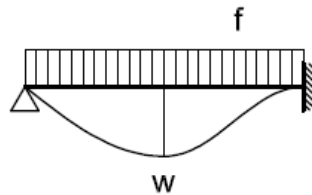


Řešenou konstrukcí je po obvodě podepřená stropní deska. Zatížení desky bude roznášeno do dvou navzájem kolmých směrů, přičemž poměr jejich hodnot f_x a f_y vychází z rovnosti středového průhybu desky v obou směrech.

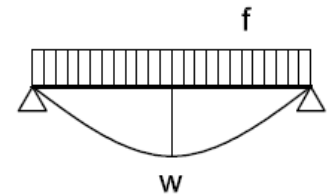
Obecně mohou nastat 3 varianty uložení :



$$w = \frac{1}{384} \cdot \frac{f \cdot L^4}{E_c \cdot I}$$

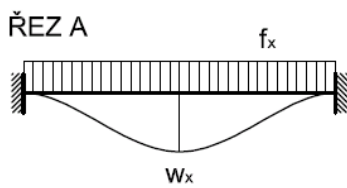


$$w = \frac{2}{384} \cdot \frac{f \cdot L^4}{E_c \cdot I}$$

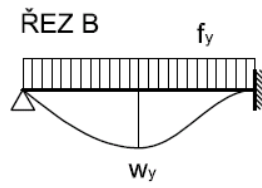


$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{f \cdot L^4}{E_c \cdot I}$$

V našem případě :



$$w_x = \frac{1}{384} \cdot \frac{f_x \cdot L_x^4}{E_c \cdot I}$$

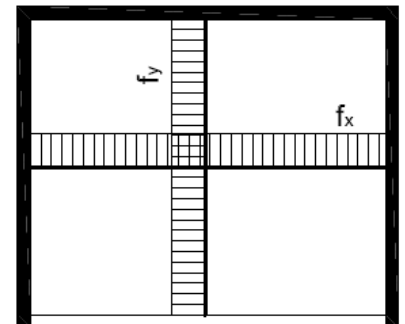


$$w_y = \frac{2}{384} \cdot \frac{f_y \cdot L_y^4}{E_c \cdot I}$$

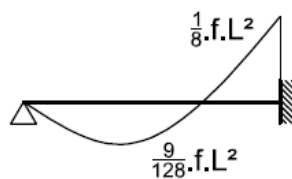
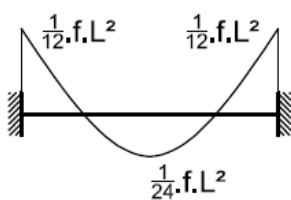
- rovnost průhybů : $w_x = w_y$

$$\frac{1}{384} \cdot \frac{f_x \cdot L_x^4}{E_c \cdot I} = \frac{2}{384} \cdot \frac{f_y \cdot L_y^4}{E_c \cdot I} \Rightarrow \frac{f_x}{f_y} = 2 \cdot \frac{L_y^4}{L_x^4}$$

$$f_x + f_y = (g + q)_d$$



Pro jednotlivé směry pak řešíme průběhy vnitřních sil a následně navrhujeme jednostrannou výztuž. Ohybové momenty i dimenze vyjadřujeme na 1 m šířky desky.



$$m_{Ed,A,podp} = \frac{1}{12} \cdot f_x \cdot b \cdot L_x^2$$

$$m_{Ed,A,mezi} = \frac{1}{24} \cdot f_x \cdot b \cdot L_x^2$$

$$m_{Ed,B,podp} = \frac{1}{8} \cdot f_y \cdot b \cdot L_y^2$$

$$m_{Ed,B,mezi} = \frac{9}{128} \cdot f_y \cdot b \cdot L_y^2$$

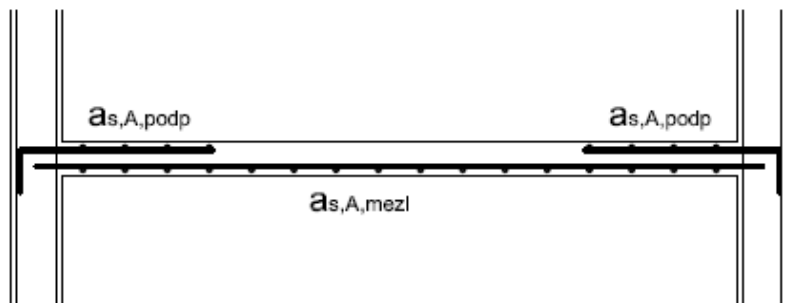
Větší účinnou výšku průřezu volíme ve směru většího namáhání.

$$d_x = h_d - c - 1,5 \cdot \phi$$

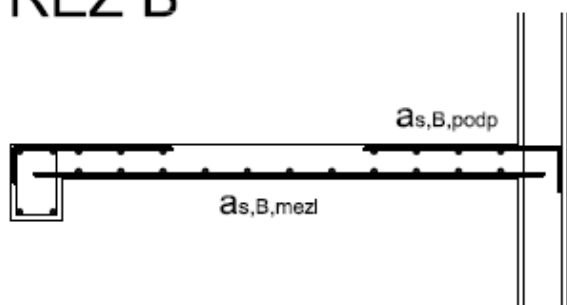
$$d_y = h_d - c - 0,5 \cdot \phi$$

- minimální plocha výztuže : $a_{s,min} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}\right)$
 - požadovaná plocha výztuže : $a_{s,req,i} = \frac{m_{Ed,i}}{z_i \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed,i}}{0,9 \cdot d_i \cdot f_{yd}}$
- ⇒ návrh výztuže při splnění podmínek : $a_s \geq a_{s,req}$
 $a_s \geq a_{s,min}$

ŘEZ A



ŘEZ B



Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

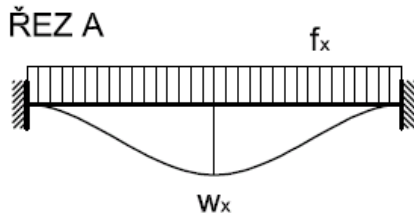
beton : **C 25/30** $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} \quad f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

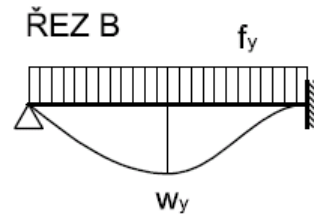
ocel : **B 500 B** $E_s = 200 \text{ GPa}$

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

- rozdělení zatížení do směrů :



$$w_x = \frac{1}{384} \cdot \frac{f_x \cdot L_x^4}{E_c \cdot I}$$



$$w_y = \frac{2}{384} \cdot \frac{f_y \cdot L_y^4}{E_c \cdot I}$$

o z rovnosti průhybů : $w_x = w_y \Rightarrow \frac{f_x}{f_y} = 2 \cdot \frac{L_y^4}{L_x^4} = 2 \cdot \frac{6,0^4}{8,0^4} = \frac{81}{128}$

$$f_x + f_y = (g + q)_d = 14,0 \text{ kN/m}^2$$

$$f_x = 5,426 \text{ kN/m}^2$$

$$f_y = 8,574 \text{ kN/m}^2$$

řez A :

- návrhové ohybové momenty :

$$m_{Ed,A,podp} = \frac{1}{12} \cdot f_x \cdot b \cdot L_x^2 = \frac{1}{12} \cdot 5,426 \cdot 1,0 \cdot 8,0^2 = 28,939 \text{ kN} \cdot \text{m/m}'$$

$$m_{Ed,A,mezi} = \frac{1}{24} \cdot f_x \cdot b \cdot L_x^2 = \frac{1}{24} \cdot 5,426 \cdot 1,0 \cdot 8,0^2 = 14,469 \text{ kN} \cdot \text{m/m}'$$

- účinná výška průřezu : $d_x = h_d - c - 1,5 \cdot \phi = 200 - 20 - 1,5 \cdot 10 = 165 \text{ mm}$

- minimální plocha výztuže : $a_{s,min,A} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d_x; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d_x}{f_{yk}}\right)$

$$a_{s,min,A} = \max\left(0,0013 \cdot 1000 \cdot 165; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 1000 \cdot 165}{500}\right) = 223 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

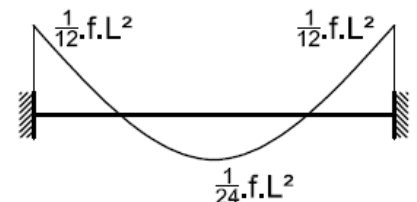
- návrh výztuže :

$$a_{s,req,A,podp} = \frac{m_{Ed,A,podp}}{z_x \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed,A,podp}}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{28,939 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 165 \cdot 434,783} = 448 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } \text{Ø 10 mm po 170 mm} \quad a_{s,A,podp} = 462 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$a_{s,req,A,mezi} = \frac{m_{Ed,A,mezi}}{z_x \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed,A,mezi}}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{14,469 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 165 \cdot 434,783} = 224 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } \text{Ø 10 mm po 300 mm} \quad a_{s,A,mezi} = 262 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$



řez B :

- návrhové ohybové momenty :

$$m_{Ed,B,podp} = \frac{1}{8} \cdot f_y \cdot b \cdot L_y^2 = \frac{1}{8} \cdot 8,574 \cdot 1,0 \cdot 6,0^2 = 38,583 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}'$$

$$m_{Ed,B,mezi} = \frac{9}{128} \cdot f_y \cdot b \cdot L_y^2 = \frac{9}{128} \cdot 8,574 \cdot 1,0 \cdot 6,0^2 = 21,703 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}'$$

- účinná výška průřezu :
 $d_y = h_d - c - 0,5 \cdot \phi = 200 - 20 - 0,5 \cdot 10 = 175 \text{ mm}$

- minimální plocha výztuže : $a_{s,min,B} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d_y; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d_y}{f_{yk}}\right)$

$$a_{s,min,B} = \max\left(0,0013 \cdot 1000 \cdot 175; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 1000 \cdot 175}{500}\right) = 237 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

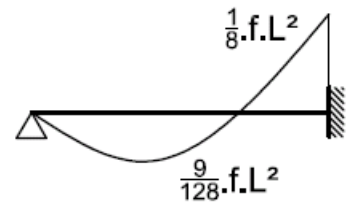
- návrh výztuže :

$$a_{s,req,B,podp} = \frac{m_{Ed,B,podp}}{z_y \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed,A,podp}}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{38,583 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 175 \cdot 434,783} = 563 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

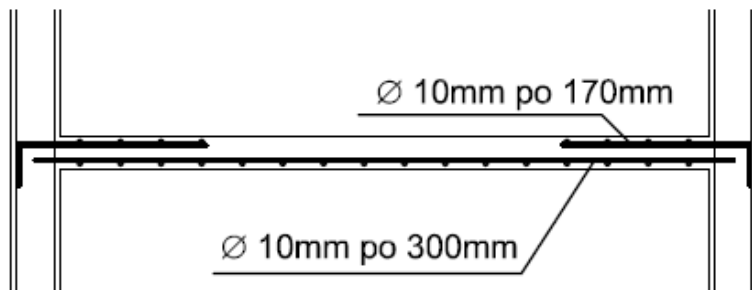
$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } \text{Ø } 10 \text{ mm po } 130 \text{ mm} \quad a_{s,B,podp} = 604 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$a_{s,req,B,mezi} = \frac{m_{Ed,B,mezi}}{z_y \cdot f_{yd}} = \frac{m_{Ed,A,mezi}}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{21,703 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 175 \cdot 434,783} = 316 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

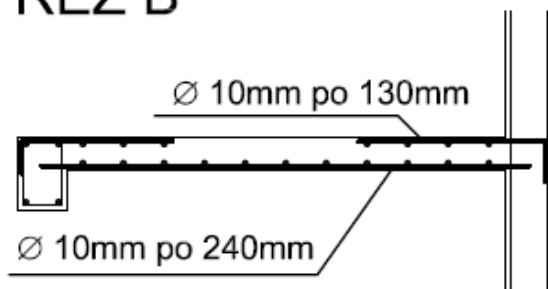
$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } \text{Ø } 10 \text{ mm po } 240 \text{ mm} \quad a_{s,B,mezi} = 327 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$



ŘEZ A



ŘEZ B



PŘÍKLAD Č. 7 :

Navrhněte vyztužení ŽB stropní kazetové desky uvedené na obrázku. Deska je po svém obvodu kloubově uložena (průvlaky). Nakreslete schéma vyztužení.

osová vzdálenost žeber : $a = 700 \text{ mm}$

tloušťka desky : $h_f = 80 \text{ mm}$

šířka žebra : $b_r = 100 \text{ mm}$

výška žebra (včetně desky) : $h_r = 450 \text{ mm}$

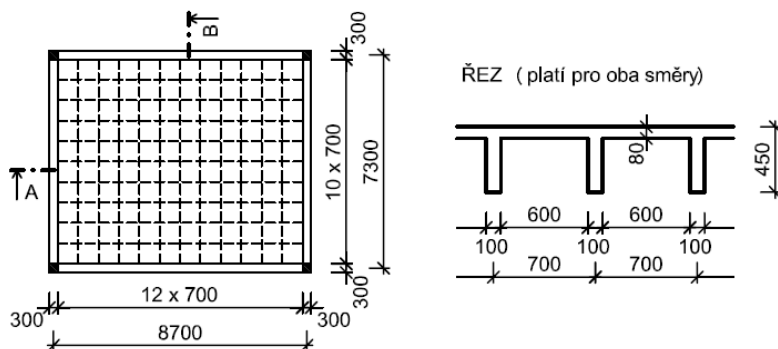
profil ohybové výztuže : $\phi = 12 \text{ mm}$

krytí ohybové výztuže : $c = 25 \text{ mm}$

zatížení desky : $(g + q)_d = 16,0 \text{ kN / m}^2$

beton : C 25/30

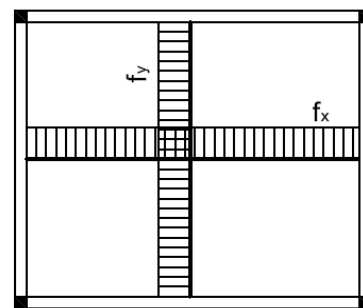
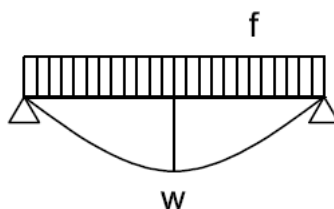
ocel : B 500 B



Řešenou konstrukcí je po obvodě podepřená kazetová stropní deska. Zatížení desky bude roznášeno do dvou navzájem kolmých směrů, přičemž poměr jejich hodnot f_x a f_y vychází z rovnosti středového průhybu desky v obou směrech.

$$w_x = w_y$$

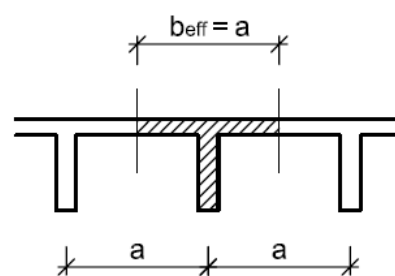
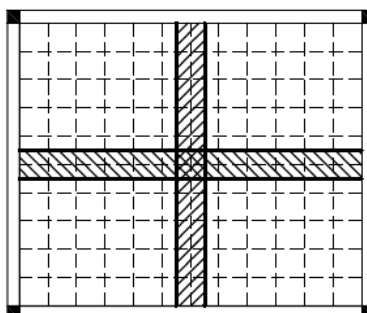
$$\frac{5}{384} \cdot \frac{f_x \cdot L_x^4}{E_c \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_y \cdot L_y^4}{E_c \cdot I}$$



Kazetová deska představuje soustavu pravidelně se opakujících segmentů. Tyto segmenty tvoří žebro a příslušná část přiléhající desky (deska o šířce poloviny osové vzdálenosti žeber na každé straně od osy žebra). Jestliže jeden takový segment z konstrukce vyjme, můžeme ho řešit jako liniově zatížený nosník průřezu T. Proto je nyní nutné přepočítat plošné zatížení desky na liniové zatížení jednoho žebra.

$$f_{r,x} \text{ [kN / m]} = f_x \text{ [kN / m}^2\text{]} \cdot a$$

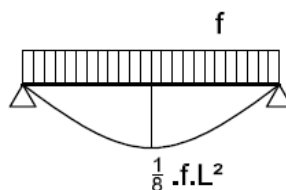
$$f_{r,y} \text{ [kN / m]} = f_y \text{ [kN / m}^2\text{]} \cdot a$$



Vzhledem k okrajovým podmínkám (uložení desky na okrajové průvlaky) lze náhradní nosníky řešit jako prostě uložené. Rozhodující vnitřní silou je ohybový moment uprostřed rozpětí.

$$M_x = \frac{1}{8} \cdot f_{r,x} \cdot L_x^2$$

$$M_y = \frac{1}{8} \cdot f_{r,y} \cdot L_y^2$$



Následuje výpočet účinných výšek průřezu. Jelikož jsou žebra v obou směrech stejně vysoká, bude v jejich křížení docházet též ke křížení výztuží. Z toho důvodu je nutné umístit výztuže různých směrů různě vysoko. Doporučuje se, aby výztuž ve více namáhaném směru byla umístěna blíže taženému okraji (větší účinná výška průřezu).

$$d_x = h_r - c - 1,5 \cdot \phi$$

$$d_y = h_r - c - 0,5 \cdot \phi$$

Celý návrh je zakončen výpočtem minimální a požadované plochy výztuže, návrhem konkrétního počtu výztužných prutů (splňující podmínku spolehlivosti) a vytvořením výkresu, resp. skici vyztužení.

$$A_{s,\min} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}\right)$$

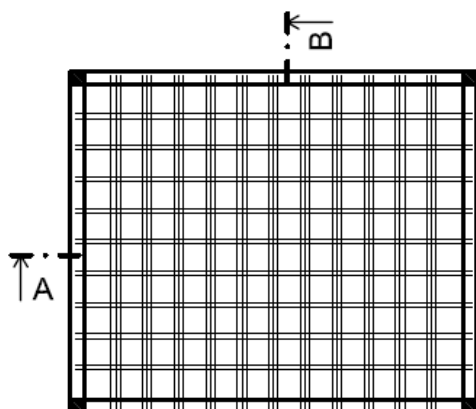
$$A_{s,req,x} = \frac{M_x}{z_x \cdot f_{yd}} = \frac{M_x}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} \Rightarrow \text{návrh výztuže : } A_{s,x} \geq A_{s,req,x}$$

$$A_{s,x} \geq A_{s,\min}$$

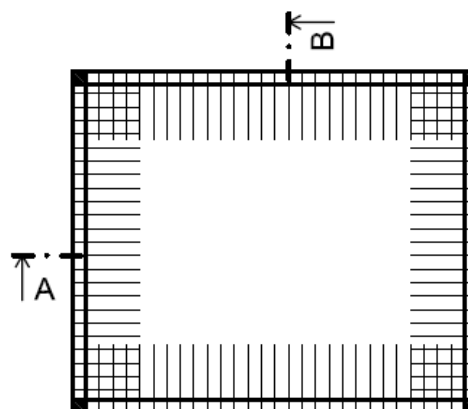
$$A_{s,req,y} = \frac{M_y}{z_y \cdot f_{yd}} = \frac{M_y}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} \Rightarrow \text{návrh výztuže : } A_{s,y} \geq A_{s,req,y}$$

$$A_{s,y} \geq A_{s,\min}$$

SPODNÍ VÝZTUŽ

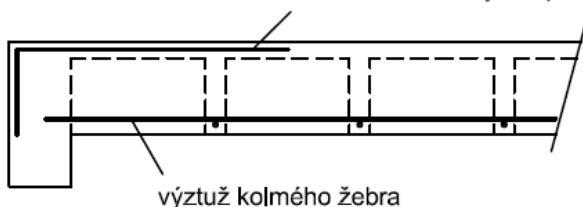


HORNÍ VÝZTUŽ

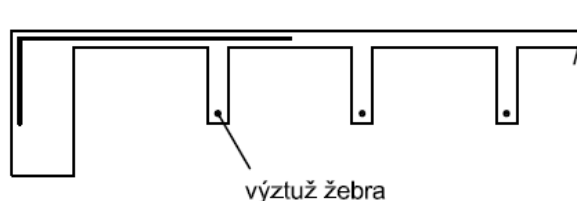


ŘEZ žebrem

výztuž pro zachycení záporných momentů nad krajními průvlaky



ŘEZ mimo žebro



Řešení příkladu :

- materiálové charakteristiky :

beton : **C 25/30** $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa} \quad f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

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

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

- rozdělení zatížení do směrů :

- průhyby : $w_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_x \cdot L_x^4}{E_c \cdot I}$ $w_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_y \cdot L_y^4}{E_c \cdot I}$

- z rovnosti průhybů : $w_x = w_y \Rightarrow \frac{f_x}{f_y} = \frac{L_y^4}{L_x^4} = \frac{7,3^4}{8,7^4} = 0,496$

$$f_x + f_y = (g + q)_d = 16,0 \text{ kN/m}^2$$

$$f_x = 5,303 \text{ kN/m}^2$$

$$f_y = 10,697 \text{ kN/m}^2$$

- přepočítání zatížení na 1 žebro : $f_{r,x} = f_x \cdot a = 5,303 \cdot 0,7 = 3,712 \text{ kN/m}'$
 $f_{r,y} = f_y \cdot a = 10,697 \cdot 0,7 = 7,488 \text{ kN/m}'$

- výpočet návrhových ohybových momentů : $M_x = \frac{1}{8} \cdot f_{r,x} \cdot L_x^2 = \frac{1}{8} \cdot 3,712 \cdot 8,7^2 = 35,120 \text{ kN} \cdot \text{m}$
 $M_y = \frac{1}{8} \cdot f_{r,y} \cdot L_y^2 = \frac{1}{8} \cdot 7,488 \cdot 7,3^2 = 49,879 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- účinná výška průřezu : $d_x = h_r - c - 1,5 \cdot \phi = 450 - 25 - 1,5 \cdot 12 = 407 \text{ mm}$
 $d_y = h_r - c - 0,5 \cdot \phi = 450 - 25 - 0,5 \cdot 12 = 419 \text{ mm}$

- minimální plocha výztuže : $A_{s,\min} = \max\left(0,0013 \cdot b \cdot d; 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}\right)$

$$A_{s,\min} = \max\left(0,0013 \cdot 100 \cdot 419; 0,26 \cdot \frac{2,6 \cdot 100 \cdot 419}{500}\right) = 57 \text{ mm}^2$$

- návrh výztuže :

$$A_{s,\text{req},x} = \frac{M_x}{z_x \cdot f_{yd}} = \frac{M_x}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{35,120 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 407 \cdot 434,783} = 221 \text{ mm}^2$$

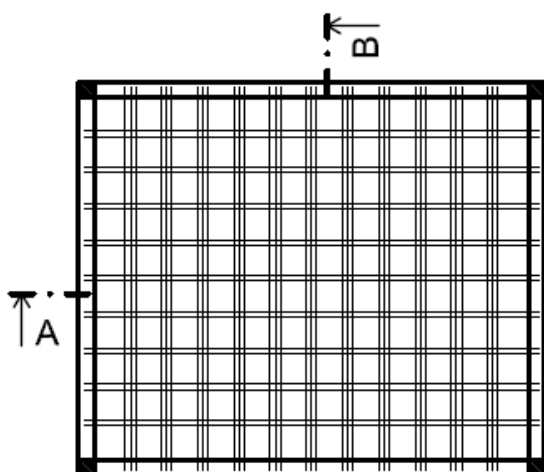
$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 2 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm} \quad A_{s,x} = 226 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{req},y} = \frac{M_y}{z_y \cdot f_{yd}} = \frac{M_y}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{49,879 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 419 \cdot 434,783} = 304 \text{ mm}^2$$

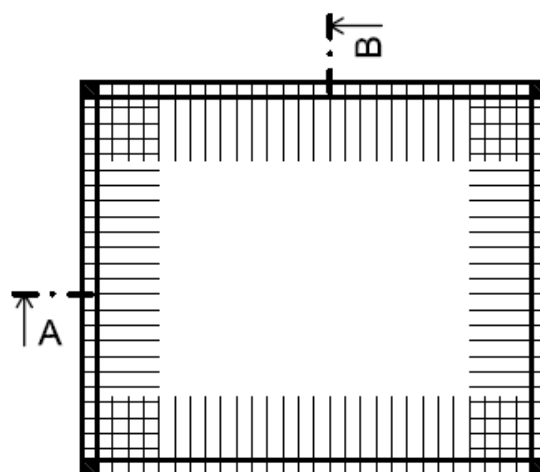
$$\Rightarrow \text{návrh výztuže : } 3 \text{ } \varnothing 12 \text{ mm} \quad A_{s,y} = 339 \text{ mm}^2$$

Schéma vyztužení :

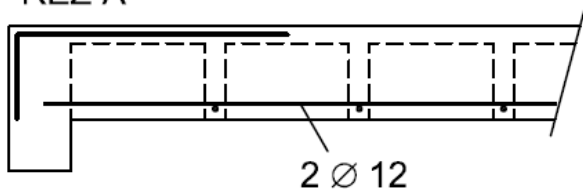
SPODNÍ VÝZTUŽ



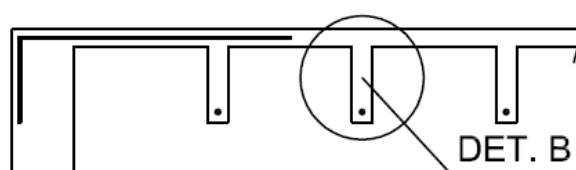
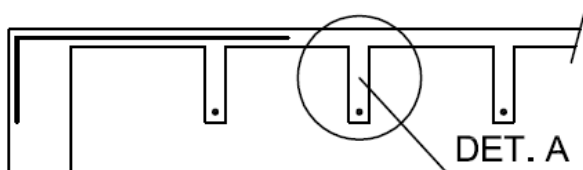
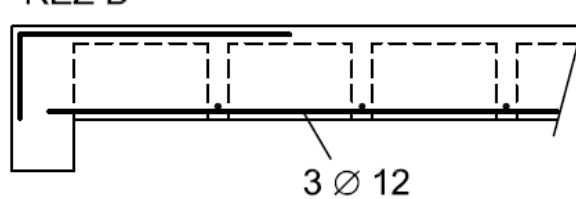
HORNÍ VÝZTUŽ



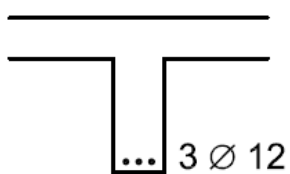
ŘEZ A



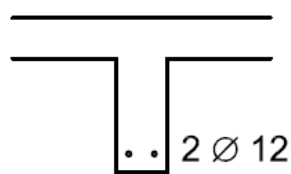
ŘEZ B



DET. A



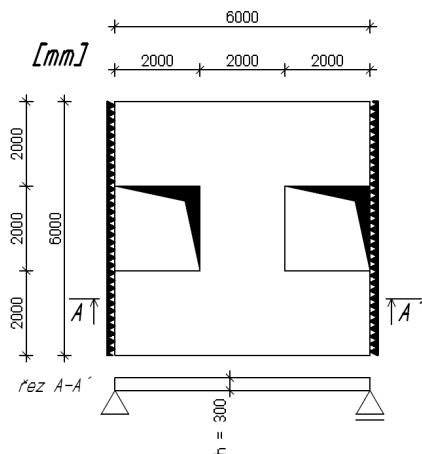
DET. B



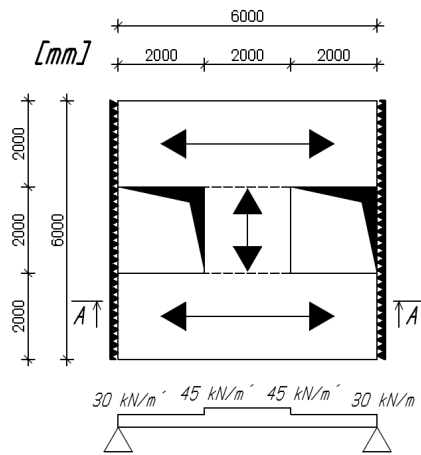
PŘÍKLAD Č. 8 :

Navrhněte ohybovou výztuž stropní desky s dvěma otvory viz. zadání.

Zadání



Obr. 1 Schéma řešené konstrukce



Obr. 2 Schéma zatížení

Pro zjednodušení výpočtu bude uvažováno, že střední část bude nesena celou šíří 2 m přilehlé jednosměrně pnuté desky. V reálné konstrukci by vznikl podél okraje této desky skrytý nosník, který by musel být více vyztužen a nesl by většinu zatížení.

Zatížení:

Pro zjednodušení tohoto ukázkového příkladu je stanoveno celkové návrhové zatížení včetně vlastní tíhy desky samotné na 15 kN/m^2 , což vyvolá moment uprostřed rozpětí na krajním pruhu desky šíře 2 m návrhový moment $M_{Ed} = 172,5 \text{ kN.m}$

Materiály:

Beton:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c,$$

doporučená hodnota $\alpha_{cc} = 1,0$

Beton C 30/37 XC2 (CZ) – Cl 0,1 – D_{max} 16 – S1

$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$,

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$, $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$f_{ctk} = 2,0 \text{ MPa}$, $f_{ctd} = 1,333 \text{ MPa}$, $f_{cm} = 2,9 \text{ MPa}$

Výztuž:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

Výztuž B 500 B - ohyb. výztuž desky $\phi = 12 \text{ mm}$

$E_s = 200 \text{ GPa}$,

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

Návrh a posouzení desky s otvory – obecné řešení

• Mezní stav únosnosti

Výpočet krycí vrstvy

$$c \geq c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

nominální hodnota krycí vrstvy :

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} + \Delta c_{dur,st} + \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{min} = \max(\phi; c_{min,dur}; 10)$$

$\Delta c_{dev} = 5-10mm$, **přídavek pro návrhovou odchylku** - odstavec 4.4.1.3 v ČSN EN 1992-1-1

Návrh výztuže desky s použitím tabulek

$$d = h_d - c - \phi / 2$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

Návrh výztuže:

z tabulek ξ ; ζ , zkontrolujeme $\xi \leq \xi_{bal}$, (nebo $x = \xi \cdot d \leq x_u$)

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}}$$

navrhujeme výztuž $A_{s1} \geq A_{s1,req}$.

Kontrola vyztužení: $A_{s1} \geq A_{s,min}$ a $A_{s1} \leq A_{s,max}$ a konstrukčních zásad.

Posouzení ohybové výztuže

Stanovíme účinnou výšku d pokud se změnila a zkontrolujeme vyztužení (viz návrh)

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}}$$

zkontrolujeme $\xi = x / d \leq \xi_{bal,1}$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x)$$

musí být splněna podmínka spolehlivosti, aby průřez vyhovoval:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

V rámci dalších posouzení by byl posouzen mezní stav použitelnosti.

Návrh a posouzení mezního stavu únosnosti desky s otvory

Materiály:

Beton:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c,$$

doporučená hodnota $\alpha_{cc} = 1,0$

Beton C 30/37 XC2 (CZ) – Cl 0,1 – D_{max} 16 – S1

$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$,

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$, $f_{cd} = 20 \text{ MPa}$

$f_{ctk} = 2,0 \text{ MPa}$, $f_{ctd} = 1,333 \text{ MPa}$, $f_{cm} = 2,9 \text{ MPa}$

Výztuž:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

Výztuž B 500 B - ohyb. výztuž desky $\phi = 12 \text{ mm}$

$E_s = 200 \text{ GPa}$,

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$, $f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

Mezní stav únosnosti

Výpočet krytí výztuže

$$c \geq c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

trída prostředí : **XC2**

nominální hodnota krycí vrstvy :

$$c_{\min} = \max(c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} + \Delta c_{dur,st} + \Delta c_{dur,add}; 10)$$

$$c_{\min} = \max(\emptyset; c_{\min,dur}; 10)$$

přídavek pro návrhovou odchylku:

Odstavec 4.4.1.3 v ČSN EN 1992-1-1

životnost : 80 let, beton : C 30/37, desková

konstrukce

konstrukční třída : S3 $\rightarrow c_{\min,dur} = 20 \text{ mm}$

$$c_{\min} = \max(12; 20; 10)$$

$$\Delta c_{dev} = 5 - 10 \text{ mm}$$

pro desku volím $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

krycí c volím $30 \text{ mm} \geq c_{nom} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$

Návrh výztuže desky s použitím tabulek

$$d = h_d - c - \emptyset/2$$

$$\mu = M_{Ed} / (b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

Návrh výztuže:

z tabulek ξ ; ζ , zkontrolujeme $\xi \leq$

ξ_{bal} , (nebo $x = \xi \cdot d \leq x_u$)

$$A_{s1,req} = M_{Ed} / (\zeta \cdot d \cdot f_{yd})$$

navrhujeme výztuž $A_{s1} \geq A_{s1,req}$.

Kontrola vyztužení: $A_{s1} \geq A_{s,min}$ a $A_{s1} \leq A_{s,max}$ a konstrukčních zásad.

$$d = 300 - 30 - 10/2 = 265 \text{ mm}$$

$$\mu = 172,5 / (2,0 \cdot 0,265^2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3) = 0,0614$$

$$\xi = 0,079 \leq \xi_{ba,1} = 0,617; \zeta = 0,9683$$

$$A_{s1,req} = 172,5 / (0,9683 \cdot 0,265 \cdot 434,783 \cdot 10^3)$$

$$A_{s1,req} = 1546 \text{ mm}^2$$

$$21 \times \emptyset 10 \text{ mm do } 2 \text{ m} \rightarrow A_{s1} = 1648,5 \text{ mm}^2 \geq$$

$$A_{s1,req} = 1546 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{yk} \geq 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$A_{s,min} = 796 \text{ mm}^2 \geq 686,4 \text{ mm}^2 \leq A_{s1}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 2 \cdot 0,3 = 24000 \text{ mm}^2 \geq A_{s1}$$

Posouzení ohybové výztuže

Stanovíme účinnou výšku d pokud se změnila a zkontrolujeme vyztužení (viz návrh)

$$x = A_{s1} \cdot f_{yd} / (b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

$$x = 0,0016485 \cdot 434,783 / (2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20)$$

$$x = 0,018 \text{ m}$$

zkontrolujeme $\xi = x / d \leq \xi_{bal,1}$

$$\xi = 0,018 / 0,265 = 0,068 \leq \xi_{bal,1} = 0,617$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x)$$

$$M_{Rd} = 0,0016485 \cdot 434783 \cdot (0,265 - 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,018)$$

$$M_{Rd} = 183 \text{ kNm}$$

musí být splněna podmínka spolehlivosti, aby průřez vyhovoval:

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$183 \text{ kNm} \geq 172,5 \text{ kNm}$$

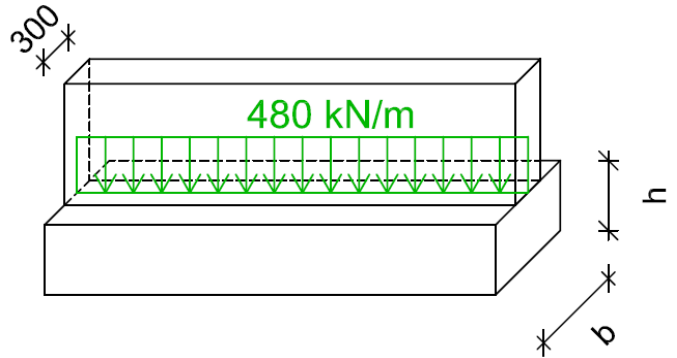
Bylo navrženo a posouzeno vyztužení desky s dvěma otvory a deska vyhovuje v mezním stavu únosnosti.

PŘÍKLAD Č. 9 :

Navrhnete základový pás z prostého betonu pod stěnou tloušťky 300 mm. Na pás v patě stěny působí centricky maximální normálová síla $n_{Ed} = 480 \text{ kN/m}$.

beton : C 25/30

návrhová únosnost zeminy : $R_d = 350 \text{ kPa}$



V tomto jednoduchém případě základových konstrukcí se jedná o silně idealizovaný příklad, který pouze zřídka v praxi nastane. Jsme však schopni namáhání působící na základové konstrukce v určitých případech takto zjednodušit.

Zjednodušení lze použít v případě, že excentricita zatížení je v poměru k rozměrům základu zanedbatelná. Excentricita se vypočte dle následujícího vztahu:

$$e = \frac{m}{n} = \frac{m_{Ed,0} + v_{Ed} \cdot h}{n_{Ed} + n_{G0}}, \quad \text{v případě, že } e \approx 0 \text{ můžeme tuto excentricitu zanedbat a využít následující výpočet}$$

Návrh centricky zatíženého základového pásu – obecné řešení :

- šířka základového pásu:

$$b = \frac{n_{Ed} + n_{G0}}{R_d}, \quad \text{z tohoto vztahu navrhne šířku pásu s přesností na 100 mm.}$$

- výška základového pásu:

$$\sigma_{ct} = \frac{m}{W} < f_{ctd}, \quad \text{základní statický požadavek určující výšku pásu z prostého betonu}$$

$$a = \frac{b - b_s}{2}, \quad \text{vyložení pásu}$$

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{n_{Ed}}{b_{ef}}, \quad \text{napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly pásu}$$

$$h_F \geq \frac{a}{0,85} \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{gd}}{f_{ctd}}}, \quad \text{návrh výšky pásu } \Rightarrow \text{zaokrouhlo na celé desetiny metru nahoru}$$

Posouzení centricky zatíženého základového pásu – obecné řešení :

- skutečná vlastní tíha pásu :

$$n_{G0} = \gamma_G \cdot b \cdot h_F \cdot 24, \quad \text{uvažujeme tíhu prostého betonu } 24 \text{ kN/m}^3$$

- posouzení únosnosti základové spáře při zatížení dostředným tlakem :

$$\sigma_d = \frac{N}{A} = \frac{n_{Ed} + n_{G0}}{b} \leq R_d, \quad \text{porovnání napětí v základové spáře s únosností zeminy}$$

- posouzení únosnosti pásu na ohyb – napětí betonu na spodním okraji pásu
Posouzení vychází z předpokladu, že se základový pás v části přesazené oproti nosné konstrukci chová jako konzola. Zjišťujeme napětí na spodním okraji základového pásu a porovnáváme ho s pevností betonu v tahu za ohybu. Ohyb vzniká v důsledku napětí v podzákladí vyvolaného normálovou silou v patě stěny.

- napětí v krajních vláknech :
$$\sigma_{ct} = \frac{m}{W} = \frac{1/2 \cdot \sigma_{gd} \cdot l \cdot a^2}{1/6 \cdot l \cdot h^2} < f_{ctd}$$

Řešení příkladu:

- **materiálové charakteristiky :**

beton : **C 25/30**

$$f_{ctk0,05} = 1,8 \text{ MPa} \qquad f_{ctd} = \phi_{ct} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 0,96 \text{ MPa}$$

návrhová únosnost zeminy :

$$R_d = 350 \text{ kPa}$$

- **návrh centricky zatíženého základového pásu :**

- šířka základového pásu: $b = \frac{n_{Ed}}{R_d} = \frac{480}{350} = 1,37 \text{ m} \Rightarrow \text{návrh : } \mathbf{b = 1,5 \text{ m}}$

- vyložení pásu: $a = \frac{b - b_s}{2} = \frac{1,5 - 0,3}{2} = 0,6 \text{ m}$

- napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základového pásu :

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{n_{Ed}}{b} = \frac{480}{1,5} = 320 \text{ kPa} ,$$

- výška základového pásu: $h_F \geq \frac{a}{0,85} \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{gd}}{f_{ctd}}} = \frac{0,6}{0,85} \sqrt{3 \cdot \frac{0,320}{0,96}} = 0,71 \text{ m} \Rightarrow \text{návrh : } \mathbf{h = 0,8 \text{ m}}$

- **posouzení centricky zatíženého základového pásu :**

- skutečná vlastní tíha pásu : $n_{G0} = \gamma_G \cdot b_{ef} \cdot h_F \cdot 24 = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 24 = 38,88 \text{ kN / m'}$

- posouzení základové spáry při zatížení dostředným tlakem :

$$\sigma_d = \frac{N}{A} = \frac{n_{Ed} + n_{G0}}{b} = \frac{480 + 38,88}{1,5} = 345,92 \text{ kPa} \leq R_d = 350 \text{ kPa} \quad \text{..... vyhovuje}$$

- posouzení únosnosti pásu na ohyb :

$$\sigma_{ct} = \frac{m}{W} = \frac{1/2 \cdot \sigma_{gd} \cdot l \cdot a^2}{1/6 \cdot l \cdot h^2} = \frac{1/2 \cdot 0,320 \cdot 1,0 \cdot 0,6^2}{1/6 \cdot 1,0 \cdot 0,8^2} = 0,54 \text{ MPa} < f_{ctd} = 0,96 \text{ MPa}$$

..... vyhovuje

Byl navržen pas šířky 1,5 m a výšky 0,8 m. Takto navržený pás byl posouzen a vyhovuje všem výše zmíněným požadavkům.

PŘÍKLAD Č. 10:

Navrhněte a posuďte základovou patku z prostého betonu namáhanou normálovou silou, ohybovým momentem a posouvající silou.

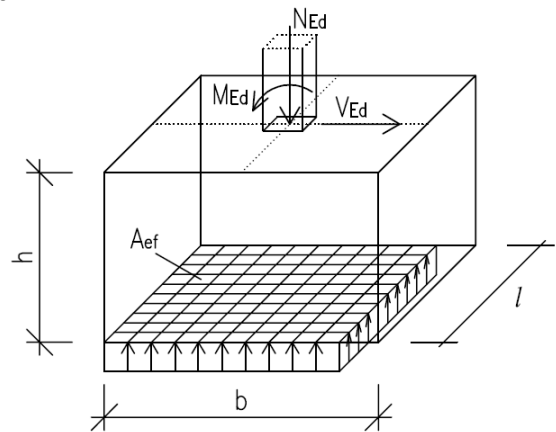
beton : C 25/30

návrhová únosnost zeminy : $R_d = 350 \text{ kPa}$

zatížení : $N_{Ed} = 2000 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$V_{Ed} = 20 \text{ kN}$



Návrh centricky zatíženého základového patky – obecné řešení :

- odhad vlastní tíhy patky : $N_{G0} \approx 0,1 \cdot N_{Ed}$, pro posouzení excentricity a stanovení plochy patky
- excentricita při odhadované výšce patky :

$$e = \frac{M}{N} = \frac{M_{Ed,0} + V_{Ed} \cdot h}{N_{Ed} + N_{G0}}$$
, v případě, že $e \approx 0$ můžeme tuto excentricitu zanedbat a využít výpočet pro dostředný tlak ($e = 0$)

- požadovaná efektivní plocha : $A_{ef,req} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{R_d}$
- půdorysné rozměry patky :

$A_{ef} = (b - 2e) \cdot l$, pokud uvažujeme čtvercovou patku, jsou oba rozměry rovny **b**

- pro čtvercovou patku platí $b_{\min} = e + \sqrt{e^2 + A_{ef,req}}$, z tohoto vztahu navrhne rozměry patky s přesností na 100 mm.

V případě, že posuzujeme skupinu patek, je nutno ověřit jejich dostatečnou vzdálenost. Minimální světlá vzdálenost je rovna $2 \times b$. Pokud nelze navrhnout patky o rozměrech splňujících tuto podmínku, není reálné založit objekt na základových patkách a je nutné volit jiný způsob založení.

- výška základové patky :

$\sigma_{ct} = \frac{M}{W} < f_{ctd}$, základní statický požadavek určující výšku patky z prostého betonu

$a = \frac{b - b_s}{2}$, vyložení patky

$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{ef}}$, napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky

$h_F \geq \frac{a}{0,85} \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{gd}}{f_{ctd}}}$, návrh výšky patky \Rightarrow zaokrouhlo na celé desetiny metru nahoru

Posouzení základové patky – obecné řešení :

- skutečná vlastní tíha patky :

$$N_{G0} = \gamma_G \cdot A_{ef} \cdot h_F \cdot 24, \quad \text{uvažujeme tíhu prostého betonu } 24 \text{ kN/m}^3$$

- posouzení únosnosti základové spáry :

$$\sigma_d = \frac{N}{A_{ef}} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{b_{ef}} \leq R_d, \quad \text{porovnání napětí v základové spáře s únosností zeminy}$$

- posouzení únosnosti patky na ohyb – napětí betonu na spodním okraji patky

Posouzení vychází z předpokladu, že se patka v části přesazené oproti nosné konstrukci chová jako konzola. Zjišťujeme napětí na spodním okraji základového pásu a porovnáváme ho s pevností betonu v tahu za ohybu. Ohyb vzniká v důsledku napětí v podzákladí vyvolaného normálovou silou a ohybovým momentem v patě stěny.

- napětí v krajních vláknech : $\sigma_{ct} = \frac{M}{W} = \frac{1/2 \cdot \sigma_{gd} \cdot l \cdot a^2}{1/6 \cdot l \cdot h^2} < f_{ctd}$

Řešení příkladu:

- **materiálové charakteristiky :**

beton : **C 25/30**

$$f_{ctk0,05} = 1,8 \text{ MPa} \quad f_{ctd} = \phi_{ct} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 0,96 \text{ MPa}$$

návrhová únosnost zeminy :

$$R_d = 350 \text{ kPa}$$

- **návrh centricky zatížené základové patky :**

- odhad vlastní tíhy patky : $N_{G0} \approx 0,1 \cdot N_{Ed} = 0,1 \cdot 2000 = 200 \text{ kN}$

- excentricita při odhadované výšce patky : $e = \frac{M}{N} = \frac{M_{Ed,0} + V_{Ed} \cdot h}{N_{Ed} + N_{G0}} = \frac{50 - 20 \cdot 1}{2000 + 200} = 0,0136 \text{ m}$

- požadovaná efektivní plocha : $A_{ef,req} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{R_d} = \frac{2000 + 200}{350} = 6,286 \text{ m}^2$

- půdorysné rozměry patky (návrh čtvercové patky) :

$$A_{ef} = (b - 2e) \cdot l = (b - 2e) \cdot b$$

$$b_{\min} = e + \sqrt{e^2 + A_{ef,req}} = 0,0136 + \sqrt{0,0136^2 + 6,286} = 2,52 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \text{návrh : } \mathbf{b = 2,6 \text{ m}}$$

- vyložení pásu : $a = \frac{b - b_s}{2} = \frac{2,6 - 0,3}{2} = 1,15 \text{ m}$

- napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky:

$$A_{ef} = (b - 2e) \cdot l = (b - 2e) \cdot b = (2,6 - 2 \cdot 0,0136) \cdot 2,6 = 6,689 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{2000}{6,689} = 299 \text{ kPa}$$

- výška patky : $h_F \geq \frac{a}{0,85} \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{gd}}{f_{ctd}}} = \frac{1,15}{0,85} \sqrt{3 \cdot \frac{0,299}{0,96}} = 1,31 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \text{návrh : } \mathbf{h = 1,4 \text{ m}}$

▪ **posouzení základové patky :**

○ skutečná vlastní tíha patky : $N_{G0} = \gamma_G \cdot b^2 \cdot h_F \cdot 24 = 1,35 \cdot 2,6^2 \cdot 1,4 \cdot 24 = 306,634 \text{ kN}$

○ posouzení základové spáry :

$$\sigma_d = \frac{N}{A_{ef}} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{A_{ef}} = \frac{2000 + 306,634}{6,689} = 344,84 \text{ kPa} \leq R_d = 350 \text{ kPa}$$

..... vyhovuje

○ posouzení únosnosti patky na ohyb :

$$\sigma_{ct} = \frac{M}{W} = \frac{1/2 \cdot \sigma_{gd} \cdot l \cdot a^2}{1/6 \cdot l \cdot h^2} = \frac{1/2 \cdot 0,299 \cdot 2,6 \cdot 1,15^2}{1/6 \cdot 2,6 \cdot 1,4^2} = 0,605 \text{ MPa} < f_{ctd} = 0,96 \text{ MPa}$$

..... vyhovuje

Byla navržena patka z prostého betonu o rozměrech 2,6 x 2,6 m a výšky 1,4 m. Takto navržená patka byla posouzena a vyhovuje všem výše zmíněným požadavkům.

PŘÍKLAD Č. 11:

Navrhněte a posuďte ŽB základovou patku čtvercového půdorysu namáhanou normálovou silou, ohybovým momentem a posouvající silou.

beton : C 25/30

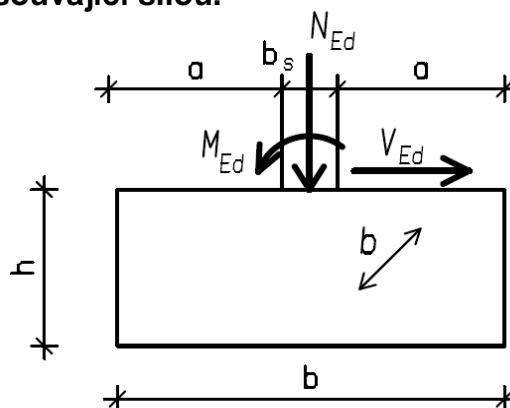
ocel : B 500 B

návrhová únosnost zeminy : $R_d = 350 \text{ kPa}$

zatížení : $N_{Ed} = 2000 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$V_{Ed} = 20 \text{ kN}$



Návrh půdorysných rozměrů patky odpovídá návrhu v příkladu č. 10

- výška základové patky :

$$a = \frac{b - b_s}{2}, \quad \text{vyložení patky}$$

Navrhneme výšku patky pomocí roznášecího úhlu $\phi \approx 45^\circ$. Jelikož nechceme v tomto případě posuzovat patku na protlačení, návrh musí splňovat požadavek $\phi \geq 45^\circ$ (ne vznikne trhlina od hrany sloupu směrem k hraně patky).

$$h \approx \text{tg} 45^\circ \cdot a, \quad \text{návrh výšky ŽB patky} \Rightarrow \text{zaokrouhlo na celé desetiny metru nahoru}$$

Posouzení základové patky – obecné řešení :

- skutečná vlastní tíha patky :

$$N_{G0} = \gamma_G \cdot A_{ef} \cdot h_F \cdot 25, \quad \text{uvažujeme tíhu železobetonu } 25 \text{ kN/m}^3$$

- posouzení únosnosti základové spáry :

$$\sigma_d = \frac{N}{A_{ef}} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{b_{ef}} \leq R_d, \quad \text{porovnání napětí v základové spáře s únosností zeminy}$$

- napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky:

$$\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{ef}}$$

- posouzení únosnosti patky na ohyb – napětí betonu na spodním okraji patky

Posouzení vychází z předpokladu, že se patka v části přesazené oproti nosné konstrukci chová jako konzola. Zjišťujeme napětí na spodním okraji základového pásu a porovnáváme ho s pevností betonu v tahu za ohybu. Ohyb vzniká v důsledku napětí v podzákladí vyvolaného normálovou silou a ohybovým momentem v patě stěny.

- o délka uvažované konzoly : $l_k = a + 0,15 \cdot b_s$

Pro ohybové posouzení železobetonové patky potřebujeme navrhnout výztuž.

- návrh výztuže základové patky :

⇒ krytí výztuže volíme z ohledem na zemní prostředí

$$d = h - c - \phi / 2, \quad \text{účinná výška průřezu}$$

$$m_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot l_k^2, \quad \text{návrhový moment}$$

$$\mu = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}, \quad \text{poměrný ohybový moment, b uvažujeme 1 m}$$

z tabulek ⇒ ξ, ζ , ověříme $\xi \leq \xi_{bal}$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}}, \quad \text{potřebná plocha výztuže}$$

- minimální plocha výztuže – konstrukční zásady

$$a_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d$$

$$a_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}$$

$$a_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s}, \quad \text{kde je } A_{ct} \cong b \cdot \frac{h}{2}, \text{ plocha taženého betonu před vznikem trhlin}$$

⇒ **navrhne konkrétní vyztužení dle statických výpočtů a konstrukčních zásad**

- posouzení únosnosti základové ŽB patky na ohyb :

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}}, \quad \text{skutečná výška tlačené oblasti}$$

$$\xi = \frac{x}{d} \leq \xi_{bal}, \quad \text{skutečná poměrná výška tlačené oblasti}$$

$$z = d - 0,4x, \quad \text{rameno vnitřních sil}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot z \geq m_{Ed} \quad \text{moment únosnosti a jeho porovnání s návrhovým momentem}$$

Pro správný návrh vyztužení je též nutno navrhnout roznášecí výztuž pro přenos příčných tahů pod sloupem, vypočítat kotvení vodorovné výztuže a stykování výztuže svislé.

Řešení příkladu:

- **materiálové charakteristiky:**

beton : **C 25/30**

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,667 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \phi_{ct} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,8}{1,5} = 0,96 \text{ MPa}$$

ocel : **B 500 B**

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

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{m0}} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

návrhová únosnost zeminy :

$$R_d = 350 \text{ kPa}$$

▪ **návrh centricky zatížené základové patky:**

- odhad vlastní tíhy patky : $N_{G0} \approx 0,1 \cdot N_{Ed} = 0,1 \cdot 2000 = 200 \text{ kN}$
- excentricita při odhadované výšce patky : $e = \frac{M}{N} = \frac{M_{Ed,0} + V_{Ed} \cdot h}{N_{Ed} + N_{G0}} = \frac{50 - 20 \cdot 1}{2000 + 200} = 0,0136 \text{ m}$
- požadovaná efektivní plocha : $A_{ef,req} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{R_d} = \frac{2000 + 200}{350} = 6,286 \text{ m}^2$
- půdorysné rozměry patky (návrh čtvercové patky) :
 $A_{ef} = (b - 2e) \cdot l = (b - 2e) \cdot b$
 $b_{\min} = e + \sqrt{e^2 + A_{ef,req}} = 0,0136 + \sqrt{0,0136^2 + 6,286} = 2,52 \text{ m} \Rightarrow \text{návrh : } \mathbf{b = 2,6 \text{ m}}$
- vyložení pásu : $a = \frac{b - b_s}{2} = \frac{2,6 - 0,3}{2} = 1,15 \text{ m}$
- výška patky : $h \approx \text{tg}45^\circ \cdot a = \text{tg}45^\circ \cdot 1,15 = 1,15 \text{ m} \Rightarrow \text{návrh : } \mathbf{h = 1,2 \text{ m}}$

▪ **posouzení ŽB základové patky :**

- skutečná vlastní tíha patky : $N_{G0} = \gamma_G \cdot A \cdot h_F \cdot 25 = 1,35 \cdot 2,6^2 \cdot 1,2 \cdot 25 = 273,78 \text{ kN}$
- posouzení základové spáry při zatížení dostředným tlakem :
 $\sigma_d = \frac{N}{A_{ef}} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{A_{ef}} = \frac{2000 + 273,78}{6,689} = 339,93 \text{ kPa} \leq R_d = 350 \text{ kPa} \quad \dots \text{ vyhovuje}$
- napětí v základové spáře vyvolávající ohyb konzoly základové patky :
 $A_{ef} = (b - 2e) \cdot b = (2,6 - 2 \cdot 0,0136) \cdot 2,6 = 6,689 \text{ m}^2$
 $\sigma_{gd} = \frac{N_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{2000}{6,689} = 299 \text{ kPa}$
- délka uvažované konzoly : $l_k = a + 0,15 \cdot b_s = 1,15 + 0,15 \cdot 0,3 = 1,195 \text{ m}$

Pro ohybové posouzení železobetonové patky potřebujeme navrhnout výztuž.

▪ **návrh výztuže základové patky :**

- krytí ohybové výztuže zvoleno na základě zemního prostředí : $\mathbf{c = 50 \text{ mm}}$
- odhad profilu výztuže : $\mathbf{\varnothing 16 \text{ mm}}$
- účinná výška průřezu : $d = h - c - \phi / 2 = 1200 - 50 - 16 / 2 = 1142 \text{ mm}$
- návrhový ohybový moment : $m_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{gd} \cdot l_k^2 = \frac{1}{2} \cdot 299 \cdot 1,195^2 = 213,49 \text{ kNm} / \text{m}'$
 \Rightarrow poměrný ohyb. moment : $\mu = \frac{m_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{213,49 \cdot 10^3}{1 \cdot 1142^2 \cdot 16,667} = 0,0098$, b uvažujeme 1 m
 \Rightarrow z tabulek : $\xi = 0,013 \leq \xi_{\max} = 0,45$
 $\zeta = 0,995$

$$\circ \text{ požadovaná plocha výztuže : } a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{213,49 \cdot 10^6}{0,995 \cdot 1142 \cdot 434,783} = 432,13 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

Dle statických požadavků je požadované vyztužení nízké, návrh proto bude vycházet z minimální potřebné konstrukční výztuže.

- o minimální plocha výztuže – konstrukční zásady :

$$a_{s,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 1000 \cdot 1142 = 1485 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$a_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = 0,26 \frac{2,6 \cdot 1000 \cdot 1142}{500} = 1543,98 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$A_{ct} \cong b \cdot \frac{h}{2} = 1000 \cdot \frac{1200}{2} = 600000 \text{ mm}^2$$

$$a_{s,min} = \frac{k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\sigma_s} = \frac{0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,6 \cdot 600000}{400} = 1560 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$\Rightarrow \text{ návrh : } \text{Ø 16 mm po 130 mm} \quad a_s = 1547 \text{ mm}^2 / \text{m}' \geq a_{s,req} = 432,13 \text{ mm}^2 / \text{m}' \\ \geq a_{s,min} = 1543 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

▪ **posouzení únosnosti základové patky na ohyb :**

$$\circ \text{ výška tlačené oblasti : } x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1547 \cdot 434,783}{0,8 \cdot 1000 \cdot 16,667} = 50 \text{ mm}$$

$$\circ \text{ poměrná výška tlačené oblasti : } \xi = \frac{x}{d} = \frac{50}{1142} = 0,044 \leq \xi_{max} = 0,45$$

$$\circ \text{ rameno vnitřních sil : } z = d - 0,4x = 1142 - 0,4 \cdot 50 = 1122 \text{ mm}$$

- o moment únosnosti :

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot z = 1547 \cdot 434,783 \cdot 1122 = 754,67 \text{ kNm} / \text{m}' \geq m_{Ed} = 213,49 \text{ kNm} / \text{m}'$$

..... vyhovuje

Pro správný návrh vyztužení je též nutno navrhnout roznášecí výztuž pro přenos příčných tahů pod sloupem, vypočítat kotvení a stykování výztuže.

Byla navržena železobetonová patka o rozměrech 2,6 x 2,6 m a výšky 1,2 m a vyztužení Ø 16 mm po 130 mm. Takto navržená patka byla posouzena a vyhovuje všem výše zmíněným požadavkům.

Poděkování :

Tato práce byla zpracována za finanční podpory projektu FRVŠ 294/2012/G1.