

## 10. cvičení - návrh železobetonového sloupu (3. úkol)

- Napište své parametry do vytištěného zadání a přineste spolu s úkolem
- Napište, že počítáte dle stejných norem, jako v úkolu č. 2

### Ověření rozměrů sloupu

- Než budeme navrhovat výztuž, je nutné ověřit, že průřezová plocha zadaného sloupu je dostatečná pro přenesení síly  $N_{Ed}$  (pokud by nebyla, zadané rozměry **vhodně upravit**).
- Pro tento účel budeme sloup uvažovat jako **dostředně tlačенý**.
- Ověření, že únosnost sloupu v dostředném tlaku  $N_{Rd}$  je větší než síla od zatížení  $N_{Ed}$

$$N_{Rd} = 0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot \sigma_s \geq N_{Ed}$$

kde 0,8 je součinitel zohledňující vliv výstřednosti zatížení (uvažujeme dostředně tlačенý sloup, reálně ale zatížení bude mít určitou výstřednost; to v tomto zjednodušeném výpočtu zohledníme tak, že redukuje plochu sloupu  $A_c$  na 80 %),

$A_c$  je průřezová plocha sloupu,

$f_{cd}$  je návrhová pevnost betonu v tlaku,

$A_s$  je průřezová plocha výztuže sloupu,

$\sigma_s$  je napětí ve výztuži.

První sčítanec  $0,8 \cdot A_c \cdot f_{cd}$  vyjadřuje únosnost betonu, druhý sčítanec  $A_s \cdot \sigma_s$  únosnost výztuže. Plochu výztuže můžeme vyjádřit jako určitý podíl plochy betonu pomocí vztahu:

$$A_s = \rho_s \cdot A_c$$

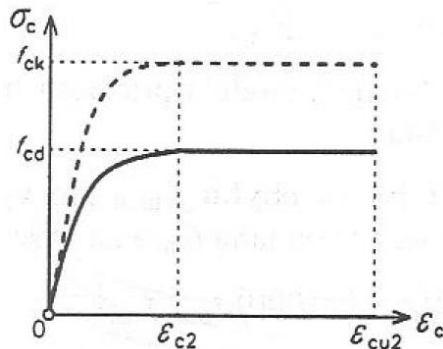
kde  $\rho_s$  je stupeň vyztužení, pro náš návrh budeme předpokládat zhruba  $\rho_s = 0,015$  až  $0,03$  (tzn. plocha výztuže tvoří 1,5 - 3 % plochy průřezu).

- Úpravou dostaneme vztah pro **potřebnou plochu betonu**.

$$A_c \geq \frac{N_{Ed}}{0,8 \cdot f_{cd} + \rho_s \cdot \sigma_s}$$

Výsledek porovnáme se zadanou plochou. Je-li zadaná plocha menší, je nutno zvětšit průřez.

- Je důležité vědět, **jakou hodnotu napětí ve výztuži dosadit a proč**. Pevnosti betonu  $f_{cd}$  je dosaženo v okamžiku, kdy podle idealizovaného parabolicko-rektangulárního pracovního diagramu (viz níže) je přetvoření betonu rovno  $\epsilon_{c2} = 0,002$ .



Průřez je čistě tlačný. Jelikož přetvoření betonu i oceli musí být stejné, je v tomto okamžiku napětí ve výztuži rovno  $\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s$ . Pro výztuž s modulem pružnosti  $E_s = 200 \text{ GPa}$  je tedy  $\sigma_s = 0,002 \cdot 200000 = 400 \text{ MPa}$ . Pokud je návrhová hodnota meze oceli větší než 400 MPa (což je náš případ, máme ocel B 500 B), dosazujeme  $\sigma_s = 400 \text{ MPa}$ . Pokud bychom měli ocel s mezí kluzu menší než 400 MPa, dosadili bychom  $\sigma_s = f_{yd}$ .

## Návrh výztuže

- Návrh provedeme pomocí **nomogramů** (viz web) – grafů, které určují, jaké množství výztuže je potřebné ve sloupu zatíženém určitou kombinací normálové síly a ohybového momentu.
- Nejprve **zvolíme nomogram**, který použijeme:
  - Navrhujeme obdélníkový **symetricky vyztužený** průřez namáhaný momentem  $m$  v jednom směru, takže nás budou zajímat nomogramy 12.1 až 12.3.
  - Odhadneme hodnotu vzdálenosti těžiště výztuže od hrany průřezu  $d_1$ . Odhadneme profil hlavní výztuže (orientačně  $\varnothing_s = 18 - 25 \text{ mm}$ ), profil třmínek (orientačně  $\varnothing_{tr} = 6 - 12 \text{ mm}$ , musí platit  $\varnothing_{tr} \geq 0,25 \cdot \varnothing_s$ ). Krytí převezmeme z předchozího úkolu:

$$d_1 = c + \varnothing_{tr} + \frac{\varnothing_s}{2}$$

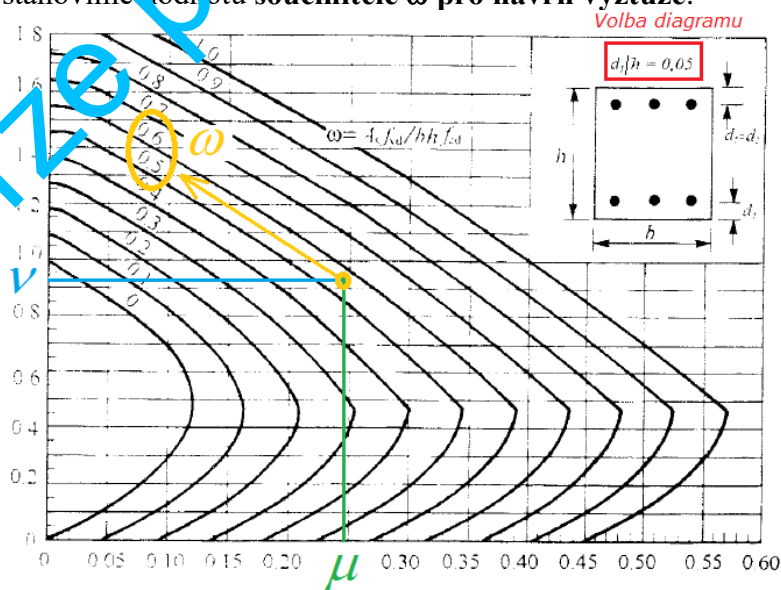
- Podle hodnoty  $d_1/h$  zvolíme nejvhodnější nomogram.
- Spočteme poměrné využití betonového průřezu **normálovou silou** (čteme [ný]):

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

- Spočteme poměrné využití betonového průřezu **ohybovým momentem** (čteme [mí]):

$$\mu = \frac{N_{Ed} \cdot e}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}$$

- Z nomogramu stanovíme hodnotu **součinitele  $\omega$  pro návrh výztuže**:



Stará verze podkladů dle EC2 2010

- Vyjde-li  $\omega > 1$ , je nutno zvětšit plochu průřezu nebo zvýšit třídu pevnosti betonu.
- **Potřebná plocha výztuže** ve sloupu je (na každou stranu umístíme **polovinu** nutné výztuže):

$$A_{s,req} = \frac{\omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}}{f_{yd}}$$

- Plocha navržené výztuže  $A_{s,prov} \geq A_{s,req}$  musí splnit **konstrukční zásady**:

$$A_{s,prov} \geq A_{s,min} = \max\left(0,1 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}; 0,002 \cdot A_c\right)$$

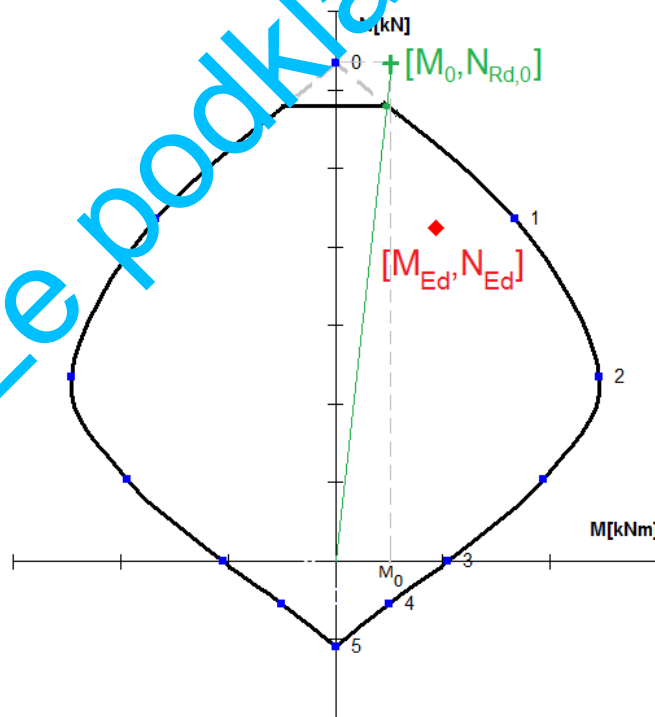
$$A_{s,prov} \leq A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c$$

$$\varnothing_s \geq 12 \text{ mm}$$

- Navrhne profil a počet prutů výztuže. V rámečku bude zřetelně napsáno „Návrh:  $n \times \varnothing_s$  ( $A_{s,prov} = \dots \text{ mm}^2$ )“ (tedy například **Návrh: 6x Ø16 ( $A_{s,prov} = 1206 \text{ mm}^2$ )**)

## Posouzení návrhu

- Výztuž sloupu posuzujeme pomocí **interakčního diagramu** (čile ID). Body uvnitř ID (nebo na křivce ID) představují všechny možné kombinace normálové síly a ohybového momentu, které je daný sloup schopen přenést (splňují podmínku únosnosti).
- Pokud bod  $[M_{Ed}, N_{Ed}]$  odpovídající návrhovému zatížení sloupu leží uvnitř plochy ohraničené křivkou, návrh vyhovuje. Pokud bod je vně ID, je nutno návrh změnit.



*Příklad interakčního diagramu symetricky vyztuženého sloupu. Bod  $[M_{Ed}, N_{Ed}]$  je uvnitř ohraničené plochy, takže daný sloup z hlediska únosnosti VYHOVUJE.*

- Interakční diagram lze sestavit pomocí **6 základních bodů** daných souřadnicemi  $[M_{Rd,i}; N_{Rd,i}]$ :
  0. dostředný tlak
  1. neutrální osa prochází jednou řadou výztuže - většina průřezu tlačena
  2.  $x = x_{bal,1} \dots$  tažená výztuž právě na mezi kluzu ( $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$ )
  3. prostý ohyb
  4. neutrální osa prochází druhou řadou výztuže - většina průřezu tažená
  5. dostředný tah

**Vztahy** pro výpočet jednotlivých bodů lze sestavit pomocí pomůcky na webu - také viz přednášky.

- Každý bod interakčního diagramu je definován dvojicí hodnot  $[M_{Rd,i}; N_{Rd,i}]$  výpočet těchto hodnot vychází ze silové, resp. momentové podmínky rovnováhy na průřezu:

$$N_{Rd,i} = \sum F_i$$

$$M_{Rd,i} = \sum (F_i \cdot z_i)$$

*POZN.: Momentová podmínka rovnováhy se vyčísľuje k těžištné ose průřezu.*

- Hodnota síly v betonu (pouze v tlaku) je dána vždy součinem hodnoty idealizovaného napětí  $\sigma_c = f_{cd}$  a plochy, na které dané napětí působí.
- Hodnota síly ve výztuži je dána součinem napětí ve výztuži  $\sigma_{s,i}$  a průřezové plochy výztuže  $A_{s,i}$ . Napětí ve výztuži  $\sigma_{s,i}$  vychází z konkrétního přetvoření dané vrstvy výztuže  $\varepsilon_{s,i}$ :
  - pokud  $\varepsilon_{s,i} \geq \varepsilon_{yd}$ , pak platí:  $\sigma_{s,i} = f_{yk}$
  - pokud  $\varepsilon_{s,i} \leq \varepsilon_{yd}$ , pak platí:  $\sigma_{s,i} = E_s \cdot \varepsilon_{s,i}$

### Omezení normálové únosnosti.

- Nikdy nelze uvažovat čisté dostředný tlak, z důvodu náhodných excentricit je nutno omezit max. normálovou únosnost.
- Spočteme minimální excentricitu  $e_0 = \max(h/30; 20 \text{ mm})$ , kde  $h$  je výška průřezu
- Spočteme odpovídající ohybový moment  $M_0 = N_{Rd,0} \cdot e_0$
- Vyneseme bod  $[M_0, N_{Rd,0}]$  a spojíme polopřímku s počátkem.
- V místě průsečíku polopřímky s interakčním diagramem uřízneme „špičku“ interakčního diagramu (vodorovná úsečka omezující normálovou únosnost).

### Postup posouzení ve cvičení:

- Spočítejte souřadnice bodů ID. U každého výpočtu souřadnic **nakreslete průběh přetvoření a rozdělení sil** (napětí) v průřezu - viz přednášky a pomůcka na webu.
- Spočítejte **omezení normálové únosnosti**.
- Vyneste spočtené body do grafu a spojte křivkou (případně úsečkami - na straně bezpečnosti). Polohu jednotlivých bodů vynásejte v měřítku (měřítko si zvolte podle vlastního uvážení).
- Vyneste bod  $[M_{Ed}, N_{Ed}]$ , kde  $M_{Ed} = F_d \cdot e$  a  $N_{Ed} = F_d + G_{0,d}$ .
- Pokud daný bod leží uvnitř plochy vymezené ID, sloup pro zadané zatížení vyhovuje.
- Pokud sloup nevyhoví, hledejte chybu a potom konzultujte se cvičícím - bude nutná úprava vyztužení nebo dodatečná změna průřezu.

### Schéma výztuže

- Nakreslete **jednoduché schéma výztuže sloupu** (podélný a příčný řez, kóty, popis).
- Podélná výztuž sloupu bude navržena v podobě samostatných prutů stykovaných přesahem s výztuží vycházející ze základu. Délku přesahu  $l_{0d}$  uvažujte jako 1,5 násobek návrhové kotevní délky - kotevní délku spočítejte stejně jako u výztuže trámů, pro svislou výztuž se uvažují dobré podmínky soudržnosti:

$$l_{0d} = 1,5 \cdot k \cdot \varnothing_s$$

- V případě, že by přesahová délka překročila polovinu délky sloupu (možné zejména u nižších sloupů), je možné podélnou výztuž sloupu navrhnout jako pokračování výztuže vycházející ze základu  $\Rightarrow$  odpadá problém stykovaní výztuže.

### Třmínky sloupu:

- Ve sloupu je potřeba kromě podélné výztuže navrhnout také příčnou výztuž v podobě třmínek. Ty neslouží primárně k přenosu posouvající síly, ale fixují polohu podélné výztuže a zabraňují jejímu příčnému vybočení.
- Profil třmínků odvolneme (6 – 12 mm), musí být alespoň  $\frac{1}{4}$  profilu svislé výztuže sloupu.
- **Základní osnova vzdálenost** třmínek se určí podle vztahu:

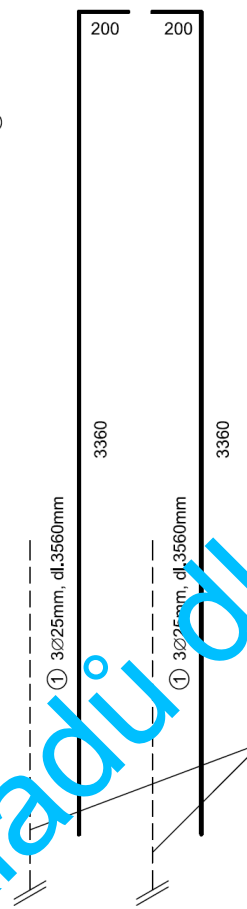
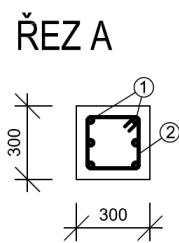
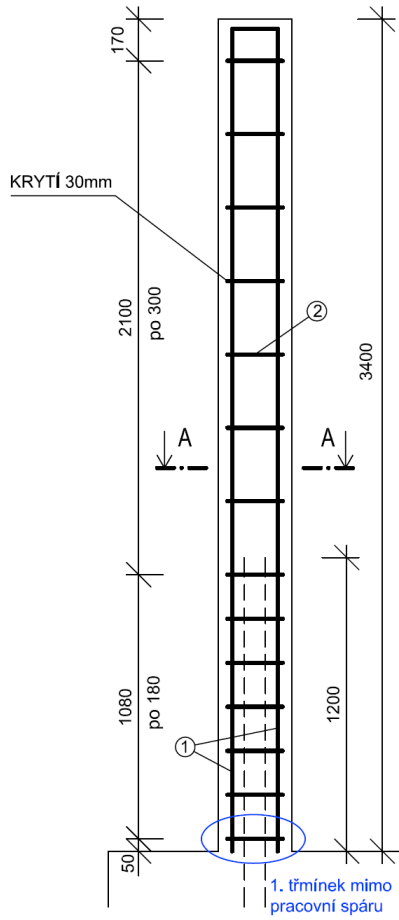
$$s_1 \leq \min(15 \cdot \varnothing_s; \min(b; h); 300 \text{ mm}),$$

kde  $\varnothing_s$  je profil hlavní výztuže sloupu, nikoliv profil třmínek!!!)

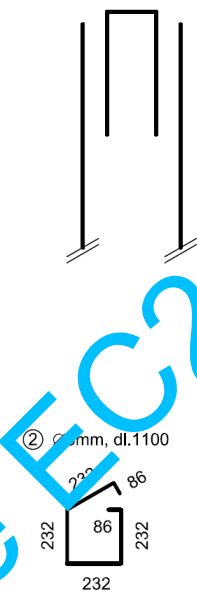
**Pozn.:** Uvedené hodnoty vycházejí z české Národní přílohy, obecně je v EC2 uvedeno  $20 \cdot \varnothing$  a 400 mm.

- **V oblasti stykovaní podélné výztuže přesahem a v oblasti  $\max(b, h)$  nad a pod případným trámem** je nutno třmínky zahustit na vzdálenost  $s_2 = 0,6 \cdot s_1$ .

Stará verze podkladů dle EC2 2010



alternativní zakončení



viz výkres výztuže základové patky