

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

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

kde 0,8 je součinitel zohledňující vliv výstřednosti zatížení (uvažujeme čistě tlačný sloup, reálně ale zatížení bude mít nějakou 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,

σ_s je napětí ve výztuži.

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

$$A_s = \rho_s A_c$$

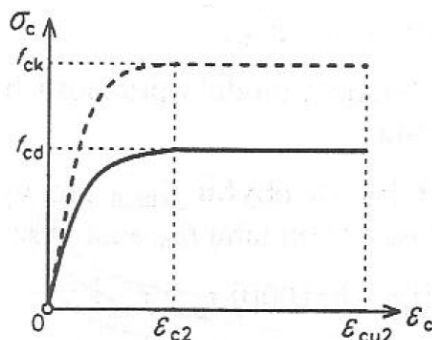
kde ρ_s je stupeň vyztužení, pro náš návrh budeme předpokládat zhruba $\rho_s = 0,015$ až $0,03$ (tzn. plocha výztuže tvoří 1,5 – 3 % plochy průřezu).

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

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

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 $\sigma_s = \varepsilon_{c2} E_s$. 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 kluzu oceli větší než 400 MPa (což je náš případ, máme ocel B500B), 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 v jednom směru, takže nás budou zajímat nomogramy 12.1 – 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 $\varnothing_{tr} \geq 0,25\varnothing_s$). Krytí převezmeme z předchozího úkolu:

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

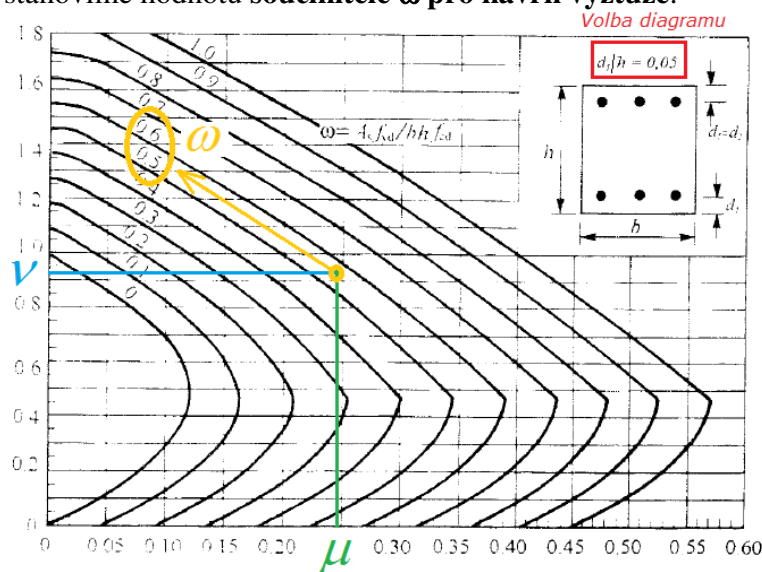
- Podle hodnoty d_1/h zvolíme nejvhodnější nomogram.
- Spočteme poměrné využití betonového průřezu **normálovou silou** (čteme [ný]):

$$\nu = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}}$$

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

$$\mu = \frac{N_{Ed} e}{bh^2 f_{cd}}$$

- Z nomogramu stanovíme hodnotu **součinitele ω pro návrh výztuže**:



- $$A_{s,\text{req}} = \frac{wbhf_{cd}}{f_{yd}}$$

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

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

- ## Posouzení návrhu

-

Příklad interakčního diagramu symetricky vyztuženého sloupu. Bod $[M_{Ed}, N_{Ed}]$ je uvnitř ohraničené plochy, takže daný sloup je schopen přenést návrhové zatížení.

- Interakční diagram lze sestavit pomocí **6 základních bodů** daných souřadnicemi $[M_i, N_i]$:

0. Dostředný tlak
1. Nulové přetvoření tažené výztuže (celý průřez tlačén)
2. $x = x_{bal,1}$
3. Prostý ohyb
4. Nulové přetvoření tlačené výztuže (celý průřez tažen)
5. Dostředný tah

Vztahy pro výpočet jednotlivých bodů naleznete ve **vzorovém příkladu na webu**, odvození je součástí přednášek.

- **Omezení normálové únosnosti**
 - Nikdy nelze uvažovat čistě dostředný tlak, je nutno omezit max. normálovou únosnost.
 - Spočteme minimální excentricitu $e_0 = \max(h/30; 20 \text{ mm})$.
 - Spočteme odpovídající ohybový moment $M_0 = N_{Rd,0} \cdot e_0$.
 - Vyneseme bod $[M_0, N_{Rd,0}]$ a spojíme s počátkem.
 - Od průsečíku spojnice s interakčním diagramem vedeme vodorovnou přímkou, která omezí normálovou únosnost.
- **Postup posouzení v našem cvičení**
 - Spočtete souřadnice bodů ID. U každého výpočtu souřadnic **nakreslete průběh přetvoření a rozdělení sil** v průřezu (viz přednášky).
 - Spočtete **omezení normálové únosnosti**.
 - Vyneste spočtené body do grafu, spojte křivkou (případně spojení úsečkami mezi vypočtenými body omezuje menší plochu, je tedy na straně bezpečnosti). Kreslete v měřítku (měřítko si zvolte podle vlastního uvážení).
 - Vyneste bod $[M_{Ed}, N_{Ed}]$ kde $M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e$
 - Pokud daný bod leží uvnitř plochy vymezené ID, sloup pro zadané zatížení vyhovuje.
 - Pokud sloup nevyhoví, hledejte chybu a potom konzultujte se cvičícím.

Schéma výztuže

- Nakreslete **jednoduché schéma výztuže sloupu** (svislý a vodorovný řez, kóty, popis) – stačí od ruky do statického výpočtu, ale v měřítku. Příklad vyztužení sloupu v pomůckách na webu neodpovídá vašemu zadání, ve cvičení zadaný sloup je samostatný prvek bez spojení s průvlakem a dalším sloupem - neobkreslujte bez rozmyšlení!
- **Třmínky sloupu**
 - Profil odhadneme (6 – 12 mm), musí být alespoň $\frac{1}{4}$ profilu svislé výztuže sloupu.
 - Ve **střední oblasti sloupu** se osová vzdálenost třmínků určí podle vztahu ($\emptyset_s$ je profil hlavní výztuže sloupu, nikoliv profil třmínků!!!)
$$s_1 \leq \min(15\emptyset_s; \min(b; h); 300 \text{ mm})$$

Pozn. Uvedené hodnoty vycházejí z české Národní přílohy, obecně je v EC2 uvedeno $20 \emptyset$ a 400 mm.
 - V **oblasti stykování výztuže přesahem a v oblasti $\max(b, h)$ nad a pod trámem** je nutno třmínky zahustit na vzdálenost $s_2 = 0,6s_1$.
 - Délku přesahu l_{0d} zjednodušeně uvažujte jako 1,5 násobek kotevní délky, kotevní délku spočtete stejně jako u výztuže trámu, pro svislou výztuž se uvažují dobré podmínky soudržnosti.