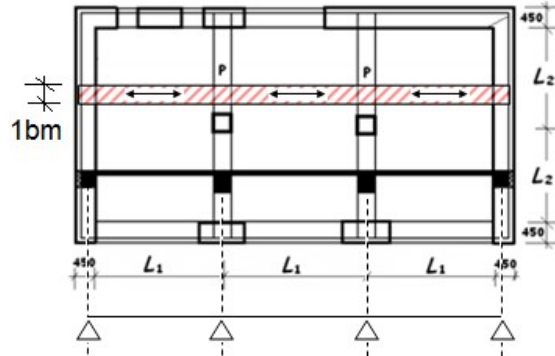
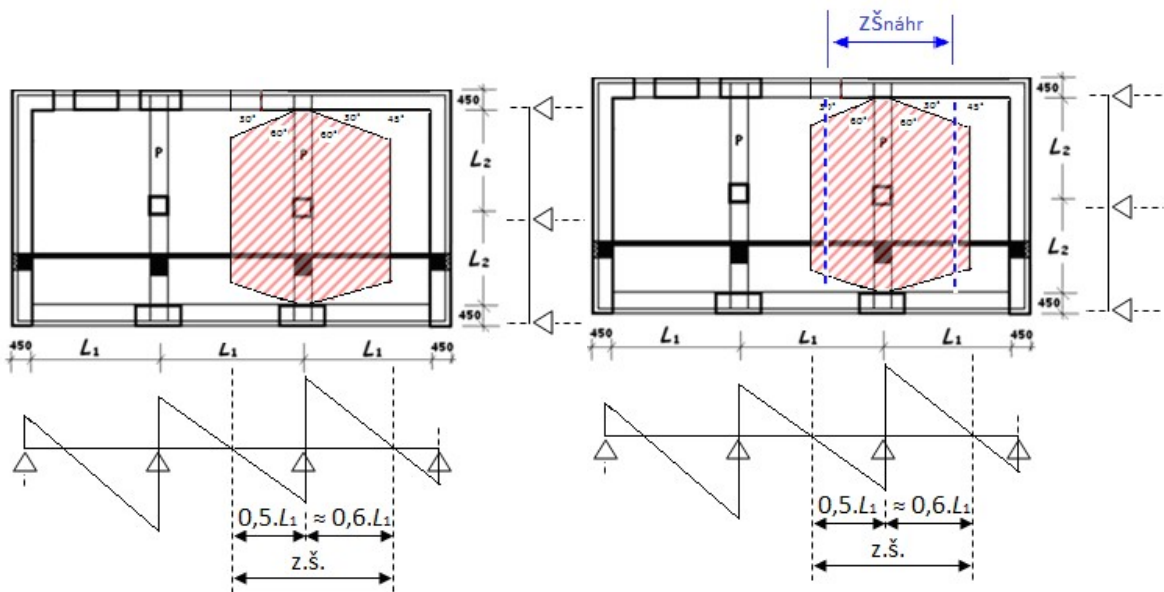


9. cvičení – Sloup

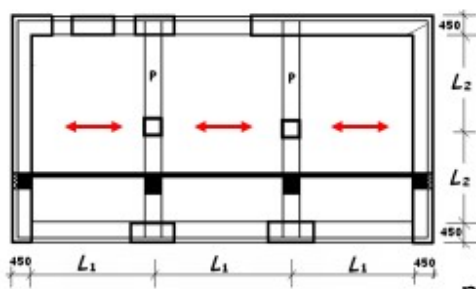
Pro cvičení byl vybrán sloup konstrukce s jednosměrně pnutou deskou ze zadání 1 – varianta A.



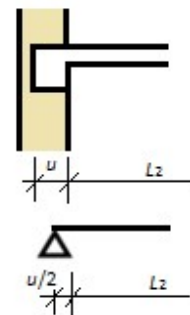
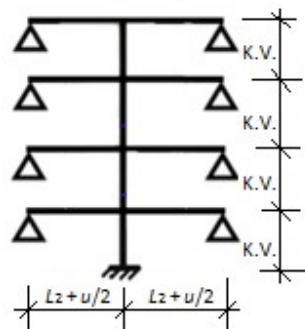
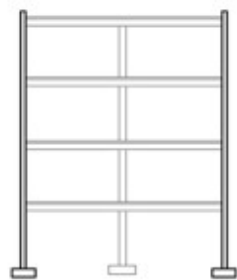
Obr. 1



Obr. 2



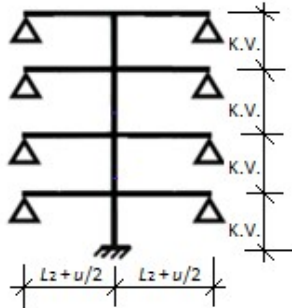
příčný rám



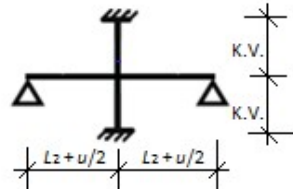
Obr. 3

Je možné vyšetřovat buď celý rám (zahrnuje všechny stropní a střešní desku + sloupy) nebo zjednodušeně počítat tzv. rámový výsek (zahrnuje jednu stropní desku + sloupy pod a nad touto deskou, sloupy se vetknou do základové konstrukce a stropní deska nad deskou NP).

příčný rám

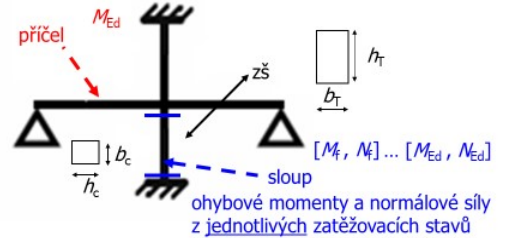


rámový výsek



příčel = průvlek, sloup → RÁMOVÁ KONSTRUKCE
výpočet ohybových momentů a normálových sil

ohybové momenty z obálky zatěžovacích stavů



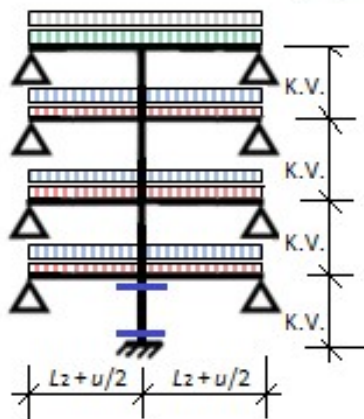
Obr. 4

Průřezem příčle je nosník o rozměrech $b_T \times h_T$, navržený v předběžném návrhu zadání 1, varianta A. Průřezem sloupu je čtverec nebo obdélník navržený v předběžném návrhu zadání 1, varianta A. Délky prutů jsou patrné z obrázku, délka příčle odpovídá rozpětí L_2 , délka sloupů konstrukční výšce pater. Z celého rámu nebo z rámového výseku stanovíte hodnoty ohybových momentů a posouvajících sil pro příčle, hodnoty normálových sil a ohybových momentů pro sloupy. Pro zadání tohoto cvičení je třeba počítat dva zatěžovací stavy.

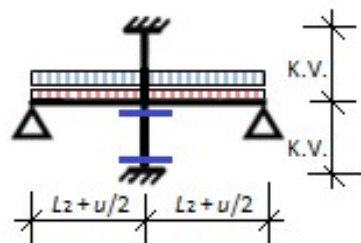
Pozn.: Při větším počtu polí je třeba počítat patřičný počet dalších zatěžovacích stavů – pohybovat proměnným zatížením po konstrukci.

- **plné svislé zatížení** (z příslušné náhradní zatěžovací šířky) všude

příčný rám



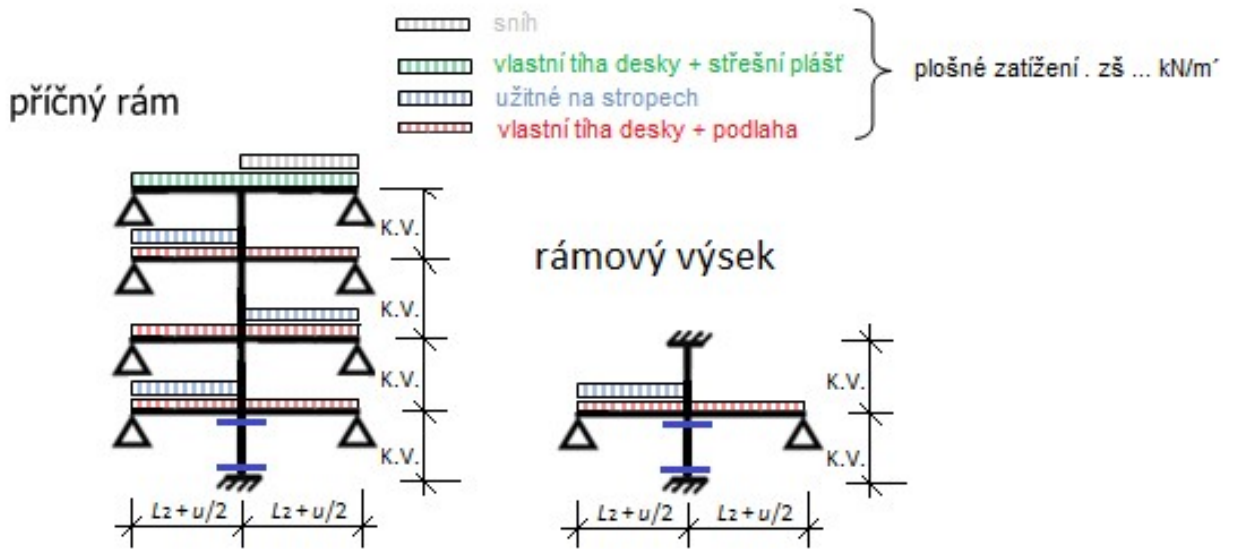
rámový výsek



- sníh
 - vlastní tíha desky + střešní plášť
 - užitné na střepech
 - vlastní tíha desky + podlaha
- } plošné zatížení. zš ... kN/m²

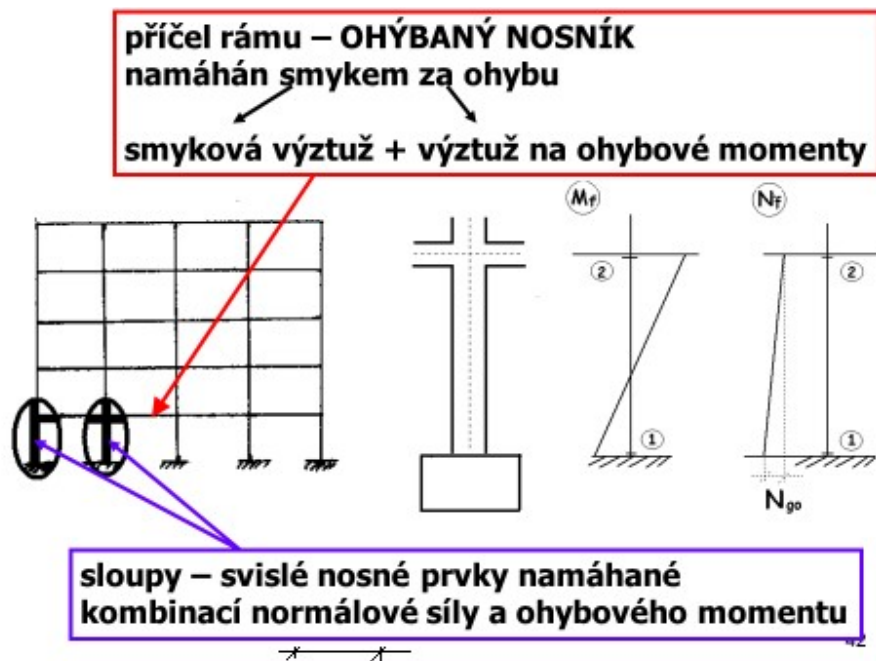
Obr. 5

- stálé v obou polích + proměnné jen v jednom poli – šachovnicovitě rozděleno po patrech



Obr. 6

Pro ohýbanou příčel rámu se takto stanoví obálka ohybových momentů (pro dimenzování ohybové výztuže) a průběh posouvajících sil pro dimenzování smykové výztuže.



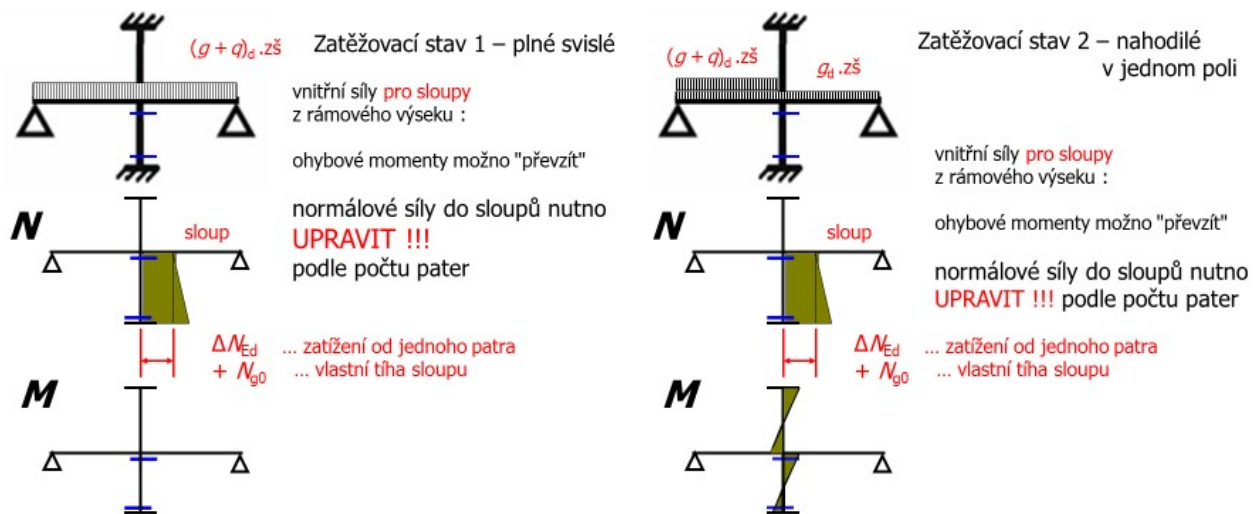
Obr. 7

Pro sloup nás zajímají hodnoty normálových sil a ohybových momentů pro patní průřez ... 1 a průřez v hlavě sloupu ... 2 (pod stropní deskou). Hledáme hodnoty N_f a M_f (účinky zatížení spočtené na nedeformované konstrukci – účinky 1. řádu) vždy zvlášť pro jednotlivé zatěžovací stavy. Nehledáme

totiž pouze největší hodnoty, hledáme vždy příslušné (k sobě patřící) **dvojice vnitřních sil** [N_F ; M_F] z příslušného zatěžovacího stavu.

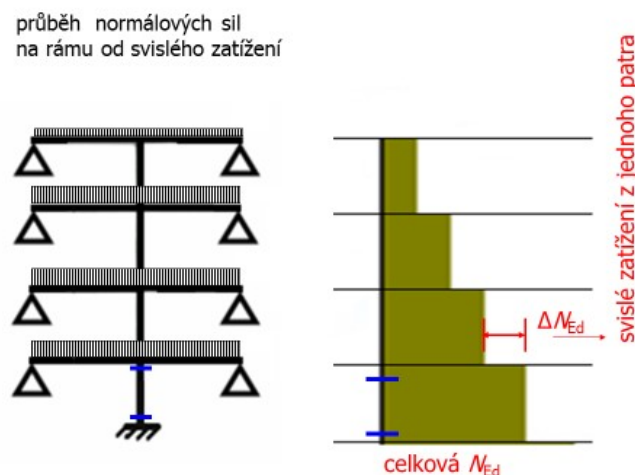
Pro účely cvičení předmětu budeme dimenzovat jen sloup → zajímají nás proto vnitřní síly hlavně pro sloup. Příčel na ohyb a smyk dimenzovat v rámci cvičení předmětu BZA2 nebudeme, rozměr příčle byl ověřen v předběžném návrhu. V rámci cvičení, pro účely kontroly správnosti hodnot, obálku ohybových momentů a posouvající síly vykreslete. Pečlivě vykreslete a zaznamenejte hodnoty normálových sil a ohybových momentů pro sloup a dva uvedené zatěžovací stavy.

Pokud budete počítat pouze rámový výsek, bude třeba normálové síly pro sloup u základové konstrukce upravit s ohledem na počet stropních desek a střešní desku.



Obr. 8 Průběh normálových sil a ohybových momentů na sloupu rámového výseku

Průběh ohybových momentů na příčli není v obrázcích vykreslen.



Obr. 9 Průběh normálových sil na rámu zatěžovací stav plně svislé zatížení v obou polích

Vypočtené vnitřní síly pro sloup pod deskou 1NP je pro přehlednost vhodné uspořádat do tabulky. Např.:

vnitřní síly pro posouzení sloupu					
	zatěžovací stav 1		zatěžovací stav 2		...
	M_f	N_f	M_f	N_f	
horní průřez	
dolní průřez	

vnitřní síly od zatížení na nedeformované konstrukci –
účinky prvního řádu

Účinky zatížení 1. řádu ... stanovené na nedeformované konstrukci, je třeba pro posouzení upravit. Je třeba vždy počítat s nepřesnostmi a odchylkami – vyjádřeno pomocí tzv. geometrických imperfekcí, neboli náhodných výstředností. Hodnoty náhodných výstředností vždy přičítáme k výstřednostem od zatížení.

Geometrické imperfekce

- Reálná konstrukce nikdy nemá ideální geometrii, kterou jsme uvažovali při výpočtu vnitřních sil pomocí softwaru. **Odchyšky v geometrii konstrukce**, které způsobují přidavné namáhání, budou zohledněny formou geometrické imperfekce:

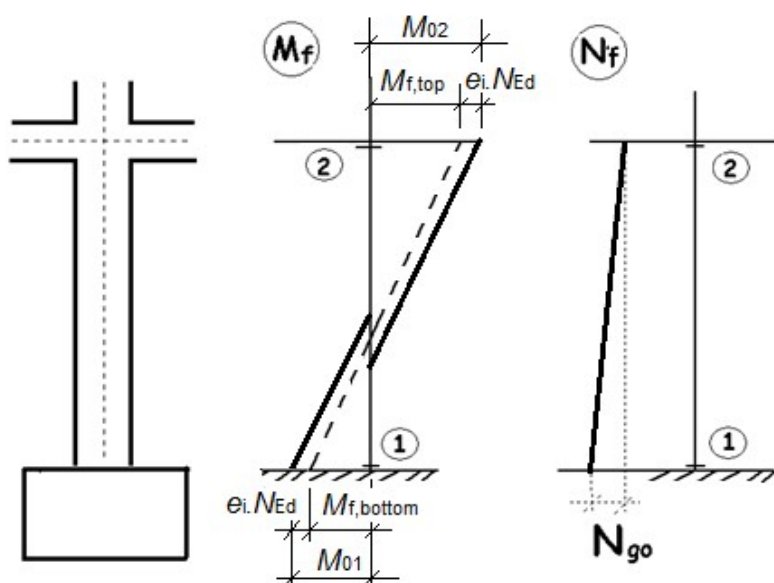
$$e_i \geq \frac{l_0}{400}$$

l_0 je účinná délka sloupu (tzv. vzpěrná délka tlačného prutu) ... pro účely cvičení předpokládáme ztuženo konstrukci, tedy rám s neposuvnými styčníky ... $l_0 \approx 0,8 \cdot l_{col}$, kde l_{col} je délka sloupu = K.V.

- Ohybový moment od geometrické imperfekce** v daném průřezu je:

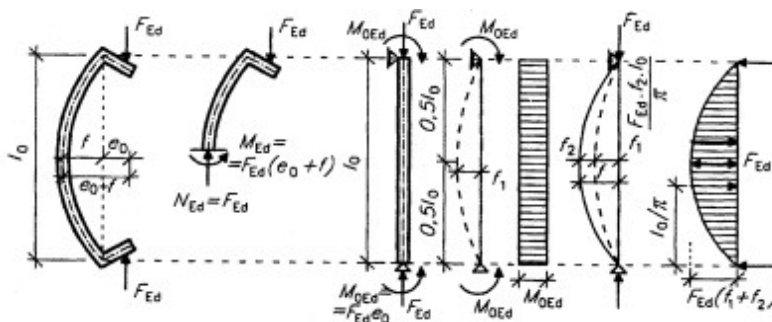
$$M_{imp} = N_{Ed} e_i$$

- Ohybový moment I. řádu** zahrnující účinky geometrických imperfekcí v daném průřezu je:



- Účinky 1. řádu**
vyšetřujeme na nedeformované konstrukci, ale s uvažováním tzv. geometrických imperfekcí (odchyšky střednice od svislé polohy)
=> vnitřní síly od zatížení M_f a N_f

Dále je třeba uvážit štíhlost sloupu a případný vliv vodorovné deformace, nebo-li účinky 2. řádu.



• Účinky 2. řádu

nutno počítat u tzv. štíhlých prutů, kde hrají roli přídavné účinky zatížení vyvolané vodorovnou (podélnou) deformací svislého tlačného prutu

Štíhlost sloupu

- Štíhlost navrženého sloupu je:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}, \text{ pro obdélníkový průřez } \lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot l_0}{h}$$

i je poloměr setrvačnosti průřezu, $i = \sqrt{\frac{I}{A_c}}$, A_c je průřezová plocha sloupu, I je moment setrvačnosti ve vyšetřovaném směru.

- Provedeme stanovení limitní štíhlosti λ_{lim} podle vztahu:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \leq 75$$

pro $|n| \geq 0,41$ je doporučeno omezení $\lambda_{lim} = 25$

kde n je poměrná normálová síla, $n = N_{Ed}/A_c f_{cd}$, A_c je průřezová plocha sloupum
 A je vliv dotvarování betonu, bezpečně uvažujeme $A = 0,7$,
 B je vliv stupně vyztužení podélnou výztuží, bezpečně uvažujeme $B = 1,1$,
 C je vliv ohybových momentů, uvažujeme bezpečně $C = 0,7$.

- **Posoudíme**, zda je štíhlost našeho sloupu menší, než limitní štíhlost, tj. zda platí:

$$\lambda \leq \lambda_{lim}$$

Pokud nevyjde, sloup je nutno posuzovat jako štíhlý (tzn. s uvažáním momentů 2. řádu vyvolaných deformací konstrukce).

určení limitní štíhlosti:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$, poměrná normálová síla

Bezpečně:

A ... vliv dotvarování betonu $A = 0,7$

B ... vliv výztuže $B = 1,1$

C ... vliv zatížení $C = 0,7$

Obvykle příliš konzervativní!

kriterium : $\lambda \sim \lambda_{lim}$

- sloupy masivní $\lambda < \lambda_{lim}$
 - účinky zatížení zůstávají konstantní
 - přidává se pouze excentricita náhodná ... ϵ_1
 - => zvětší se ohybový moment
- sloupy štíhlé $\lambda \geq \lambda_{lim}$
 - nutno snížit únosnost sloupu NEBO
 - účinky zatížení zvětšit o vliv průhybu prutu ... ϵ_2 i vliv imperfekcí ... ϵ_1
 - => zvětší se ohybový moment
- sloupy velmi štíhlé $\lambda > \sim 140 - 150$
 - vliv deformace sloupu je obrovský
 - pro jejich řešení je třeba použít speciální metody

Pro sloupy masivní se započítává pouze excentricita náhodná, pro sloupy štíhlé je třeba stanovit navíc ještě excentricitu druhého řádu ... e_2 .

Pro stanovení excentricity druhého řádu norma poskytuje dvě zjednodušené metody:

- metodu jmenovité křivosti;
- metodu jmenovité tuhosti.

Podrobný výpočet štíhlých sloupů ve cvičení provádět nebudeme.

Po konzultaci s vyučujícím vliv štíhlosti pro Vaši konstrukci zohledníte zvýšením ohybového momentu odhadem o zhruba 20 – 30%.

posouzení štíhlého sloupu pomocí interakčního diagramu pro masivní průřez

- $N_{Ed} = N_f$ – síla od zatížení zůstává stejná
- M_{Ed} – zohlednění vlivu štíhlosti prutu zvětšením excentricity od zatížení
- $e_f = M_f / N_f$... **excentricita od zatížení** (teorie 1.řádu)
- e_i ... **excentricita náhodná** (zjednodušeně $e_i = l_0 / 400$)
(vliv nepřesností provádění - imperfekce)
- e_2 ... **excentricita** vyvolaná vodorovným průhybem svislého prutu – tedy **vlivem štíhlosti** (teorie 2.řádu)
- celková výstřednost $e_0 = e_f + e_i + e_2$
 $M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_0 = N_{Ed} \cdot (e_f + e_i + e_2)$

výpočet zvětšené výstřednosti ohybového momentu pro štíhlý sloup podle EN

$$e_0 = (e_f + e_i)$$

náhodná excentricita (imperfekce)

excentricita od zatížení

ohybový moment 1. řádu s vlivem imperfekcí

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

ohybový moment 2. řádu

$$M_{0Ed} = N_{Ed} \cdot e_0 \quad M_2 = N_{Ed} \cdot e_2$$

vodorovný průhyb sloupu = výstřednost 2.řádu

zjednodušený postup pro cvičení BZA2

- konstrukce ztužená
- $h_0 =$ přibližně $0,8 \cdot l_{col}$
(l_{col} ... délka prutu resp. výška sloupu)
- určení štíhlosti $\lambda = h_0 \cdot \sqrt{12} / h$
- určení limitní štíhlosti $\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot \sqrt{n}$
- srovnání $\lambda \sim \lambda_{lim}$

$$\lambda \leq \lambda_{lim} \Rightarrow \text{sloup masivní ... určit } e_0 = e_f \text{ a } e_i$$

$$\lambda > \lambda_{lim} \Rightarrow \text{sloup štíhlý}$$

pro štíhlý sloup odhadem zvětšit excentricitu e_0 o 20 – 30%

(POUZE pro účely tohoto cvičení !!!)

- Pro **posouzení sloupu** je tedy třeba momenty 1. řádu ve všech kombinacích zvětšit o hodnotu M_{imp} a v případě štíhlých sloupů i o M_2 .
- Zápisy proveďte formou nejlépe tabulky – například:

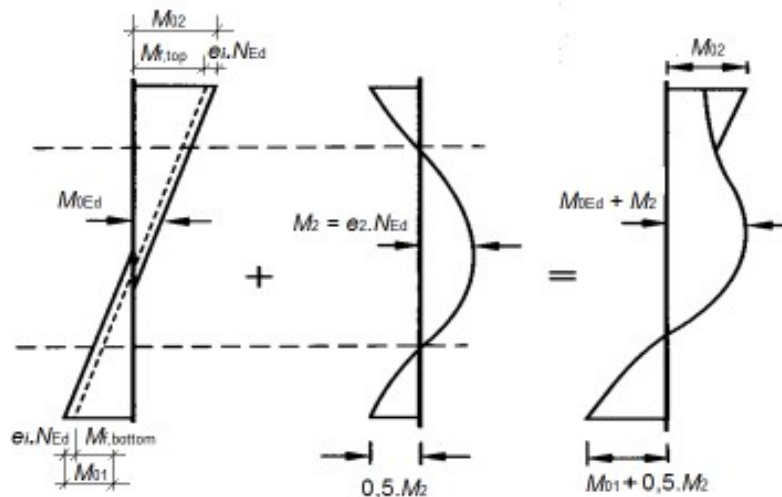
zatěžovací stav č. 1									
	M_f	$N_f = N_{Ed}$	$e_f = \frac{M_f}{N_f}$	$e_i = \frac{l_0}{400}$	$(e_f + e_i)$	momenty s vlivem imperfekcí	$e_2 \approx 0,2 \cdot (e_f + e_i)$ pro štíhlé sloupy	$M_2 \approx N_{Ed,bot} \cdot e_2$	rozhodující moment
horní průřez	M_{f2} ($M_{f,top}$)	N_{f2}$	...	...	...	M_{02} = M_{Ed,top} + e_i \cdot N_{Ed}$	x	...	M_{02}
průřez ve střední pětině výšky sloupu	x	x	x	x	x	$M_{0Ed} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01}$ $\geq 0,4 \cdot M_{02}$	x	...	$M_{0Ed} + M_2$
dolní průřez	M_{f1} ($M_{f,bottom}$)	N_{f1}$	...	...	...	M_{01} = M_{Ed,bot} + e_i \cdot N_{Ed}$	...	...	$M_{01} + 0,5 \cdot M_2$

Poznámky:

- e_2 stanovíme pouze **přibližně** podle patního průřezu a budeme ji uvažovat ve všech průřezích stejnou hodnotou
- rozhodující moment pro návrh a posouzení výztuže sloupu

$$M_{Ed,rozhod} = \max(M_{02}; M_{0Ed} + M_2; M_{01} + 0,5 \cdot M_2)$$

rozhodující průřez (maximální moment) pro sloup rámu:



$$M_{Ed} = \max(M_{0Ed} + M_2; M_{02}; M_{01} + 0,5 M_2)$$

Návrh podélné výztuže sloupu

- Výztuž navrhne dvěma způsoby:
 - Z **nomogramu** (viz BZA1, nomogramy viz web) stanovíme hodnotu součinitele ω . Hodnoty b a h jsou šířka a výška průřezu, $M_{Ed,I}$ a N_{Ed} jsou hodnoty vnitřních sil z jednotlivých kombinací. Vyzkoušíme všechny kombinace zatěžovacích stavů a pro další výpočet uvažujeme nejvyšší získanou hodnotu ω .

$$\mu = \frac{M_{Ed,I}}{b h^2 f_{cd}} \quad \nu = \frac{N_{Ed}}{b h f_{cd}} \quad \xrightarrow{\text{nomogram}} \quad \omega$$

- Potřebná plocha výztuže ve sloupu je:

$$A_{s,req,1} = \frac{\omega A_c f_{cd}}{f_{yd}}$$

- Z předpokladu **dostředného tlaku** (zde už zase stačí uvažovat jen největší **hodnotu** N_{Ed} z obálky):

$$A_{s,req,2} = \frac{N_{Ed} - 0,8A_c f_{cd}}{\sigma_s} \quad \sigma_s = 400 \text{ MPa}$$

Pokud z uvedeného vztahu vyjde záporná hodnota $A_{s,req}$, znamená to, že by teoreticky z hlediska tlaku nebyla nutná výztuž. V takovém případě platí pravidlo pro minimální vyztužení $4x \text{Ø}12$.

- Pro návrh uvažujeme **největší ze spočtených hodnot**. Navrhujte symetrické vyztužení sloupů (jinak by se nám výrazně komplikoval výpočet interakčních diagramů)
- Plocha navržené výztuže zároveň musí splnit **konstrukční zásady**:

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

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

$$\text{Ø}_s \geq 12 \text{ mm}$$

- Navrheme profil a počet prutů výztuže. V rámečku bude zřetelně napsáno „Návrh: $n \times \text{Ø}_s$ ($A_{s,prov} = \dots \text{ mm}^2$)“ (tedy například **Návrh: $6x \text{Ø}16$ ($A_{s,prov} = 1206 \text{ mm}^2$)**).
- Výztuž sloupu posoudíme pomocí **interakčního diagramu** (viz NNK, vzorový příklad na webu). Spočtete a nakreslete **celý diagram**, nikoliv pouze část jako v NNK.
- Do diagramu vyneseme momenty a normálové síly z **jednotlivých kombinací** zatěžovacích stavů => pokud všechny body leží uvnitř diagramu, sloup vyhoví.
- Pokud sloup nevyhoví, **ne musíte přepočítávat** a překreslovat interakční diagram – při konzultaci se pouze domluvíme na úpravě vyztužení.

- viz vzorový příklad:

http://people.fsv.cvut.cz/www/hanzlhan/133bk1/BZA2_2021/BZA2_zadani_4_priklad_2021.pdf

Příklad výpočtu interakčního diagramu:

$$N_{Ed,II} = 1650 \text{ kN};$$

$$M_{Ed} = 27 \text{ kNm}$$

sloup průřezu $300 \times 300 \text{ mm}$

$$C20/25 \dots f_{cd} = 20/1,5 = 13,3 \text{ MPa}$$

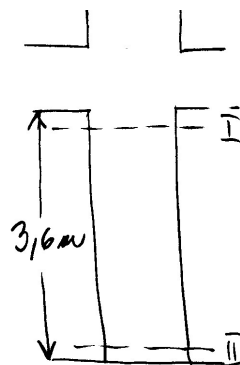
$$B500B \dots f_{yd} = 434 \text{ MPa}$$

pro dostředný tlak $\sigma_s = 400 \text{ MPa}$

krytí 20 mm , třímínek 8 mm

návrh výztuže – předpoklady:

- převažuje normálová síla, ohybový moment je malý ... návrh výztuže pro dostředný tlak
- stupeň vyztužení sloupu $\rho \approx 2\%$ ($0,02$)



NÁVRH VÝZTUŽE (DOSTŘ. TLAK)

$$\varepsilon A_s \geq \frac{N_{Ed} - 0,8 b h f_{cd}}{\sigma_s}$$

$$= \frac{1650 \cdot 10^3 - 0,8 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^6}$$

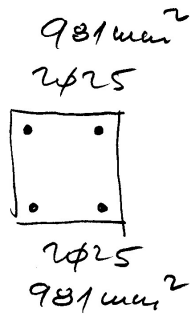
$$\geq 1731 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 1731 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow 2 \times 2 \phi \text{ R25} \quad \varepsilon A_s = 1962 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{1962}{300 \cdot 300} = 0,0218 > \rho_{min} = 0,002$$

$$\rho_{min} = \frac{0,1 N_{Ed}}{f_{ya}} = \frac{0,1 \cdot 1650 \cdot 10^3}{434 \cdot 10^6} = 0,0004$$

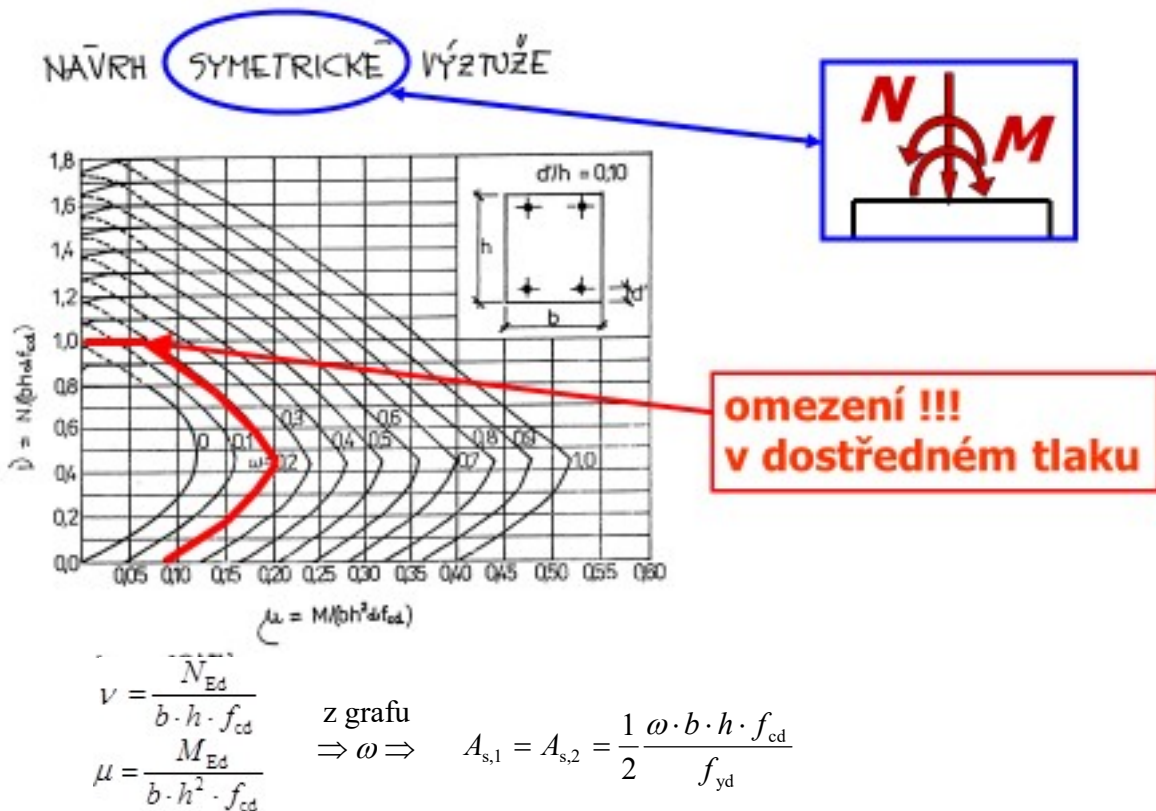
$$\geq \underline{0,002}$$



Návrh výztuže pro obecné – nesymetricky vyztužené průřezy lze provést s využitím nomogramů – podrobnosti v literatuře.

Pro sloupy, kde je rozhodující normálová síla, se navrhuje zpravidla symetrická výztuž.

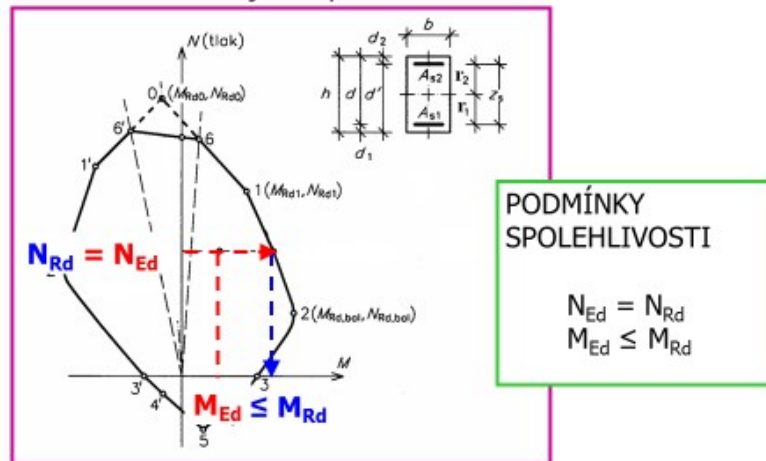
http://people.fsv.cvut.cz/www/hanzlhan/pomucky/navrh_M_N_sym.pdf



POSOUZENÍ

a) výpočtem – bez sestavení interakčního diagramu

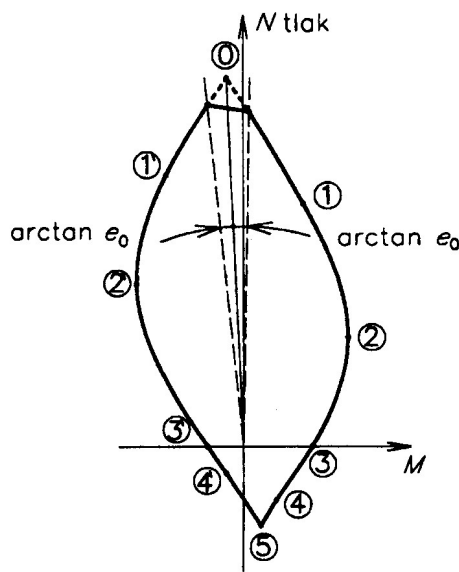
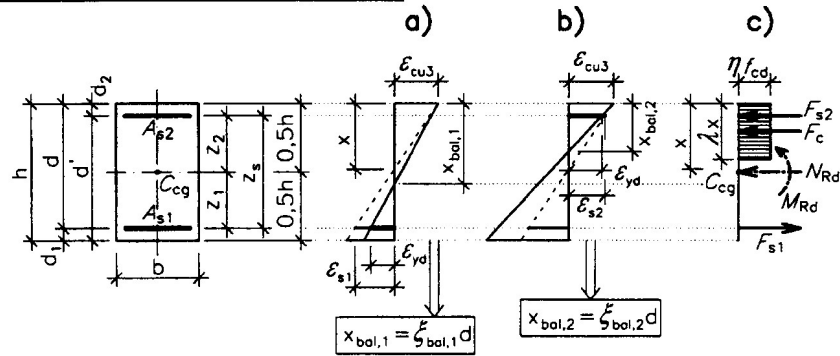
b) graficky – výpočet bodů interakčního diagramu a jeho vykreslení



Pro cvičení sestavíte interakční diagram.

http://people.fsv.cvut.cz/www/hanzlhan/BZ1/Pdf_soubory/INT_DAIGRAM.pdf

INTERAKČNÍ DIAGRAM OBDÉLNÍKOVÉHO PRŮŘEZU MIMOSTŘEDNĚ NAMÁHANÉHO



Tlak $N < 0$; tah $N > 0$.

$$e_0 = h / 30 > 20 \text{ mm}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}}$$

$$F_{s1} = A_{s1} f_{yd}$$

$$F_{s2} = A_{s2} f_{yd}$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{700}{700 - f_{yd}}$$

$$\Delta F_s = (A_{s2} - A_{s1}) f_{yd}$$

0

$$N_{Rd0} = -(b h \eta f_{cd} + \sum A_s \sigma_s)$$

$$M_{Rd0} = (A_{s2} z_2 - A_{s1} z_1) \sigma_s$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} E_s \leq f_{yd}$$

1

$$N_{Rd1} = -(\lambda b d \eta f_{cd} + F_{s2})$$

$$M_{Rd1} = \lambda b d \eta f_{cd} 0,5(h - \lambda d) + F_{s2} z_2$$

$$d \geq \xi_{bal,2} d_2 \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

2

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \xi_{bal,1} b d \eta f_{cd} + \Delta F_s)$$

$$M_{Rd,bal} = \lambda \xi_{bal,1} b d \eta f_{cd} 0,5(h - \lambda \xi_{bal,1} d) + F_{s1} z_1 + F_{s2} z_2$$

$$\xi_{bal,1} d \geq \xi_{bal,2} d_2 \Rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

3

$$N_{Rd} = 0$$

M_{Rd} = mez únosnosti při namáhání ohybem, - výztuž tažená A_{s1} , tlačaná A_{s2} - viz kap. 4

4

$$N_{Rdt,bal} = F_{s1}$$

$$M_{Rdt,bal} = F_{s1} z_1$$

5

$$N_{Rdt0} = F_{s1} + F_{s2}$$

$$M_{Rdt0} = F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2$$

1'

$$N_{Rd1} = -(\lambda b d \eta f_{cd} + F_{s1})$$

$$M_{Rd1} = -\lambda b d \eta f_{cd} 0,5(h - \lambda d) - F_{s1} z_1$$

$$d \geq \xi_{bal,2} d_1 \Rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd}$$

2'

$$N_{Rd,bal} = -(\lambda \xi_{bal,1} b d \eta f_{cd} - \Delta F_s)$$

$$M_{Rd,bal} = -\lambda \xi_{bal,1} b d \eta f_{cd} 0,5(h - \lambda \xi_{bal,1} d) - F_{s1} z_1 - F_{s2} z_2$$

$$\xi_{bal,1} d \geq \xi_{bal,2} d_2' \Rightarrow \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

3'

$$N_{Rd} = 0$$

M_{Rd} = mez únosnosti při namáhání ohybem - výztuž tlačaná A_{s1} , tažená A_{s2}

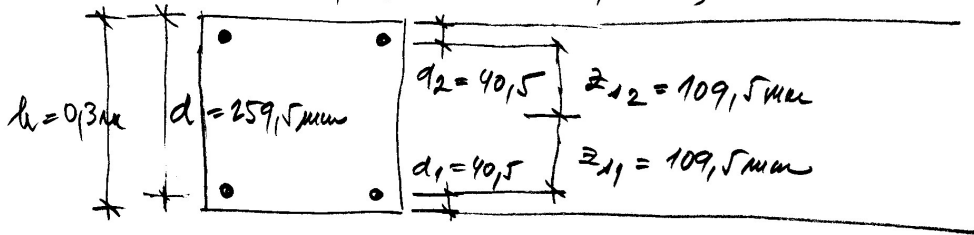
4'

$$N_{Rdt,bal} = F_{s2}$$

$$M_{Rdt,bal} = -F_{s2} z_2$$

POSOUDENÍ - INTERAKČNÍ DIAGRAM

$$A_{s2} = 981 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (2 \phi R25)$$



$$b = 0,3 \text{ m}$$

$$A_{s1} = 981 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2 \phi R25)$$

$$d_1 = 20 + 8 + \frac{25}{2} = 40,5 \text{ mm}$$

$$d = 300 - 40,5 = 259,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 = 40,5 \text{ mm}$$

$$z_{s1} = z_{s2} = 150 - 40,5 = 109,5 \text{ mm}$$

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434} = 0,617$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{700}{700 - f_{yd}} = \frac{700}{700 - 434} = 2,63$$

BOD O
DOSTŘEDNÝ
TLAK

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= b \cdot h \cdot f_{cd} + \Sigma A_{s,i} \cdot \sigma_{s,i} = \\ &= 0,3 \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 1962 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3 = \\ &= 1981,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_s &\leq f_{yd} \\ &\leq 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

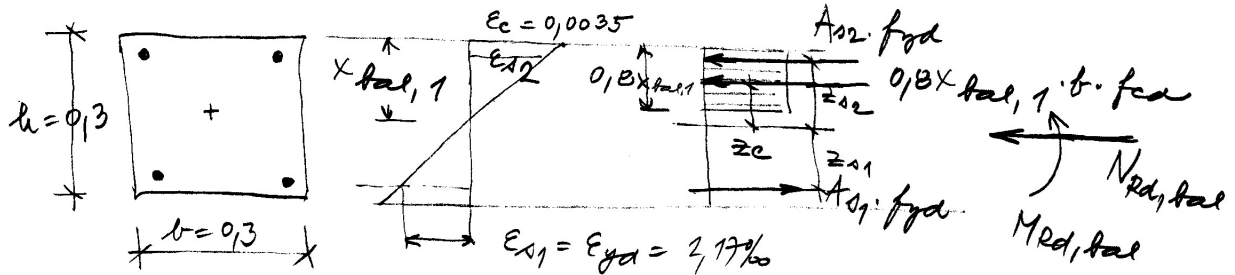
$$M_{Rd,0} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_1 - A_{s1} \cdot \sigma_{s1} \cdot z_2 = 0$$

300 2

POŽHRANÍ MEZI MALOU A VELKOU VYŠTŘEDNOSTÍ

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,259 = 0,16 \text{ m}$$

$$2 \phi 25 \quad A_{s2} = 981 \text{ mm}^2$$



$$2 \phi 25 \quad A_{s1} = 981 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\epsilon_{s2}}{x_{bal,1} - d_2} = \frac{0,0035}{x_{bal,1}}$$

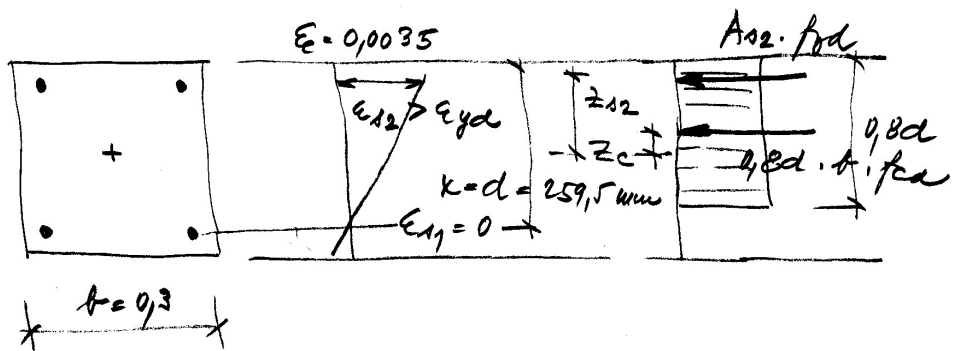
$$\frac{\epsilon_{s2}}{0,16 - 0,0405} = \frac{0,0035}{0,16} \Rightarrow \epsilon_{s2} = 0,0026 = 2,6\% > 2,17\%$$

$$\Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,bal} &= 0,8 x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd} \\ &= 0,8 \cdot 0,16 \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10 + \phi \\ &= \sqrt{10,7 \text{ kN}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,bal} &= 0,8 x_{bal,1} \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \overbrace{(0,5d - 0,4 x_{bal,1})}^{z_c} \\ &+ A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} = \\ &= 0,8 \cdot 0,16 \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10^3 (0,5 \cdot 0,3 - 0,4 \cdot 0,16) \\ &+ 981 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 10^3 \cdot 0,1095 + 981 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 10^3 \cdot 0,1095 = \\ &= 137,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Бод 1
(ЗРЭСВЕНІ
ТВАРН
ІНТ. ДІАГРА.)



$$N_{rd,1} = 0,8d \cdot b \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}$$

$$= 0,8 \cdot 0,2595 \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 981 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 10^3$$

$$= 1254 \text{ kN}$$

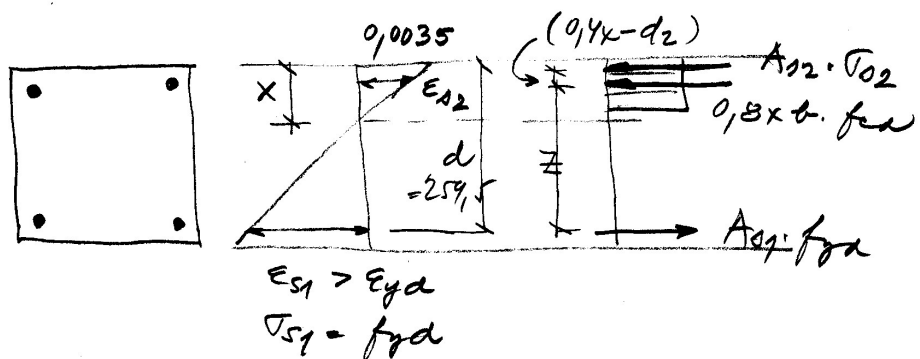
$$M_{rd,1} = 0,8d \cdot b \cdot f_{cd} (0,5h - 0,4d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2}$$

$$= 0,8 \cdot 0,2595 \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10^3 (0,5 \cdot 0,3 - 0,4 \cdot 0,2595)$$

$$+ 981 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 10^3 \cdot 0,1095 =$$

$$= 84,9 \text{ kNm}$$

Бод 3
ЧІСТЫ ОМЧБ
• $\epsilon_{s2} < \epsilon_{yd}$
 $\sigma_{s2} = ?$



$$A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + 0,8x \cdot b \cdot f_{cd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \quad (1)$$

$$\frac{0,0035}{x} = \frac{\epsilon_{s2}}{x - d_2} = \frac{\sigma_{s2}}{(x - d_2) \cdot E_{s1}} \quad (2)$$

$$981 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{s2} + 0,8x \cdot 0,3 \cdot 13,3 \cdot 10^6 = 981 \cdot 10^{-6} \cdot 434 \cdot 10^3$$

$$\frac{0,0035}{x} = \frac{\sigma_{s2}}{(x - 0,0405) \cdot 200 \cdot 10^9}$$

$$\Rightarrow x = 0,061 \text{ m}$$

$$\sigma_{s2} = 235,44 \text{ MPa}$$

výpočet bodů interakčního diagramu

0 ... dostředný tlak ČSN EN 1992-1-1

$$e_0 = h / 30 \geq 20 \text{ mm}$$

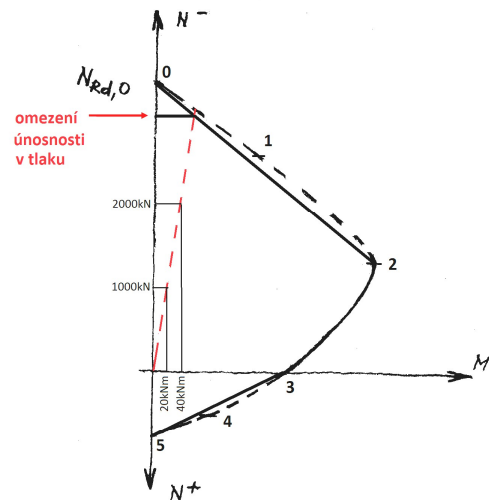
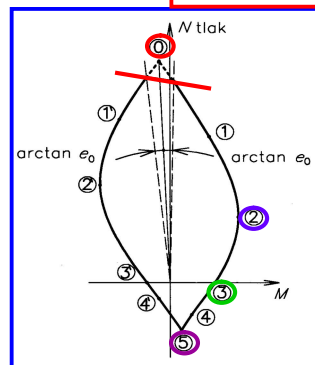
1 ... $\varepsilon_{s1} = 0$
(pomocný bod,
zpřesňující tvar int. diagr.)

2 ... rozhraní mezi
malou a velkou výstředností

3 ... čistý ohyb

4 ... $\varepsilon_{s2} = 0$

5 ... dostředný tah



V tlaku je únosnost průřezu s ohledem na minimální excentricitu omezena.

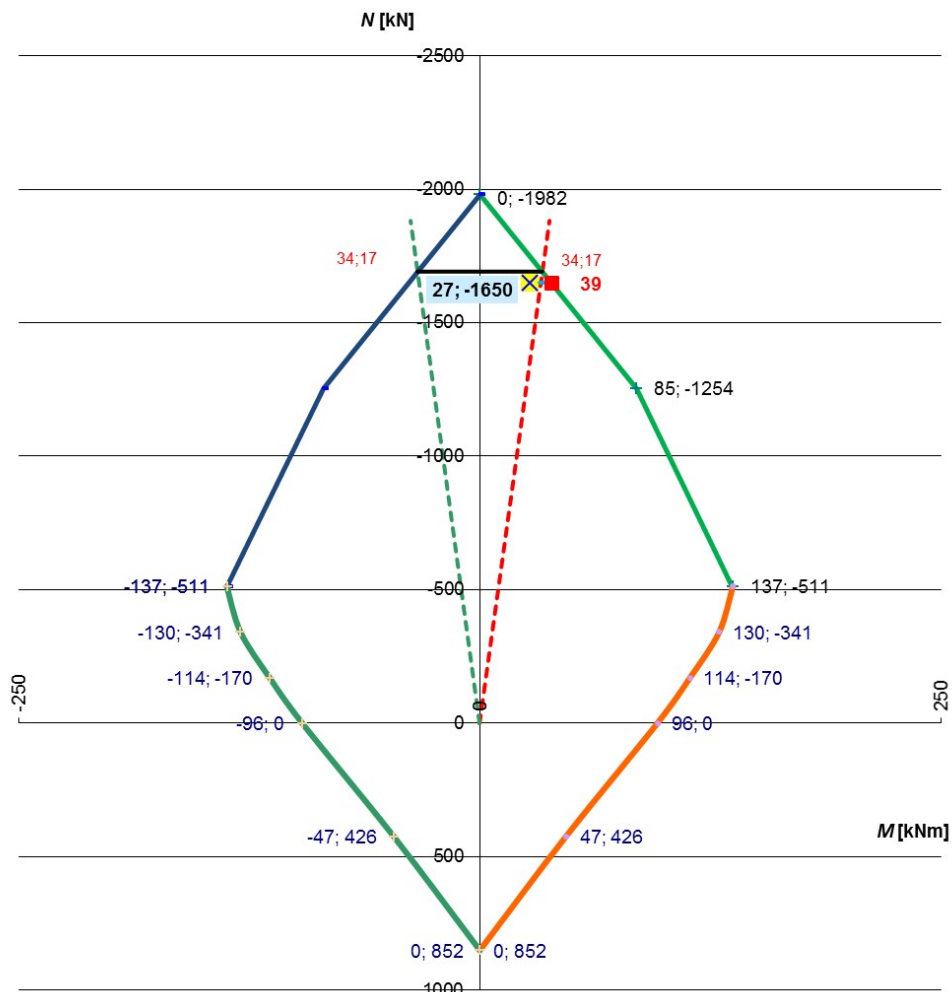
Podle ČSN EN 1922-1-1 je hodnota minimální excentricity $e_0 = h/30$... minimálně 20mm.

Graficky lze toto zkonstruovat podle obrázku.

$$e_0 = h/30 > 20 \text{ mm} \\ = 300/30 = 10 \text{ mm} \\ \Rightarrow e_0 = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{pro } N = 1000 \text{ kN} \dots M_0 = 1000 \cdot 0,02 = 20 \text{ kNm} \\ N = 2000 \text{ kN} \dots M_0 = 2000 \cdot 0,02 = 40 \text{ kNm}$$

Interakční diagram



Hodnotu M_{Rd} při $N_{Rd} = N_{Ed} = 1650 \text{ kN}$ lze stanovit jako průsečík přímky spojující body 0 a 1 a přímky rovnoběžné s osou M .

HODNOTA OHYB. MOMENTU, KTEROU BY PRŮŘEZ UNESL PŘI NORM. SÍLE:

$$N_{Ed} = N_{Rd} = 1650 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Rd0} - N_{Ed1}}{M_{Ed1}} = \frac{N_{Rd0} - N_{Rd}}{M_{Rd}}$$

$$M_{Rd} = \frac{N_{Rd0} - N_{Rd}}{N_{Rd0} - N_{Ed1}} \cdot M_{Ed1}$$

$$= \frac{1981,8 - 1650}{1981,8 - 1254} \cdot 84,9 = 39 \text{ kNm}$$

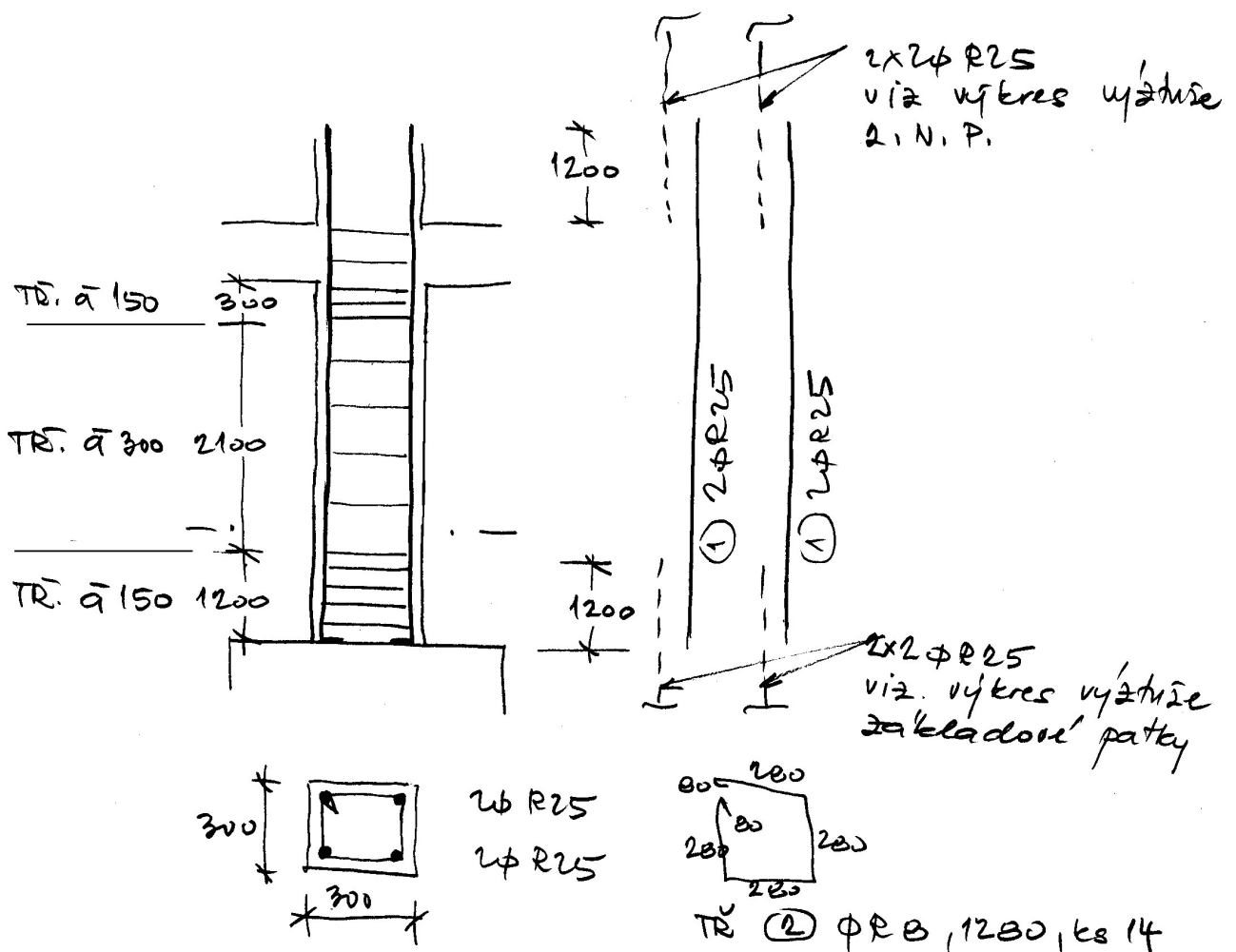


Schéma výztuže sloupu