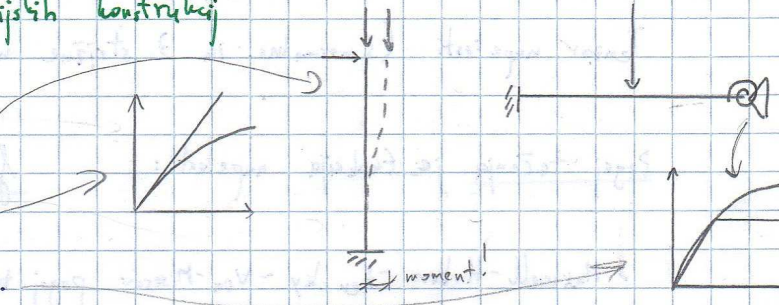


1. Jeklene stave

Plastična analiza linijskih konstrukcij

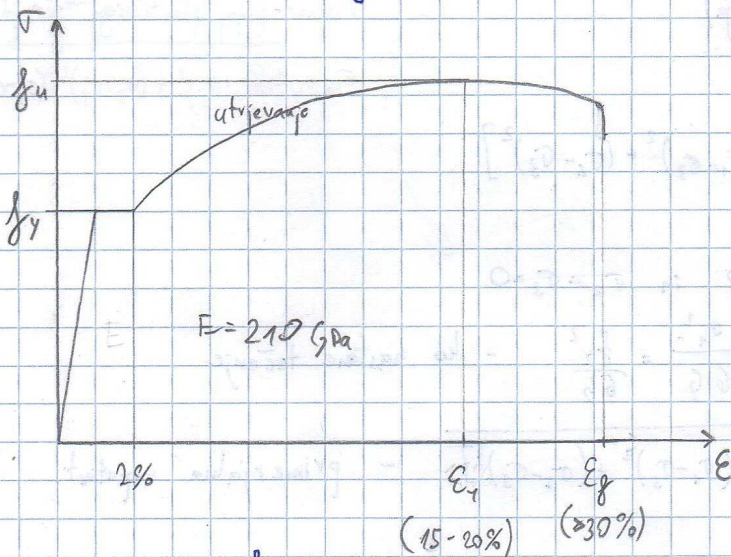
- Opravka imamo z:
- geometrijsko nelinearnostjo,
 - materialna nelinearnostjo,
 - nelinearnostjo robnih pogojev.



Lahko jih obravnavamo večkrat.

1. Material

Standardni natezni test (glavna σ):



Mehka konstrukcijska jekla:

S 235, S 275, S 355, S 420, S 460

$$\frac{f_u}{f_y} = 1,2 - 1,5$$

Dejanske vrednosti so torej:

S 235: $f_y = 235 \text{ MPa}$

$f_u = 425 \text{ MPa}$

$\epsilon_y = \frac{f_y}{E}$ - deformacija, pri kateri nastopi teženje

Trda konstrukcijska jekla: S 690 →

- Vedno manj napak in s tem večja pravilnost materiala, zato so deformacije manjše.

$\frac{f_u}{f_y} = 1,05$; $\epsilon_g = 15\%$; $\epsilon_y = 4-5\%$

Duktilnost (SIST EN 1993-1-1):

natezna trdnost (ultimate)

$\frac{f_u}{f_y} \geq 1,1$

$\epsilon_g \geq 15\%$

$\epsilon_u / \epsilon_g \geq 15$

vsa konstrukcijska jekla ustrezajo tem kriterijem

EC to zahteva tako za elastično, kot tudi plastično analizo.

Plastična analiza: → smo v področju plastifikacije

- duktilen material,

$$M_{Duk} \geq 1,2 \cdot M_{pl}$$

- polno nosilni spoj.

Tensor napetosti (3 normalne in 3 strižne napetosti): σ_{ij}

Pogoj tečenja je funkcija napetosti: $f(\sigma_{ij}) = 0$ → takrat je material v področju tečenja

• Maxwell-Huber-Hencky-Von Misesov pogoj tečenja:

- enosno napetostno stanje: $\sigma \leq f_y$ - nastopi tečenje, ko sta enaka

- večosno napetostno stanje: $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(H)} + \sigma_{ij}^{(D)}$ - deviatorični;
 hidrostatični

↳ hidrostatični del ne povzroča tečenja jela

• Hencky: $W = \frac{1}{2} \sigma_{ij} \cdot \epsilon_{ij}$ (energija)

$$W = W^H + W^D$$

$$W^D = \frac{1}{12G} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]$$

Misesov pogoj plastičnega tečenja:
$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq f_y$$

- enosno stanje: $\sigma_1 \neq 0$ in $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$$W^D = \frac{1}{12G} [2\sigma_1^2] = \frac{\sigma_1^2}{6G} = \frac{f_y^2}{6G} - \text{ko nastane tečenje}$$

$$f_y = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} - \text{primerjalna napetost}$$

$\sigma_{eq} \leq f_y$ → ko σ_{eq} doseže f_y , se prične plastifikacija

$$- W^D = \frac{I_2}{2G}$$

• Hidrostatično stanje: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$ → $\sigma_{eq} = f_y/0 = 0$

$\sigma_{eq} = 0 \leq f_y$ - vedno manjše in nato se tečenje ne more pojaviti

• Ravninsko napetostno stanje: $\sigma_3 = 0$ → $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} \leq f_y$

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \pm \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + \sigma_{xy}^2} \rightarrow \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq f_y$$

• Čisti strig: $\sigma_1 = -\sigma_2$ i $\sigma_3 = 0$ → $\sqrt{3\tau_{xy}^2} = f_y$ → $\tau_{xy} = \frac{f_y}{\sqrt{3}}$

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 \sqrt{3} \leq f_y \rightarrow \sigma_1 \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \tau_y$$

Pri tečenju je volumen konstanten oz. je material nestisljiv. $\rightarrow \nu = 0,5$

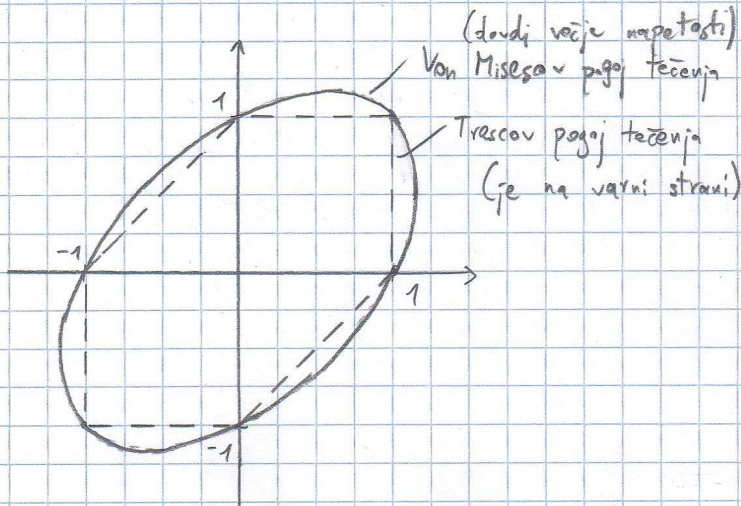
(2)

Trescov pogoj tečenja: $|\tau_{\max}| = k_T$

$$\frac{1}{2} \cdot \max(|\sigma_1 - \sigma_2|; |\sigma_1 - \sigma_3|; |\sigma_2 - \sigma_3|) = k_T$$

• eno osno stanje: $\frac{\sigma}{2} = k_T = f_y \rightarrow \underline{k_T = \frac{f_y}{2}}$

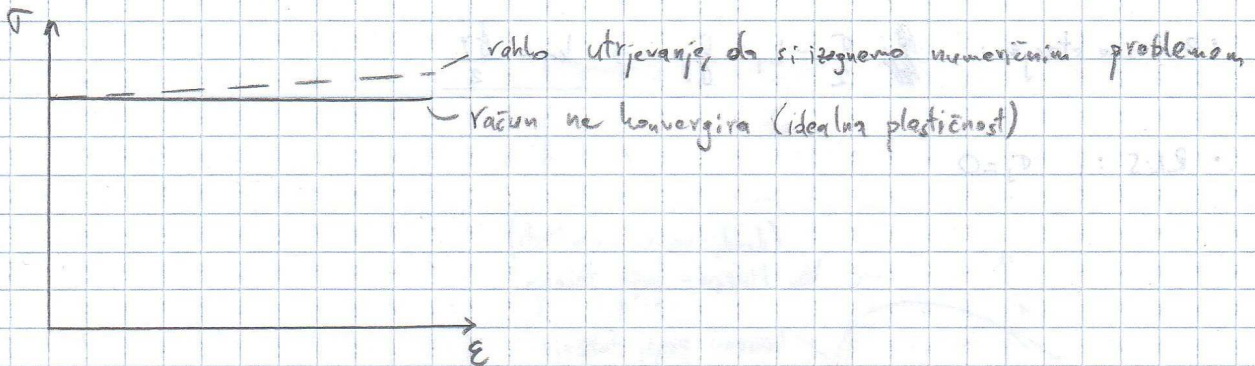
• RNS: $\sigma_3 = 0$



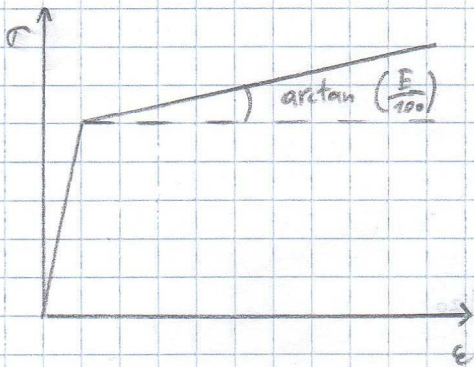
Materialni modeli: σ - ϵ diagrami za numerično analizo

Kar lahko izmerimo so vhodni podatki za numerično analizo. Odvisno od fizičnih rezultatov numerične analize so vhodni diagrami.

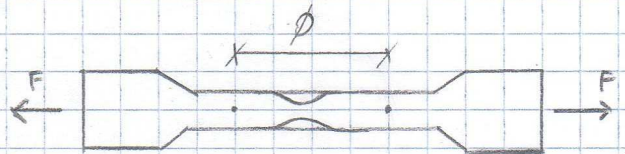
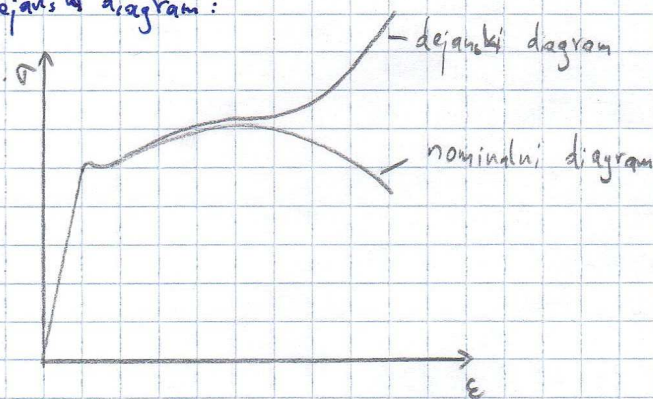
- Najbolj osnovni za idealno plastičen material:



- Upoštevamo utrjevanje:



- Dejanski diagram:



Nominalne napetosti in dejanske napetosti (upoštevamo lokalizacijske napetosti in tanjšanje prevež).

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A_{zic}}$$

$$\sigma_{dej} = \frac{F}{A_{dej}}$$

$$\sigma_{dej} = \sigma_{nom} (1 + \epsilon_{nom})$$

$$\epsilon_{dej} = \ln(1 + \epsilon_{nom})$$

upoštevajo ABAQUS in ANSYS

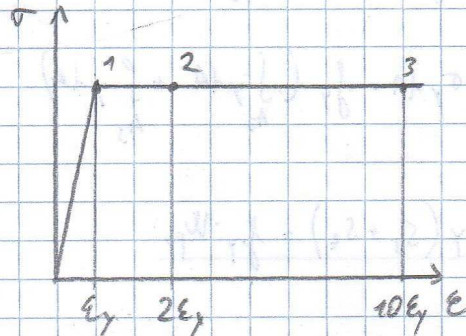
te vrednosti upoštevajo napredni programi

2. Prečni prerezi

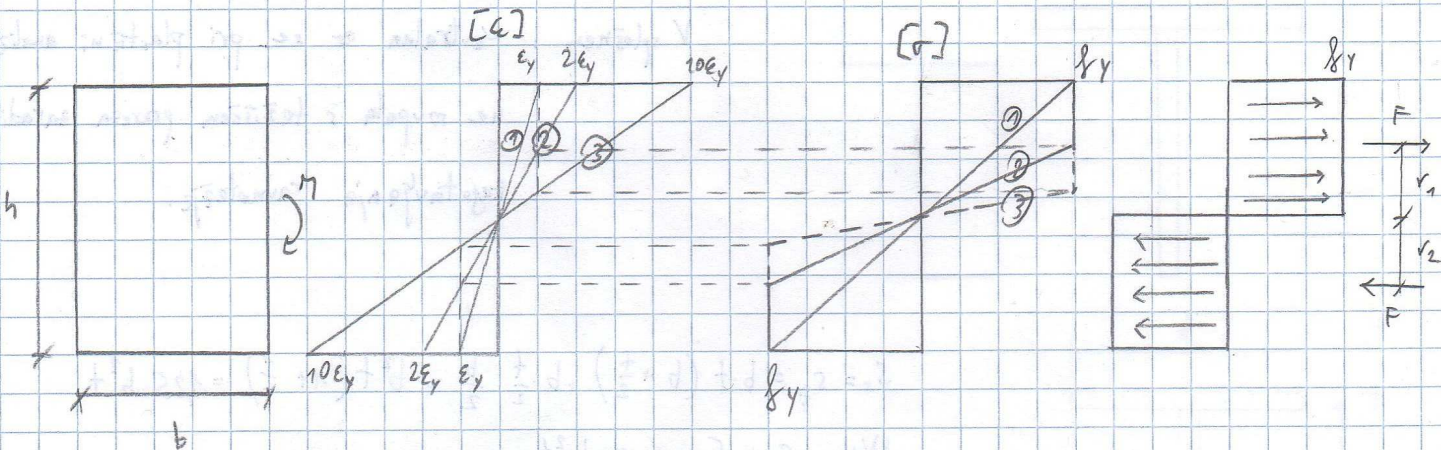
Čisti upogib:



Materialni model:



	S235	x_{ec}
1.	$\epsilon = \epsilon_y \sim 0,001$	h
2.	$\epsilon = 2\epsilon_y \sim 0,002$	$0,5h$
3.	$\epsilon = 10\epsilon_y \sim 0,01$	$0,1h$



Pri $\epsilon > 10 \epsilon_y$ lahko predpostavimo popolno plastičnost \rightarrow razvije se plastični členek. Tu so v teoriji neskončne deformacije, sicer pride do pretrga.

$$r = \frac{h}{2}$$

$$F = f_y \cdot \left(\frac{b \cdot h}{2}\right) \text{ površina preseka}$$

$F = F \rightarrow$ veja ravnotežje, ker ni osne sile in je le M

$$W_{pl} = \frac{I_y}{r} \text{ - plastični odporstveni moment}$$

$$W_{y,pl} = S_y + S_y \text{ - plastični odporstveni moment}$$

$$M_{pl} = F \cdot r_1 + F \cdot r_2 = F \cdot r$$

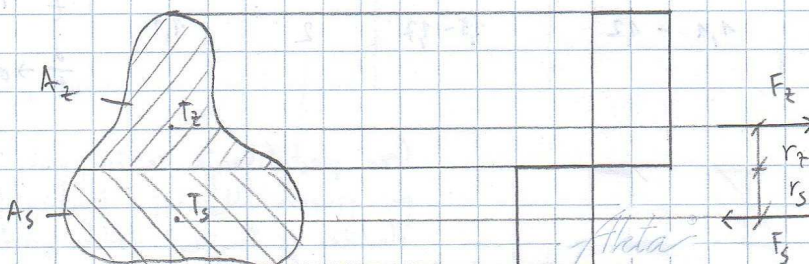
$$M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y = f_y \cdot \frac{b \cdot h}{2} \cdot \frac{h}{2} = f_y \cdot \frac{b h^2}{4} \rightarrow W_{pl} = \frac{b h^2}{4}, W_{el} = \frac{b h^2}{6}$$

$$I_y = \int_A z^2 dA \text{ - vztrajnostni moment}$$

$$S_y = \int_A z dA \text{ - statični moment}$$

$$\alpha = \frac{W_{pl}}{W_{el}} = \frac{6}{4} = 1,5$$

Splošno W_{pl} : Čisti upogib! \rightarrow napetost enaka povod \rightarrow površini morata biti enaki.



$$A_2 = A_3 = \frac{A}{2}$$

$$A = A_2 + A_3$$

$$\Sigma F = 0 \rightarrow F_2 = F_3 = F$$

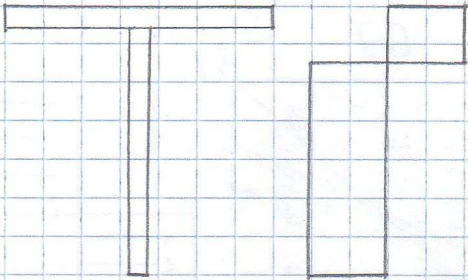
izoliraj insoy . . .

$$\Sigma M^* = M^*$$

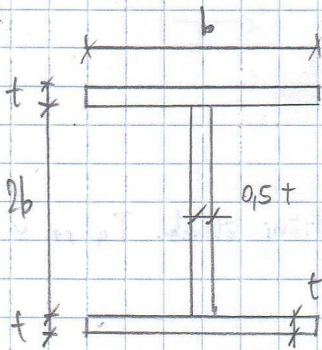
$$M_{pl} = F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = f_y \frac{A}{2} r_1 + f_y \frac{A}{2} \cdot r_2 = f_y \left(\frac{A}{2} r_1 + \frac{A}{2} r_2 \right) = f_y (S_1 + S_2)$$

$$M_{pl} = f_y \cdot W_{pl} \quad \text{ali} \quad M = \int_A \sigma_y dA = f_y \left(\int_{A_2} y dA + \int_{A_1} y dA \right)$$

$$\underline{M = f_y (S_1 + S_2) = f_y \cdot W_{pl}}$$



V splošnem: Neutralna os se pri plastični analizi ne sovpata s težiščem preseka zaradi zagotavljanja ravnotežje.



$$S_1 = S_2 = b \cdot t \left(b + \frac{t}{2} \right) + b \cdot \frac{t}{2} \cdot \frac{b}{2} = b^2 t \left(1 + \frac{1}{4} \right) = 1,25 b^2 t$$

$$W_{pl} = S_1 + S_2 = 2,5 \cdot b^2 t$$

$$W_{el} = 2 b t \left(b + \frac{t}{2} \right) + \frac{b^2 t}{6} = b t^2 \left(2 + \frac{1}{3} \right) = 2,33 b^2 t$$

$$\alpha = \frac{W_{pl}}{W_{el}} = \frac{2,5}{2,33} \approx 1,07$$

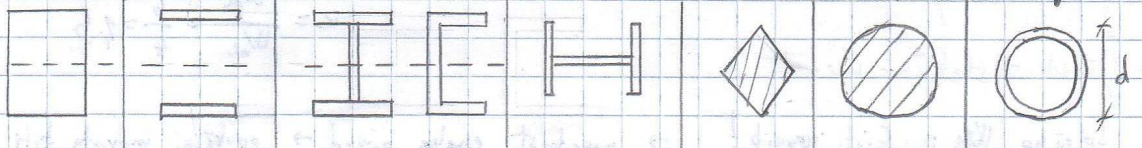
Prednost plastične analize je v tem, da pride do prerazporejanja napetosti (upogibnih momentov).

$$\alpha_{pl} = \frac{M_{pl}}{M_{el}} = \frac{f_y W_{pl}}{f_y W_{el}} = \frac{W_{pl}}{W_{el}} \quad - \text{razmerje med plastično in elastično nosilnostjo}$$

stojino zanemarimo

Podoben rombu, le da bolj zaobljene oblike.

Prerez



α_{pl}

1,5

1

1,1 - 1,2

1,5 - 1,7

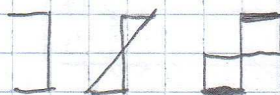
2

1,7

$$\frac{d}{t} = 10 \rightarrow 1,4$$

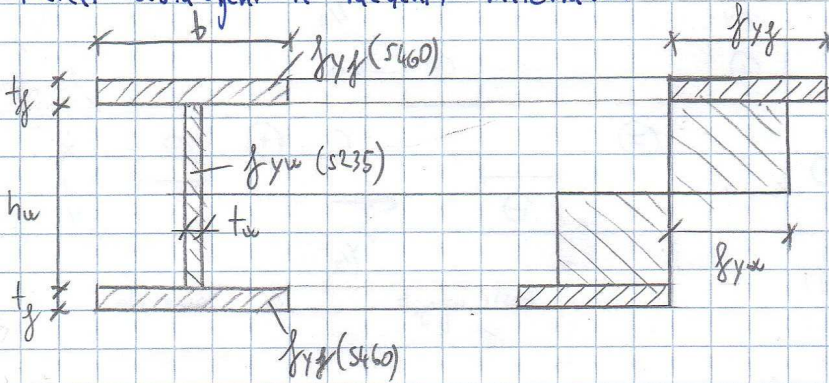
$$\frac{d}{t} \rightarrow \infty \rightarrow 1,27$$

Ko se plastifikacija širi proti sredini, je prispevek stojine manjši kot pri □.



Črna plastifikacija se širi, proti notranosti pa prispeva velika več. Plastični je "novejši", elastičen je "starejši" (oblika preseka)

Prerezi sestavljeni iz različnih materialov.



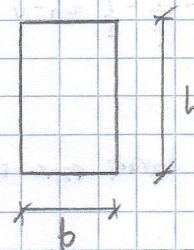
Navadno je pasnica iz boljih materialov, ker prevzame večji del upogibnih obremenitev (bolj ekonomično).

Ampak se vedno obstajajo določene omejitve:

$$f_{yf} \geq f_{yw} \text{ in } f_{yf} \leq 2 f_{yw} \text{ - priporočilo EC}$$

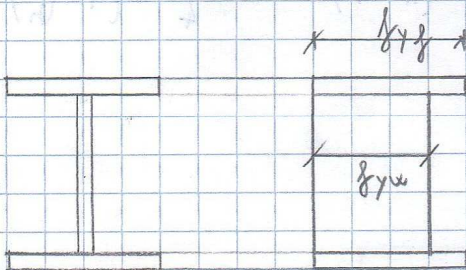
Plastična nosilnost preseka:

$$M_{pl} = \underbrace{b \cdot t_f \cdot f_{yw} (h_w + t_f)}_{\text{prispevek pasnic}} + \underbrace{\frac{h_w \cdot t_w}{4} f_{yw}}_{\text{prispevek stojin}}$$



$$W_{el} = \frac{bh^2}{6}$$

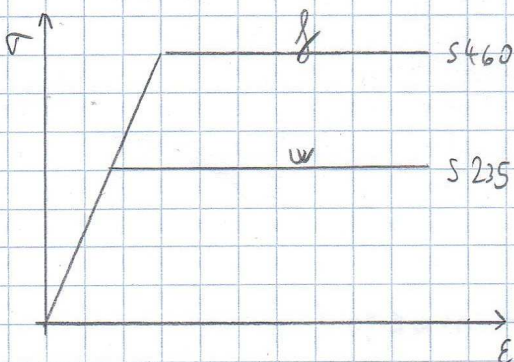
$$W_{pl} = \frac{bh^2}{4}$$



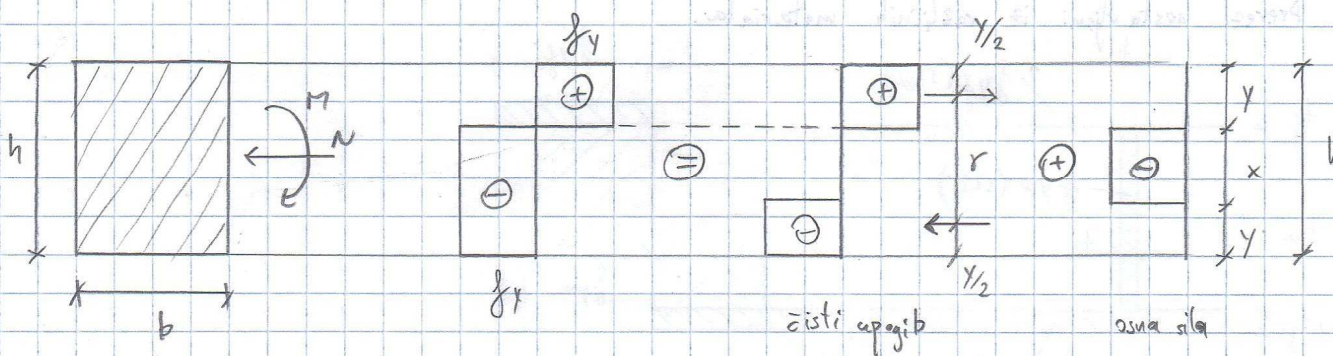
$$M_{pl} = 2 \cdot b \cdot t_f \cdot f_{yf} + h_w \cdot t_w \cdot f_{yw}$$

Najprej se plastificira stojina, šele nato pasnice (šele takrat je konec plastifikacije).

Pri t (akni) moramo paziti, da ne pride do (idealnega izbočenja)



Vpliv osne sile na M_{pl}



- Neutralna os je nad polovico (težiščem) \rightarrow tlačni prevez.

To lahko izračunamo s pomočjo osne sile:

$$x \cdot b \cdot f_y = N \rightarrow x = \frac{N}{b \cdot f_y}, \quad y = \frac{h-x}{2}$$

$$r = h - \frac{y}{2} - \frac{y}{2} = h - y = h - \frac{h-x}{2} \rightarrow r = \frac{h+x}{2}$$

- plastični moment zaradi osne sile:

$$M_{pl}^N = x \cdot b \cdot f_y \cdot r = f_y \cdot \left(\frac{h-x}{2}\right) \cdot b \cdot \left(\frac{h+x}{2}\right) = \frac{f_y \cdot b}{4} (h^2 - x^2) = \frac{f_y \cdot h^2 \cdot b}{4} \left(1 - \left(\frac{x}{h}\right)^2\right)$$

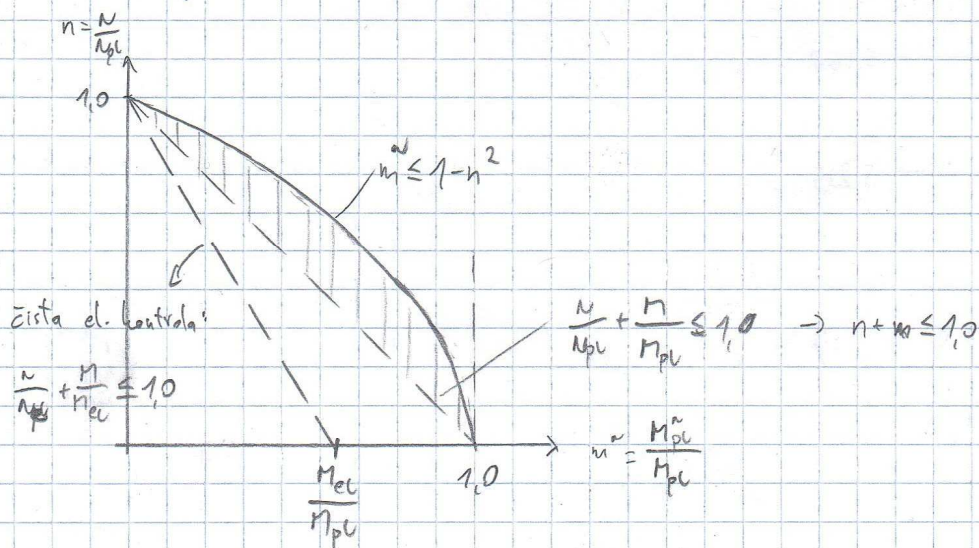
$$M_{pl}^N = M_{pl} \cdot \left(1 - \frac{N^2}{h^2 \cdot f_y^2 \cdot b^2}\right)$$

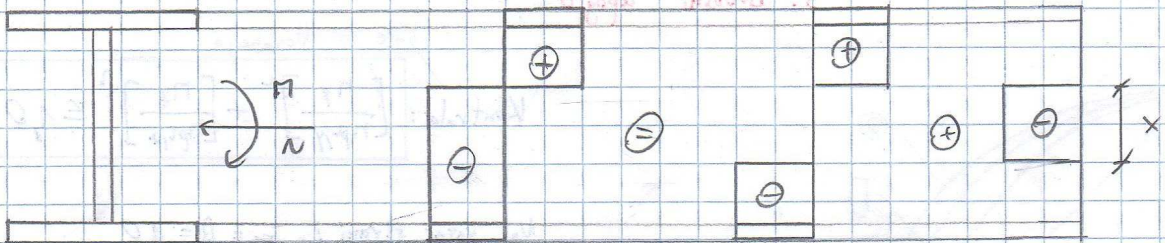
$$M_{pl}^N = M_{pl} \left(1 - \left(\frac{N}{N_{pl}}\right)^2\right)$$

$$\frac{M_{pl}^N}{M_{pl}} = m^N; \quad \frac{N}{N_{pl}} = n$$

$$m^N = 1 - n^2 \quad - \text{prezdimenzijska oblika}$$

- Za \square prevez:

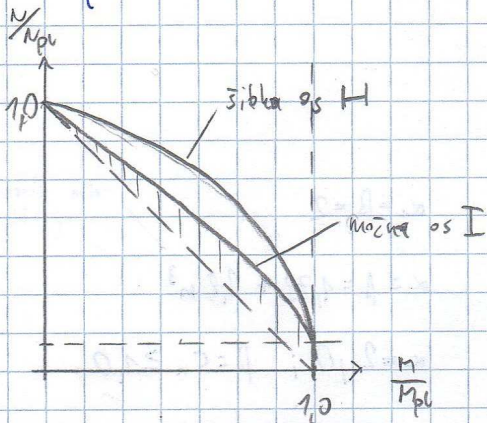




$$x = \frac{N}{t_w \cdot f_y} \leq h_w$$

Če je osna sila večja od polneplastične sile stojine, potem je nevtralna os nelje v pasnici!

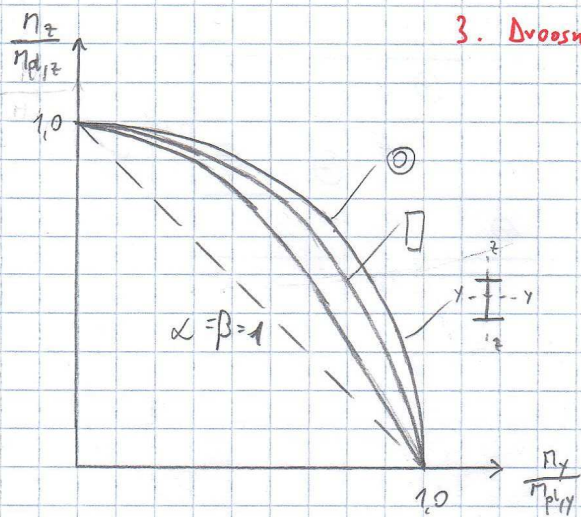
• Za I prerez:



EC3: $N \leq 0,1 N_{pl} \rightarrow M = M_{pl}$
(zanemarimo vpliv utrjevanja)

$N > 0,1 N_{pl} \rightarrow M \leq M_{pl} (1,11 (1-n))$

3. Dvoosni upogib



gibe za interakcijo

$$\text{Kontrola: } \left[\frac{M_y}{M_{pl,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_z}{M_{pl,z}} \right]^\beta \leq 1,0$$

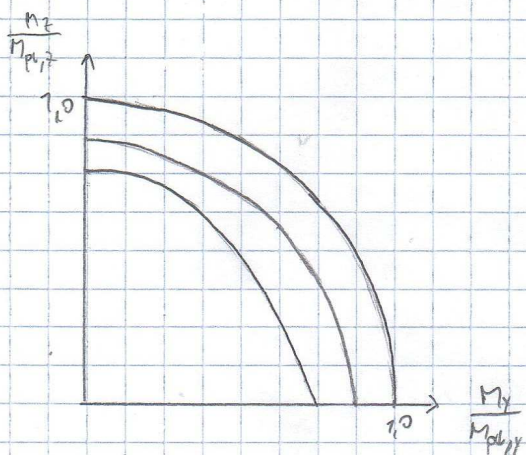
Na varni strani: $\alpha = \beta = 1,0$

- $\alpha = \beta = 2$
- $\alpha = \beta = 1,73$
- I $\alpha = 2,0; \beta = 1,0$

Vrednosti so bile dobljene na podlagi natančnih numeričnih simulacij.

Dvoosni upogib z osno silo

$$\left[\frac{M_y}{M_{pl,y}^N} \right]^\alpha + \left[\frac{M_z}{M_{pl,z}^N} \right]^\beta$$



- $\alpha = \beta = 2$
- $\alpha = \beta = 1,73 + 1,8 \cdot n^3$
- I $\alpha = 2,0; \beta = 5 \cdot n \geq 1,0$

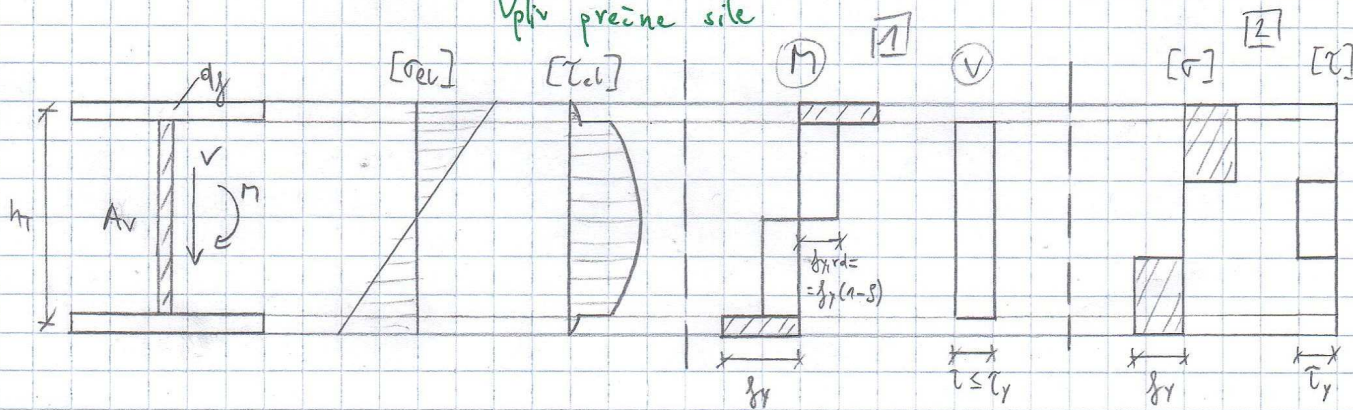
večja izbočenost, ko greva proti notranjosti,

Poenostavitev:

$$\frac{N}{M_{pl}^N} + \frac{M_y}{M_{pl,y}^N} + \frac{M_z}{M_{pl,z}^N} \leq 1,0$$

Uporabimo samo takrat, ko nimamo drugega izhoda (izgubimo vsa izbočenja nad krivuljo!).

Vpliv prečne sile



EC uporablja model št. 1.

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_{rel}^2 + 3\tau_{rel}^2} \leq f_y$$

plastika (Nises)

Je zelo konservativen, saj se ustavimo takoj, ko pride do plastifikacije. Vemo pa, da kompaktni prerezi omogočajo tudi preračunavanje napetosti.

Ravnotežje mora biti vedno izpolnjeno (obstaja več načinov, npr. 1 in 2).

a) $f_{y,red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$

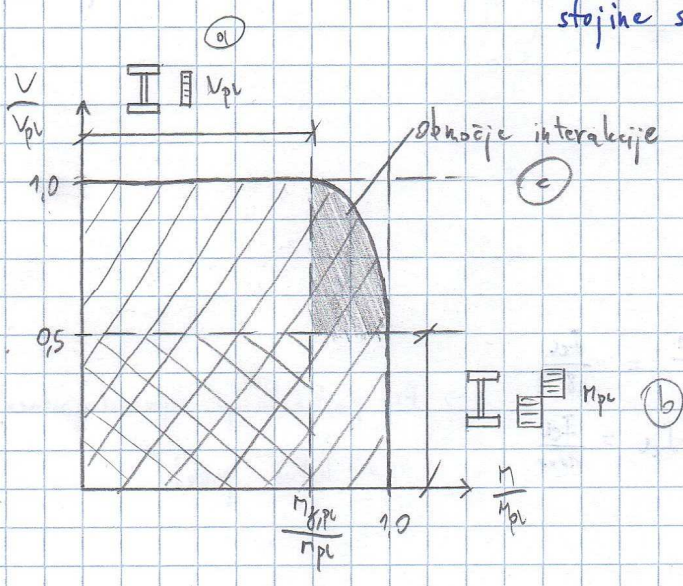
b) $\beta = \left(\frac{2V}{V_{pl}} - 1\right)^2$; $V_{pl} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$

$f_{red} = f_y (1 - \beta)$ pri $V \geq 0,5 V_{pl}$ veja pri tem pogoj

$M_{Ed} \leq M_{pl}^V = M_{f,pl} + M_{w,pl} (1 - \beta) = M_{f,pl} + (M_{pl} - M_{f,pl}) (1 - \beta)$ *

$M_{pl,f} = A_g \cdot f_y \cdot h_T$

Polna plastična nosilnost pasnic in reducirana nosilnost stojine s faktorjem (1-β).



Eden od teh dveh pogojev mora biti izpolnjen! na vojo cela stojina za prevzem striga

a) $M_{Ed} \leq M_{pl,f}$; $V_{Ed} \leq V_{pl}$

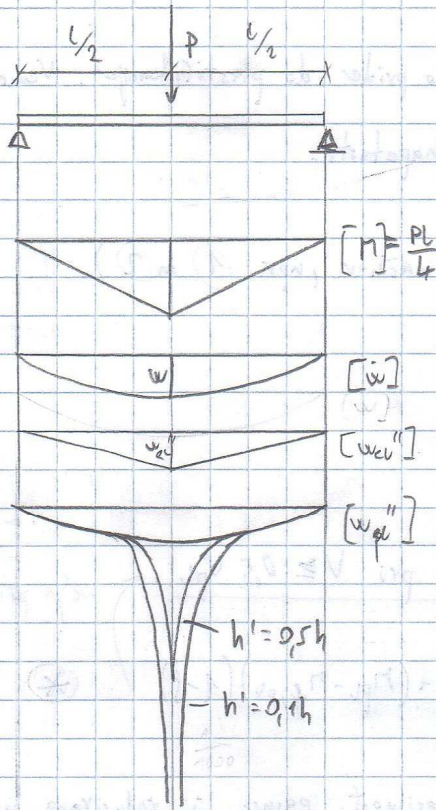
b) $V \leq 0,5 V_{pl}$; $M_{Ed} \leq M_{pl}$

Reduciran poteka *

c) $M_{Ed} > M_{pl,f}$ in $V_{Ed} \geq 0,5 V_{pl}$

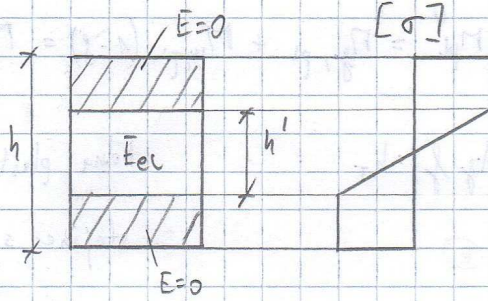
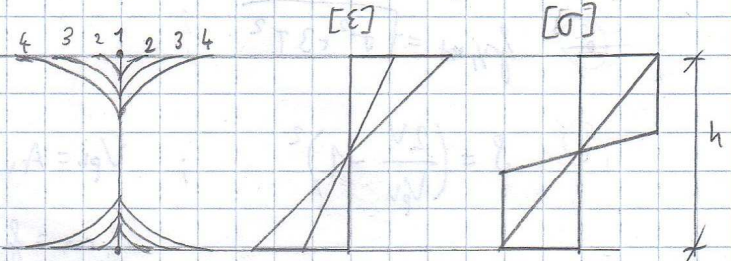
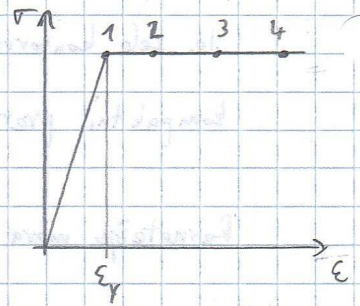
$M_{Ed} \leq M_{pl}^V = M_{pl,f} + M_{pl,w} (1 - \beta)$

4. Nosilci - sistemi



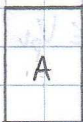
$$M = EI \cdot w''$$

$$w'' = \frac{I}{R} = \frac{M}{EI}$$



$$\left(\frac{1}{R}\right)_{pl} = \frac{M}{(EI)_{pl}}$$

Pri plastični analizi lahko w'' zanemarimo v primerjavi z w_{pl}'' !



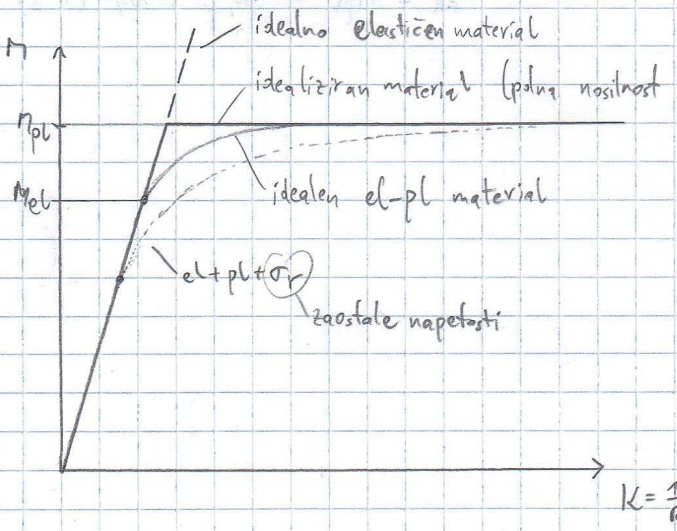
$$I_{el} = \frac{bh^3}{12}$$

$$h' = 0,5h \rightarrow I_{pl} = \frac{9,125h^3}{12} = \frac{I_{el}}{8}$$

$$h' = 0,1h \rightarrow I_{pl} = 9,19 \cdot I_{el} = \frac{I_{el}}{1000}$$

→ Pri plastičificaciji spravljati moment zelo hitro pada!

~~Plastični analizni diagrami~~



Zaradi zoostalih napetosti pride hitreje do plastičificacije, a mejna nosilnost mora biti ista. Pri isti obremenitvi rešimo vseje deformacije, da izračunamo σ_u .

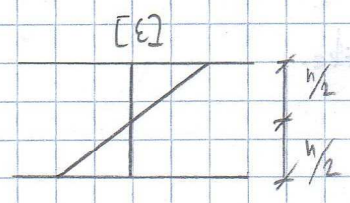
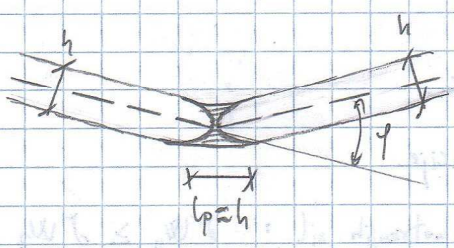
• Zveza med f in $\frac{1}{R}$: $\epsilon_p = \frac{\Delta l}{l_0}$; $\Delta l \approx \varphi \cdot \frac{h}{2}$

$$\epsilon_p = \frac{f \cdot \frac{h}{2}}{h} = \frac{f}{2}$$

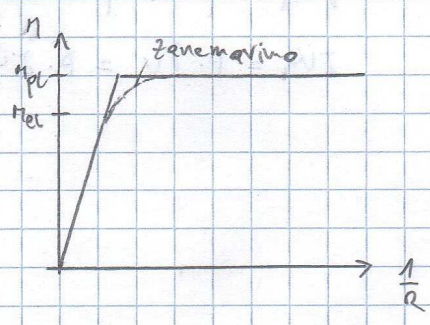
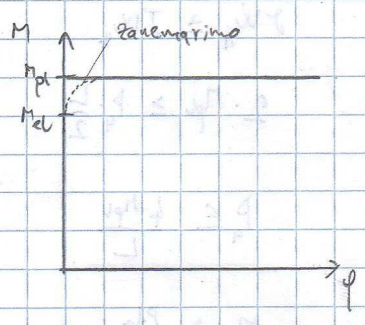
$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon}{\frac{h}{2}} = \frac{f/2}{h/2} = \frac{f}{h}$$

$$\frac{1}{R} \approx \frac{f}{h}$$

- v plastificiranem predelu sta R in f v medsebojnem razmerju

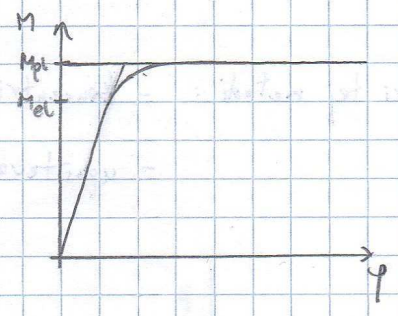


Elastičen zasuk lahko zanemarimo, ker je izjemno majhen v primerjavi z medsebojnimi plastičnim.



Tega ne moramo navesti za ukrivjenost, ker se pri elastičnem obnašanju konkretno pozna.

• Pri stilih tega elastičnega medsebojnega ~~delu~~ tankega elementu ne moremo zanemariti, saj je elastična deformacija dokaj velika (se "usede").



5. Metode plastične analize sistema

Klancek.si

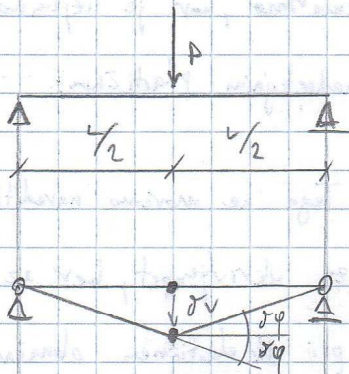
Toja metoda plastičnega člena (TMPČ)

Pri tej metodi: - zanemarimo elastične deformacije.

- koncentrirano območje plastifikacije.

- uporabimo izrek o virtualnem delu notranjih sil: $\delta W_n \geq \delta W_z$

- lahko izračunamo samo nivo mejne obtežbe.



$$\delta v = \delta \varphi \cdot \frac{L}{2}$$

$$\delta W_n = M_{pl} \cdot 2 \delta \varphi$$

$$\delta W_z = P \cdot \delta v = P \cdot \delta \varphi \cdot \frac{L}{2}$$

$$\delta W_n \geq \delta W_z$$

$$2 \cdot M_{pl} \geq P \cdot \frac{L}{2}$$

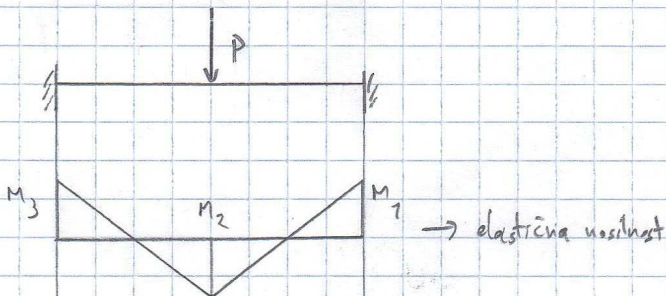
$$P_q \leq \frac{4 M_{pl}}{L}$$

$$M_{pl} \geq \frac{P \cdot L}{4}$$

Deformacijska metoda plastičnega člena

Pri tej metodi: - koncentrirana plastičnost.

- upoštevamo elastične deformacije.

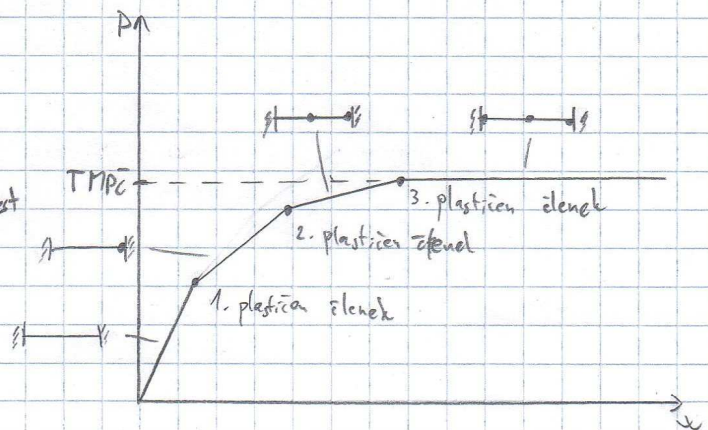


elast.:

1. členek:

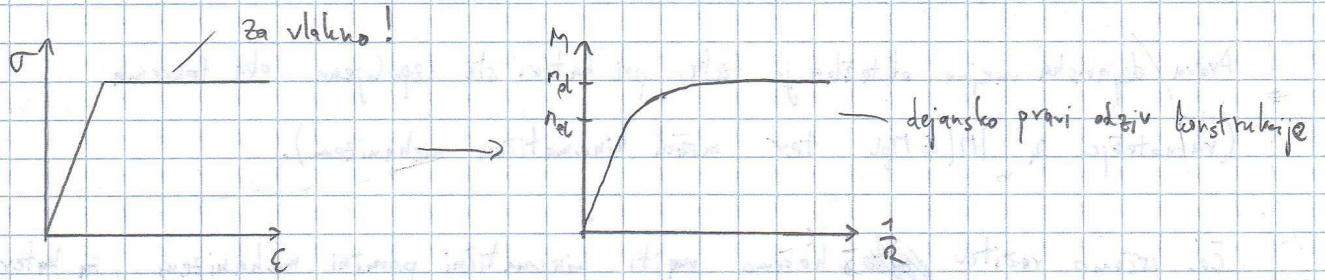
2. členek:

3. členek:



"Točna" elasto-plastična analiza

8

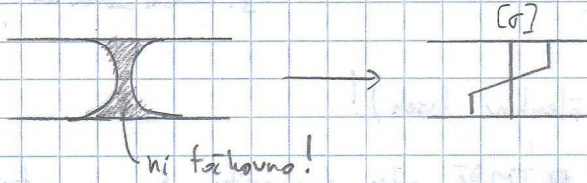


Pri tej metodi: - ni koncentrirane plastičnosti.

- uporabljajo ga računalniški programi: ABAQUS, ANSYS

verificiramo model z realnim modelom (Pu, obtočna pot, posilni mek...)

uporaba le za raziskave, ne za realne konstrukcije



Teoremi plastične nosilnosti

Lower Bound Theory

a) STATIČNI TEOREM - SPODNJE MESE PLASTIČNE NOSILNOSTI:

Obtežba, ki v konstrukciji povzroči katerikoli razpored ~~obtežbe~~ ^{notranjih sil (momentov)}, za katerega velja ravnotežje, in kjer v nobeni točki $|M|$ ni večji od M_{pl} je manjša ali enaka porušni.

1. Ravnotežje
 2. $|M| \leq M_{pl}$
- } $P \leq P_u$

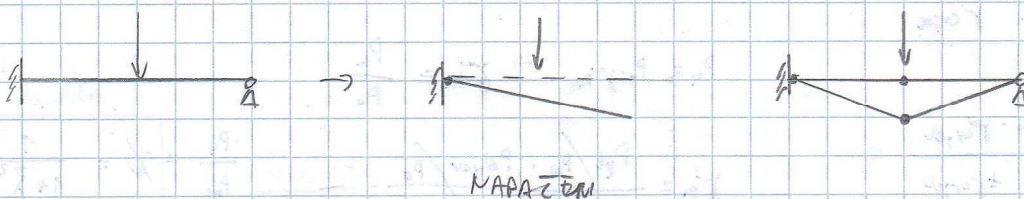
S temi dvema "zakoni" lahko iščemo najboljšo razporeditev, da dobimo kar se da visoko nosilnost.

Upper Bound

b) KINEMATIČNI TEOREM - ZGORNJE MESE:

Obtežba, ki povzroči katerikoli kinematični ~~porušni~~ ^{porušni} mehanizem, je večja ali enaka porušni.

Za porušni mehanizem moramo upoštevati robne in kompatibilitetne pogoje.



1. Porušni mehanizem $\rightarrow P \geq P_u$

Alta

Prava/dejanska mejna obtežba je tista, pri kateri sta izpolnjena oba teorema (ravnotežje in $M \leq M_{pl}$ ter možen kinematičen mehanizem).

Če iščemo razitev ~~TMPC~~, hočemo najti kinematični porušni mehanizem, za katerega velja ravnotežje. Velja le pri enem ali večih enakovrednih.

1. Ravnotežje
 2. $M \leq M_{pl}$
 3. Porušni mehanizem
- } $P = P_u$

Duktilnost

Zagotoviti moramo pogoje za razvoj plastičnih členkov (vseh)!

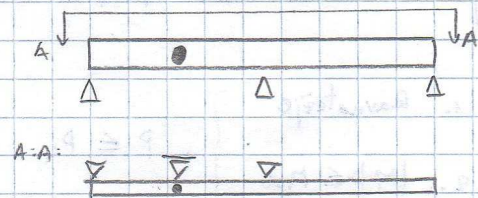
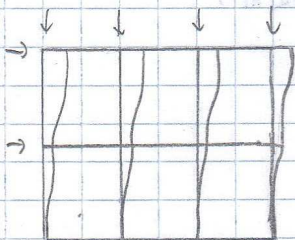
To je še zadnja zahteva za projektiranje po ~~TMPC~~ poleg zanesljivosti, koncentrirane plastičnosti, virtualnega dela in vseh treh teoremov.

Za to potrebujemo: - duktilen material (S235, S355 po EN 10025).

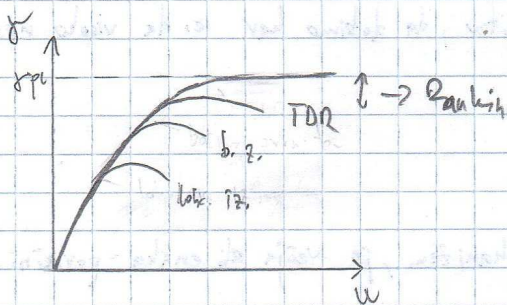
- prevez 1. razreda kompaktnosti (za popoln razvoj pl. členka)

- počna podpiranje.

- relativno majhna vrtkost stebrov (vpliv TDR).



ali $\lambda_{LT} \leq 0,4$



Upoštevanje TDR: $\gamma_{pl} = \frac{P_{pl}}{P_0}$ i $\gamma_{cr,rel} = \frac{P_{cr,rel}}{P_0}$

TMPC

$\gamma_{pl} \approx 1-1,5$

$\gamma_{cr,rel} \approx 10-20-30$

Rankin: $\frac{1}{\gamma_R} = \frac{1}{\gamma_{pl}} + \frac{1}{\gamma_{cr,rel}}$

Ultimate

$\gamma_{cr} = \frac{\gamma_{pl} \cdot \gamma_{cr,rel}}{\gamma_{pl} + \gamma_{cr,rel}}$

$P_u = P_0 \cdot \gamma_{cr} \rightarrow \gamma_{cr} = \frac{P_u}{P_0}$

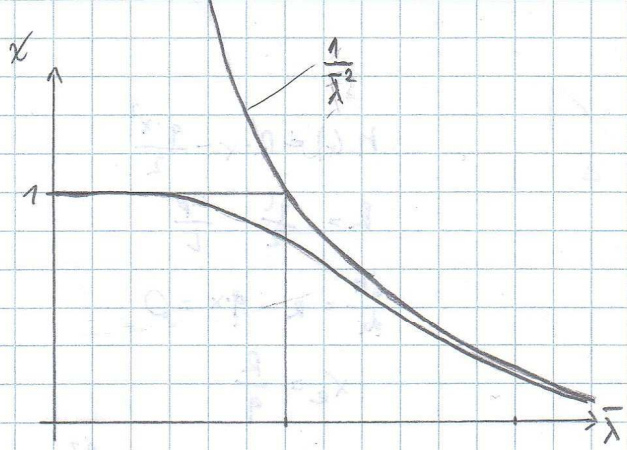
$\gamma_{cr} = \frac{P_{pl}/P_0 \cdot P_{cr,rel}/P_0}{P_{pl}/P_0 + P_{cr,rel}/P_0} = \frac{P_{pl} \cdot P_{cr,rel}}{(P_{pl} + P_{cr,rel}) \cdot P_0} \cdot \frac{P_u}{P_{pl}} = \chi = \frac{1}{1 + \lambda^2}$

redukcijski faktor

$P_u = \chi \cdot P_{pl} (TMPC)$

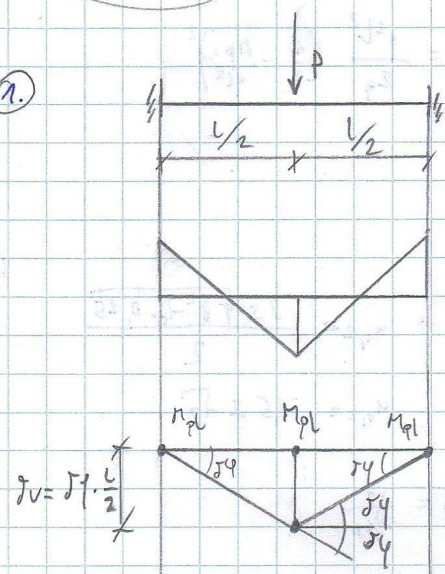
$\frac{P_u}{P_{pl}} = \frac{P_{pl} \cdot P_{cr,rel}}{P_{pl} + P_{cr,rel}} = \frac{1}{1 + \frac{P_{pl}}{P_{cr,rel}}} = \frac{1}{1 + \lambda^2}$

To ima smisel, če je χ dovolj majhen, drugače upoštevamo elastično analizo.



Primeri:

1.



$$\delta W_n = 4 M_{pl} \delta \varphi$$

$$\delta W_2 = P \delta v = P \frac{l}{2} \delta \varphi$$

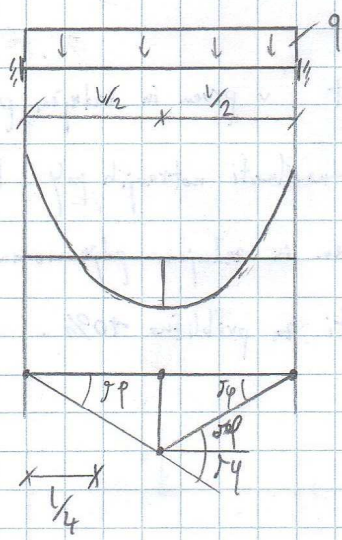
$$\delta W_n \geq \delta W_2$$

$$4 M_{pl} \delta \varphi \geq P \frac{l}{2} \delta \varphi$$

$$(4 M_{pl} - P \frac{l}{2}) \delta \varphi = 0$$

$$M_{pl} \geq \frac{Pl}{8}$$

2.



$$\delta W_n = M_{pl} \cdot 4 \delta \varphi$$

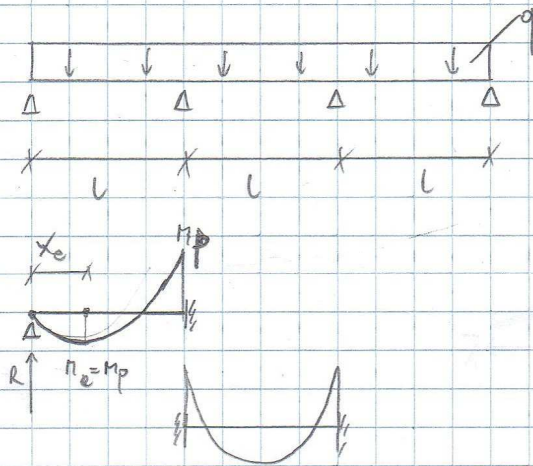
$$\delta W_2 = 2 \frac{ql}{2} \cdot \frac{l}{4} \delta \varphi = \frac{ql^2}{4} \delta \varphi$$

$$M_{pl} \cdot 4 \delta \varphi \geq \frac{ql^2}{4} \delta \varphi$$

$$M_{pl} \geq \frac{ql^2}{16}$$

- glede na elastično analizo projektiramo za 40 %

3.



$$M(x) = R \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$R = \frac{q \cdot l}{2} - \frac{M_p}{l}$$

$$\frac{dM}{dx} = R - q \cdot x = 0$$

$$x_e = \frac{R}{q}$$

$$M_p = M_e = M(x_e) = R \cdot \frac{R}{q} - \frac{q \cdot \frac{R^2}{q^2}}{2} = \frac{R^2}{2q}$$

$$M_p = \frac{1}{2q} \left(\frac{q \cdot l}{2} - \frac{M_p}{l} \right)^2 = \frac{q \cdot l^2}{2q} \left(\frac{1}{2} - \frac{M_p}{q \cdot l} \right)^2$$

$$u = \frac{M_p}{q \cdot l^2}$$

$$2u = 0,25 - u + u^2$$

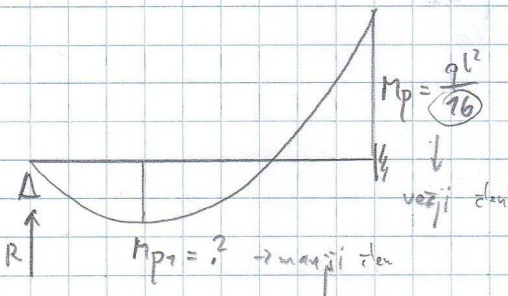
$$u^2 - 3u + 0,25 = 0 \rightarrow u_{1,2} = \frac{3 \pm \sqrt{3^2 - 4 \cdot 0,25}}{2}$$

$$u_{1,2} = 1,5 \pm \sqrt{2}$$

$$\frac{M_p}{q \cdot l^2} = 1,5 - \sqrt{2} = 0,08575 = \frac{1}{11,66}$$

$$M_p = \frac{q \cdot l^2}{11,66}$$

Če želimo, da dosežemo enako nosilnost pri vseh plastičnih členih, moramo prvo polje ojačati za koliko?

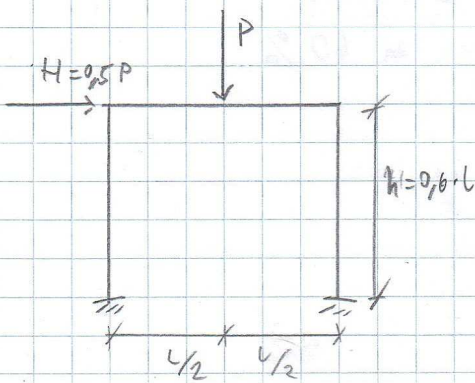


$$R = \frac{q \cdot l}{2} - \frac{M_p}{l} = \frac{q \cdot l}{2} - \frac{q \cdot l^2}{16 \cdot l} = \frac{q \cdot l \cdot 7}{16}$$

$$M_{p1} = M_e = \frac{R^2}{2q} = \frac{q^2 \cdot l^2 \cdot 7^2}{2q \cdot 16^2} = \frac{q \cdot l^2}{10,45} = M_{p2}$$

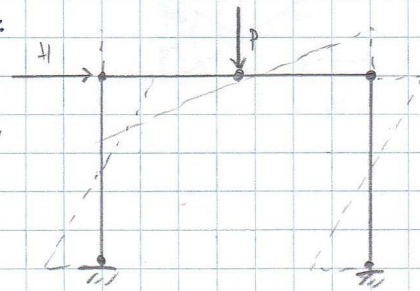
Nosilnost v prvem in zadnjem polju je enaka nosilnosti notranjih polj. Profil v prvem in zadnjem polju moramo povečati za približno 10%.

4.

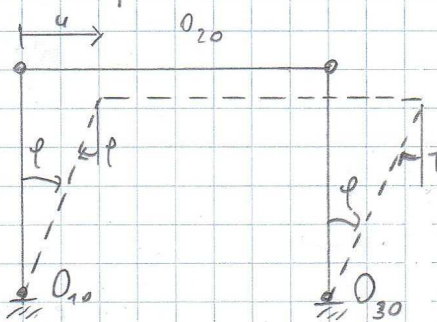


Možni plastični členi:

Tam, kjer so predvideni največji momenti v okvirju.



Prvi kinematični mehanizem:



$$u = \sin \varphi \cdot h \approx \varphi \cdot h$$

$$\delta W_2 = H \cdot u = H \cdot \varphi \cdot h$$

$$\delta W_n = M_p \cdot \varphi \cdot 4$$

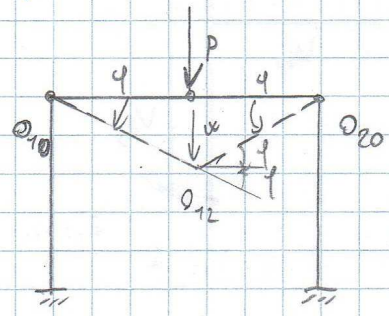
$$\delta W_1 = \delta W_2$$

$$M_p \cdot \varphi \cdot 4 = H \cdot \varphi \cdot h$$

$$M_p = \frac{H \cdot h}{4} = \frac{0,5 \cdot P \cdot 0,6 \cdot l}{4} = \underline{P \cdot l / 13,33}$$

Za kinematični mehanizam potrebujemo: - 4 p.č. (globalni kinematični mehanizam)
 - 3 p.č. (lokalni plastični mehanizam)

• Drugi kinematični mehanizam:



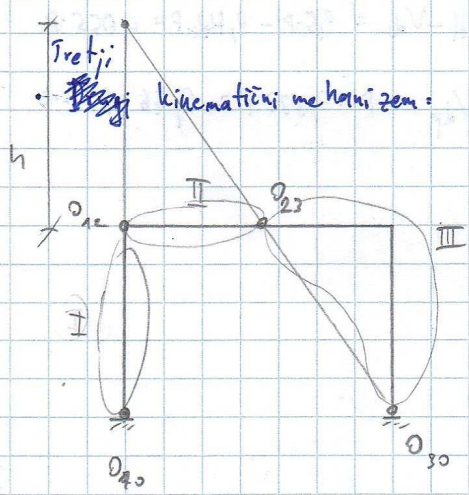
$$\delta W_n = M_p \cdot \varphi \cdot 4$$

$$\delta W_2 = P \cdot w = P \cdot \varphi \cdot \frac{l}{2} \quad ; \quad w = \varphi \cdot \frac{l}{2}$$

$$\delta W_n = \delta W_2$$

$$M_p \cdot \varphi \cdot 4 = P \cdot \varphi \cdot \frac{l}{2}$$

$$M_p = \frac{P \cdot \frac{l}{2}}{4} = \underline{\frac{P \cdot l}{8}}$$



$$u = h \cdot \varphi$$

$$w = \varphi \cdot \frac{l}{2}$$

$$\delta W_n = M_p \cdot \varphi \cdot 6$$

$$\delta W_2 = P \cdot w - H \cdot u$$

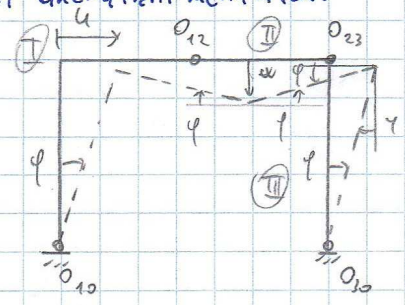
$$\delta W_n = \delta W_2$$

$$M_p \cdot \varphi \cdot 6 = P \cdot w - H \cdot u$$

$$M_p = \frac{P \cdot \frac{l}{2} - H \cdot h}{6} = \frac{P \cdot \frac{l}{2} - 0,5 \cdot P \cdot 0,6 \cdot l}{6} =$$

$$= \frac{P \cdot l}{6} \cdot \left(\frac{1}{2} - 0,3 \right) = \underline{\frac{P \cdot l}{30}}$$

• Četvrti kinematični mehanizam:



$$u = h \cdot \varphi$$

$$w = \varphi \cdot \frac{l}{2}$$

$$\delta W_n = M_p \cdot \varphi \cdot 6 \quad ; \quad \delta W_2 = P \cdot w + H \cdot u$$

$$\delta W_n = \delta W_2 \rightarrow M_p \cdot \varphi \cdot 6 = P \cdot w + H \cdot u$$

$$M_p = \frac{P \cdot \frac{l}{2} + H \cdot h}{6} = \frac{P \cdot \frac{l}{2} + 0,5 \cdot P \cdot 0,6 \cdot l}{6} = \frac{P \cdot l}{6} \left(\frac{1}{2} + 0,3 \right) = \underline{\frac{P \cdot l}{7,5}}$$

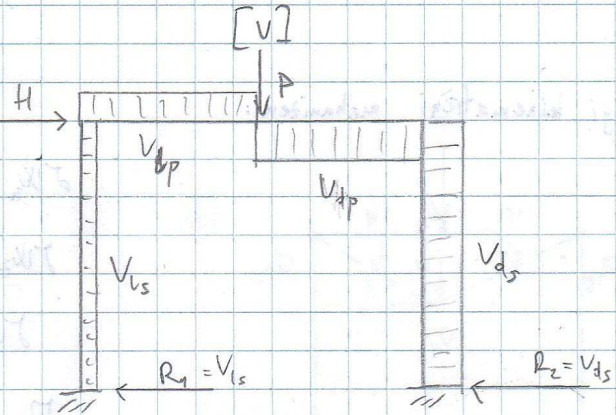
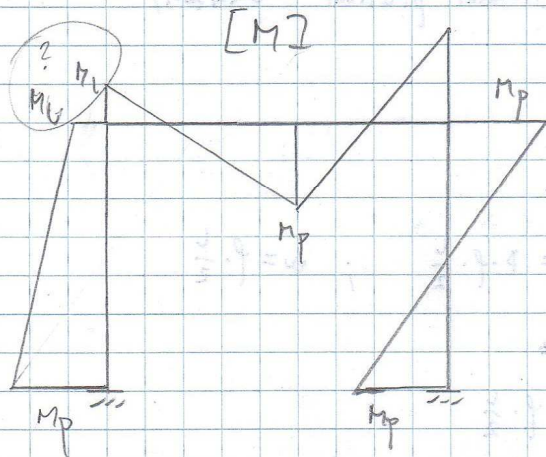
1. $P = \frac{1333 \cdot M_p}{L}$

2. $P = \frac{8 \cdot M_p}{L}$

3. $P = \frac{20 \cdot M_p}{L}$

4. $P = \frac{25 \cdot M_p}{L} = P_{min}$ - minimalna potrebna sila za vzpostavitev možarčnega kinematičnega mehanizma

• Notranje sile za merodajni mehanizem (4):



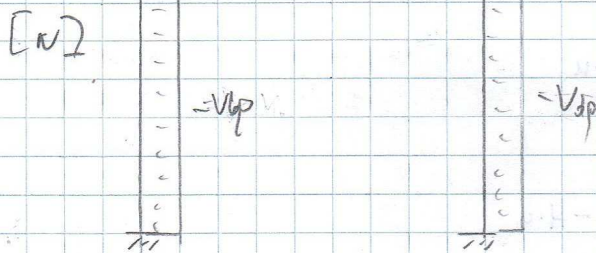
$$V_{ds} = \frac{dM}{dx} = \frac{2M_p}{h} = \frac{2 \cdot P \cdot L}{2,5 \cdot 0,6 \cdot L} = 0,444 \cdot P$$

$$V_{ls} = R_1 = H - V_{ds} = 0,5 \cdot P - 0,444 \cdot P = 0,055 \cdot P$$

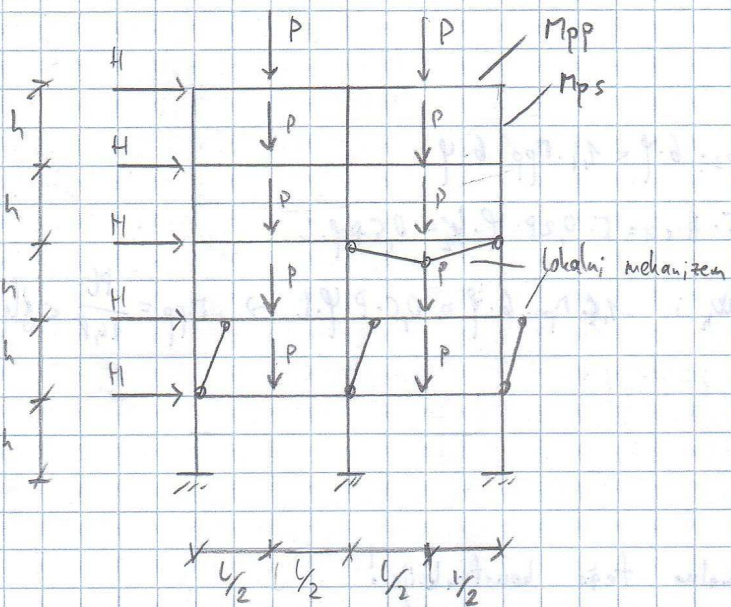
$$V_{dp} = \frac{2M_p}{l/2} = \frac{2 \cdot PL}{\frac{1}{2} \cdot 2,5} = 0,533 \cdot P$$

$$V_{lp} = P - V_{dp} = P - 0,533 \cdot P = 0,46 \cdot P$$

$$V_{ds} - V_{ls} = 0,444 \cdot P$$



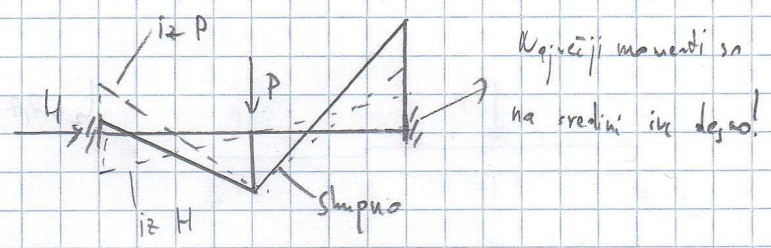
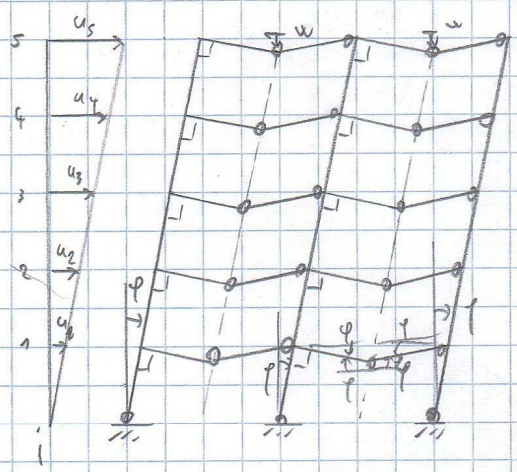
5. Večetažni okvir :



$h = 0,5 \cdot l$
 $H = 0,2 P$
 $M_{ps} = 1,4 M_{pp}$

Potrebno je preprečiti lokalni mehanizem. Rešitev je, da so prečke šibkejše od stebrov, dobimo globalni porušni mehanizem (potres).

Globalni mehanizem



$w_i = \sum_{n=1}^i h \cdot \varphi = i \cdot h \cdot \varphi$; $w = \varphi \cdot \frac{l}{2}$

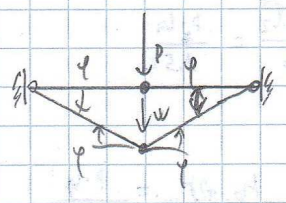
$\delta W_{in} = M_{pp} \cdot 10 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \varphi + M_{ps} \cdot 3 \cdot \varphi =$
 $= 40 \cdot M_{pp} \cdot \varphi + 3 \cdot 1,4 \cdot M_{pp} \cdot \varphi =$
 $= 44,2 M_{pp} \cdot \varphi$

~~$\delta W_{in} = 44,2 M_{pp} \cdot \varphi$~~
 $\delta W_{ex} = 10 \cdot P \cdot w + H \cdot (u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5) = 10 P \cdot w + H \cdot 15 \cdot h \cdot \varphi =$
 $= 10 \cdot P \cdot \varphi \cdot \frac{l}{2} + 7,5 \cdot H \cdot l \cdot \varphi = 5 P \cdot \varphi \cdot l + 7,5 \cdot 0,2 P \cdot l \cdot \varphi =$
 $= 6,5 \cdot P \cdot l \cdot \varphi$

$\delta W_{in} = \delta W_{ex} :$ $44,2 \cdot M_{pp} \cdot \varphi = 6,5 \cdot P \cdot l \cdot \varphi$

$M_{pp} = \frac{6,5 \cdot P \cdot l}{44,2} = \frac{P \cdot l}{6,8}$

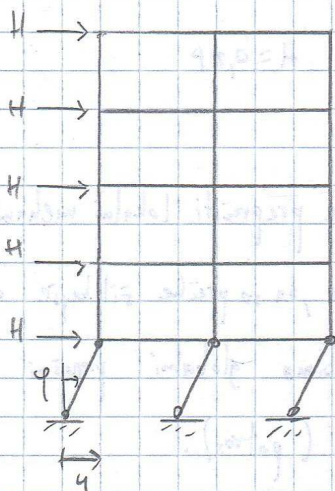
Lokalni mehanizem v prečki:



$M_{pp} = \frac{P \cdot l}{8} < \text{globalnemu}$

Alta

Lokalni mehanizem etaže (mehka etaža):



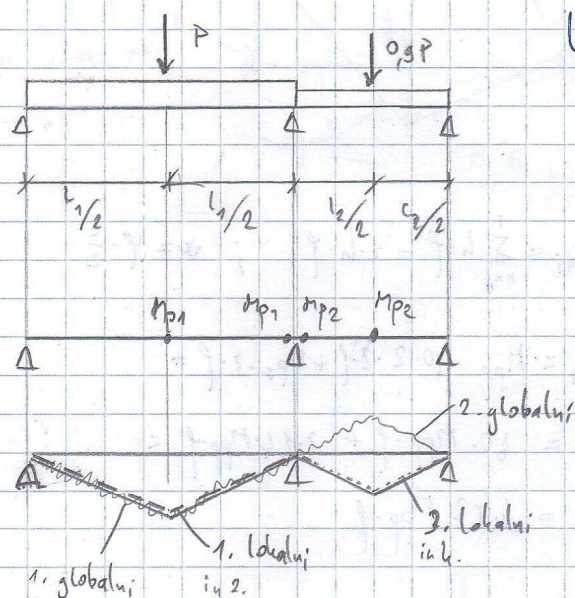
$$u = \varphi \cdot h$$

$$\delta W_1 = M_{ps} \cdot 6 \cdot \varphi = 1,4 \cdot M_{pp} \cdot 6 \cdot \varphi$$

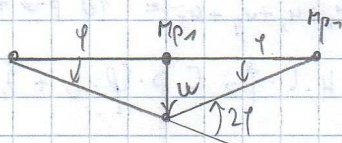
$$\delta W_2 = 5 \cdot H \cdot u = 5 \cdot 0,2P \cdot \varphi \cdot \frac{h}{2} = 0,5P \cdot \varphi \cdot L$$

$$\delta W_2 = \delta W_1 : 1,4 M_{pp} \cdot 6 \cdot \varphi = 0,5 \cdot P \cdot \varphi \cdot L \rightarrow M_{pp} = \frac{PL}{16,8} < \text{globalni}$$

6. Optimalno projektiranje: Izračunaj minimalno težo konstrukcije!



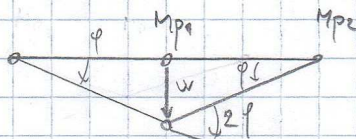
1. Lokalni:



$$w = \varphi \cdot \frac{l_1}{2}$$

$$3M_{p1} \cdot \varphi = P \cdot \varphi \cdot \frac{l_1}{2} \rightarrow M_{p1} = \frac{P \cdot l_1}{6}$$

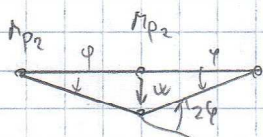
2. Lokalni:



$$2M_{p1} \cdot \varphi + M_{p2} \cdot \varphi = P \cdot \varphi \cdot \frac{l_1}{2}$$

$$2M_{p1} + M_{p2} = P \cdot \frac{l_1}{2}$$

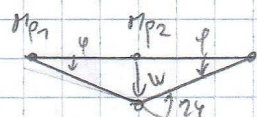
3. Lokalni:



$$w = \varphi \cdot \frac{l_2}{2}$$

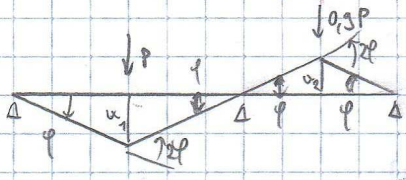
$$3M_{p2} \cdot \varphi = 0,9P \cdot \varphi \cdot \frac{l_2}{2} \rightarrow M_{p2} = \frac{0,9P \cdot l_2}{6} = \frac{P \cdot l_2}{9,52}$$

4. Lokalni:



$$M_{p1} \cdot \varphi + 2M_{p2} \cdot \varphi = 0,9P \cdot \varphi \cdot \frac{l_2}{2} \rightarrow M_{p1} + 2M_{p2} = \frac{P \cdot l_2}{3,18}$$

5. Globalni mehanizem:



$$w_1 = p \cdot \frac{l_1}{2} \quad ; \quad w_2 = p \cdot \frac{l_2}{2}$$

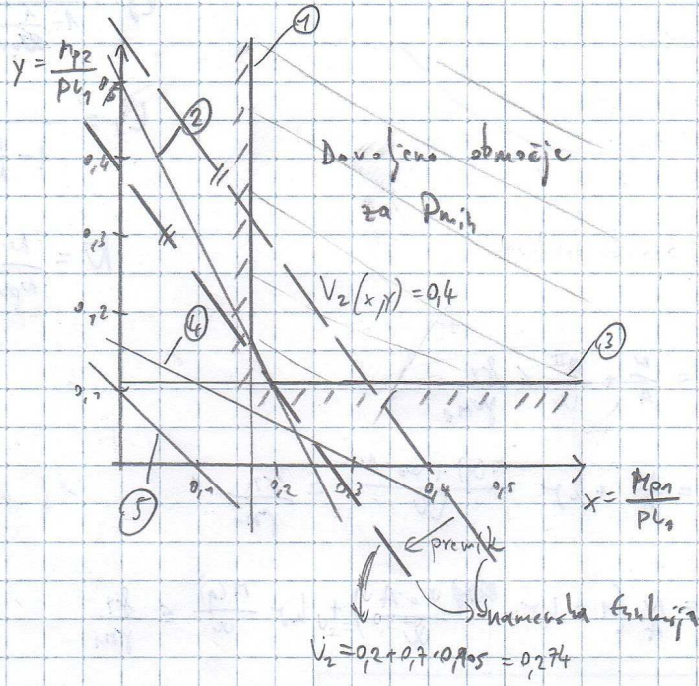
$$2 M_{p1} \cdot \varphi + 2 M_{p2} \cdot \varphi = p \cdot \varphi \cdot \frac{l_1}{2} + 0,9 p \cdot \varphi \cdot \frac{l_2}{2}$$

$$M_{p1} + M_{p2} = \frac{p \cdot l_1}{10,89}$$

Primerjava mehanizmov med seboj:

$$x = \frac{M_{p1}}{p \cdot l_1} \quad ; \quad y = \frac{M_{p2}}{p \cdot l_1}$$

1. $x = 0,167$
2. $y = 0,5 - 2x$
3. $y = 0,105$
4. $x = 0,159 - 0,5x$
5. $y = 0,083 - x$



Namenska funkcija:

$$V(M_{p1}, M_{p2}) = K (M_{p1} \cdot l_1 + M_{p2} \cdot l_2) / (p \cdot l_1^2); \quad K = \frac{A}{w}$$

$$V_1 = K \left(\frac{M_{p1}}{p \cdot l_1} + \frac{M_{p2} \cdot 0,9 \cdot l_1}{p \cdot l_1^2} \right)$$

$$V = K (M_{p1} l_1 + M_{p2} l_2), \quad K = \frac{A}{w}$$

$$V = \frac{A}{w} (w_1 \cdot \delta_1 \cdot l_1 + w_2 \cdot \delta_2 \cdot l_2)$$

$$V_1 = K (x + 0,7y) / k$$

$$V_2 = x + 0,7y$$

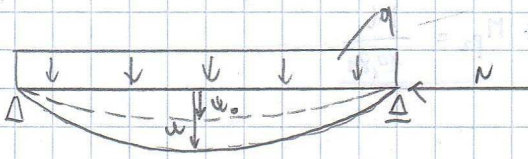
$$V_2 = 0,14 = x + 0,7y \quad \xrightarrow{\text{premik}} \quad V_2 = 0,2 + 0,7 \cdot 0,105 = 0,274 = V_{2, \min}$$

izberemo poljubno veliko, le da je izven njegove ravnine!

T. je točka pri mehanizmu 2 in 3.

Interakcija tlazno in upogibno obremenjenih

nosilcev



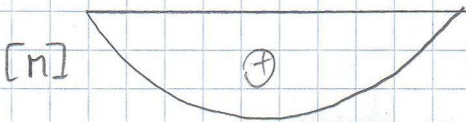
$$M^I = \frac{q l^2}{2} + N \cdot w_0 = M(q) + N \cdot w_0$$

$$M^{II} = k_f \cdot M^I = k_f (M(q) + w_0 \cdot N)$$

$$k_f = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad ; \quad \alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N}$$

$$k_f = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}} \frac{N_{pl}}{N_{pl}}} = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \lambda^2 - \bar{N}}$$

$$\bar{N} = \frac{N}{N_{pl}} \quad \text{in} \quad \lambda^2 = \frac{N_{pl}}{N_{cr}}$$



$$\sigma_{max}^{II} = \frac{N}{A} + \frac{M^{II}}{W} \leq \frac{f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$\sigma_{max}^{II} = \frac{N}{A} + k_f \frac{M(q) + w_0 \cdot N}{W} \leq \frac{f_y}{\gamma_{m1}}$$

$$\sigma_{max}^{II} = \frac{N}{A} \left(1 + k_f \frac{w_0 \cdot A}{W} \right) + k_f \frac{M(q)}{W} \leq \frac{f_y}{\gamma_{m1}}$$

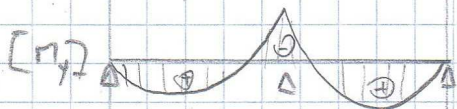
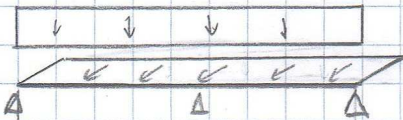
$$k_N \frac{N}{A \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} + k_M \frac{M(q)}{W \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

$$; \quad k_N = k_f = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = \frac{1}{1 - \lambda^2 - \bar{N}} \quad ; \quad k_M = \left(1 + k_f \frac{w_0 \cdot A}{W} \right) \approx 1,0$$

$$\frac{N}{A \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} + k_M \frac{M(q)}{W \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$

nevarnost (redukcija) ugotovna

$$\frac{N}{\chi \cdot A \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} + k_M \frac{M(q)}{W \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} \leq 1,0$$



Govora je o sistemih okvirjev, ki nosilnost zagotavljajo preko momentne nosilnosti.

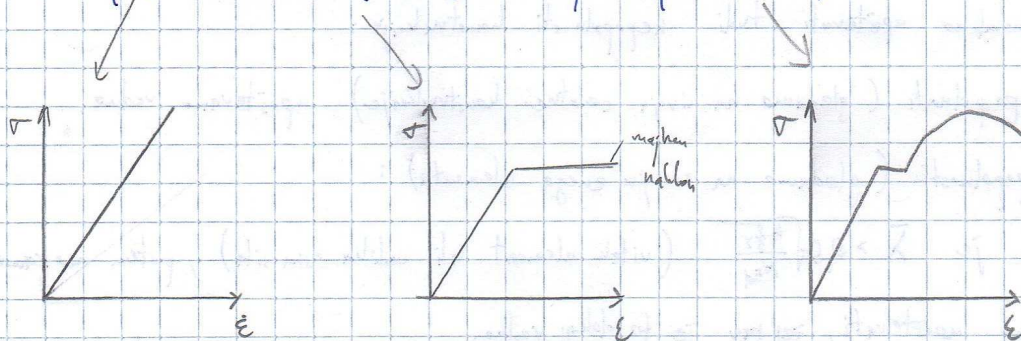
Ty lahko v konstrukciji definiramo:

- primarne nosilce (prenos vseh obtežb na podlago)
- sekundarne nosilce (prenos plošč in njihovih obremenitev na primarne)
- terciarne nosilce (če je to potrebno)

Največja težava analize takih konstrukcij je modeliranje NKE modela. Dobra praksa je, da za enostavne konstrukcije uporabljamo poenostavljene modele ločeno za primarne in sekundarne, za kompleksne pa vse skupaj zmodeliramo v celoti (če posebej že analiziramo po TDR). Pri analizi enostavnih konstrukcij je pomembna ocena poteka prenosa obtežbe na ostale elemente.

Če imamo opravila & kombinacije konstrukcijskih rešitev nosilne konstrukcij, jih analiziramo glede na njihovo glavno vlogo, če so ostali deli pri tej vlogi zanemarljivi.

- Stavbe:
- elastična analiza (TPR, TDR, nepopolnosti)
 - plastična analiza (TMPČ, DMPČ, elastoplastična NKE)



Vpliv pomikov na obnašanje konstrukcij (TDR):

- TPR \rightarrow če je vpliv TDR $\leq 10\%$ (plastična analiza 6,6%)
- TDR \rightarrow če je vpliv TDR $> 10\%$

Problem je, kako to ugotoviti:

$$k_{cr} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 1,10 \rightarrow \text{vpliv TDR je } 10\%$$

če je $\alpha_{cr} \geq 10$ ozi. $\alpha_{cr} \geq 15$ (p.a.),

potem uporabimo TPR, drugače TDR

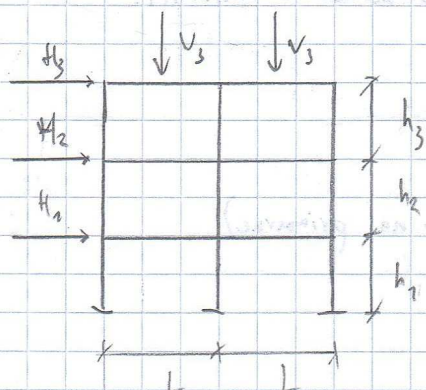
in zacetne nepopolnosti.

$$\alpha_{cr} = 10$$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{Ed}}$$

Akta

Druga možnost je izračun N_{cr} s pomočjo MKE analiz brez realne obtežbe. Tretja opcija pa je Horne-ova metoda, ki je v resnici izpeljana Eulerjeva N_{cr} za enostavne okvirje.



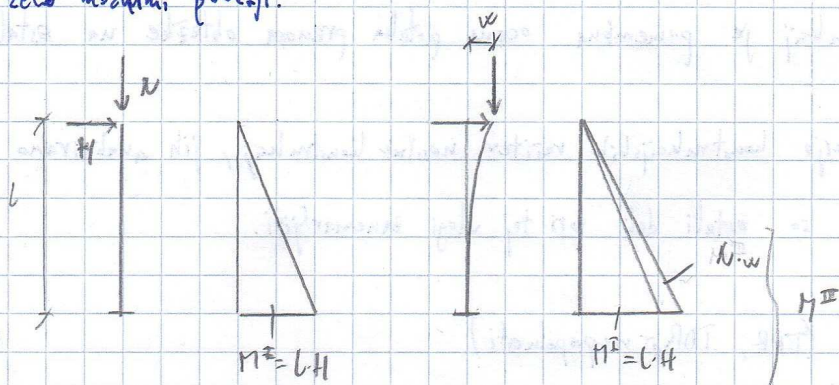
$$k_{cr,i} = \left(\frac{\sum H_{Ed,i}}{\sum V_{Ed,i}} \right) \left(\frac{h_i}{j_{k,Ed,i}} \right)$$

$$k_{cr} = \min(k_{cr,i}), \quad i = 1, 2, \dots$$

kiter, kdaj reprezentativen izračun na voljo

$$\left(\begin{array}{ccc} \sum V_3 = V_3 & \sum V_2 = V_2 + V_3 & \sum V_1 = V_1 + V_2 + V_3 \\ \sum H_3 = H_3 & \sum H_2 = H_2 + H_3 & \sum H_1 = H_1 + H_2 + H_3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ j_{k,Ed} = w_3 - v_2 & j_{k,Ed} = w_2 - v_1 & j_{k,Ed} = w_1 \end{array} \right)$$

Zelo velike probleme imamo, če je $\gamma_{cr} \leq 3$ oz. 2, kar je konstrukcija zelo vitka in je vpliv TAR zelo velik. Obratno pa lahko TAR navadno uporabimo pri palčjih in okvirjih z zelo močnimi povezji.



Pri analizi je pomembno upoštevati tudi nepopolnosti konstrukcije:

- globalne nepopolnosti (gledamo na nivoju celotne konstrukcije) upoštevamo vedno.

- lokalne nepopolnosti (gledamo na nivoju enega elementa):

• če je $\bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$ (vitak element ali velika osna sila), potem moramo nujno upoštevati, zep rav je to dolga vredno.

• če je $\bar{\lambda} \leq 0,5 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$, potem pa ta vpliv upoštevamo le implicitno preko uklonskih krivulj pri dimenzioniranju elementov.

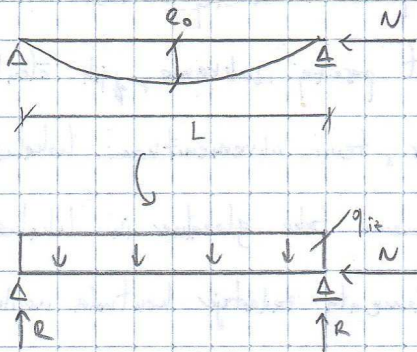
Navadne vrednosti globalnih nepopolnosti so okoli $1/200$, oziroma med $1/200$ in $1/600$, dela višine stavbe. Za lokalne nepopolnosti pa so velikosti med $1/100$ in $1/350$ dolžine elementov.

Modeliramo tako, da navedemo popolno konstrukcijo in ji dodamo horizontalne sile zaradi nepopolnosti. Te izbočne sile upoštevamo kar za vse obtežne primere enkrat.

če imamo $H_{Ed} \geq 0,15 N_{Ed}$, potem lahko dodatek izbočnih sil zanemarimo.

(14)

lokalne neopolnosti obravnavamo na podoben princip:

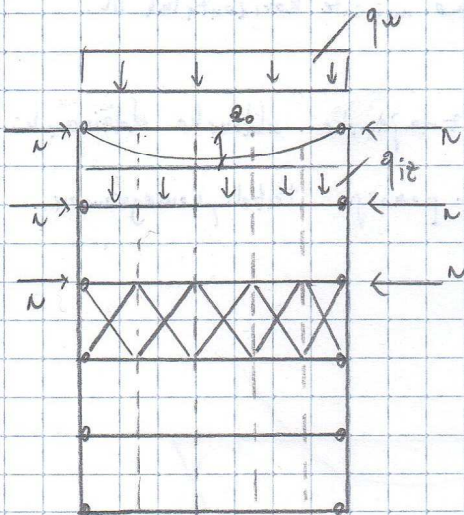


$$M_0 = N e_0 = \frac{q_{iz} L^2}{8} \rightarrow q_{iz} = \frac{N e_0 \cdot 8}{L^2}$$

$$R = \frac{N e_0 \cdot 4}{L}$$

Tu vedno gledamo 1. uklonsko obliko in predpostavimo tako obliko za neopolnosti.

stresne povezje (isto velja za mestne pakuje konstrukcije):



$$e_0 = \alpha_m \cdot L / 500$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

i m - število tlaženih parov

$$q_{iz} = \sum_{i=1}^m N_{Ed} \cdot 8 \frac{e_0 + \delta q}{L^2}$$

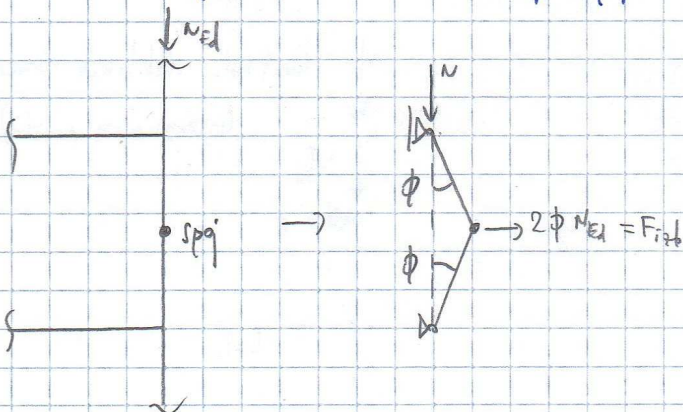
pomik zaradi zvezne obteke q_{iz}

$$TDR \rightarrow \delta q = 0$$

Navedimo dve iteraciji, najprej pomike in nadomestilo in nato pomike zaradi nadomestila.

$$\delta q \approx \left(\frac{1}{1000} - \frac{1}{1000}\right) \cdot L$$

če imamo opravlja s stebri, ki imajo spoje:



$$2\phi N_{Ed} = F_{izb} \approx \frac{N_{Ed}}{100}$$

$$\phi = \alpha_m \phi_0 \cdot \frac{1}{200}$$

če nimamo katene bolj pametne ideje

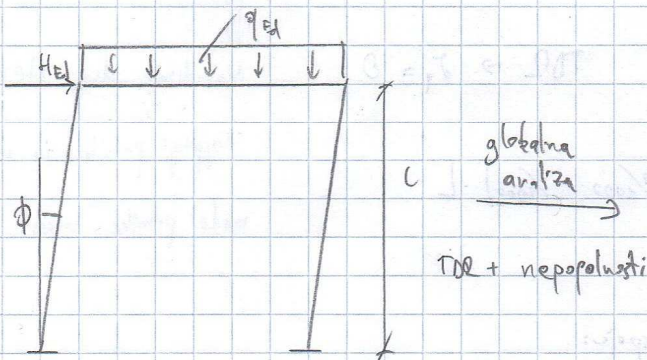
Vpliv TDR zajamemo na tri načine:

- "Točen" račun po TDR z MKE z upoštevanjem neopolnosti. Pri tej metodi dobimo eksaktno notranje sile, nato pa vsak element posebej izoliramo, njih členkasto podpremo in analiziramo po ~~norm~~ normalnem postopku s temi obremenitvami. Lokalne neopolnosti zajamemo z redukcijskimi faktorji χ . Če pa zajamemo tako globalne in lokalne neopolnosti v analizi (le pri ravninskih okvirjih!) na nivoju elementa zadostuje kontrola nosilnosti/prereza. A v tem primeru imamo probleme, ker programi ne znajo izračunati točne zvrnitve.

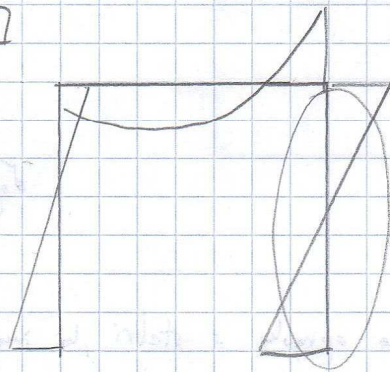
- Približno upoštevanje TDR s faktorjem χ , s katerim povečamo momente horizontalnih sil.

- Račun po TPR. Na nivoju elementa se kontrola izvrti z dejansko uklonsko dolžino, ki izhaja iz globalne nestabilnosti. Uklonsko dolžino dobimo s pomočjo tabel, nomenogramov...

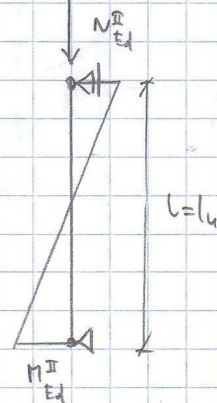
V teh primerih je $\chi_m \approx 0,9 - 1,0$.



[M]

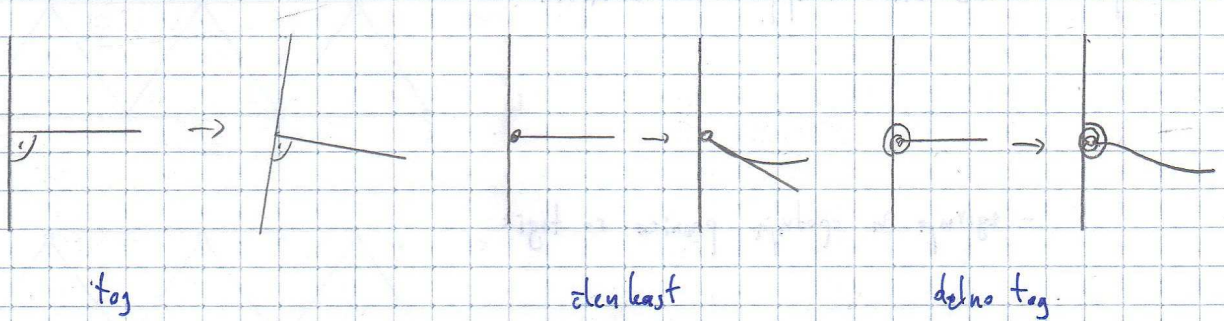


Kontrola stabilnosti elementa
(interakcijska enačba)

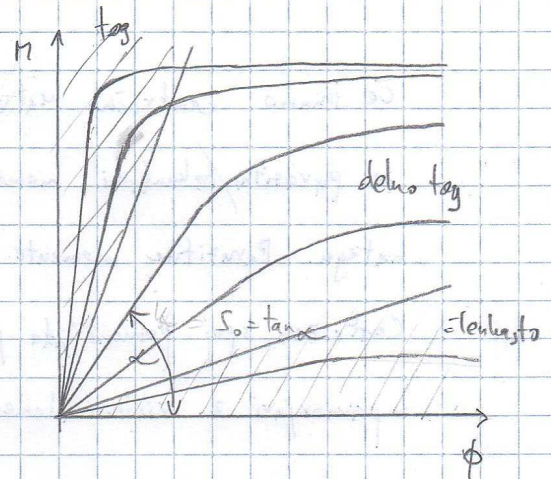


Numerično modeliranje jeklenih konstrukcij

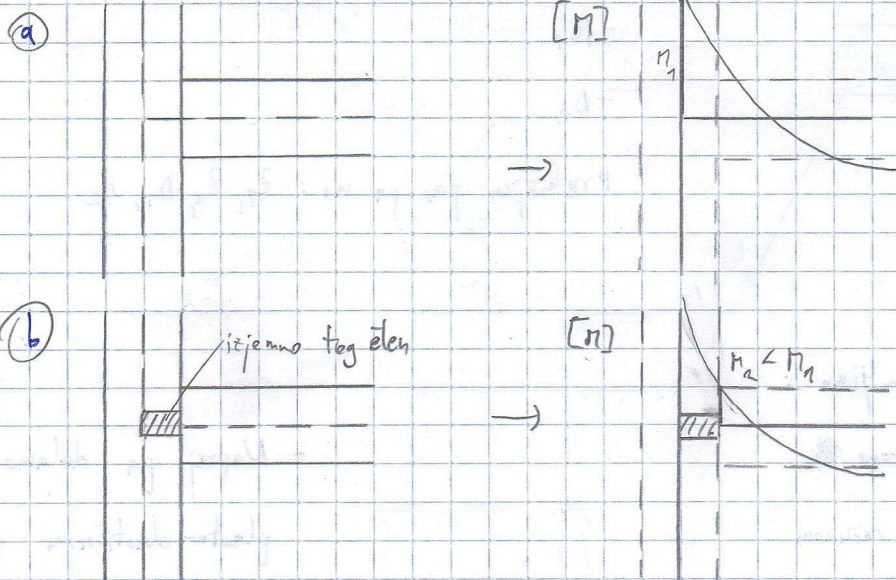
Modeliramo elemente in vozlišča. Vozlišča odiramo spoji so lahko: togji, členkasti in delno togji.



Za delno tog spoj moramo modelirati kot vzmet (momentno) poleg členka s togostjo K . Delno toge spoje uporabimo tako, da so čim lažji za računanje, če je to mogoče uporabimo le toge in členkaste.

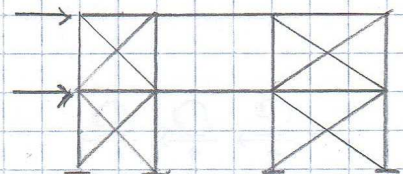


• Možnosti modeliranja togih spojev:



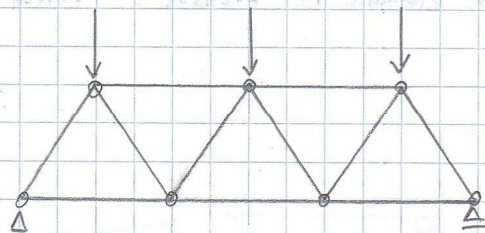
Uporabimo pri konstrukcijah, kjer imamo probleme z velikimi pretezi stebrov in velikimi momenti pri spojih.

• Povezja: če je togost povezja petkrat večje kot okvirja, lahko rečemo, da je togost okvirja zanemarljiva in vse prenese povezje.

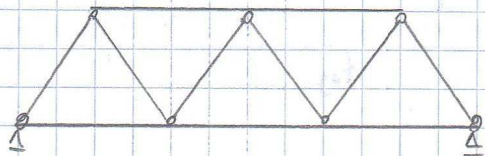


- Pri modeliranju prostorskih konstrukcij moramo paziti, da pravilno upoštevamo sekundarno nosilno konstrukcijo, da so vsi robni pogoji primerne konstrukcije vključeni.

- Paličja: - vse sile delujejo v votlinah:

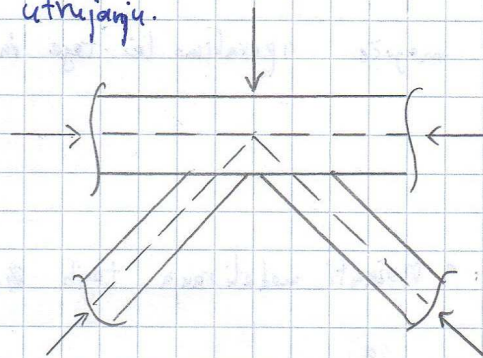


- zgornja in spodnja pasnica so togi:

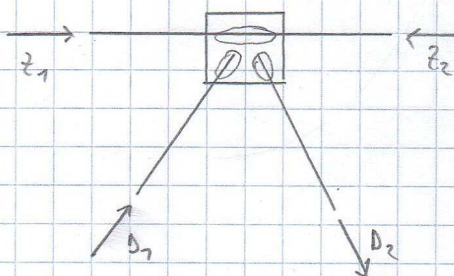


Če imamo centrično ustvarjen tog spoj in to velja za vse spoje, se razvije le parazitni/sekundarni momenti v členih, saj le-ti večinoma nosijo tlaku ali nategu. Parazitne momente moramo upoštevati le pri utrujanju.

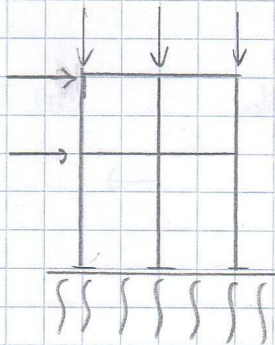
Centričen spoj pomeni, da je ekscentričnost majhna v primerjavi z višino elementa.



Dimenzijski razje členastih spojev na sile: $-(z_1 - z_2) \cdot$



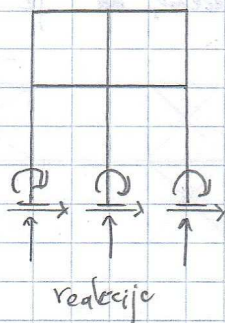
Prekrižje pas pa na: z_1, z_2, D_1, D_2



- Interakcija konstrukcija - zemljin:

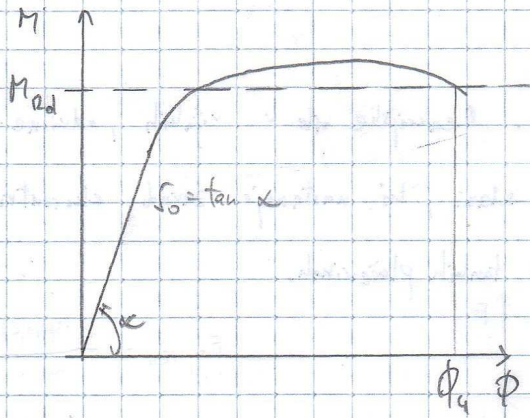
- V prvem koraku vzamemo toga ~~spoj~~ povezava konst. - tla z računom točkovnih posedkov:

- Naprej pa dobimo z s plasto-elastičnim prostorom, kjer upoštevamo še zasulke.



Upoštevamo še vpliv posedkov pod točkovnim temeljem (Winkleru, modul reakcije tal, elastični pol prostor...).

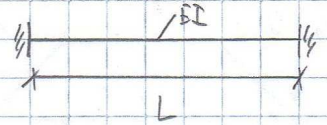
7. Spoji



Poznamo več vrst ~~delovnih~~ spojev:

- zlenkasti $\rightarrow s_0 < 0,5 k$
- togi $\rightarrow s_0 > 25 k$
- delno togi $\rightarrow 0,5 k \leq s_0 \leq 25 k$ (8k)

$$k = \frac{EI}{L}$$

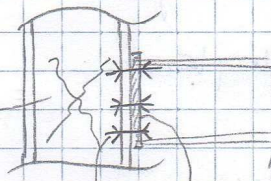


Glede duktilnosti gledamo rotacijsko kapaciteto:

- polkonosilni ne rabijo biti duktilni, saj se člene ustvari v elementu.
 - $\hookrightarrow M_{Rd} \geq 1,2 M_{pl,praska}$
- delno nosilni pa morajo biti duktilni.
 - $\hookrightarrow vmes$
- zlenkasti morajo omogočiti zasuke brez induciranih momentov.
 - $\hookrightarrow M_{Rd} \leq 0,25 M_{d,praska}$

Rotacijsko kapaciteto zagotavljamo:

- strigom v panelu stebra,
- vijaki v strigu ali nategu ne smejo biti kritični,
- tanjše čelne pločevine, vogalni kotniki, pasnice stebrov, ki morajo biti kritične:



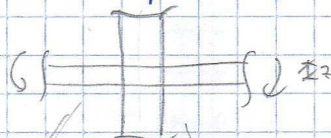
$$t \leq 0,36 d \cdot \sqrt{f_{ub}/f_y}$$

Vsak spoj razdelimo na dva kritična dela:

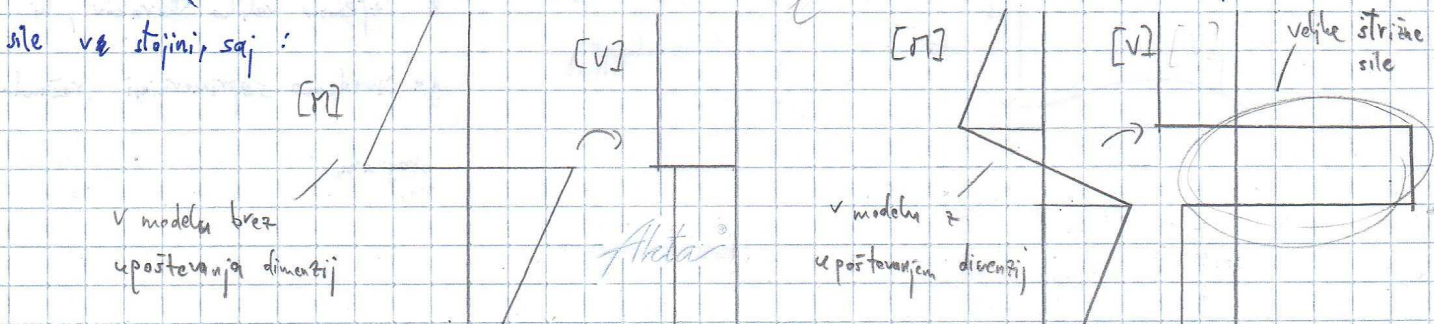
- stojina stebra \rightarrow strižni del,
- spoj s sorisnimi komponentami \rightarrow momentni del.

Modeliramo ju z vzmetmi vsakega zase.

Poenostavljen model lahko sicer tako delovanje zajamemo z eno rotacijsko vzmetjo in v primeru dvostranskega spoja pazimo na možnost različnih togosti.



Ko imamo opravka z obojestranskimi spoji na stebri moramo paziti na razjemo povečanje strižne sile v stojini, saj:

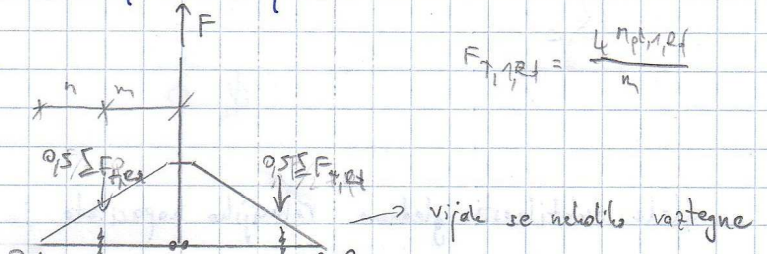
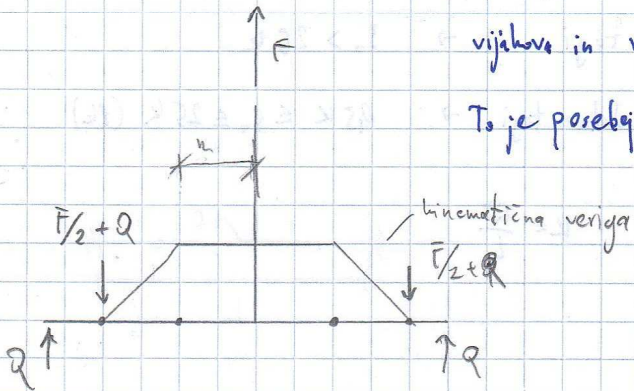


Spoje in njihova nosilnost po delih lahko računamo s komponentno metodo računa spojev:

→ nadomestni T prevez (efektivna višina)

1. Porušni mehanizem: Pdna plastifikacija pasnice. Reakcijske sile v vijakih, odvisne od vijakove in razdalje med 2 slani, ki nastanejo zaradi ekscentričnosti.

To je posebej pomembno pri tankih pločevinah.



$$F_{T,1,2d} = \frac{L \cdot n_{pl,1,2d}}{n}$$

2. Porušni mehanizem: Pomislov vijakov in plastifikacija pasnice. Tudi tu nastanejo ekscentrične sile.

$$F_{T,2,2d} = \frac{2L \cdot n_{pl,2,2d} + n \cdot \sum F_{T,1,2d}}{n + n}$$

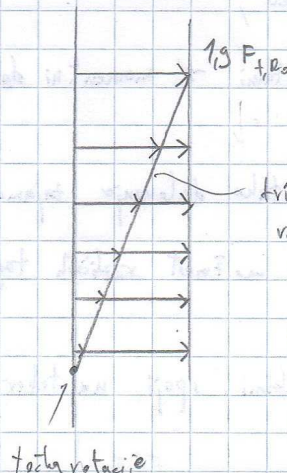
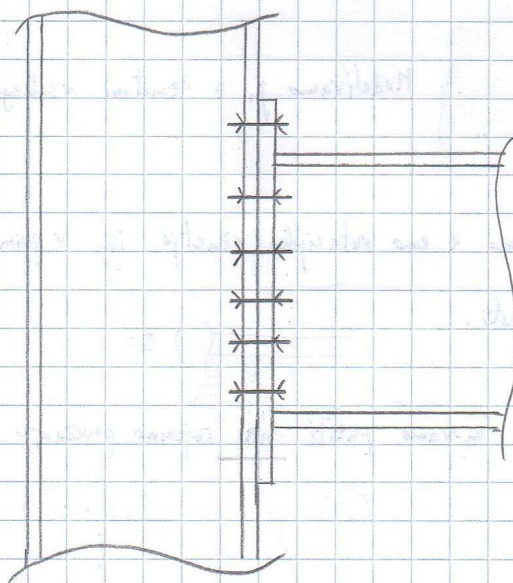
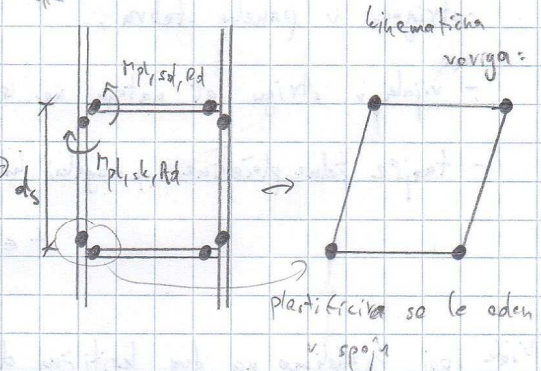
3. Porušni mehanizem: Pomislov vijakov. Debele pločevine.



$$F_{T,3,2d} = \sum F_{T,2,2d}$$

Pri spajitvah stojne stebra lahko:

- privarimo pločevino vzdolž stojine,
- privarimo pločevini prečno na stojino.



$$F_{T,ed} = \frac{0,3 \cdot A_s \cdot f_{yk}}{n_{na}}$$

trkotno pravilo za razpored vategov vijakov

To je zelo kompleksen postopek z izjemno veliko korakov, ki ga izvedemo s primerjavi računalniškimi programi.

Rotacijska togost:

Računska modela in fudi togosti so lahko pri izračunu togosti in nosilnosti sta lahko drugačna. Togost celotnega spoja predstavlja sestavo vseh togosti posameznih elementov, ki spoj sestavljajo:

$$S_j = \frac{E z^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}} = \frac{S_{jini}}{y_k} - \text{rotacijska togost spoja}$$

\rightarrow zaporedna vezava vneti
 - izračun rot. togost
 - koeficient elastičnosti za vse sestavne komponente

Rotacijska kapaciteta:

Rotacijske kapacitete ni potrebno preverjati, če $M_{j,pl}$ vozlišča znaša več kot 1,2 krat večje od plastične nosilnosti elementa, na katerega priljubljen, in/ali elementa, ki je priljubljen.

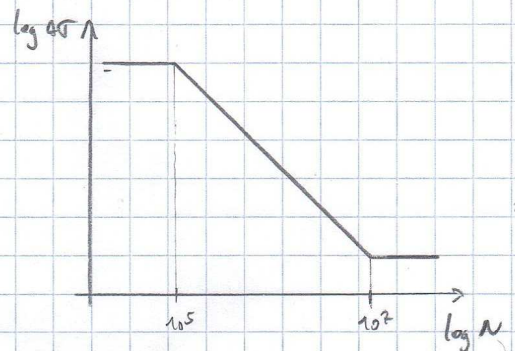
Poleg raztežaja in obrabe je utrujanje največji vzrok za odpoved jeklenih konstrukcij. Ta pojav se pojavlja pri dimenzijskih, žerjavnih progah, železniških progah in mostovih, kjer se povod naha obtežba ponavlja.

Utrujanje se v osnovnem materialu ne pojavlja, navadno je to ob neklih defektih, ki so varjeni, saj v materialu ustvarijo neke mikro razpoke, ki jih špice napetosti razširijo korak po koraku (eksponentna rast razpok). Poleg tega pa varjenje v material ob vama vnese zaostale tlačne napetosti, ki še dodatno negativno vpliva na utrujanje.

Do 10^5 cikelov utrujanje ne povzroča nekih problemov, nato se prične material utrujati in njegova nosilnost pada vse do oca. 10^7 cikelov, kjer se nosilnost v materialu ustali.

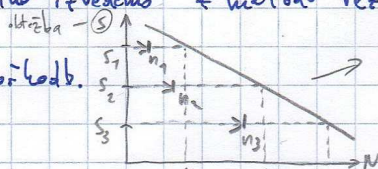
Število ponovitev do "odpovedi" materiala je odvisno od velikosti obtežbe (večja obtežba potrebuje manj cikelov).

To lepo pokaže spekter obtežbe.



Analizo utrujanja lahko izvedemo z metodo rezervoarja ali

metodo akumulacije poškodb. $\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots = 1 \rightarrow$ akumulacija poškodb



EC podaja osnovne izraze za $A \sigma^m$ in $A \tau^m$ v materialu.

Poleg tega pa regulira tudi viške napetosti pri odprtinah, zvarih in pritrditvah elementov. Na strani odpornosti pa

uporablja varnostni faktor γ_{MF} , ki je odvisen od razreda

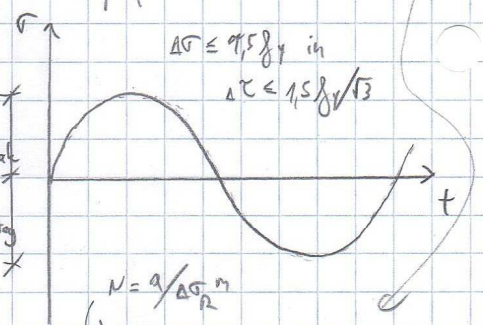
dopustnosti poškodb in razreda posledic odpovedi. Obtežni faktor γ_{FF} je vedno enak 1.0.

dopustna poškodba, če: \rightarrow počasna rast razpok \rightarrow omogočen dostop za kontrolo

S-N krivulje utrujanja imamo nekaj referenčnih točk: kategorija detajla pri $2 \cdot 10^6$ cikelov (A_{Sc} in A_{Tc}), $5 \cdot 10^6$ cikelov kjer lahko računamo na "varnostno" odpornost, nato pa še 10^8 cikelov,

kjer je cut-off limit in odpornost ne pada več.

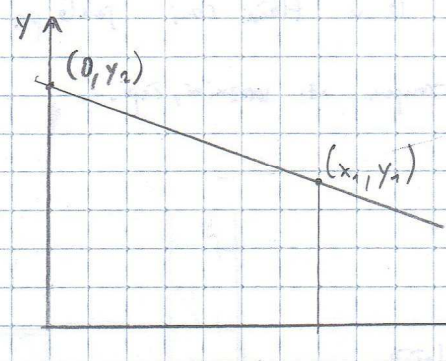
V EC celotno analizo poenostavimo na konstantno obtežbo in jo primerjamo s kategorijo detajla.



$N = a / \Delta \sigma^m$
 $\log N = \log a - m \cdot \log \Delta \sigma$

ⓐ
 ⓑ

Račun največjega dopustnega števila ciklov N_R :

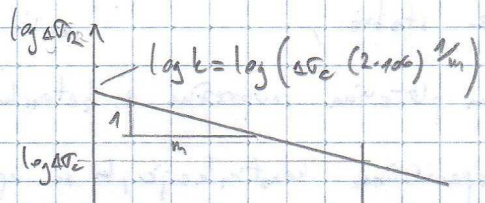
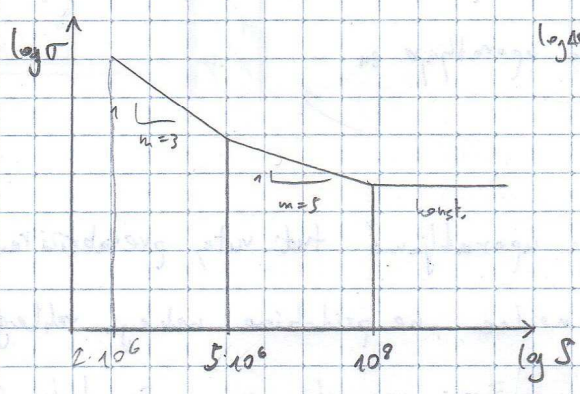


$$y = kx + n \rightarrow n = y - kx \rightarrow \log n = \log y - \log kx$$

$$y_1 = kx_1 + n \quad k = -\frac{1}{m}$$

$$n = y_1 - kx_1 \quad \log n = \log y + \log \frac{x}{m}$$

$$\log n = \log \left(y \cdot \frac{x}{m} \right)$$



$$\log AFR = -\frac{1}{m} \log N_R + \log k \sim y = k \cdot x + n$$

$$AFR^m \cdot N_R = AFC^m \cdot 2 \cdot 10^6$$

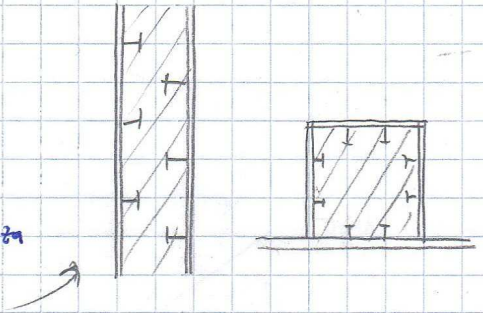
EC definira tudi kategorije detajlov po 1993-1-9 in so podane v preglednicah glede na geometrijo in način izvedbe detajlov.

~~Račun največjega dopustnega števila ciklov~~

3. Sovprežne konstrukcije

Osnovna ideja sovprežnega prereza je, da je beton le v tlačni coni, jeklo pa samo v natezni coni. Med seboj sta pa strižno povezana s trenjem oz. kovaniki, čepi.

- Poznamo:
- sovprežno ploščo z usidli,
 - sovprežne stebre,
 - profilirano pločevino sovprežna z betonsko ploščo,
 - druge specifične konstrukcije, ki se uporabljajo za bolj zahtevne inženirske objekte.



Pri sovprežni plošči in jeklenih nosilcih lahko uporabljamo tudi vute, prefabricirane elemente in ostale sisteme. Če obbetoniramo nosilce, ne pridobimo nekega velikega doprinosa k nosilnosti, temveč le pridobimo na požarni varnosti, razen če beton še armiramo (povečanje togosti in nosilnosti).

Čepi imajo glavno zaradi preprečevanje odlepitve plošče od nosilca zaradi razpihalnih sil. Uporabimo lahko tudi pločevinaste profile oz. kotnike ali pa prednapete vijake.

V ploščo najmojmo določeno armaturo zaradi porazdelitve obtežbe v plošči ~~in~~ v obeh smereh, poleg tega pa z njimi prenašamo negativne momente in da imamo požarno odpornost z minimalno nosilnostjo.

Če imamo profilirano pločevino, lahko, če je pravočasno na nosilec, za betonsko tlačno cono upoštevamo le območje nad valovi profila.

Površin jekla, ki jih zlijemo z betonom in so v konstantnem stiku z njim, ni potrebno ščititi pred korozijo.

Na vsak nosilec poročunamo njegovo e fektivno širino plošče nad njim in od tu naprej razmišljamo o stopni konstrukciji sestavljeni iz sovprežnih nosilcev.

Sovprežne konstrukcije so lahko = brez interakcije (brez zepov), delna interakcija (podajni čepi) ali popolna interakcija (predpostavimo popoln koherenten stik). $w_0 \rightarrow w > w_{0,070}$

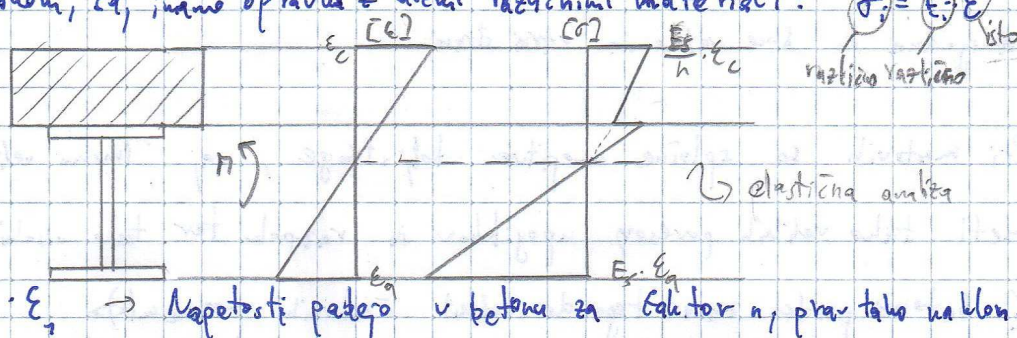
109

Potek deformacij po prerezu je linearen, nelomljen, medtem pa je potek napetosti linearno lomljen s skokom, saj imamo opravka z dvema različnima materialoma:

$$n = \frac{E_j}{E_b}$$

$$\sigma_j = E_j \cdot \epsilon_1$$

$$\sigma_b = E_b \cdot \epsilon_2 = \frac{E_j}{n} \cdot \epsilon_2 \rightarrow \text{Napetosti padejo v betonu za faktor } n, \text{ prav tako na klen.}$$



Tu je jeklo vodilen material in ose prilagajamo temer (E_j). \rightarrow vse ostale module elastičnosti privedemo na jeklo in posledično tudi geometrijo!

Največje probleme imamo pri območjih med podporami, ker je betonski presek v nategu.

Ta beton popusti, razpoka in poleg armature v betonu nosi nateg tudi del jeklenege profila (neutralna os je v profilu). $\rightarrow E_j = E_a$

• Ker imamo opravka z jeklom, ki je časovno neodvisen material, in betonom, ki pa je časovno odvisen material (krčenje, lezenje), imamo opravka s časovno odvisnim presegom, ki pa se deli na dva dela. Zato namesto nelinearnih kompleksnih elastičnih enač uporabljamo poenostavljene izraze, ki dajejo dovolj dobre rezultate za inženirsko prakso.

$$\rightarrow n_{00} = \frac{E_j}{E_b} \rightarrow n_{00} = 2 n_0 \text{ (zelo velika poenostavitelja, ki je na vaši strani)}$$

• Za požarno odpornost lahko uporabimo ali tabele za specifične primere ali pa poenostavljeno računsko metodo, ki tudi velja za prejšnje profile, pa tudi ostale. Pri požaru pazimo tudi to, da je požar nezgodno projektne stanje, kar pomeni, da se vplivi zmanjšajo za cca. $\frac{1}{3}$, kar normalno pomeni do $500 - 550^\circ\text{C}$. To rešimo s požarno zaščito, predimenzioniranjem profilov ali pa kombinacijo obeh in preventivno ter aktivno zaščito pred požari (sprinklerji, alarm ...). Požarno odpornost v minutah, ki jo zahteva standard, je podana za različne kategorije stavb (šole, stanovanja, bližice ...).

Pri vsaki analizi požara moramo najprej določiti scenarij (čas in temperatura), nato pa

Alta

gleđamo nosilnost pri takemu scenariju. Beton je vedno manj segret kot jeklen nosilec in načeloma za armaturo rečemo, da ima pđno nosilnost. Za ostale predele prerezov pa za vsakega posebej določimo nosilnost $f_{cd}(T)$ in $f_{yd}(T)$, kot da bi imeli opravka z različnimi materiali. Ta poenostavljena računska metoda uporablja izobilnjo $f_y = T$, ki pa je zelo neugodna in smo vedno na varni strani.

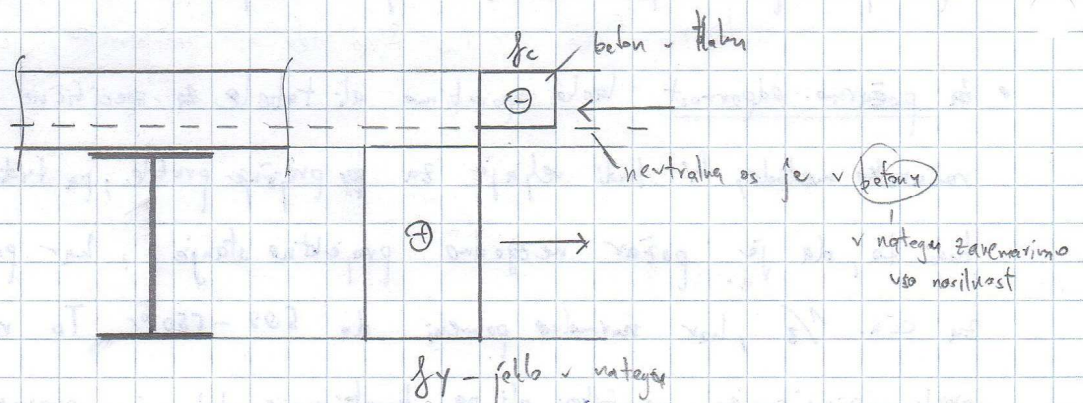
Pri mestovih so splošne omejitve bolj stroge, saj imamo velike razpone in ne smemo imeti tako velikih povesov upogibkov in razpok ter tako visokih tlačnih napetosti (v betonu pride zaradi tega do velikih časovnih sprememb).

• Analiza konstrukcij: \rightarrow shear lag (tržim podajnost) se vedno upošteva glede na situacijo če imamo opravka z upogibnim nosilcem, potem navadno analiziramo nenazpoken prerez. Pri analizi s plastičnimi členki ni tako enostavno, da bi samo zagotovili kompaktnost jeklenega prereza, temveč moramo zagotoviti, da so deformacije v betonskem prerezu čim manjše (nevtralna os čim višje). Namesto elastične analize lahko za kontinuirne nosilce uporabimo reducirane (razporejene) momente nad podporami.

\hookrightarrow razpokanost betona v nategu povzroči padec minimalnih momentov za cca 30%!!!

• Elastična globalna analiza: Veja čisto isto kot pri jeklenih konstrukcijah! Razlika se pojavi šele pri določevanju (nimamo interakcijskih enačb kot pri jeklu). Faktor α je lahko zmanjševalni ali povečevalni ~~in~~ vpliv TDR glede na λ in β . amplifikacijski faktor

• Nosilnost prereza:
↳ pri plastični analizi!

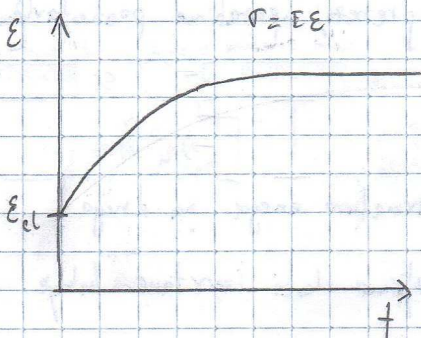


V kolikor ni nevarnosti božne zmrznitve, nam "zaostale" napetosti ne dajejo pomembnih vplivov. Tu je zaddžni strig veliko bolj pomemben kot pri samih profilih (čeprav bi bili varjeni in ne valjani), saj ima vpliv na moznike/šepo in beton.

• Shear lag: ξ ve zavese vnos koncentriranih napetosti v prezet zaradi večjega vpliva mostnikov na tlačne napetosti nad protikom, izračunati moramo sodobno širino pasnic zaradi strizne podajnosti. \rightarrow napaka v drugi formuli: $b_{eff} = b_0 + \sum \beta_i \cdot b_i$

Za lokalno analizo je potrebna za vsak prezet določiti točno določiti b_{eff} . Za stabe je dovolj: $b_{ei} = \frac{L_e}{9} \leq b_i$, za mostove pa so postopki malo bolj kompleksni.

• Tečenje in krčenje sta zapletena pojma v betonu in zato upoštevamo velike poenostavitve



$$n_0 = \frac{E_i}{E_h(t=0)}$$

$$n_L = n_0 \left(1 + \frac{\rho}{1-L} \cdot \frac{t}{\tau} \right)$$

koeficient tečenja odvisen od starosti betona
faktor tečenja odvisen od vrste betona

$$n_L = \frac{E_i}{E_b(t=\infty)}$$

$n_0 \rightarrow n_L > n_0$; tečenje poteka

Preko navideznega zmanjšanja E_i dobimo za krčenje deformacije iste napetosti.

Tečenja neposredno ne upoštevamo, temveč je vključeno v ta postopek preko ψ_c .

Krčenje pa se neposredno upoštevata.

• Vpliv razpokanosti prereza: Namesto, da računamo vpliv razpokanega prereza, si za karatne primere detajl izberemo kar 15% razpoka in ga tam reduciramo, drugje pa ne zaradi tega pada moment nad podporo, poveča pa se moment v polju. Redukcijo nad podporo reguliramo s količino natezne armature, kar pač lahko prenesemo.

• Kompaktnost pri obbetoniranem profilu je lažje analizirati, saj stojine ni potrebno preveriti, za pasnice v 2. in 3. razredu kompaktnosti pa povečamo dopustne ϵ .

• Plastične upogibna nosilnost: $M_{pl,a} = A_j \cdot f_{y,j} / \gamma_{m0} \rightarrow M_{pl,c} = b_{eff} \cdot x_N \cdot 0,95 f_{ck} / \gamma_c$
neutralna os

$$M_{Rd,s} = M_{pl,a} \cdot r$$

$$M_{pl,a} = N_{c,c}$$

\rightarrow Določimo x_N in nato določimo že različno sile v betonu.

Pri negativnih momentih pa se neutralna os

premakne v profil pella in se jelo v nategu (skupaj z armaturo) in v tlaku.

Alta

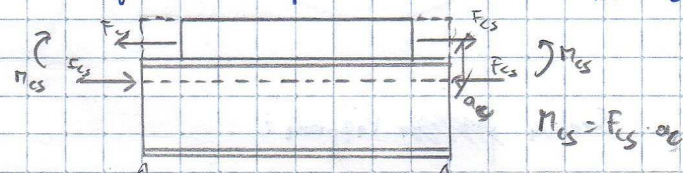
Pri elastični analizi moramo računati za tri točke (oba roba prereza nosilec, vrh betonske ploče)!

↳ ampak le različne napetosti: σ_{top} , σ_{mid} in σ_{bot} / σ_{top} , σ_{mid}

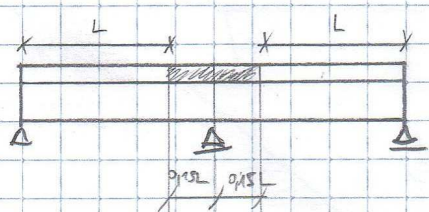
• Vplivi krčenja: V prvi stopnji predpostavimo prosto krčenje betona brez povezave s profilom, nato jo raztegnemo na začetno vrednost (unos natezne sile) in jo "prilepimo" na jeklen nosilec. Dobimo dodaten uporaben pozitivni moment.

Vpliv temperature lahko poenostavimo v podoben primer, saj rečemo, da se ohlaja / segreva samo betonska ploča s konstantnim ΔT .

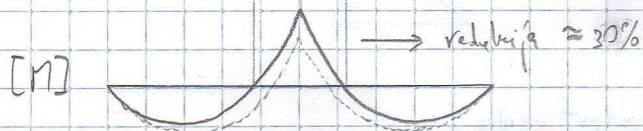
krčenje = $\epsilon_{cs} = \epsilon_{cs} \cdot A_c \cdot \frac{E_s}{h_c}$



• Kontinuirni nosilec:



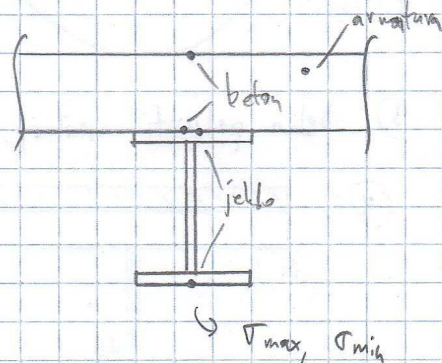
Pri takih primerih upoštevamo krčenje le na področju pozitivnih momentov, na področju negativnih momentov pa privzamemo razpokan presek betona.



Navedeno računamo napetosti po naslednjem sistemu:

	t_0	$t = \infty$
stalna		
lastna		
koristna		
temp.		
krčenje		
letanje		
taže gr.		

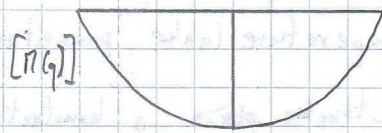
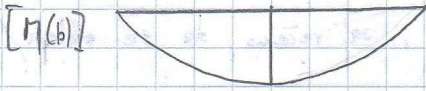
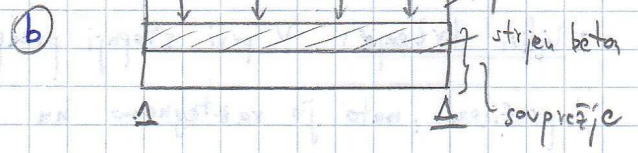
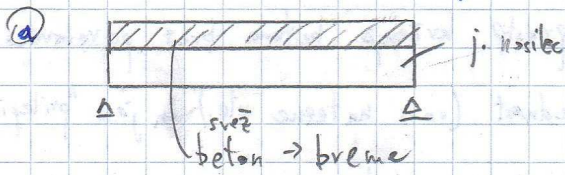
Pazimo, kako kombiniramo zedere med seboj, ali so vplivi pozitivni ali negativni in ali se med seboj sploh kombinirajo (kratkočasni, dolgočasni - trajni vplivi). Problemi so pri določitvi n-ja in napetosti na kritičnih točkah.



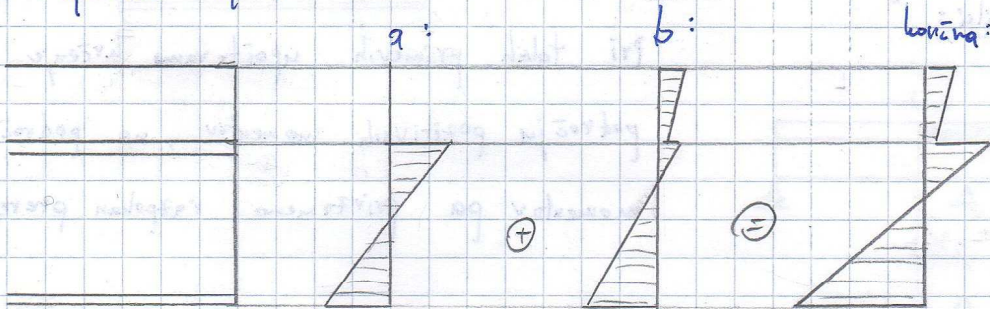
Pri stavbah na srečo preverimo le MSU in je postopek preverbe veliko lažji (le vzpostavimo kombinacije).

Postopnost gradnje:

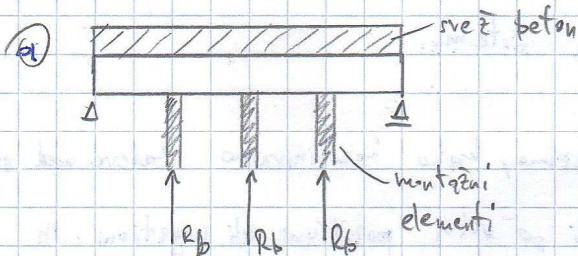
1. Gradnja brez vmesnih podpor:



Sredina ~~postopna~~ razpona:

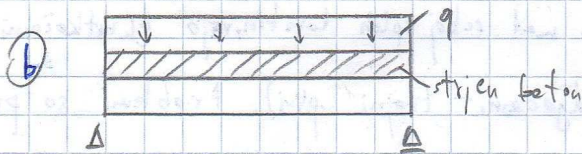


2. Gradnja z začasnimi podporami (povsem podprt nosilec):

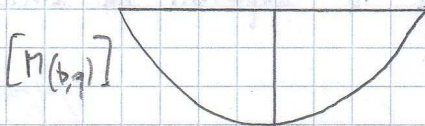


→ samo jeklen nosilec

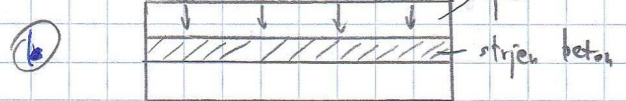
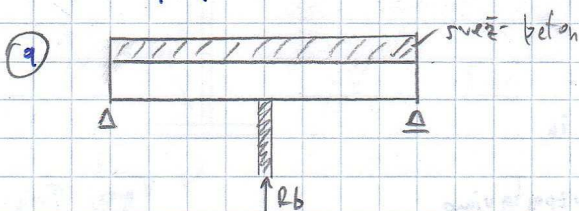
Ve gre v podpore in je vpliv uporaba tako majhen, da ga zanemarimo (kot bi ležal na tleh).



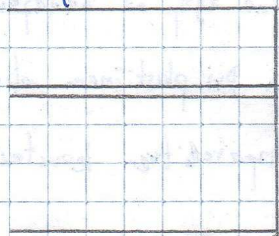
→ soprežen nosilec



3. Delno podprti nosilec:



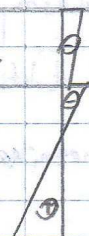
Srednja razporeditev:



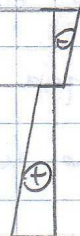
a:



b:

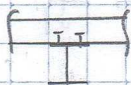
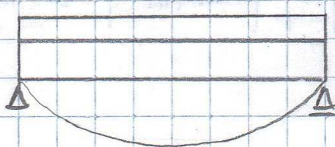


končna:

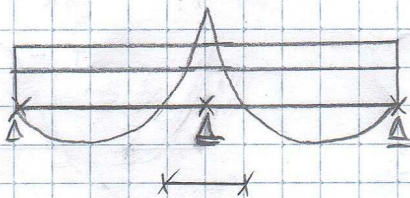


Najbolj komplicirano je pri mestovih, ko betoniramo po segmentih in je treba vsako fazo posebej analizirati.

• Bočna zrnitev:



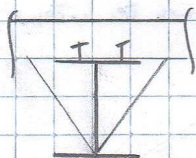
→ ni nevarnosti bočne zrnitve



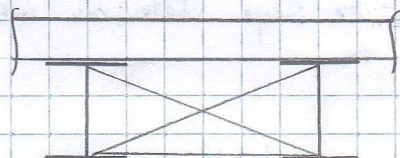
→ nevarnost bočne zrnitve na območju negativnih momentov (v podporah tudi bočno podprto).

① $L_1 = \max(1,5L_2)$

Bočno lahko še bolj podpremo z različnimi sistemi: ② enakovredna zvezna obtežba, določa istake min 40%



oz.



③ povečanje z mozniki

④ betonirna plošča povezuje vsaj dva nosilca

⑤ Ob podporah spetnja pasnica bočno pritržam, stojina pa ojačava

Tako ustabilnost računamo s programi tako, da vnesemo jeklene nosilne profile rotacijsko vzmet s togostjo k_c . Pri stavbah pa le izpolnimo določene pogoje, ki omogočajo bočno zrnitev. Spodnja pasnica je dovolj elastično podprta ("podlaga" je dovolj toga).

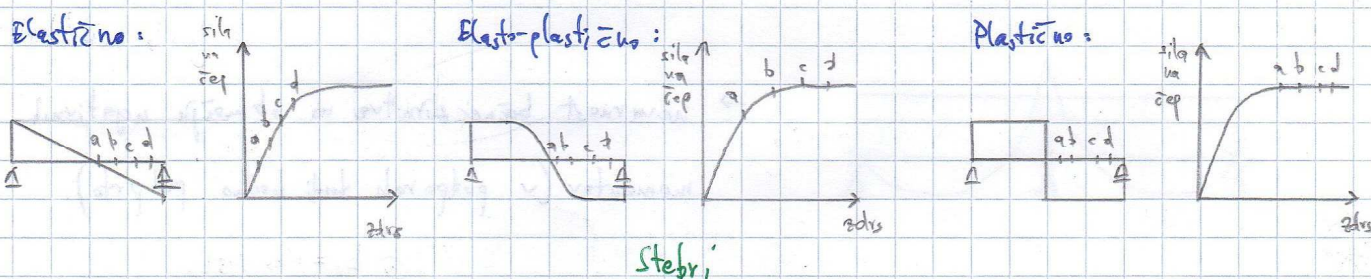
• Prečne penje nje: Vplivane lahko ne bodjo razporeditev na petosti ali pa na ustreznost MSU, ampak to se dela le pri večjih vzponih. Isto je z nadvisanjen.

• Strižna nosilnost: Navadno privzamemo, da strig prečkamo le stojina profila, zato tam le reduciramo nosilnost na petosti z P .

- Vdolžni striž: elastično obnašanje je čisto linearno in odvisno zgolj od oddaljenosti od sredine razpora, pa tudi duktilnost možnikov nasa ne zanima. Pri plastičnem obnašanju pa potrebujemo duktilne možnike in strižna sila je zaradi razporeditve konstantna pri vseh možnikih.

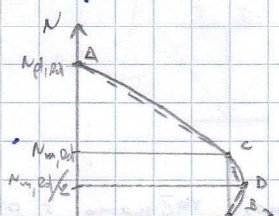
Projektne nosilnost čepov je podobno definirana kot pri vijakih tako na striž kot tudi bočni pritisk betona. Za skupno delovanje s profilirano ploščerino pa EC podaja neke redukcije za nosilnost, a so izračuni bolj empirični.

- Detajli strižne povezave: obstajajo geometrijski pogoji, najbolj pomembni pa so razmaki med čepi.



- Osnoje: Vbetoniranje cevi ne potrebujemo vz dolžne in strižne armature, če so stene cevi dovolj debele in če imajo vbetoniran nosilec, razen če hočemo povečati duktilnost.

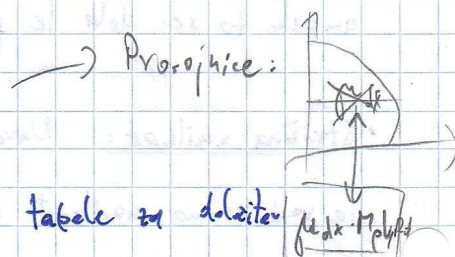
Povečajo dovoljeno razmerje med debelino in višino



- Nosilnost: Oba jeklo in beton se morata plastificirati, jeklo se najprej, po čemu beton in nato skupaj. zato za napetosti kar sestevamo, in posledično flaciha nosilnost. (1-3) odpade na način striž!

Pri sovprežnih konstrukcijah za interakcijski diagram vzamemo štiri točkovo poenostavitve in nato linjsko povezavo med njimi, ki je na varni strani.

Za dvoosni upogib je podobno, le da preverimo za obe smeri.



- Uklen: ko imamo izračunan λ lahko uporabimo priručne tabele za dolžne ukrivljenosti iz jekla.

• Spoji: Da se izognemo odlepitvi stranice od betona, uporabimo ustavljeno ploščo skazi stebra pri ceveh.

• Utrujanje: EC tu dodatno uvede čepe, ki jih ne polirajo ne betona ne jekla, drugače pa je vse več ali manj podobno jeklu. Uporabi se normalno le za mostove in ne za navadne zgradbe.

• MSU: Nujno upoštevamo skraj leg - strizino podjnost pasnice. Kontrola razpok je po EC2, ko poročunamo zadostno armaturo, da nam razpoke ne presežejo določene meje. Pri navadnih stavbah nam ni potrebno preverati mejnih napetosti, ampak pri mostovih moramo zaradi letenja.

• Sovprežni spoji okvirjev: Paziti moramo prenos in povezavo armature za sidranje stebra v ploščo. Problematicen je robni stebel, kjer moramo malo bolj skrbno sidrati.

Sovprežne plošče s profilirano pločevino

• Osnove: Imamo odprte, zbrte in kombinirane. V primeru stropne diafragme moramo dimenzije še povečati, drugače pa upoštevamo osnovne pogoje za te sisteme, ki jih podaja EC. Paziti pa moramo tudi pri prekrivanju na letiščih!

• Preboji: Podobno kot pri betonu, računamo raztrosih potrebno armaturo, a le za večje obtežbe, saj minimalna armatura poskrbi za normalne točkovne obtežbe.

- Dobre lastnosti: ① Skazi kot opaž, ne rabimo dodatnega opaženja (samo provizorično fiksiranje). ② Normalno ne rabimo nekih dodatnih vmesnih podpor, razen če se hočemo znebiti večjih povesov ali pa imamo velike razpone. ③ Skazi kot natezna armatura.
- ④ Konstrukcija je lažja, ker betona v natezni coni ni foliko, nosilnost pa je ista.
- ⑤ Če pločevino dodatno obdelamo, je to lahko lepši izgled. ⑥ Take oblike so zelo ugodne za obešanje napeljav. ⑦ Uporabimo lahko lahki beton, zato so lahke plošče. ⑧ Gradnja je izjemno hitra.

Metode analize:

- linearna analiza \rightarrow q faktorji / spektralna Projektiranje jeklenih konstrukcij

metoda upodobevalnih sil \rightarrow modalna analiza

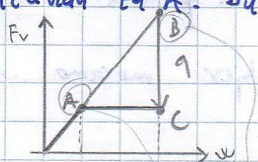
pri potresni obteži

- nelinearna analiza \rightarrow preloveni / statična analiza
 \rightarrow time-history / dinamična analiza

Pri konstrukcijah ene elemente zrtujemo (prečke), da pomembnejši deli preživi, če pozitivne prvih elementov do volj sipejo energijo. Vedno varujemo stebre.

s faktorjem γ_{ov} zagotavljamo, da je duktilen element bolj podoben (manj usilek) kot pa kritični neduktilni elementi. Najprej se morajo ponoviti duktilni elementi in fakto zagotavljamo. Prečke ustvarijo plastične točke in prav tako dna stebrov. Da se ustvarijo členki moramo uporabiti 1. d. k. prenete in duktilna konstrukcijska jekla.

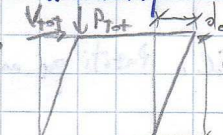
Poskusimo se z izvazi podenini \checkmark \checkmark \checkmark prestaviti iz A v C in tako dimenzioniramo, čeprav smo najprej poročunali za A. Duktilnost je pri potresu točno tako pomembna kot nosilnost.



$\theta < 0,1 \rightarrow$ vpliv TDR zanemarljivo

• TDR: Pri računu relativnega pomika moramo upoštevati pomik v točki C, čeprav je izračunan v A, zato: $d_c = d_a \cdot q$. Uporabimo pa obrnjeno metodo Horne, saj računamo θ ki je obratna vrednost za razmerje med kritično nosilnostjo in realno obremenitvijo. pri linearnih analizah, pri nelinearnih se upoštevajo vpliv TDR neposredno

$$\theta = (P_{tot} \cdot d_c) / (V_{tot} \cdot h)$$



• Kombinacijski vpliv: Statistični maksimum poljubne količine je absolutna številka, zato moramo upoštevati + in - (avrijico).

• Disipirane energije v jeklu: Naslednji sikli nimajo platoja, ampak zaobljene histereze. Jeklo ima polne histereze, kar pomeni da veliko sipe energijo.

Če imamo več togo stopino alijajano, da prenese velike plastične deformacije, potem dobimo polno histerezno zanko (za vlakno materiala).

Elementi imajo prvo histerezno zanko v fazi obzrtne višje, ker se potem izdelani. V fazi se nato nikoli več ne plastičizira, le izkloni.

Dužilce moramo izdelati tudi za močne potrese.

• Pravila projektiranja:

Za razrede duktilnosti zagotavljamo pri enostavnih objektih z nizko seizmičnostjo in tam ~~uporabimo~~ uporabimo elastično analizo.

Za srednje ali visoko seizmičnost je priporočila uporaba preneza 1.R.K. ali 2.R.K.

Za varnostne faktorje uporabimo iste varnostne faktorje, saj si lahko privoščimo, ~~ker~~ ker imamo samo preverbo ~~iz~~ iz MSK projektiranja.

• Duktilnost: globalno zagotavljamo v glavnem z duktilnim materialom in kompaktnimi prerezi, lokalno pa zagotavljamo na spojih. Pri globalni moramo paziti še na kritične načine ~~konstrukcij~~ poršitve konstrukcij (mekke etaže...). Stebri ne smejo biti vitki!

Kateg: $L_1 > L_2 \rightarrow \epsilon_2 > \epsilon_1$
veliko prej doseženo 5%!

Ne smemo delati ~~lokalnih~~ lokalnih tožanj, če so ta kratka!

Pridelno nastik spojih je dosega duktilnosti bistveno težja.

Pri povezjih (razen če imamo tam dušilec) ne smemo si pariti energije, so spoji polno nosilni, ~~sež~~ diagonal je edino dovoljena! Temu se deloma prilagodimo s kontinuiranimi stebri in istočasno izkoristimo diagonal.

• Tipi konstrukcij: α_1 - začetek plastifikacije; α_u - ponovitev

Pri konstrukcijah z betonskimi jedri predpostavimo, da se potres v horizontalni preseki samo z betonom.

K povezja inducirajo posredne ~~in~~ v stebrih, zato niso dovoljena v potresni analizi.

α_u/α_1 - izračunamo iz plastične analize (pushover), a večji od 1,6 ne sme biti!

• Material: Cena nedoizpiranja mora imeti $f_{y,max}$ manj od omejitve, saj je drugace ^{1. način} $f_{y,max} < 1,1 f_{y0}$ faktor omejitve premajhen. V vsakem primeru zagotavljamo: $f_{y,max} \leq 1,1 f_{y0}$

Praktično ~~2. način~~ ^{2. način} ~~način~~ ^{način} poveča: za prečko vzamemo recimo S235, za stebere pa S355, pa smo na varni strani; čeprav ga dimenzioniramo za S235.

Pri 3. načinu pa predpostavimo max napetost tečajja materiala in zagotavljamo tak material.

Žilavost moramo izbrati tako, da pri cikličnem obremenjenju ne pride do brklega loma. Prav tako pri zvarih! Priporočilo je 10, za visoko ~~duktilnost~~ duktilnost pa vsaj 12.

Pri spojih pa moramo zagotoviti duktilno obnašanje v veznih sredstvih, če je spoj polnonesilen, tog, drugače se mora členek razviti v elementu in ne spoju.

Najno simetrični spoji!

Problem pri primerih spojev je, da možno ne bodo bili dovolj usilni v normalnih pogojih kar rešujemo s kvadratni vrtani.

• Pravila za projektiranje pomiknih okvirjev:

računamo v točki A, dime nzmomiramo v točki C.

točki C.

- zaradi zagotavljanja ugodnega obnašanja v prečkah moramo poskrbeti, da je: $\frac{v_{ed}}{v_{pljed}} \leq 0,15$ in $\frac{v_{ed}}{v_{pljed}} \leq 0,5$. Nato pa za vsako prečko predpostavimo najbolj neugodno kombinacijo obtežb.

elastična analiza (cone discipline)
približno zagotodimo $\sum M_{0i} \geq 1,3 \sum M_{ab}$

- Za stebre pa v točki A uporabimo stalne obtežbe in navadne analize, dodamo seizmične obtežbe, povečane za 1,1 γ_{ov} in upoštevamo še faktor R. Zato je smiselno ločeno izračunati gravitacijske oz. neseizmične obtežbe in seizmične obtežbe. Pri seizmičnih notranjih silah moramo paziti, saj lahko potres deluje v eno in drugo smer (+ in - sile)!

- R - faktor izkoristčnosti oz. dodatne usilnosti prečnega prereza. $R = \frac{M_{pl,Ed}}{M_{Ed}}$ v prečkah

če je $R \geq 1,0$, je prečka optimalno izbrana, če je pa recimo $R = 2,0$, pa imamo prečko predimenzionirane! R mora biti čim bolj blizu 1,0.

- Po ugotovitvi notranjih sil iz obeh vplivov dimenzioniramo naprej po EC3 in ne EC8.

- Panel stebra je navadno potrebno dodatno gijati zaradi velikih prečnih sil.

• Centrična povezja: Namesto prečk tu najprej plastificiramo diagonale! Osnovna zahteva za diagonale je za vsako etažo podobna togost diagonal, v eno in v drugo smer.

Gravitacijska obtežba je analizirana brez diagonal, medtem ko se upoštevajo pri seizmični obtežbi.

Tlačne diagonale morajo imeti ustrezno vitkost 1,3 - da se pri potresu v Haku

100% izklni in 2,0 - da se ne izklni pri vsaki horizontalni obtežbi, da ni cikličnega utrujanja.

- Pri centričnih povezjih je velika nevarnost: metalnih etaž, saj so lahko togosti po etažah različne. Zato postavimo pogoj različne togosti med max in min togostjo i etažo 25%.

- Prečke V povezij: prečke morajo prenesti še dodatno V silo na sredini razpona.

- Seizmični členi: ne moremo se izogniti interakciji strig-upogib, zato že v naprej predpostavimo, da stojina prevzame strig in pasnice upogib. R ne smejo biti prevelike in čim bolj podobne!

$$N_{Ed} = N_{Edg} + \gamma_{ov} R N_{EdE} \quad \lambda \leq 1.5$$

$$V_{Ed} = -11-$$

$$M_{Ed} = -11-$$

$$D \leq 0.2$$



• Obrnjeno nihalo: če je masa na vrhu. Tudi ločimo analize po gravitaciji in seizmiki.

• Dualne konstrukcije: Betonske stene prevzamejo stržne potresne sile, jekleni stebri pa gravitacijsko obtežbo.

• Pomični okvirji s sovprežnimi prečkami: Disipacija energije se zgodi v sovprežnih, bolj togih in nosilnih, prevetih. Temu se lahko izognemo, da v nekem radijs obliki stihov prečka stebel ni nobene mehanske povezave med jeklenim nosilcem in betonom.

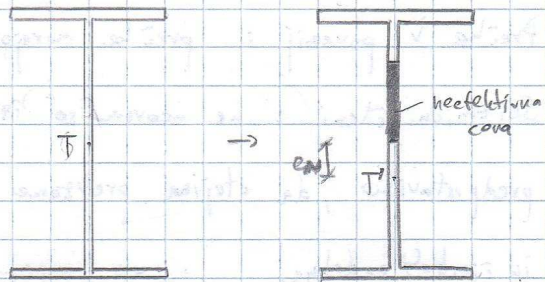
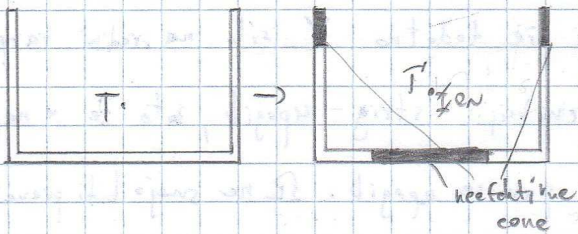
• Kontrola poškodb: Vrši se preko kontrole ξ pomikov. Glede na tip nenosilnih elementov moramo omejiti te pomike.

• Kontrola projektiranja in izdelave: Pri vsakem elementu je potrebno nujno označiti f_{yk} tega elementa in zagotoviti tak material v elementu. Boljša kvaliteta / profil pri potresu ne pomeni večje nosilnosti in ni smiselna! Če kriteriji niso izpolnjeni moramo to preveriti ali pa nabaviti nove elemente!

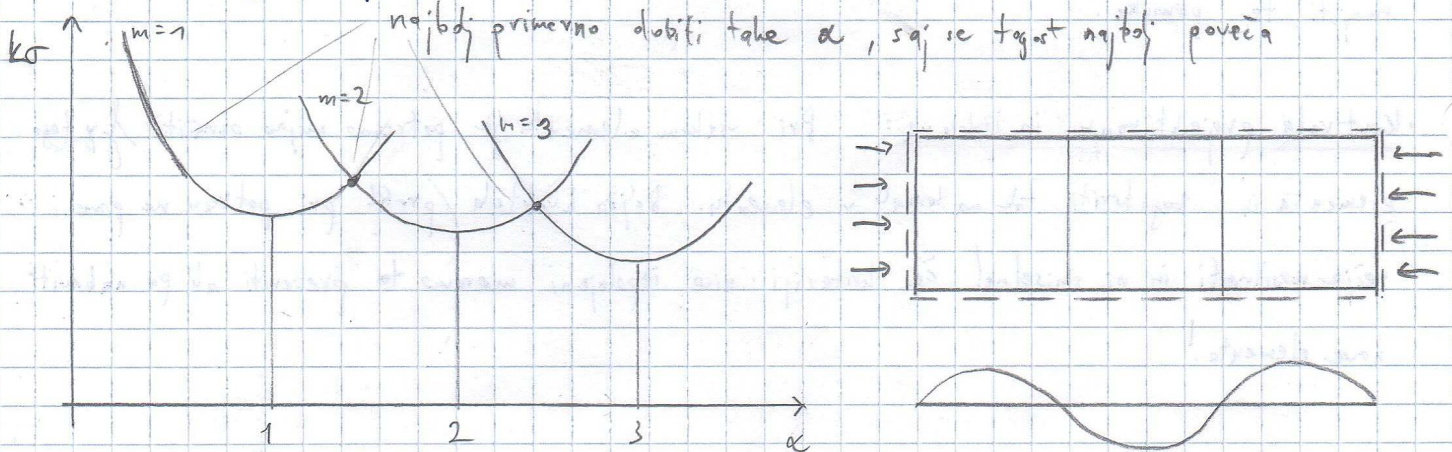
Izbočanje ojačenih in neojačenih pločevin

Zagotoviti moramo:

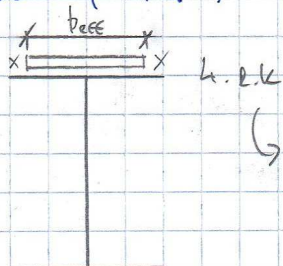
$$\frac{N}{A_{eff}} + \frac{M \cdot \eta_{ew}}{W_{eff}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$



- Lokalno izbočanje: vsake del preseza analiziramo zase ali je kompakten ali vitel in nato povračunamo novo težišče (sprememba togosti pri nesimetričnih elementih).
- Standardi (1-5): Vključuje različne metode za izračun nosilnosti elementov. Prav tako obravnava stojine iz profilirane pločevine (sinusne ali trapezoidne), saj imajo povečano togost pravokotno na stojino. Za MKE analize nam poda napotke za uporabo diagramov in začetnih neopolnosti (geometrijske in zaradi zaostalih napetosti).
- Tipi izbočanja / nestabilnosti: Pri "patch loadings" in pa lokalni točkovni obremenitvi pride do izbočitev pri žerjavskih progah, mostovih in mestovih v gradnji (z narivanjem vnesemo drugače nepravilne osne tlačne sile).



- Shear lag: Za SLS (serviceability) - MSU moramo izpolniti elastično stanje nosilnosti, za SLS u (ultimate) - MSU pa lahko upoštevamo primeroma pripadajoče plastično stanje.



↪ $b_0 > l_e/50 \rightarrow \beta^k \rightarrow b_{eff} \cdot t_f \cdot \beta^k$ - plastična strižna podajnost

↙ vpliv shear lags

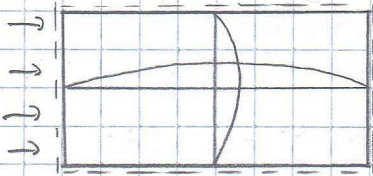
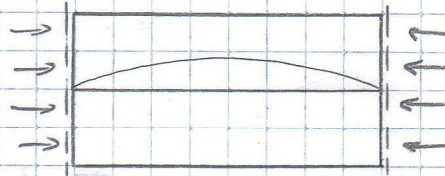


plate-like

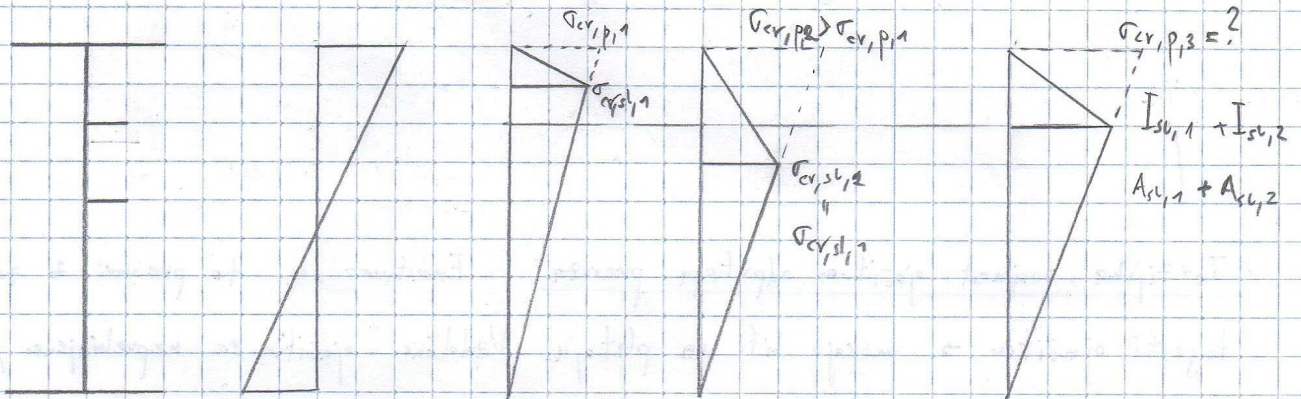


column-like

Interpoliramo med tema dvema ekstremima stanjema.

Ne₁

• Kritična napetost izbočitev pabela:



Kontrola:

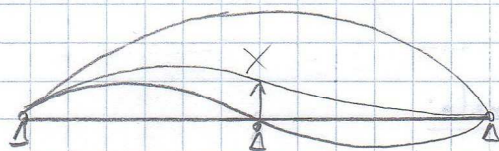
$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot A_{s,1}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_N}{f_y \cdot W_{pl,y,1}} \leq 1,0$$

• Vnos koncentrirane sile: Najti moramo kritične primere (varno preden klijni nasede na naslednjo podporo). Dolžina vnosa sile s_s je odvisna od načina prenosa sile na element.

$$F_{Ed} = \frac{\alpha_F F_k}{\gamma_{M1}} \quad \text{in} \quad \eta_2 = \frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0$$

• Interakcija med V , M in N : Reduciramo samo redukcijo na območju stojine. Med vsemi tremi metodami je razlika zelo majhna in deluje samo na določenem območju.

• Kontrola prečnih ojačitvev: Dobimo dva tipa izbočitev: osna tlačna sila zaradi strižnih sil, izbočna sila v prečni ojačitvi (sledijo poteklu izbočitve). Pomike izbočitve moramo omejiti, da ne dobimo:



• Torzijska nosilnost ojačitve odprtega prereza: Enostavno se to preveri & zadostitvijo togosti ojačitve \rightarrow morajo biti na platoju. Vzdolžne ojačitve so neprekinjene, prečne pa so pri sekancju & vzdolžnimi prekinjene in nato spet naprejvarjene.

• Detajli ojačitve: zelo pomemben korak, ki mora biti natančno uprteven.