

UNIVERZA V LJUBLJANI  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Katedra za metalne konstrukcije

# Projektiranje potresno odpornih jeklenih in sovprežnih konstrukcij

Darko Beg

april 2008

# Vsebina

- Osnovna načela potresno odpornega projektiranja jeklenih konstrukcij
- Pravila projektiranja po EVROCODU 8
  - Metode analize
  - Lokalna duktilnost
  - Globalna duktilnost
  - Material
  - Spoji
  - Tipi konstrukcij in faktorji obnašanja
  - Osnovna pravila za okvire brez in z povezji
  - Kontrola poškodb
  - Posebnosti sovprežnih konstrukcij
  - Izdelava in montaža
  - Nauki iz minulih potresov

# EVROKOD 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij

- **EN 1998-1: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe**
  - Pogl. 6: posebna pravila za jeklene konstrukcije
  - Pogl. 7: posebna pravila za sovprežne konstrukcije
- EN 1998-2: Mostovi
- EN 1998-3: Ocena in prenova stavb
- EN 1998-4: Silosi, rezervoarji in cevovodi
- EN 1998-5: Temelji, oporne konstrukcije in geotehnični vidiki
- EN 1998-6: Stolpi, jambori in dimniki

Potres??

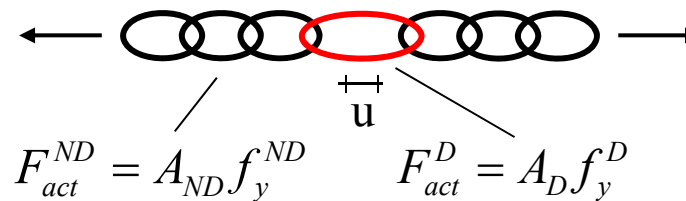


# Osnovna načela potresno odpornega projektiranja

“Capacity design”, duktilnost, “overstrength”

Nedisipativni  
(neduktilni) el.

Disipativni (duktilni) el.



*material S235*

$$f_{y.act} \geq f_y^{nom}$$

$$f_y^{nom} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_y^{ND} = 240 \text{ MPa}$$

$$f_y^D = 295 \text{ MPa}$$

$\Rightarrow$

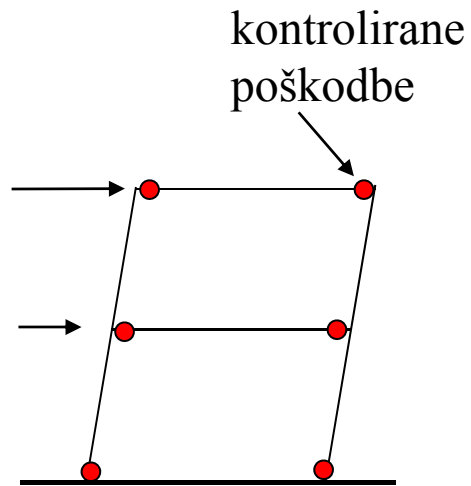
$$F_{act}^{ND} \geq F_{act}^D$$



$$F_{yd}^{ND} \geq \gamma_{ov} F_{yd}^D$$

$\gamma_{ov} \approx 1.3$  *overstrength faktor*

# Capacity design pri okvirih



- **Metoda projektiranja nosilnosti (capacity design)**

- Cone disipiranja energije – potrebna duktilnost

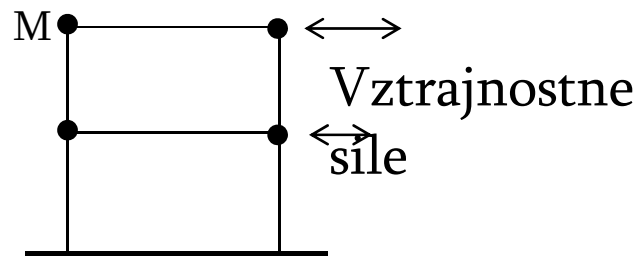
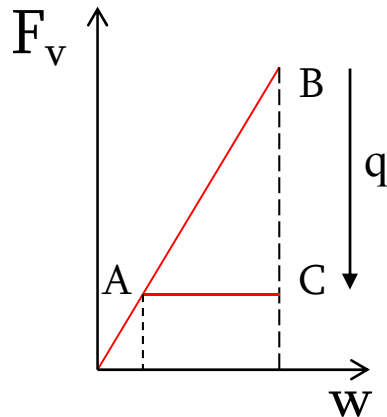
- Ostali deli – varovanje s faktorjem dodatne nosilnosti

$\gamma_{ov} \sim 1.3$  (**overstrength**)

-prečke : **cone disipiranja**

-stebri, spoji prečka-steber : **varovani**

# Posebnosti projektiranja na seizmičnih področjih



Potresno gibanje tal  
(vsiljeni pomiki)

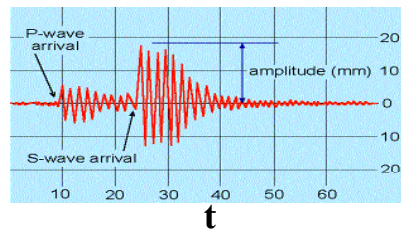
- Sile?
- Pomiki?
- Potrebno je zagotoviti duktilnost!!
- Redukcija potresnih vplivov s faktorjem obnašanja  $q = F_B / F_A$

duktilnost ↔ sile

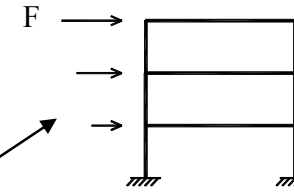
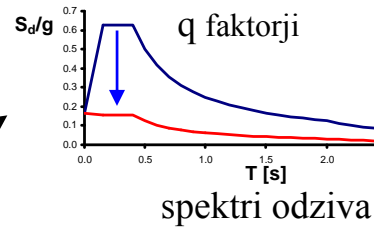




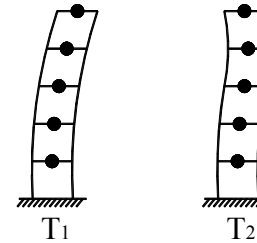
# Metode analize



LINEARNA  
ANALIZA



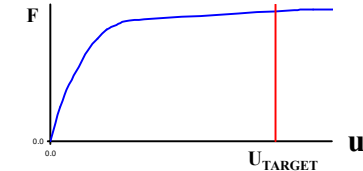
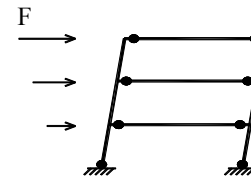
metoda  
nadomestnih  
sil



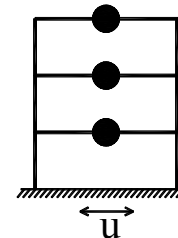
modalna  
analiza s  
spektri  
odziva

NELINEARNA  
ANALIZA

pushover  
(statična an.)



time- history  
(dinamična an.)



Odziv  
konstrukcije

**ZAHTEVE ↔ ODPORNOST**

# Metode analize

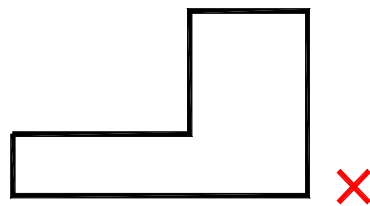
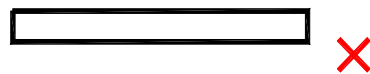
- Metoda nadomestnih sil – elastična analiza
- Modalna analiza – elastična analiza
- Nelinearna statična analiza (pushover)
  - Določanje  $q$  faktorja
  - Določanje obsega prirasta nosilnosti po začetku plastifikacije
- Nelinearna dinamična analiza
  - Modeliranje obnašanja pri dejanski potresni obtežbi!!

## Izbira vrste analize

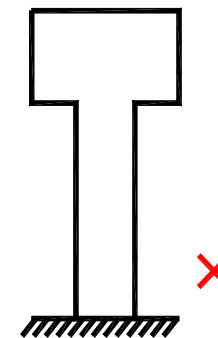
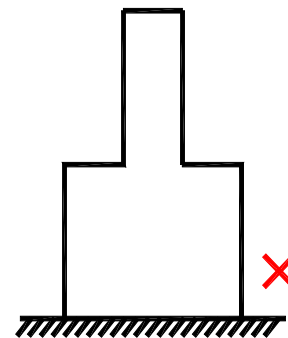
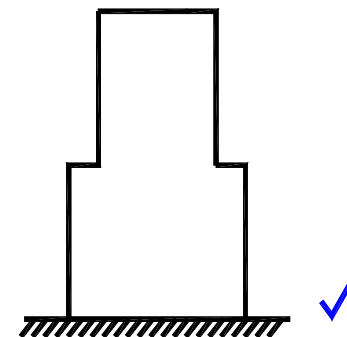
Pravilnost		Metoda analize		Faktor obnašanja
po tlorisu	po višini	model	elastična analiza	(pri elast. analizi)
da	da	ravninski	metoda sil	ref. vred.
da	ne	ravninski	modalna	ref. x 0.8
ne	da	prostorski	metoda sil	ref. vred.
ne	ne	prostorski	modalna	ref. x 0.8

# Pravilnost konstrukcij je pomembna!

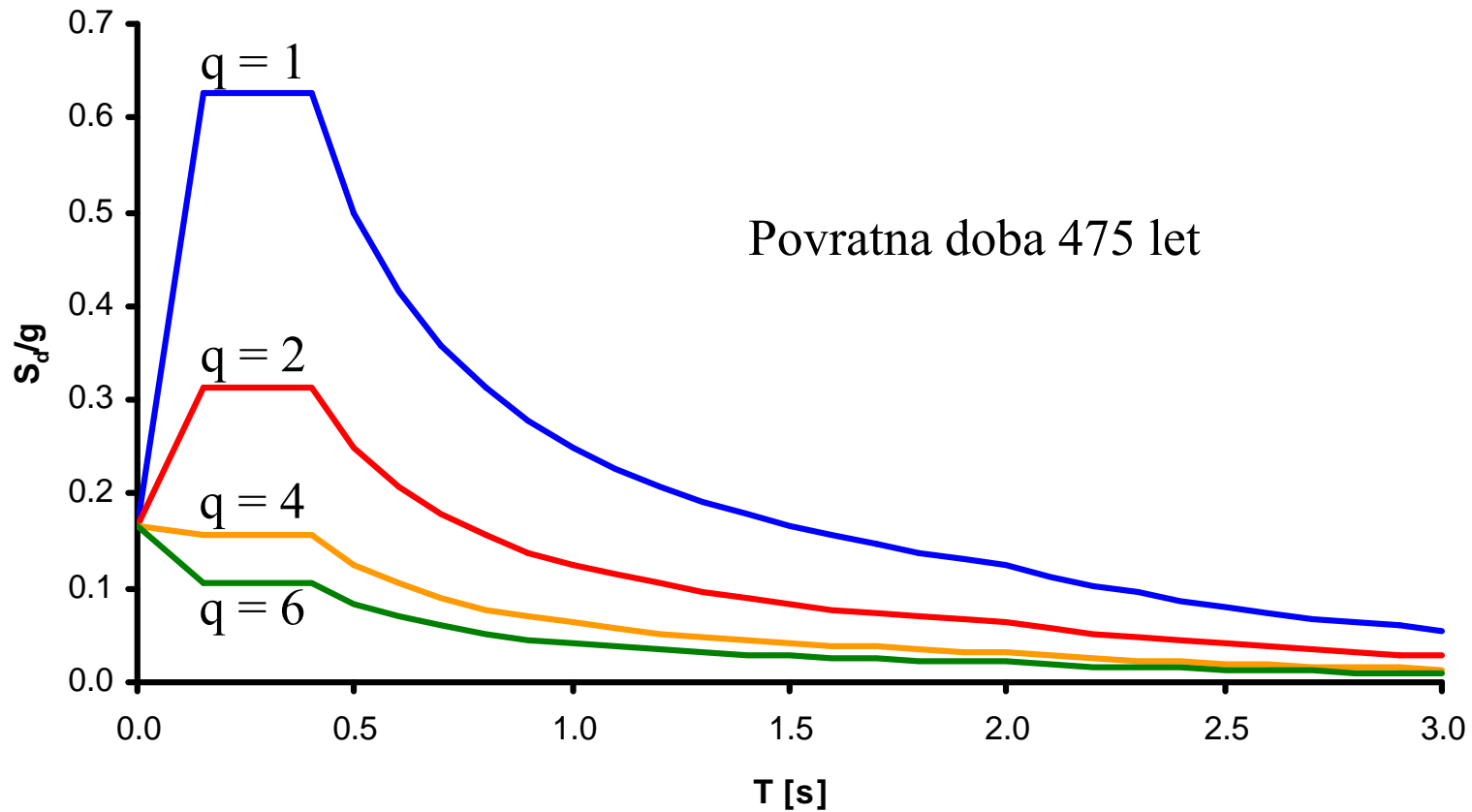
po tlorisu



po višini



# Projektni spekter pospeškov za elastično analizo



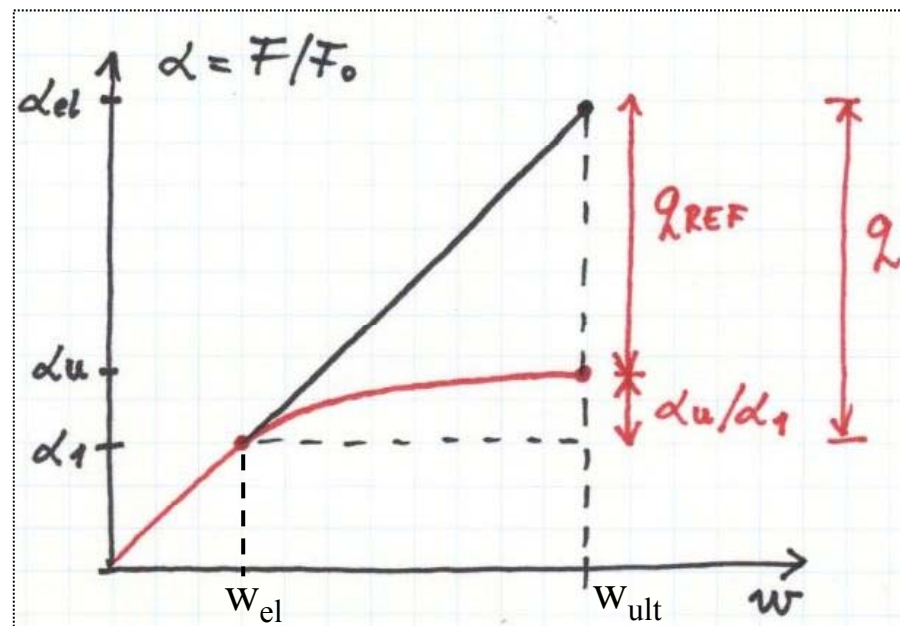
Spekter odziva tipa 1  
Vrsta zemljine A,  $a_g = 0,25g$

# Faktor obnašanja $q$ (za linearno analizo)

Faktorji obnašanja  $q$  izražajo sposobnost konstrukcije za disipiranje energije (duktilnost)

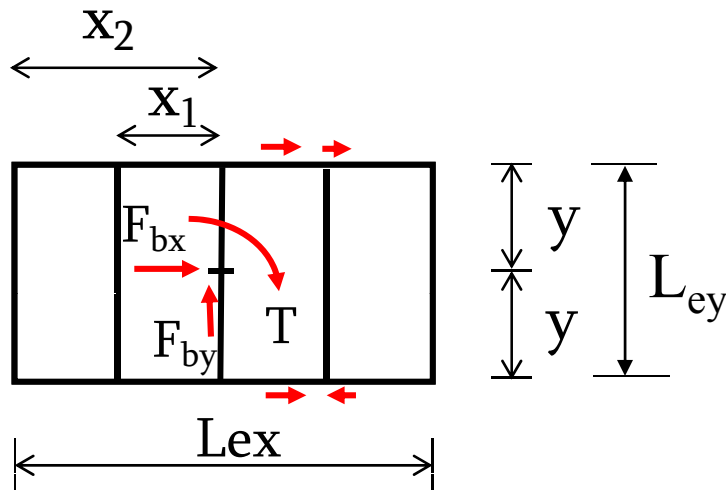
$$q = \alpha_{el}/\alpha_1 = \alpha_{el}/\alpha_u \alpha_u/\alpha_1 = q_{ref} \alpha_u/\alpha_1$$

$$\alpha_u/\alpha_1 \leq 1.6$$



# Vpliv torzije

- Vpliv ekscentričnosti mase:  $T = Ve$  (prostorski model)
- Enakomerno razporejene mase (ravninski ali prost. mod.)
  - slučajna ekscentričnost:  $e = 0.05L$
  - ravninska analiza v dveh ločenih smereh:  $\delta = 1 + 1,2x_i/L_{ex}$
  - Prostorska analiza (brez ekscentričnosti):  $\delta = 1 + 0,6x_i/L_{ex}$



$$F_{bT} = F_b \delta$$

## Vpliv teorije drugega reda (TDR)

- Neposredno ga lahko upoštevamo le pri nelinearni statični ali dinamični analizi
- Pri metodi nadomestnih sil in modalni analizi vpliv TDR upoštevamo približno s koeficientom  $\theta$

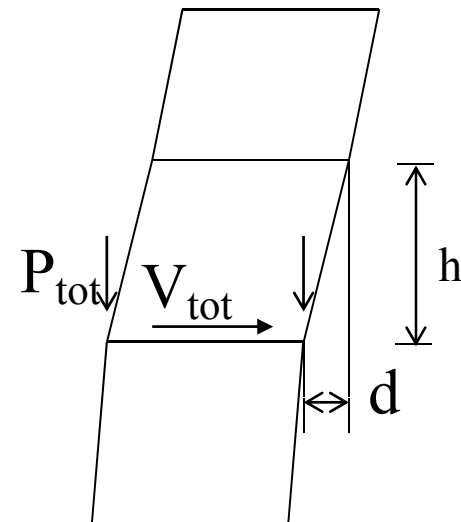
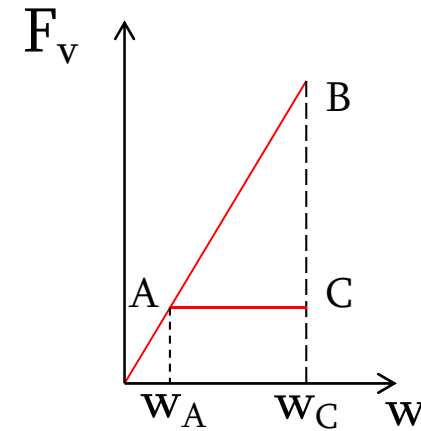


# Vpliv teorije drugega reda (TDR)

$$\theta = (P_{\text{tot}} d_C) / (V_{\text{tot}} h) = P_{\text{tot}} / P_{\text{cr}}$$

- $P_{\text{tot}}$  – celotna vertikalna obtežba na obravnavano etažo
- $V_{\text{tot}}$  – celotna prečna sila v etaži
- $h$  – višina etaže
- $d_C$  – horizontalni relativni zamik etaže v mejnem stanju (točka C) zaradi seizmičnih vplivov

$$d_C = d_A q$$



## Vpliv teorije drugega reda (TDR)

- $\theta \leq 0.1$  vpliv TDR zanemarimo
- $0.1 < \theta \leq 0.2$  vpliv TDR upoštevamo približno s koeficientom  $k_\delta = 1/(1 - \theta)$
- $0.2 < \theta \leq 0.3$  potrebna točnejša analiza (nelinearna statična ali dinamična analiza)
- $\theta > 0.3$  **ni dovoljeno!**

# Potresno projektno stanje

$$\boxed{\Sigma G_{ki} + \psi_2 \Sigma Q_{ki}} + \boxed{\gamma_I A_{Ed}(M)}$$

**Neseizmični vplivi**

**Seizmični vplivi**

Mass:  $\Sigma G_{ki} + \varphi \psi_2 \Sigma Q_{ki}$

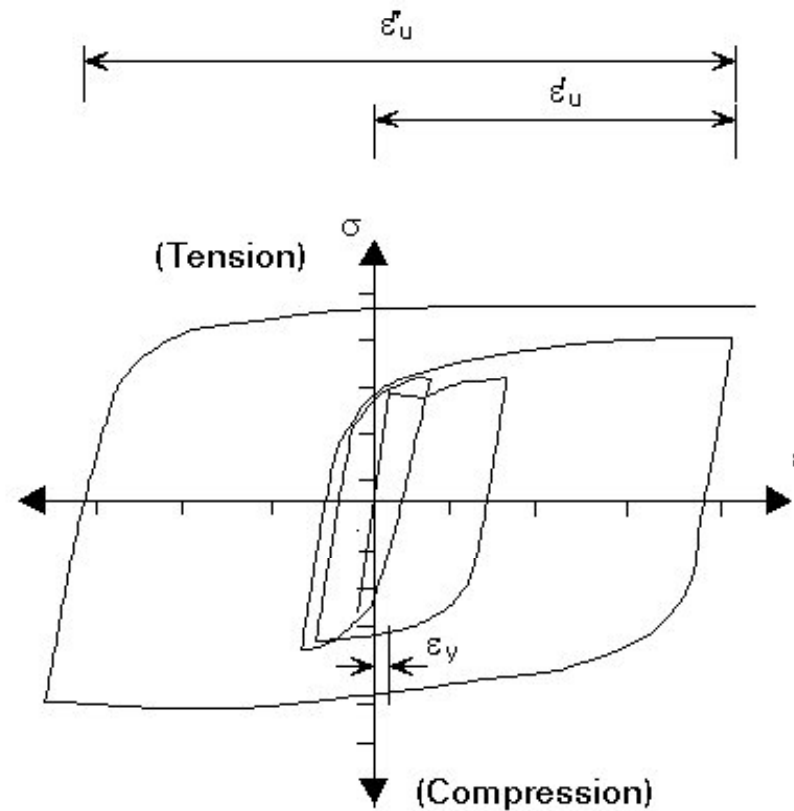
- $\psi_2 = 0$  (veter), 0-0.2(sneg), 0.3(koristna obt.)
- $\varphi = 0.5-1$
- $\gamma_I =$  faktor pomembnosti (0,8 – 1,4).

**Ločen račun notranjih sil za neseizmične in seizmične vplive!**

# Kombiniranje vplivov

- Modalna analiza - notranje sile
  - $E_E = (\sum E_{Ei}^2)^{1/2}$  statistični maksimum
- Smeri potresov – notranje sile
  - $E_{Edx} + 0,30E_{Edy}$
  - $0,30E_{Edx} + E_{Edy}$

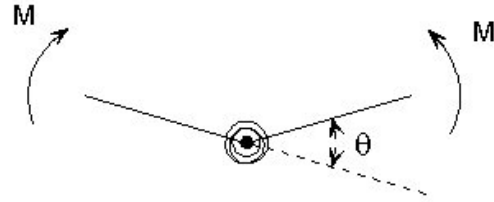
# Disipiranje energije v jeklu



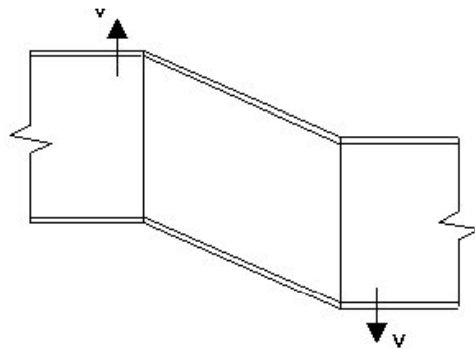
Vlakno jekla pri ciklični obremenitvi-

Bauschingerjev efekt

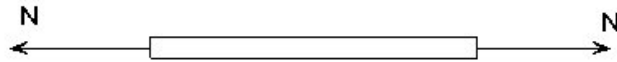
# Načini disipiranja energije



Upogib - plastični členek



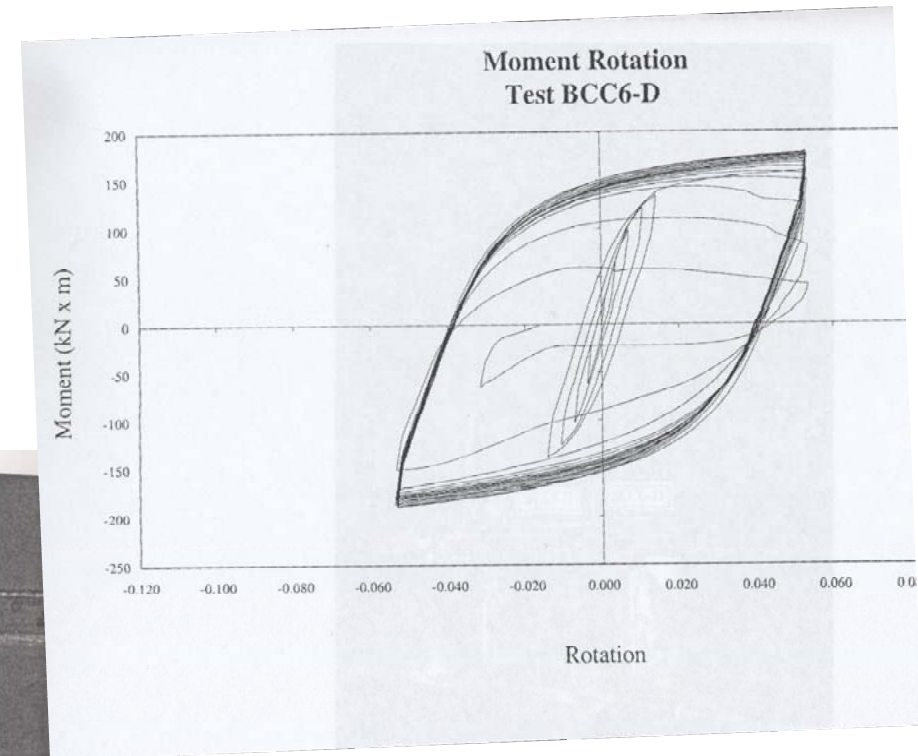
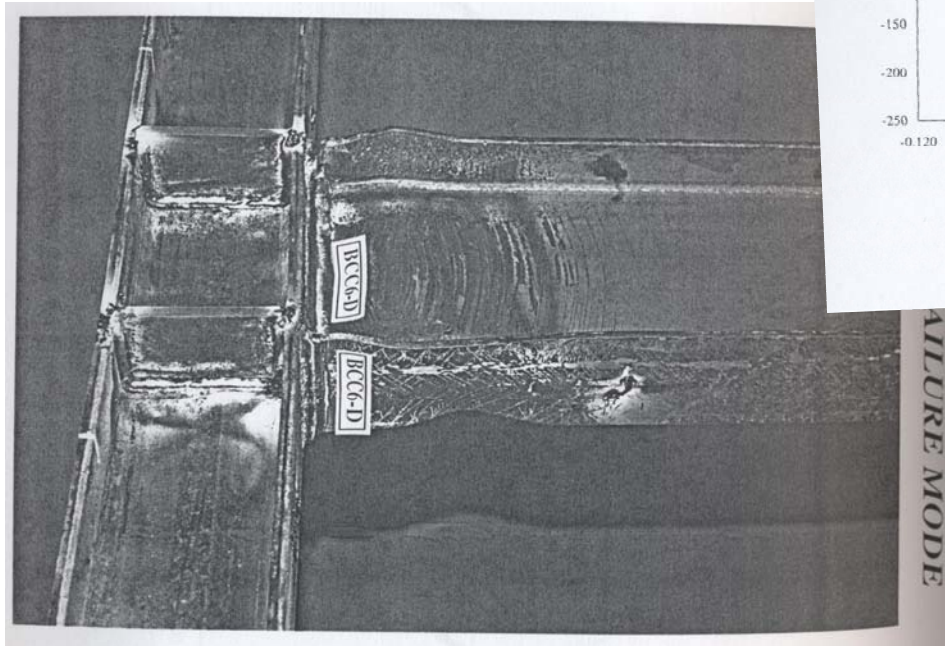
Strig - seizmični člen

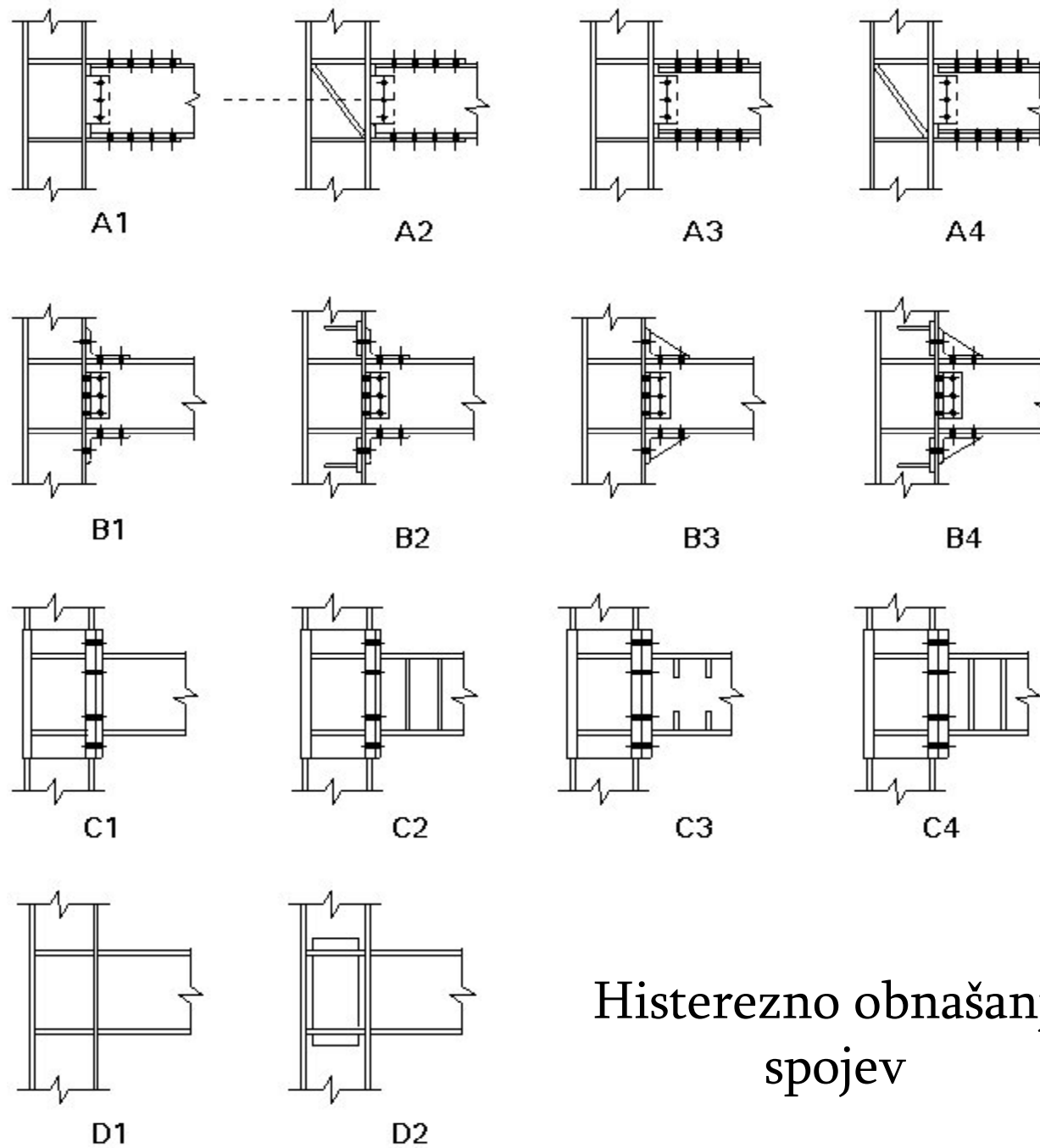


Nateg – diagonala povezja

# Disipiranje energije - upogib

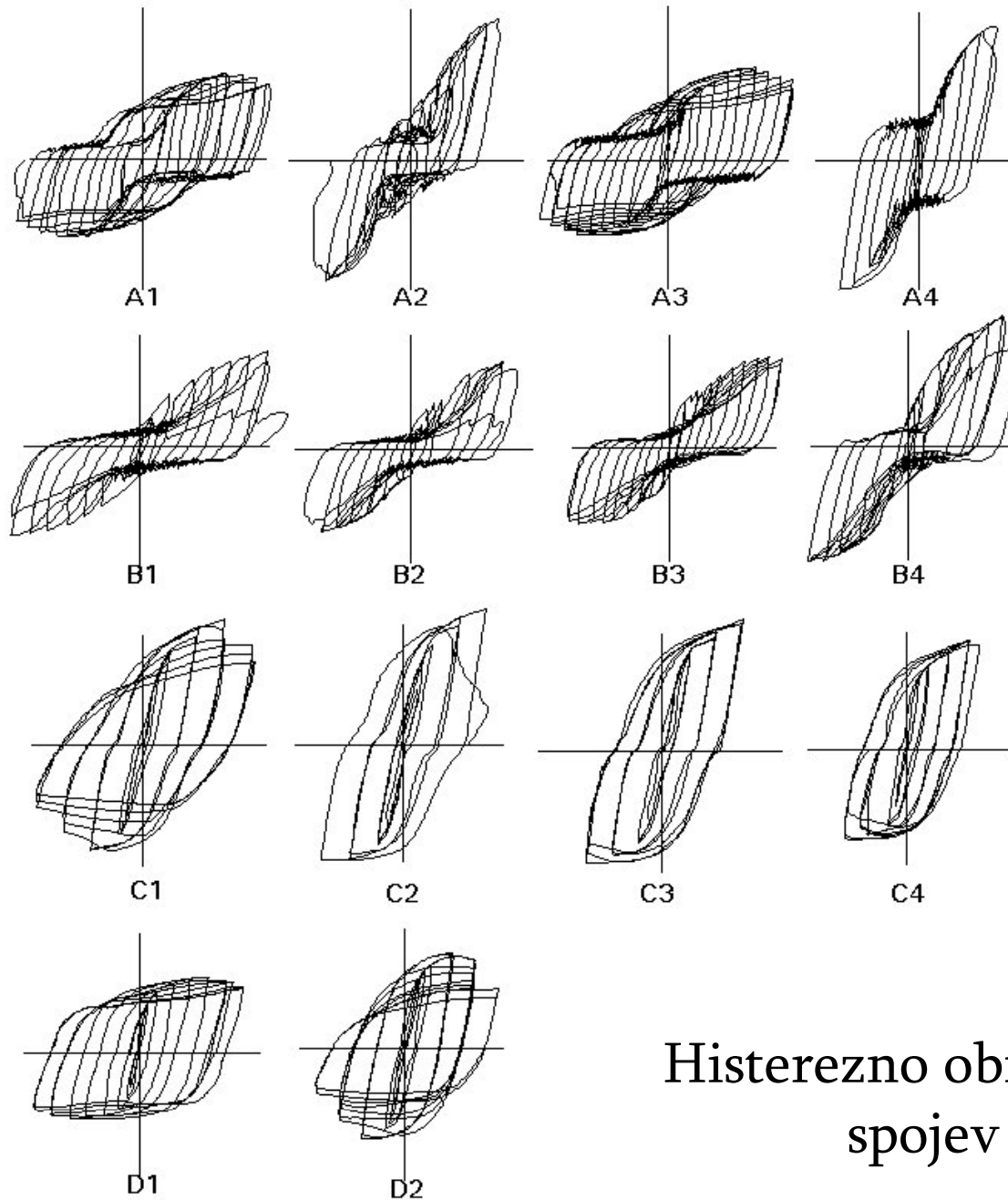
Histerežno obnašanje v  
plastičnem členku





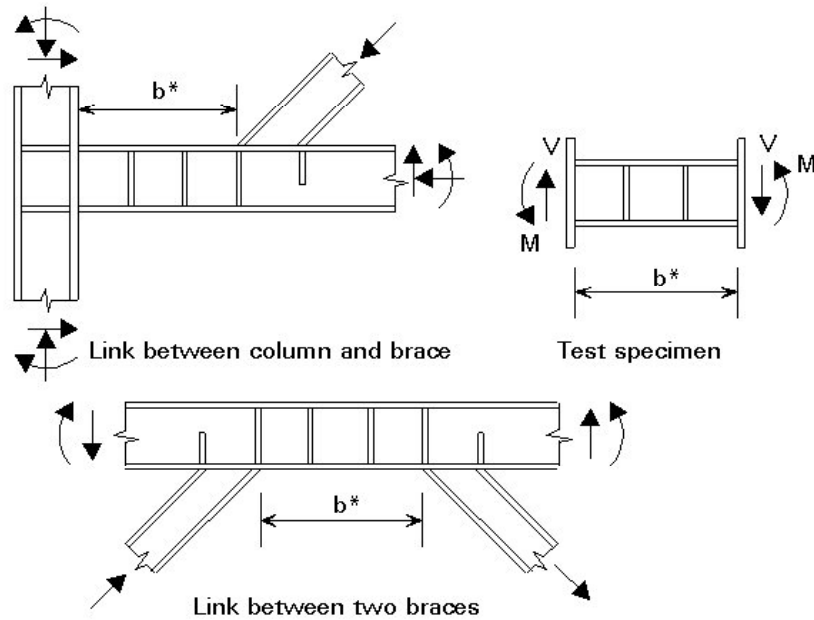
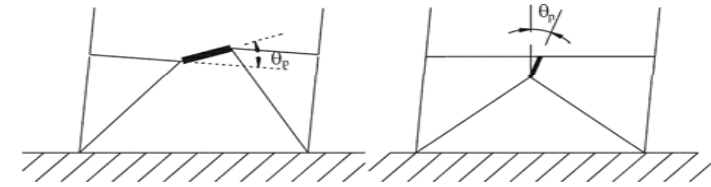
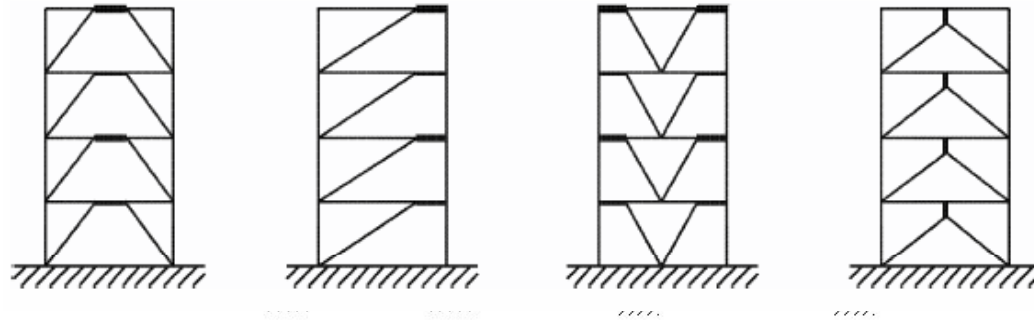
Histerežno obnašanje  
spojev

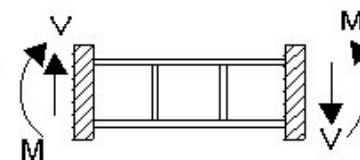
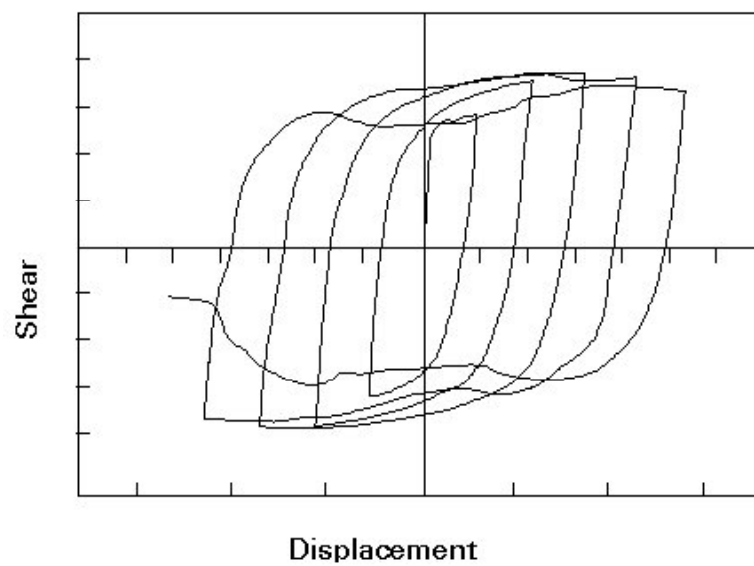
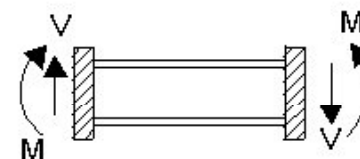
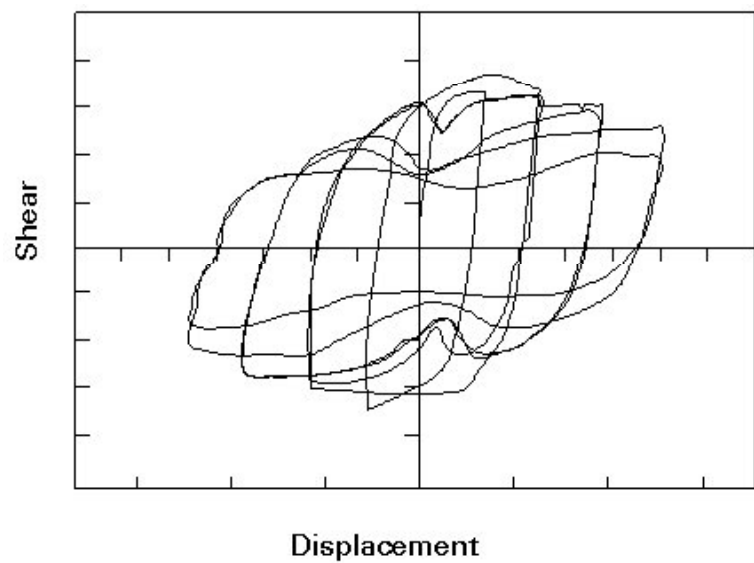




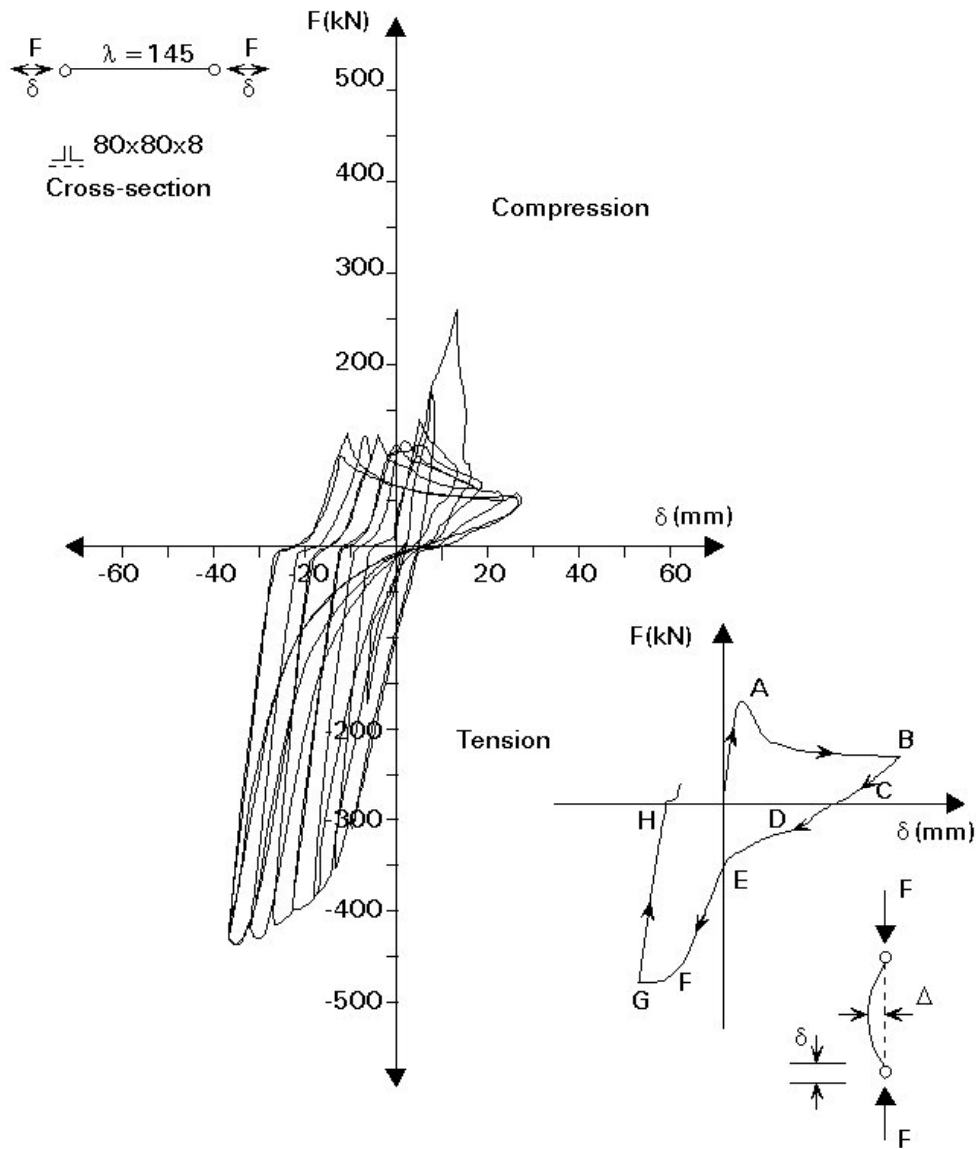
Histerežno obnašanje  
spojev

# Disipiranje energije – strig (seizmični člen)





Histerežno obnašanje v seizmičnem členu



Figure

Disipiranje energije  
- nateg

Uklonjena diagonalala



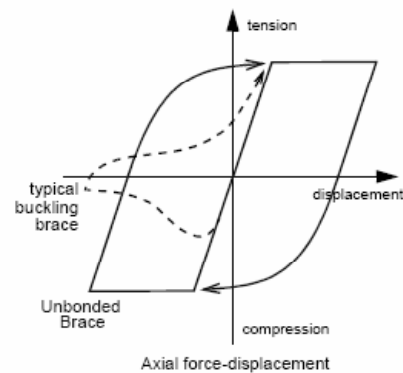
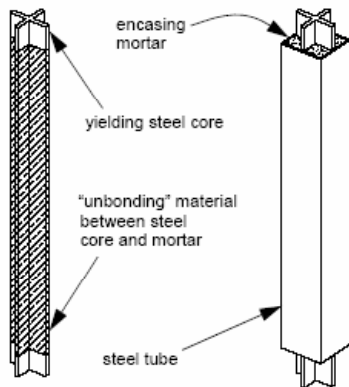
# Posebne naprave za disipiranje energije



potresna izolacija



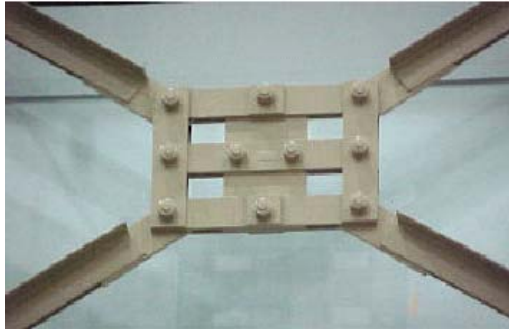
dušilci s "shape memory alloys"



diagonale s preprečenim uklonom (buckling restrained braces)



# Posebne naprave za disipiranje energije



torni dušilci



hidravlični dušilci



dušilci z nihajočo maso  
(The Taipei 101)

# Pravila projektiranja jeklenih konstrukcij iz EVROKODA 8

## Razredi duktilnosti konstrukcij

Način projektiranja	Razred duktilnosti konstrukcij	Območje referenčnih vrednosti faktorjev duktilnosti $q$
Majhno disipiranje	DCL (nizek)	$\leq 1,5$
Disipativno obnašanje konstrukcij	DCM (srednji)	$\leq 4$ (2 – 4)
	DCH (visok)	$\leq 8$ (2,5 – 8)

# Načini projektiranja jeklenih konstrukcij

- Majhno disipiranje energije (DCL):  $q \leq 1,5$   
1., 2., 3. in 4. razred kompaktnosti, dimenzioniranje po evrokodu 3

*Priporočilo: le pri nizki seizmičnosti –*

$$a_g S \leq 0.1g \text{ ali } a_g \leq 0,08$$

*V Sloveniji takih področij ni!*



# Načini projektiranja jeklenih konstrukcij

- Disipativno obnašanje konstrukcij (DCM, DCH):  
     $q > 1,5$   
    1., 2. in (3.) razred kompaktnosti

***Obvezno je potrebno spoštovati zahteve iz 6. poglavja evrokoda 8-1***

# Zagotavljanje varnosti

- Delni varnostni faktor materiala  $\gamma_s$ 
  - *Ob predpostavki, da je zaradi zagotovljene lokalne duktilnosti razmerje med preostalo nosilnostjo po cikličnem obremenjevanju in začetno vrednostjo nosilnosti približno enako razmerju med vrednostmi  $\gamma_M$  pri nezgodnem in osnovnem obtežnem stanju, se priporoča uporaba delnega varnostnega faktorja  $\gamma_s = \gamma_M$  za začasno in trajno projektno stanje.*
  - *Za  $\gamma_M$  je v standardih Eurocode 3 predlagana vrednost od 1,0 do 1,1 v odvisnosti od vrste objekta. Pri običajnih stavbah velja kar  $\gamma_M = 1,0$ .*

# Lokalna in globalna duktilnost

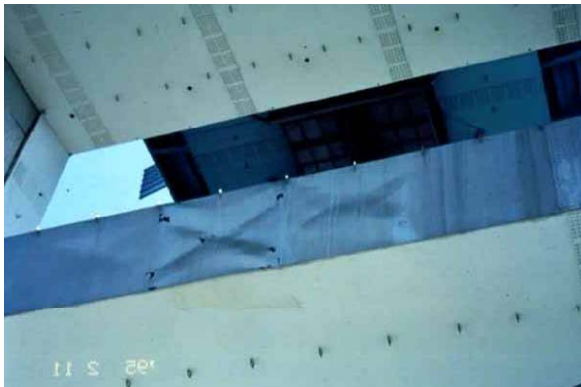
- **Lokalna duktilnost** se zagotavlja na nivoju prečnih prerezov in spojev (npr. plastični členek v prečki)
- **Globalna duktilnost** se zagotavlja na nivoju celotne konstrukcije (primeren porušni mehanizem konstrukcije kot celote)

# Splošni pogoji za zagotavljanje duktilnega obnašanja konstrukcij

- **Ciklično obremenjevanje** ne vpliva na globalno stabilnost (zajeto s  $q$  faktorji)
- Elementi, ki disipirajo energijo, morajo imeti zadostno duktilnost
- Če so cone disipiranja locirane v **konstrukcijskih elementih**, morajo imeti ostali konstrukcijski elementi (kjer ni disipiranja) in spoji med conami disipiranja in ostalimi deli konstrukcije zadostno dodatno nosilnost, ki omogoča razvoj ciklične plastifikacije v conah disipiranja (**capacity design**).
- Če so cone disipiranja locirane v **spojih**, morajo stikovani elementi imeti zadostno dodatno nosilnost, ki omogoča razvoj ciklične plastifikacije v spojih.

# Zagotavljanje lokalne duktilnosti - upogib

- Pogoji za razvoj plastičnega členka:
  - Kompaktnost prečnega prereza (1. ali 2. raz. komp.)



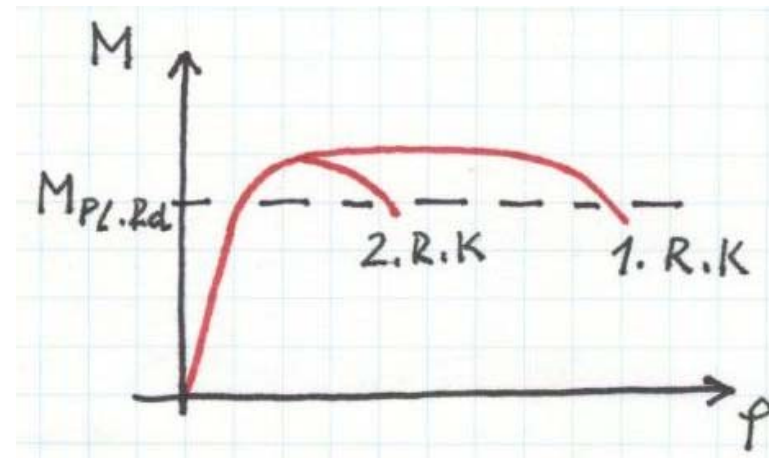
# Lokalna duktilnost - upogib

## Zahtevana kompaktnost prerezov

Razred duktilnosti	Referenčne vrednosti faktorja obnašanja $q$	Zahtevan razred kompaktnosti prečnih prerezov
DCM	$1,5 < q \leq 2$	razred 1, 2 or 3
	$2 < q \leq 4$	razred 1 or 2
DCH	$q > 4$	razred 1

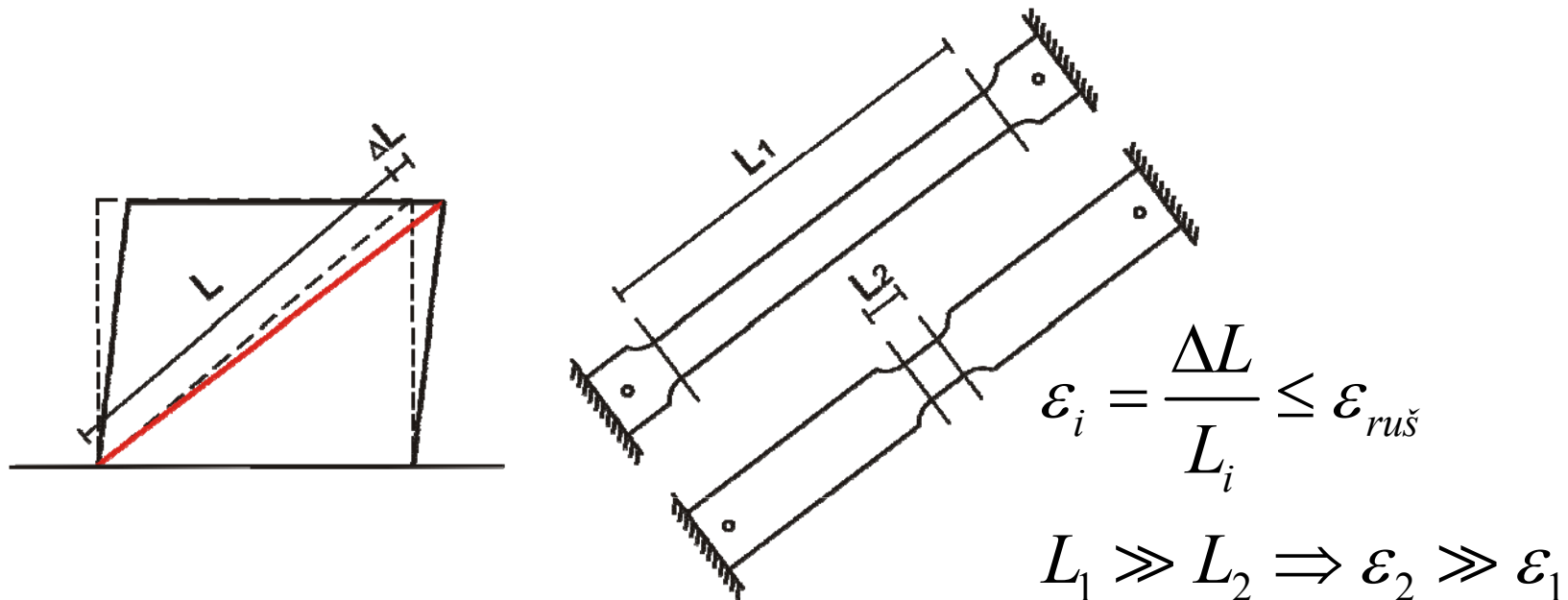
# Zagotavljanje lokalne duktilnosti - upogib

- Pogoji za razvoj plastičnega členka:
  - Duktilen material : S235, S275, S355 ( $\epsilon_{\text{ruš}} \geq 15\%$ ,  $f_u/f_y \geq 1.10$ ,  $\epsilon_u \geq 15 \epsilon_y$ ,  $\epsilon_y = E/f_y$ )
  - Preprečene vse vrste globalne nestabilnosti (uklon, bočna zvrnitev ...)



# Zagotavljanje lokalne duktilnost – nateg

- Dolžina, na kateri se element plastificira, mora biti dovolj velika, da so zahtevane natezne deformacije primerno manjše od porušnih ( $\varepsilon \leq \varepsilon_{ruš} \approx 15\%$ )
- Priporočilo: pri cikličnem obremenjevanju ( $\varepsilon \leq 5\%$ )





# Zagotavljanje lokalne duktilnosti – seizmični členi

Pogoji za pravilno delovanje seizmičnega člena

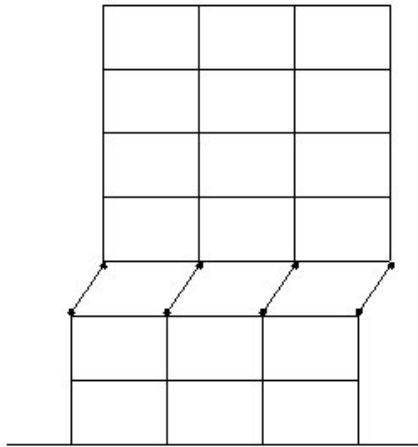
- Duktilen material
- Zelo kompaktna stojina, ojačena s prečnimi rebri

$$h_s / t_s \ll 72\varepsilon$$

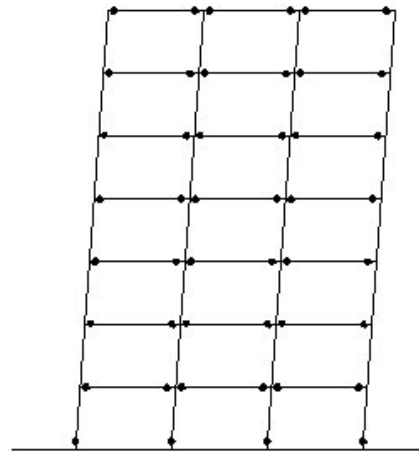
# Lokalna duktilnost - spoji

- **Polno nosilni spoji** (z dodatno nosilnostjo) – **duktilnost ni potrebna**
- Delno nosilni spoji - **duktilnost potrebna!!**

# Globalna duktilnost – pomični okviri



Lokalna porušitev v stebrih pred plastifikacijo prečk



Globalna porušitev s plastifikacijo v prečkah



likvefakcija tal



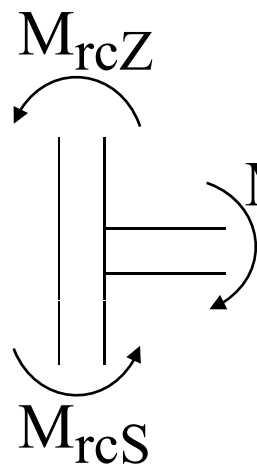
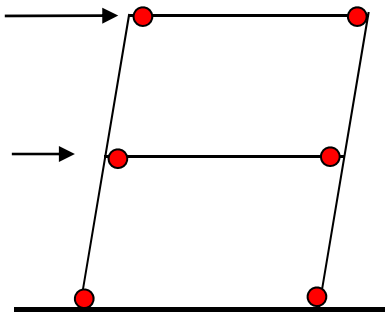
mehka etaža (soft storey)

# Globalna duktilnost

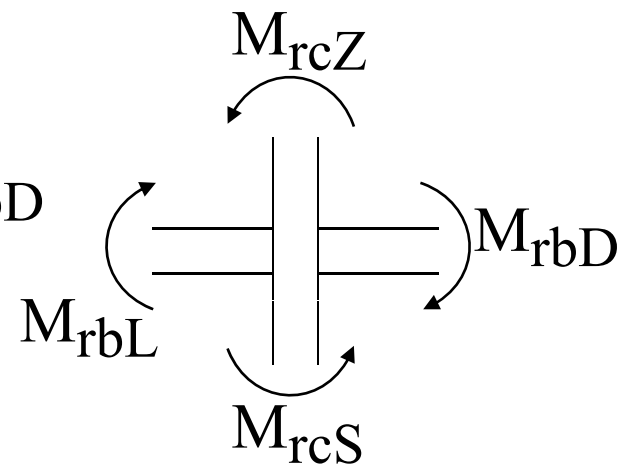
## šibke prečke – močni stebri

Željen raspored plastičnih členkov dosežemo s pogojem

$$\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$$

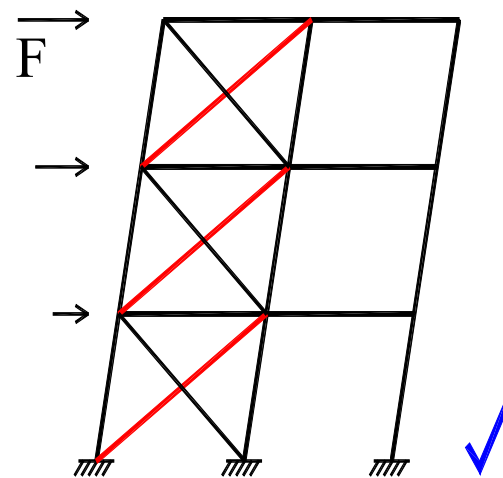
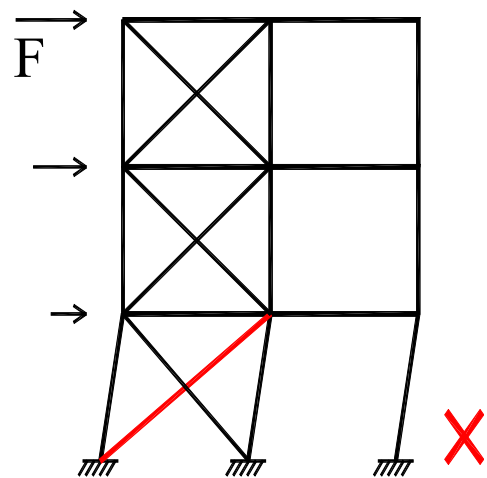


**enostavno**

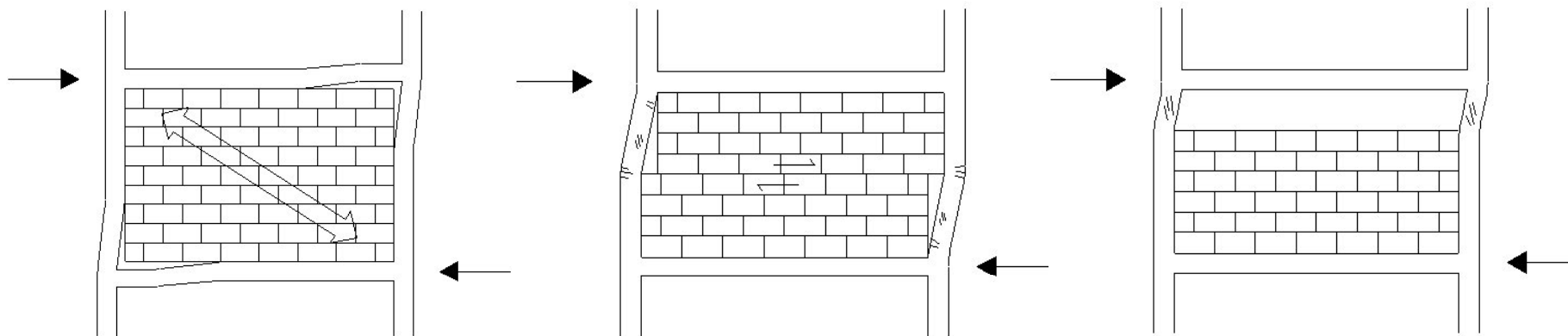


**težje**

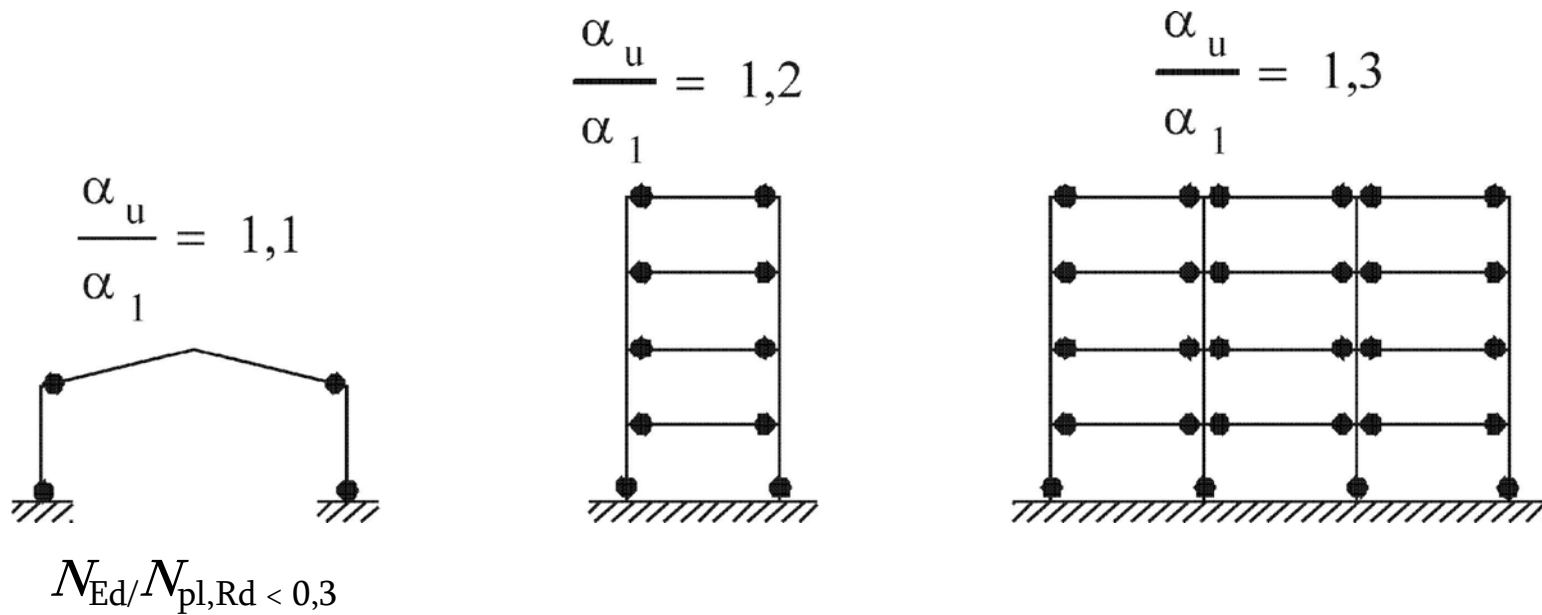
# Globalna duktilnost – centrična povezja



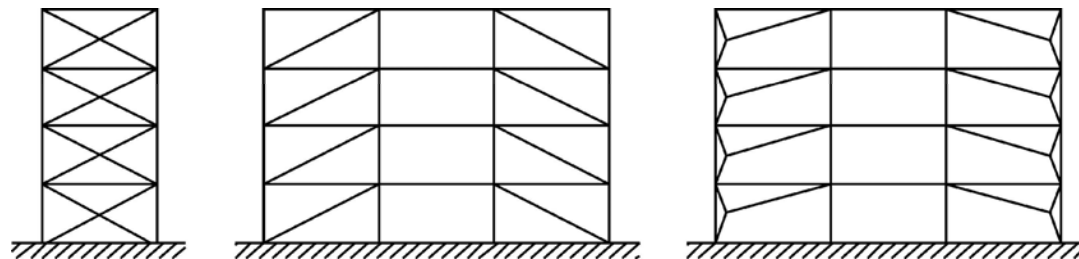
# Globalna duktilnost – vpliv polnil



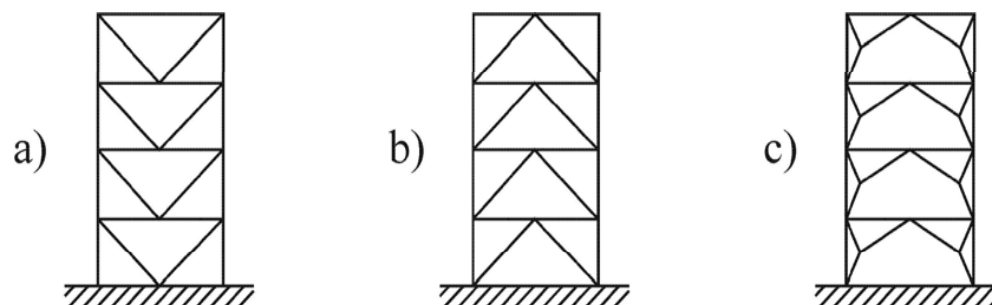
# Tipi konstrukcij



Pomični okviri (cone disipiranja v prečkah in na dnu stebrov)

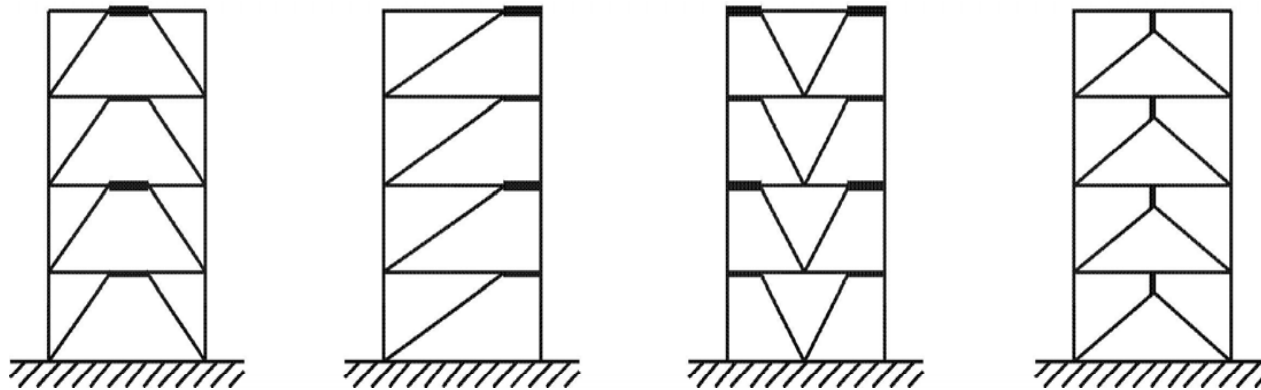


Okviri s centričnimi povezji z nateznimi diagonalami  
(cone disipiranja samo v nateznih diagonalah)



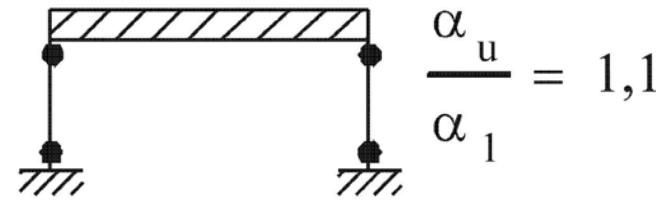
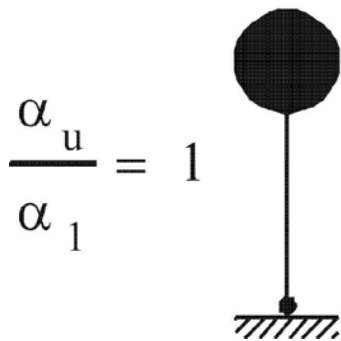
Okviri s centričnimi V povezji  
(cone disipiranja v nateznih in tlačnih diagonalah)





$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,2$$

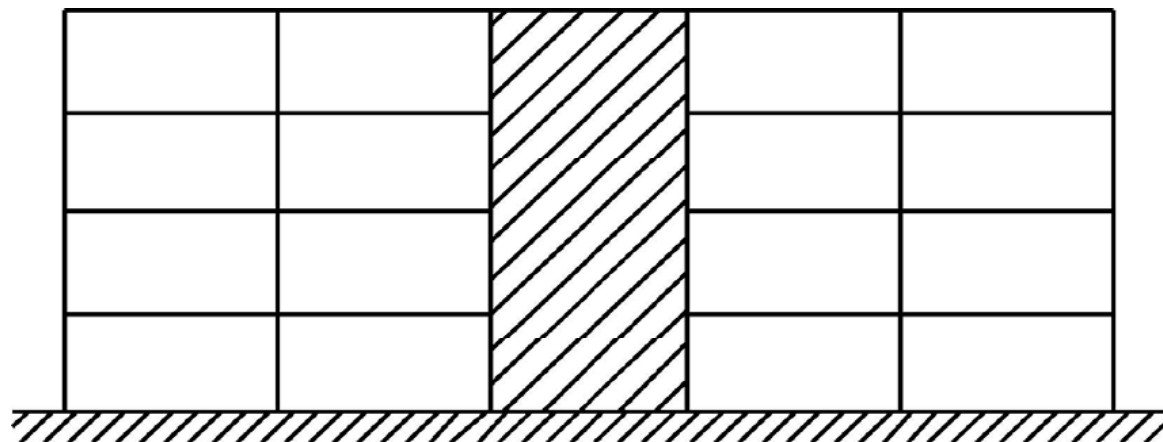
Okviri z ekscentričnimi povezji  
(cone disipiranja v upogibnih ali strižnih členih)



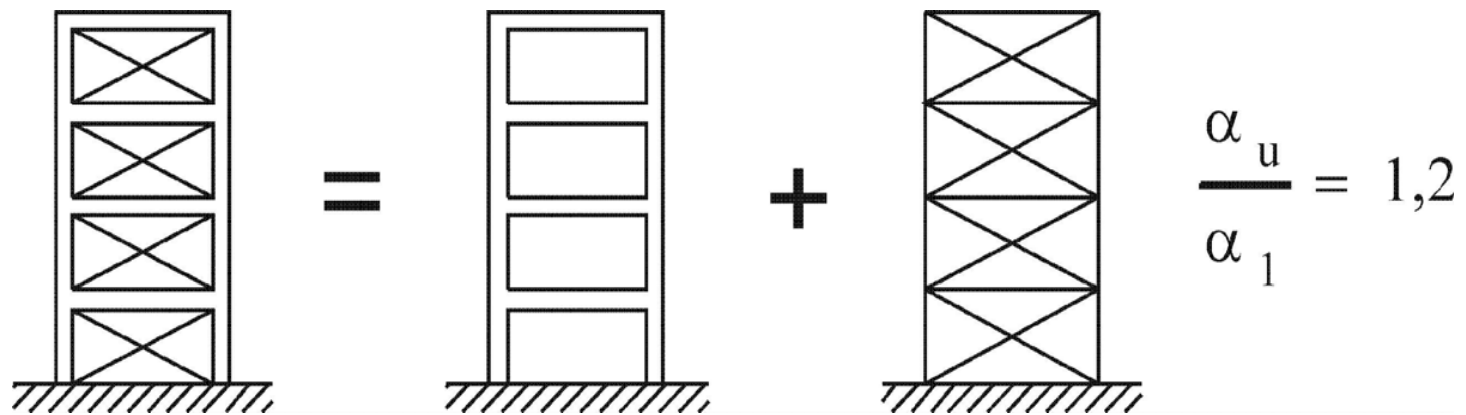
Konstrukcije tipa obrnjeno nihalo:

a) cone disipiranja ob dnu stebrov;

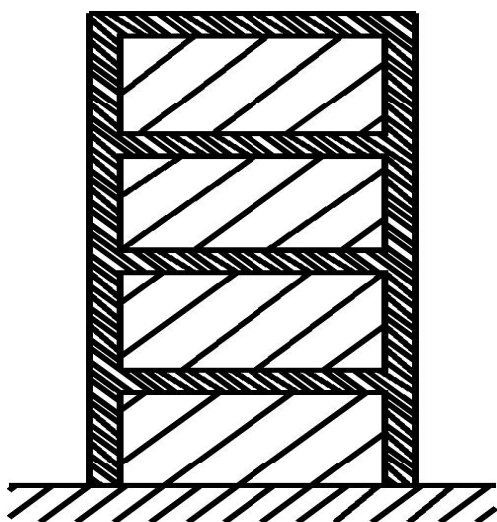
b) cone disipiranja v stebrih ( $N_{Ed}/N_{pl,Rd} < 0,3$ )



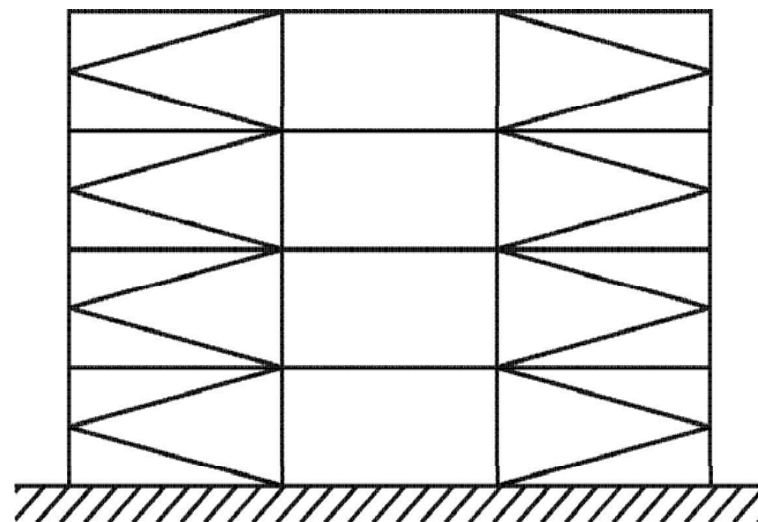
Konstrukcije z betonskimi jedri ali betonskimi stenami



Pomični okviri, kombinirani s centričnimi povezji  
 (Cone disipiranja v okviru in nateznih diagonalah)



Pomični okviri,  
kombinirani s polnili



Okvir s K povezji (ni dovoljeno!)

# Faktorji obnašanja

VRSTA KONSTRUKCIJE	Razred duktilnosti	
	DCM	DCH
a) Pomični okviri	4	$5\alpha_u/\alpha_l$
b) Okvir s centričnimi povezji Diagonalna povezja V povezja	4 2	4 2,5
c) Okvir z ekscentričnimi povezji	4	$5\alpha_u/\alpha_l$
d) Obrnjeno nihalo	2	$2\alpha_u/\alpha_l$
e) Konstrukcije z betonskimi jedri ali betonskimi stenami	Glej poglavje 5	
f) Pomični okvir s koncentričnimi povezji	4	$4\alpha_u/\alpha_l$
g) Pomični okvir s polnili -Betonsko ali zidano polnilo, ki ni spojeno z okvirom, vendar v stiku z okvirom -Armiranobetonsko polnilo, spojeno z okvirom -Polnilna, izolirana od okvira (glej pomične okvire)	2	2
	Glej poglavje 7	
	4	$5\alpha_u/\alpha_l$

Konstrukcije, neregularne po višini - x0.8

# Material

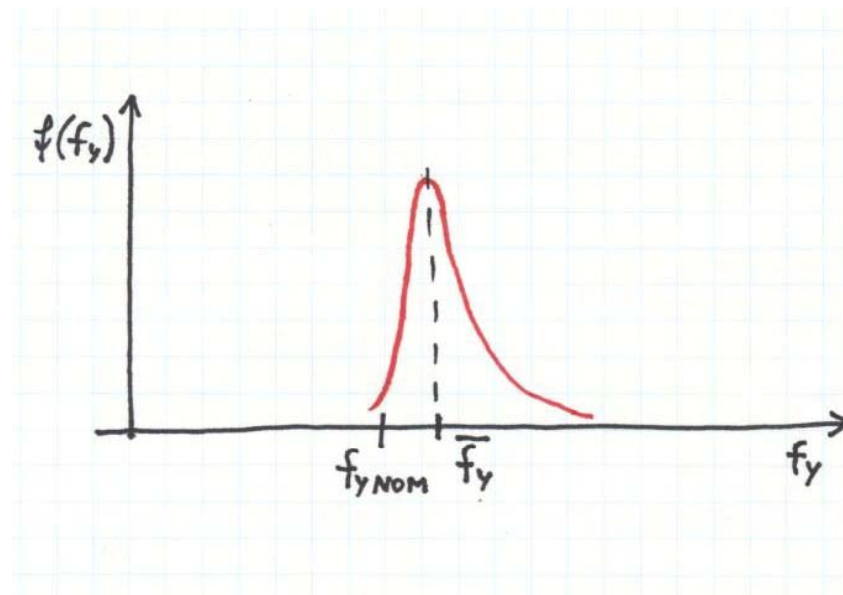
- Dovoljena je uporaba vseh jekel iz EN 1993-1-1  
S235, S275, S355, S420, S450, S460
- V conah disipiranja energije je priporočljivo uporabiti le S235, S275 in morda še S355,

# Material

Gostota porazdelitve za napetost tečenja:

*Pri S235 velja  $\bar{f}_y \approx 1.18f_{yNOM} = 277 \text{ MPa}$*

*$f_{yNOM}$  – garantirana spodnja meja =  $f_{y,Rk}$*





# Material

Razporeditev lastnosti materiala, kot sta meja elastičnosti in lomna žilavost, po konstrukciji, mora biti taka, da se cone disipiranja razvijejo tam, kjer je bilo v projektu predvideno (npr. v prečkah in ne v stebrih).

*Pričakuje se, da se med potresno obtežbo cone disipiranja plastificirajo predenj ostala območja zapustijo elastično stanje.*

Trije načini za izpolnitev te zahteve.

## Material: 1. način

Dejanska največja vrednost napetosti tečenja  $f_{y,\max}$  jekla v conah disipiranja je

$$f_{y,\max} \leq 1,1 \gamma_{ov} f_y$$

- $\gamma_{ov} = 1.25$  faktor dodatne nosilnosti, uporabljen pri projektiranju
- $f_y$  nominalna vrednost meje elastičnosti za izbrano kvaliteto jekla
- $1,1$  dodatni vpliv utrjevanja materiala

## Material: 1. način

- Pri tej metodi za jeklo kvalitete S235 in  $\gamma_{ov} = 1,25$  za  $f_{y,max}$  velja:

$$f_{y,max} = 323 \text{ MPa}$$

- Ta način je enostaven, vendar pomeni, da ne glede na dejansko mejo elastičnosti v conah disipiranja vedno predpostavimo  $f_y = 323 \text{ MPa}$  (lahko zelo konservativna rešitev).

## Material: 2. način

- za kvaliteto jekla je znana zgornja vrednost napetosti tečenja  $f_{y,\max}$  v conah disipiranja
- pri pogoju, da za nominalno napetost tečenja  $f_y$  jekla, uporabljenega izven območij disipiranja, velja:

$$f_y > f_{y,\max}$$

je varovanje nedisipativnih con zagotovljeno

## Material: 2. način

- Ta pogoj običajno vodi do uporabe jekla S355 v elementih brez disipiranja in jekla S235 v elementih, kjer je predvideno disipiranje energije. Pri jeklu S235 namreč zgornja meja napetosti tečenja  $f_{y,\max} = 323$  MPa ne presega vrednosti 355 Mpa.
- **Stebre, čelne pločevine vijaknih spojev in kotne zware v spoju** je potrebno v potresnem obtežnem stanju dimenzionirati ob upoštevanju jekla S 235 in potem povišati kvaliteto na S 355.

## Material: 3. način

- Dejanska največja meja elastičnosti  $f_{y,\max}$  za jeklo v conah disipiranja je znana (testi).
- To je mogoče, kadar:
  - Za gradnjo uporabimo jeklo z znanimi mehanskimi lastnostmi (ocena odpornost obstoječih stavb)
  - Pri projektiranju predpostavimo mejo elastičnosti, višjo od nominalne in z meritvami pred izdelavo konstrukcije potrdimo, da je predpostavljena meja elastičnosti manjša ali enaka dejanski meji elastičnosti (je na varni strani).

## Material: 3. način

- Pri S 235 je povprečna vrednost  $f_y$  za približno 18% višja od nominalne (277 MPa ), zato je smiselno za  $f_y$  predpostaviti vrednost okoli 280 MPa (in tak material tudi vgraditi).
- Dejanska vgrajena kvaliteta jekla ne sme presegati predpostavljene **za več kot 10%**.
  - Načrti – označiti  $f_{y,MAX}$  (cone disipiranja)
  - Kontrola materiala pred vgradnjo

# Material

$$f_{y,max} \leq 1,1\gamma_{ov} f_y$$

1. način:  $\gamma_{ov} = 1.25$   
 $f_y = f_{y,nom}$  (račun v conah disipiranja)
1. način:  $\gamma_{ov} = 1.00 !!$   
 $f_y(\text{prečka}) = 235 \text{ MPa}$   
 $f_y(\text{steberi}) = 355 \text{ MPa}$
3. način:  $\gamma_{ov} = f_{y,act} / f_y$   
 $f_y = f_{y,nom}$  (račun v conah disipiranja)



# Material - žilavost

- Lomna žilavost jekla in zvarov mora zadoščati zahtevam za seizmične vplive pri navideznih stalnih vrednostih delovne temperature - **EN 1993-1-10**.
- Standard EN 1993-1-10 uporabimo, da izberemo ustrezno kvaliteto jekla (in podrazrede žilavosti JR, J0, J2, K2...), ki bo zagotavljala varnost pred krhkim lomom.

*Parametri: debelina pločevin, nivo napetosti in delovna temperatura*

# Material - žilavost

- Za disipativne elemente je v skladu s slovenskim NA potrebno izbrati **vsaj kvaliteto J0** (vsaj 27J pri 0°C) – npr. S235 J0.



# Izbira materiala

Steel grade	Sub-grade	Charpy energy CVN		Reference temperature $T_{Ed}$ [°C]																				
		at T [°C]	$J_{min}$	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$						
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100

# Material - vijaki

Dovoljena je uporaba vijakov visoke trdnosti

**8.8 in 10.9**

EN 14399-1 do 6

# Spoji v conah disipiranja in ob njih

- Zasnova z ne prevelikimi zaostalimi napetostmi in lokalizacijami plastičnih deformacijami
- Sočelni varjeni spoji – dodatna nosilnost O.K.
- Vijačni spoji, kotni zvari:  $R_d^{\text{SPOJ}} \geq 1.1 \gamma_{ov} R_{fy}^{\text{ELEM}}$
- Vijačni preklopni (strižni) spoji:  $R_d^{\text{VIJ}} \geq 1.2 R_d^{\text{BOČ}}$
- Projektne rešitve morajo temeljiti **na rezultatih testov** (ciklično obnašanje).

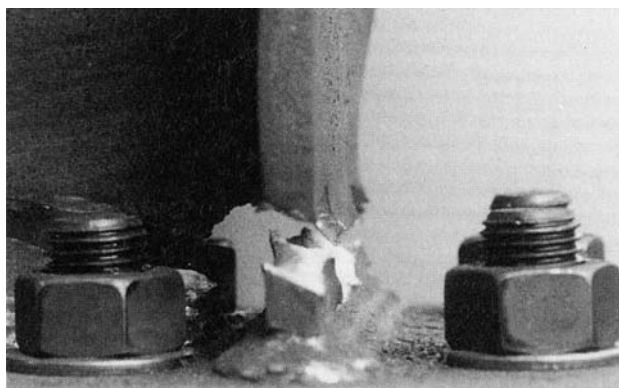
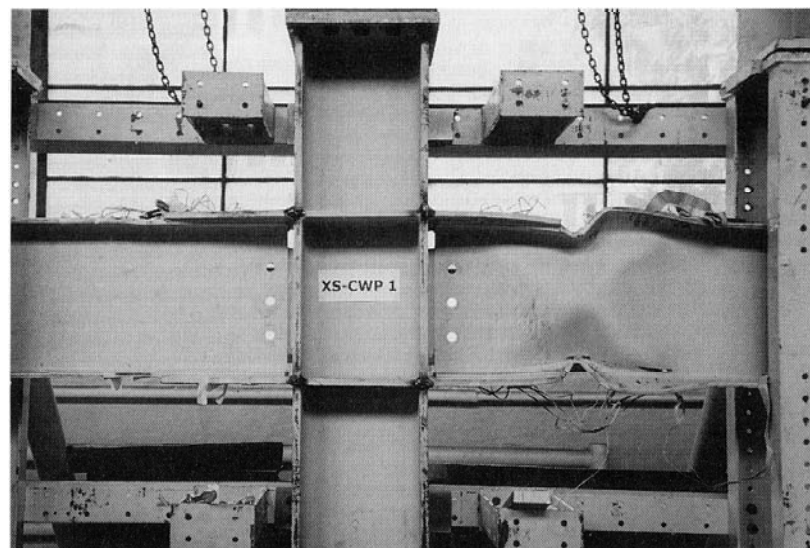
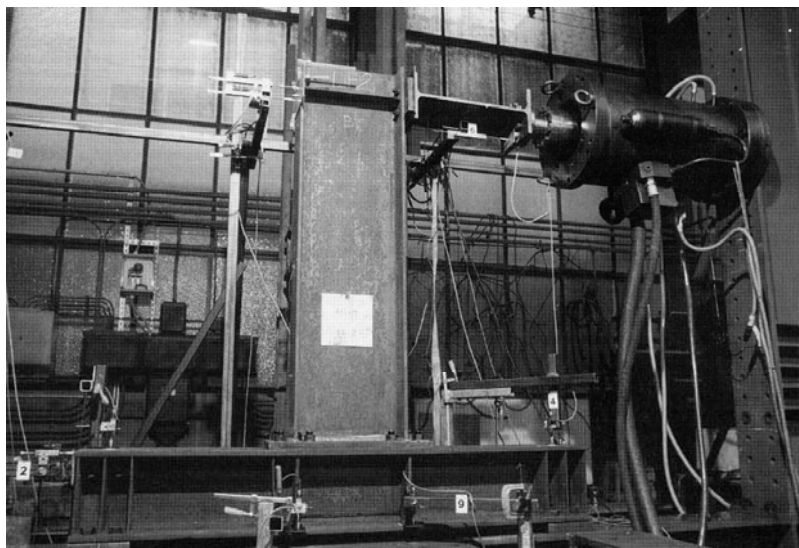
# Vijačni spoji

- Vsi vijaki prednapeti (8.8, 10.9)
- Tri kategorije spojev po EN 1993-1-8
  - Kat. B: torna nosilnost v MSU (za seizmično projektno stanje praktično ni razlike s kat. C)
  - Kat. C: torna nosilnost v MSN (še kontrola bočnega pritiska in neto prerezov –  $f_y$ )
  - Kat. E: natezno obremenjeni vijaki
- Torne površine: najzahtevnejša obdelava (A,B)
  - A :  $\mu = 0.5$       B :  $\mu = 0.4$
- Dovoljeni tudi vijaki s točnim naleganjem in injecirani vijaki(?).

# Projektne rešitve morajo temeljiti na rezultatih testov!?

- To zahtevo lahko izpolnimo tako, da uporabljamo standardne spoje, za katere je na voljo dovolj eksperimentalnih rezultatov o njihovem cikličnem obnašanju (Nacionalni dodatek).
- Bolje je uporabiti **polnonosilne spoje**, ki ne zahtevajo duktilnega obnašanja.
- Delnonosilni spoji kljub duktilnosti **disipirajo manj energije** kot prečke, so pa **cenejši** od polnonosilnih spojev.

# Ciklični testi

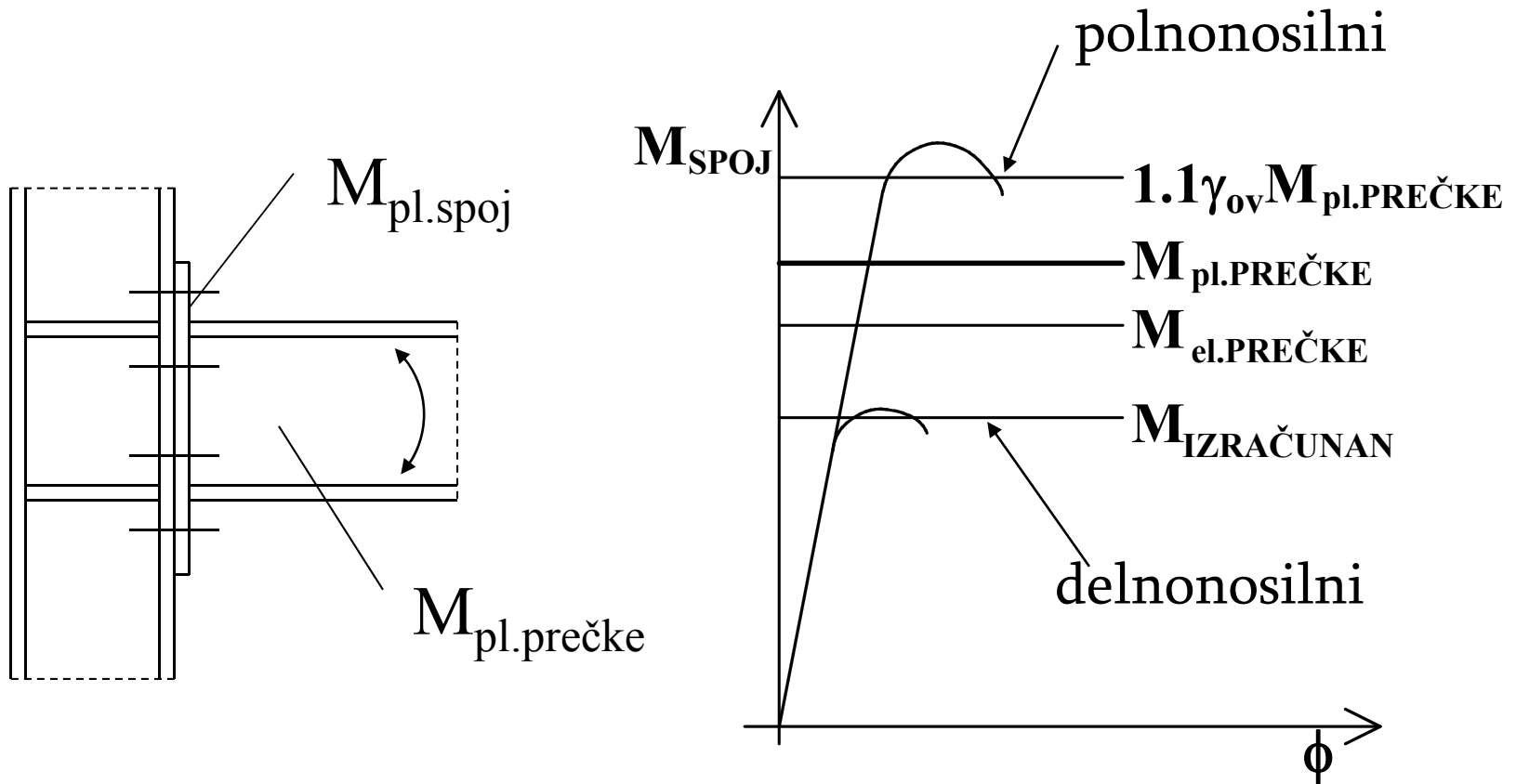


Vuta povzroči premik plastičnega  
členka stran od spoja

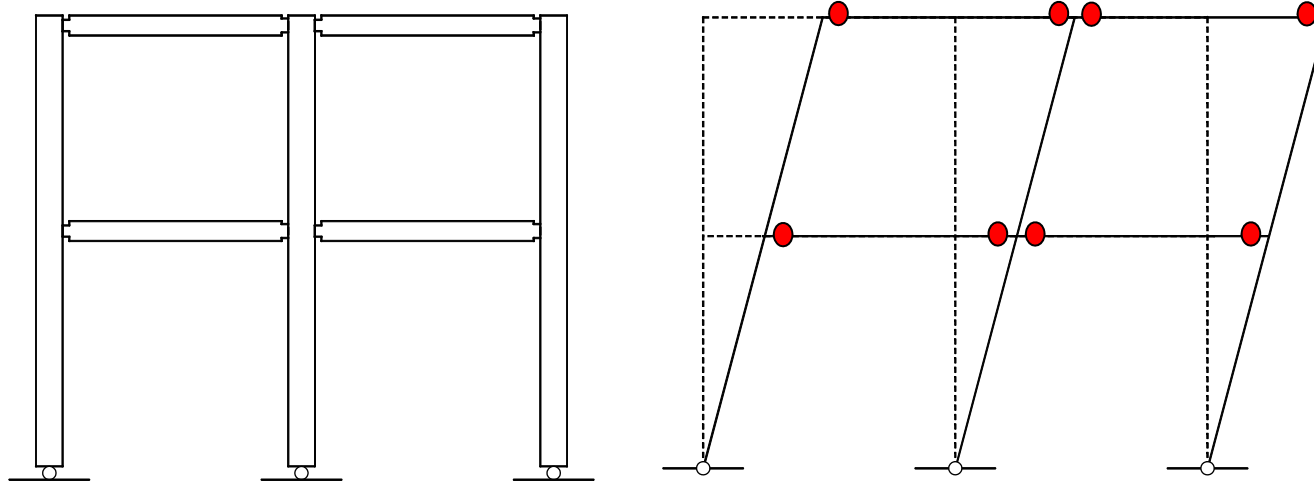
Razpoka zaradi  
nizkocikličnega utrujanja



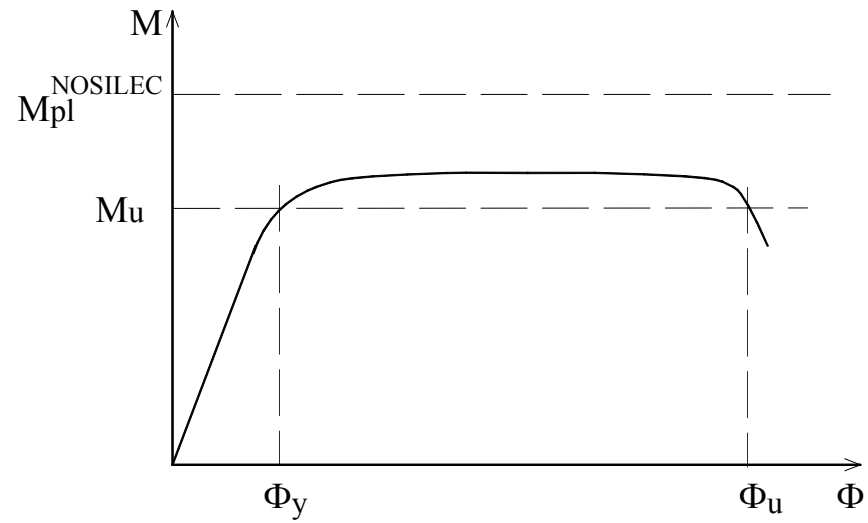
# Polno- in delnonosilni spoji



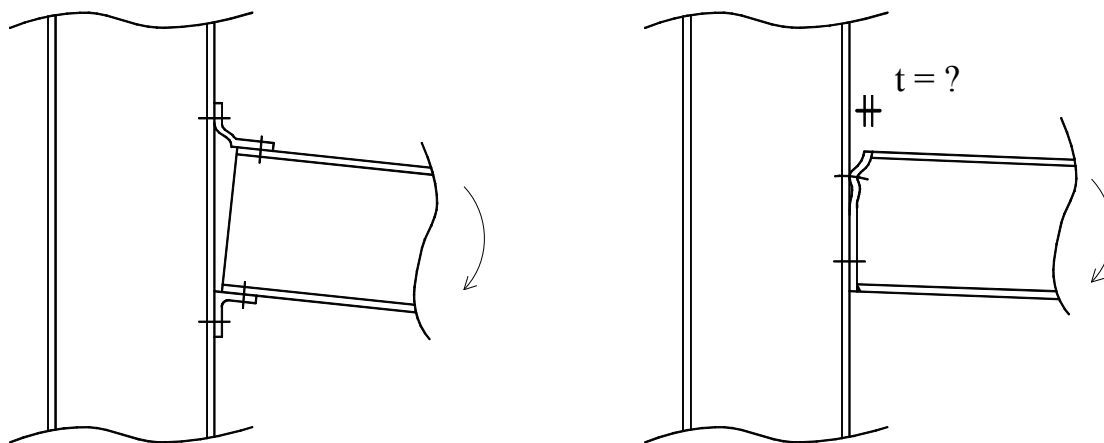
# Delnonosilni spoji



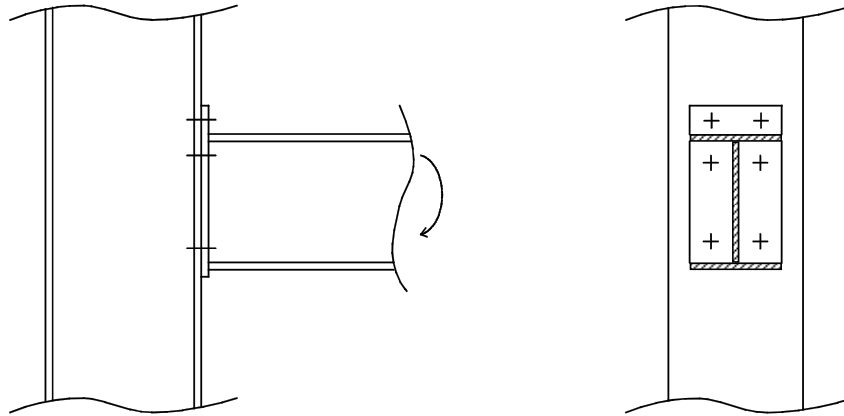
ZAHTEVANA DUKTILNOST V STIKIH



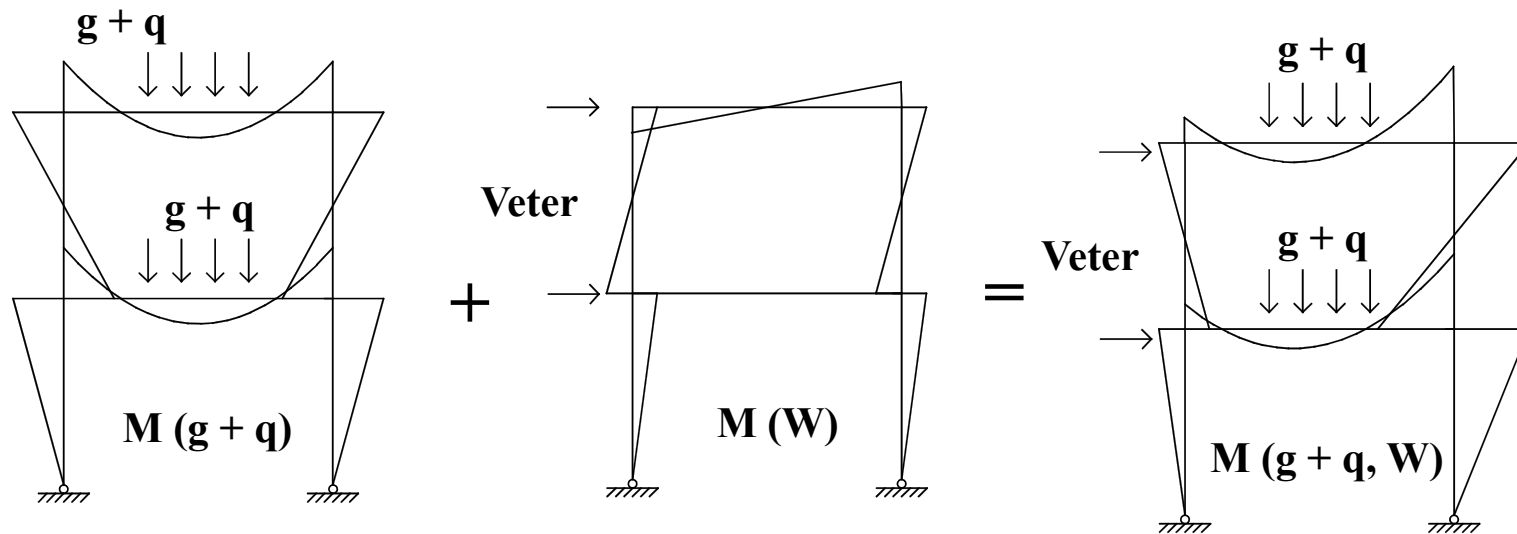
# Zagotavljanje duktilnosti delnonosilnih spojev



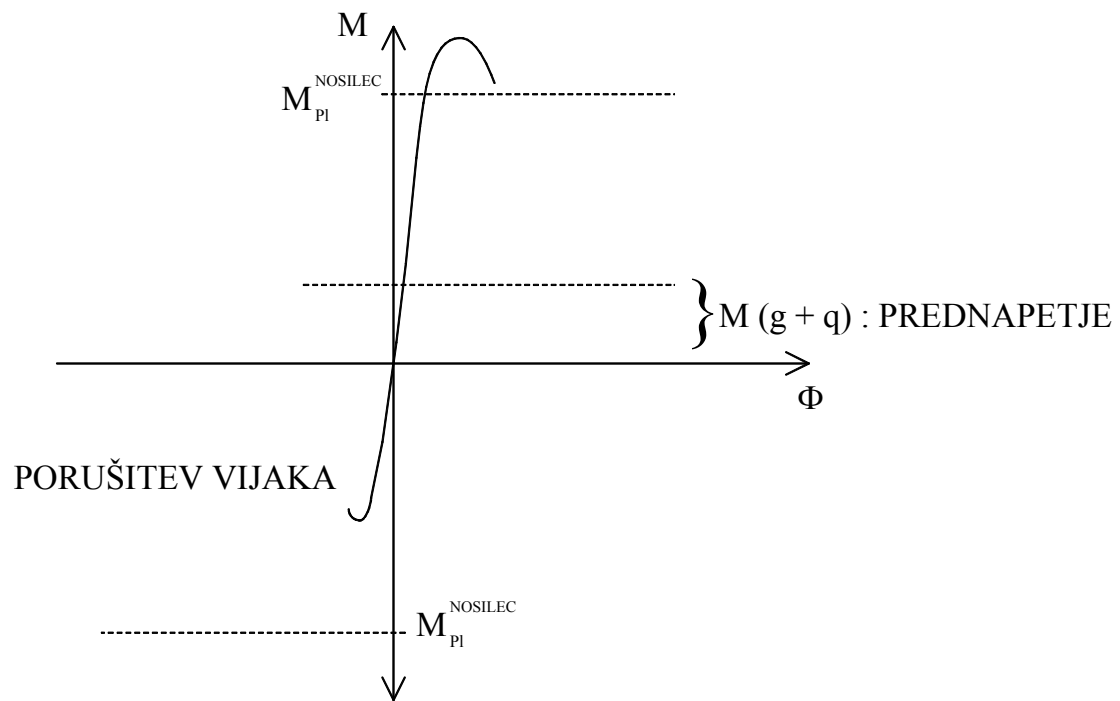
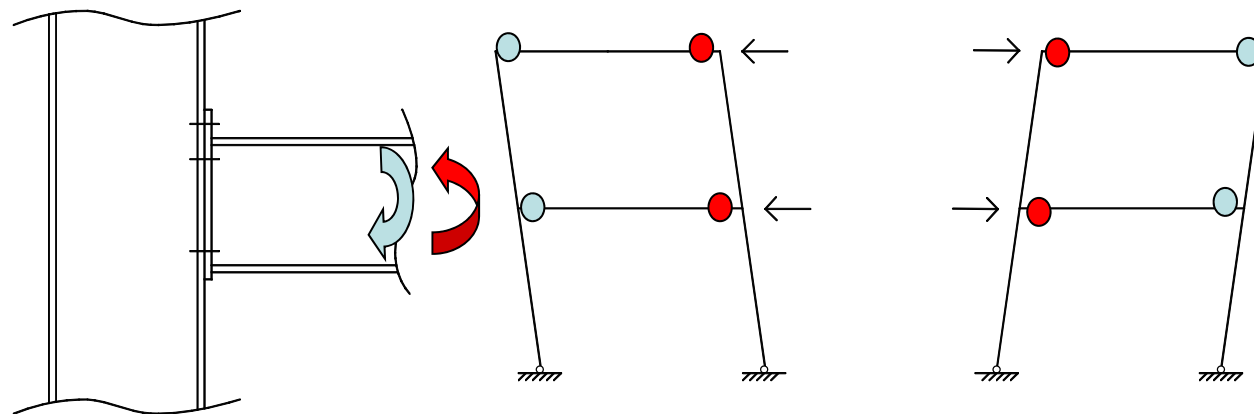
# Nesimetrični spoji



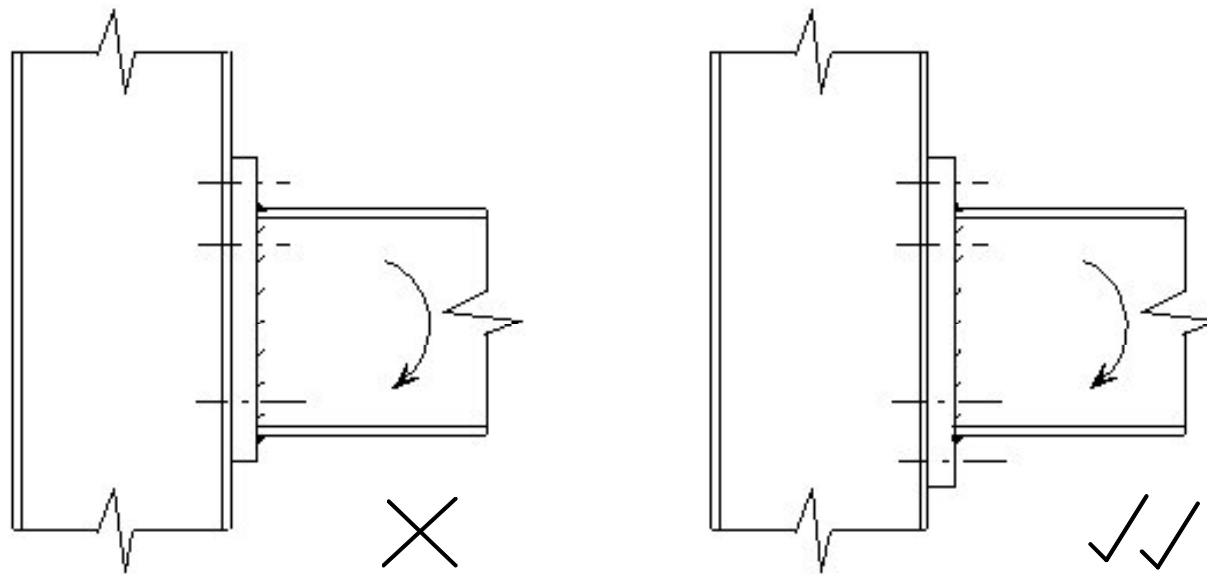
## STATIČNA OBTEŽBA



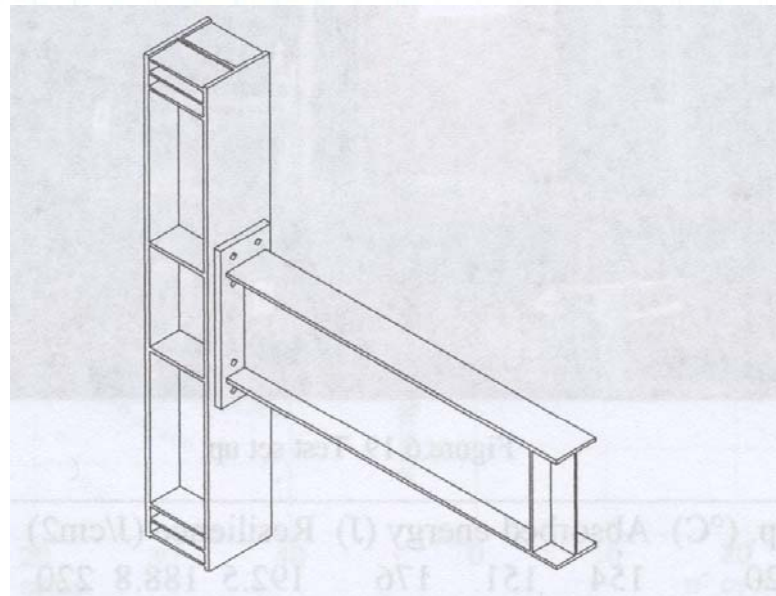
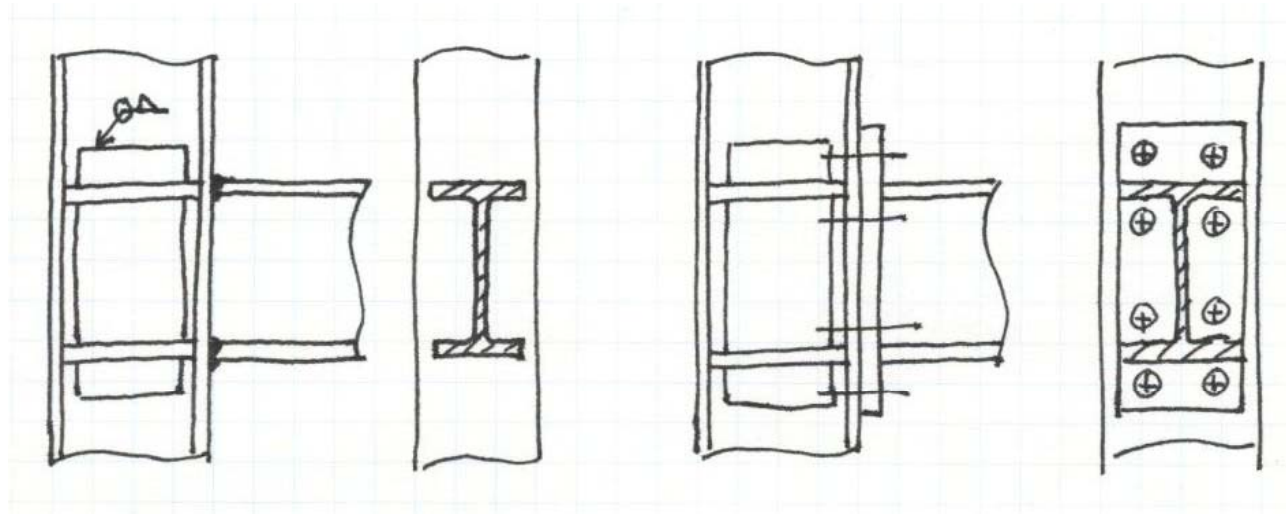
# POTRESNA OBTEŽBA



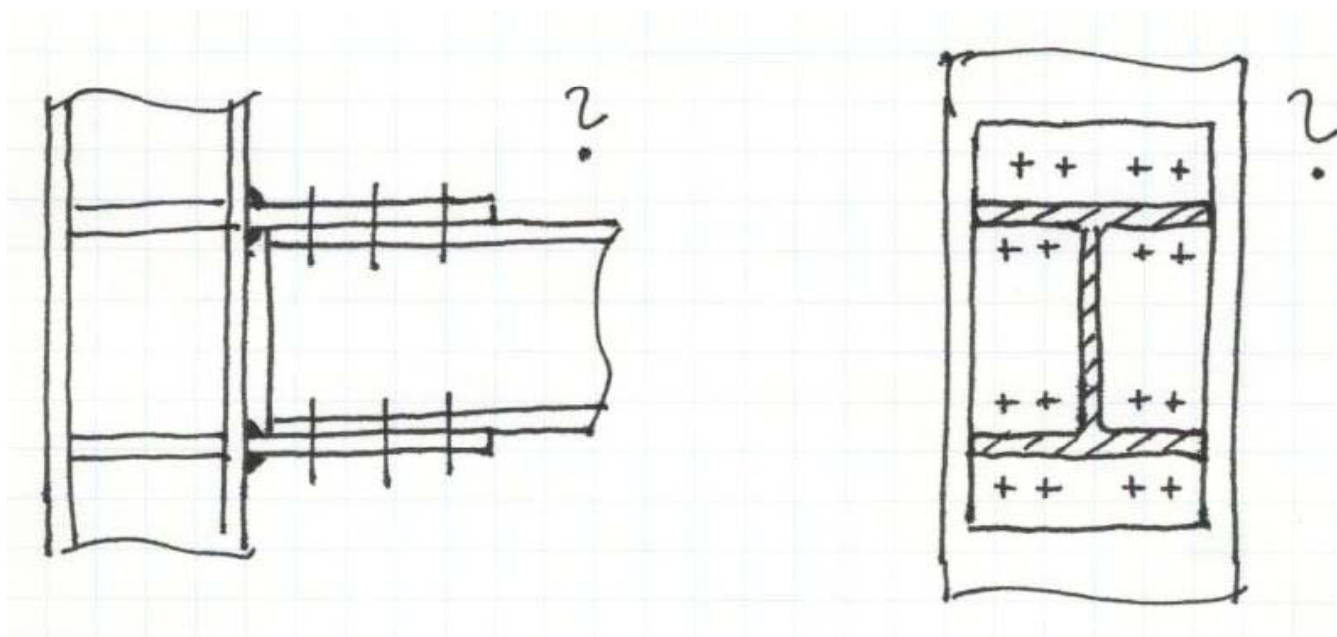
Na potresnih področjih je potrebno uporabiti **simetrični spoj**



# Tipčni spoji prečka-steber s preverjenim cikličnim obnašanjem



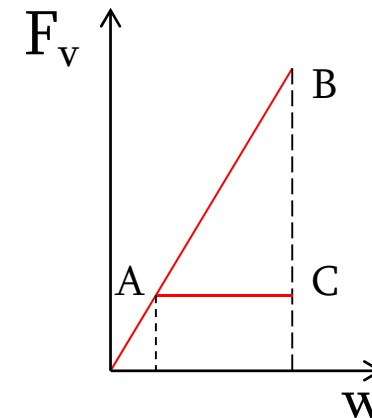
# Vprašljivi spoji





# Pravila projektiranja za pomične okvire

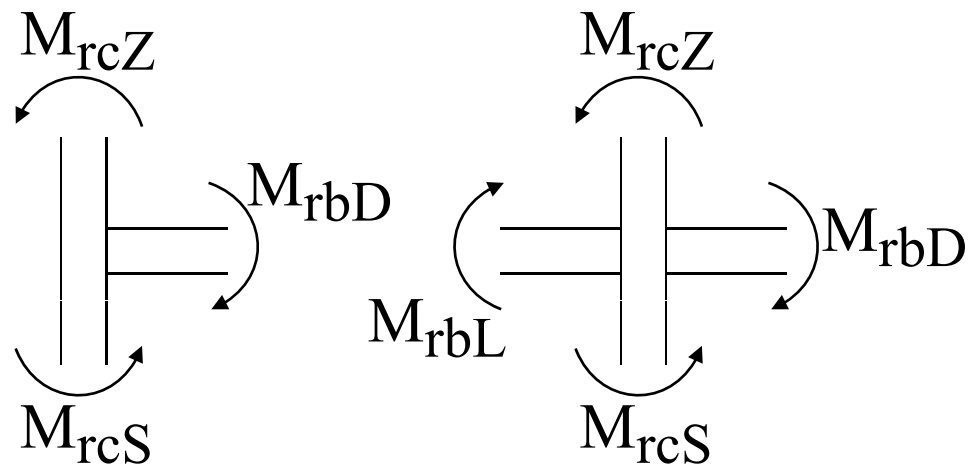
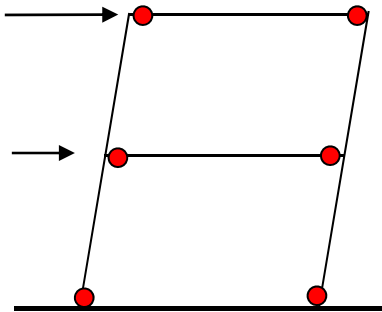
- Plastični členki se tvorijo v prečkah in ne v stebrih (šibke prečke, močni stebri)
- Prečke dimenzioniramo na notranje sile iz elastične analize (varovalka)
- Stebre dimenzioniramo na nosilnost prečk + overstrength
- Spoje dimenzioniramo na nosilnost prečk + overstrength



# Šibke prečke – močni stebri

Željen raspored plastičnih členkov dosežemo s pogojem

$$\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$$



**enostavno**

**težje**

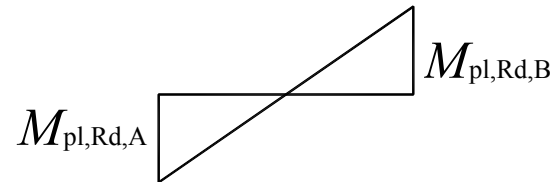
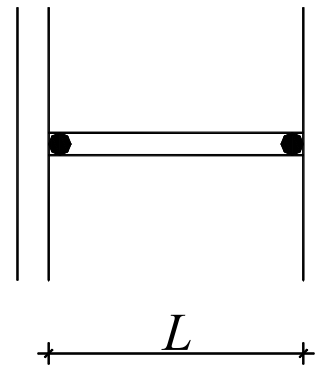
# Prečke

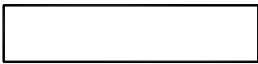
$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$$




$$V_{Ed,M} = \frac{M_{pl,Rd,A} + M_{pl,Rd,B}}{L}$$

# Prečke

- Bočna zvrnitev ( $M_{pl,Rd}$ )
- Pri tretjem razredu kompaktnosti
$$M_{pl,Rd} \rightarrow M_{el,Rd} \dots$$
- Dobra praksa – majhne osne sile
  
- Paziti je potrebno, da prečk ne naredimo **močnejših, kot je potrebno**, saj to avtomatično povzroči povečanje dimenzij nedisipativnih delov konstrukcije in spojev!

# Stebri

- Notranje sile v stebrih izračunamo ob upoštevanju faktorjev dodatne nosilnosti:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

$N_{Ed,G}$  ( $M_{Ed,G}$ ,  $V_{Ed,G}$ ) tlačna osna sila (oziroma upogibni moment in prečna sila) v stebri od neseizmičnih vplivov, ki so vključeni v seizmično projektno stanje

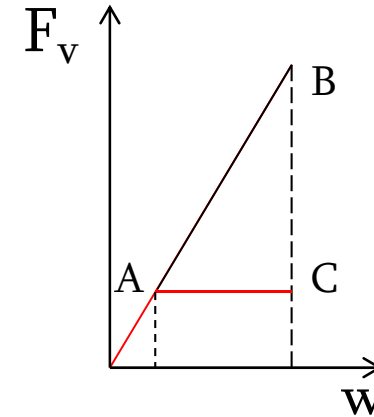
$N_{Ed,E}$  ( $M_{Ed,E}$ ,  $V_{Ed,E}$ ) tlačna osna sila (oziroma upogibni moment in prečna sila) v stebri od projektnih seizmičnih vplivov

# Stebri

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$



$\gamma_{ov}$  faktor dodatne nosilnosti - **material**

$\Omega$  najmanjša vrednost  $\Omega_i = M_{pl,Rd,i}/M_{Ed,i}$  za vse prečke s conami disipiranja;  $M_{Ed,i}$  je projektna vrednost upogibnega momenta v prečki  $i$  za seizmično projektno stanje in  $M_{pl,Rd,i}$  je pripadajoča plastična upogibna nosilnost.

$\Omega$  faktor dodatne nosilnosti **prečnega prereza**

# Stebri

- Dimenzioniranje stebrov – EN 1993-1-1
- Plastični členki ob dnu stebrov:

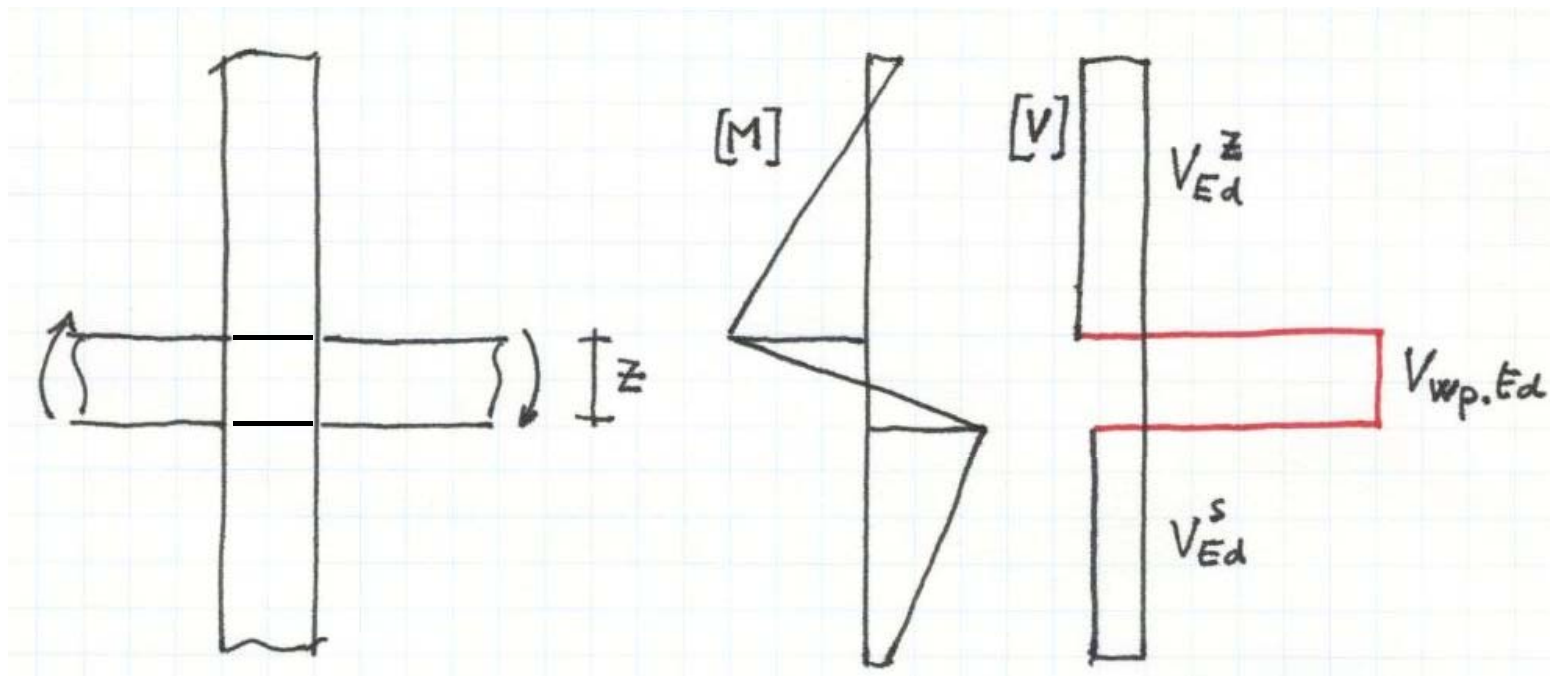
$$M_{Ed} = M_{Pl,Rd}$$

- Za prečne sile  $V_{Ed}$  iz globalne elastične analize mora veljati:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$$

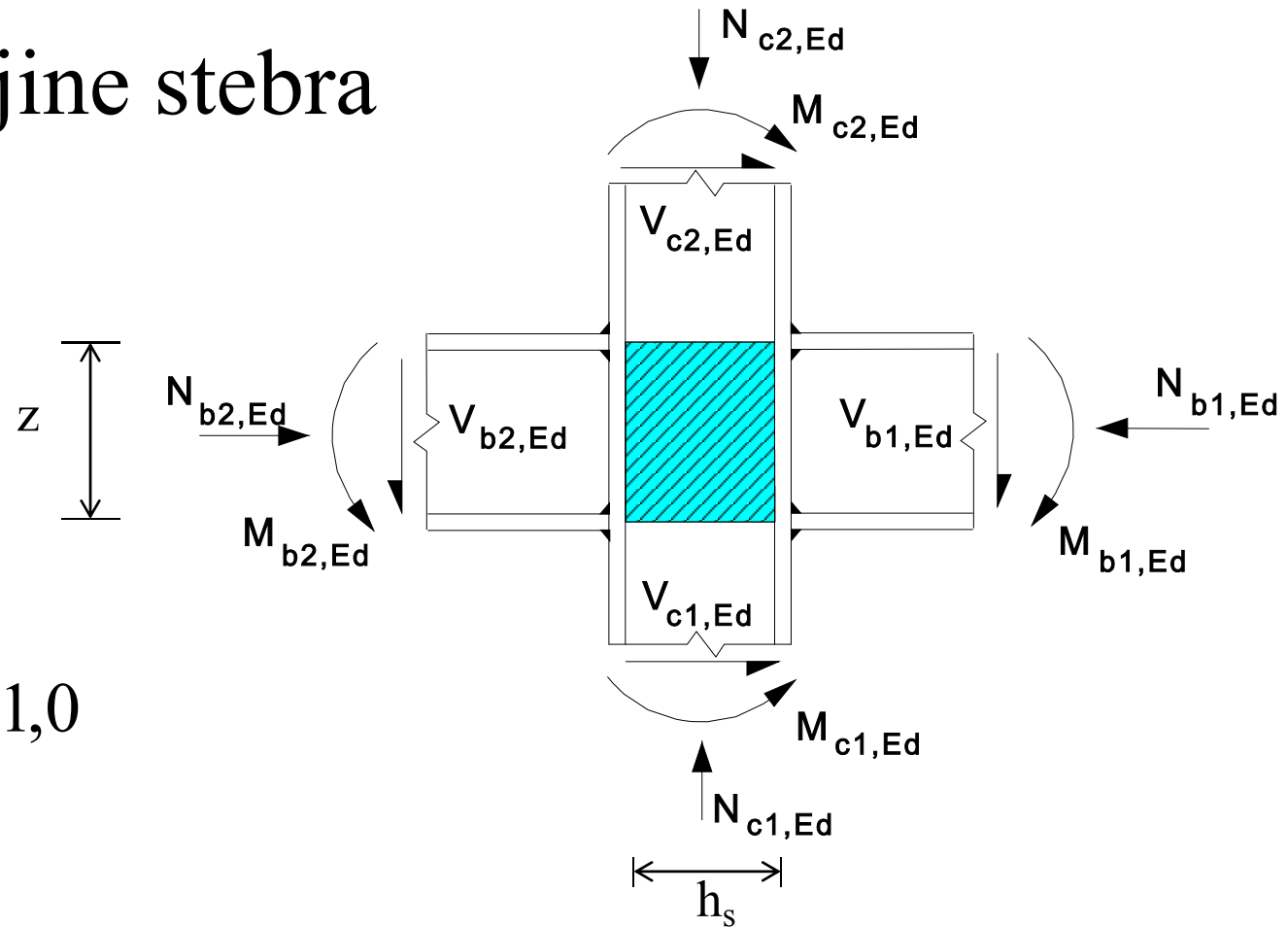
# Panel stojine stebra

Razlika med prečno silo v stebri in panelu!!  
Vpliva osne sile in upogibnega momenta ni  
potrebno upoštevati.





# Panel stojine stebra



$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed})/z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed})/2$$

$$V_{wp,Rd} = h_s t_s f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) \quad \text{ali} \quad V_{wb,Rd}$$

# Spoj prečka - steber

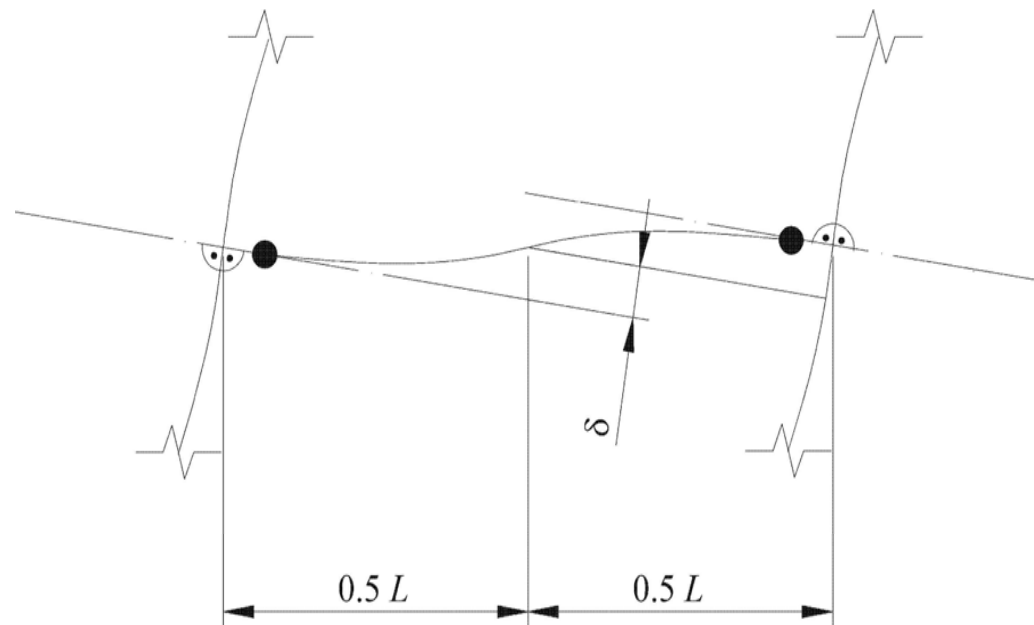
- Polnonosilni spoji – disipiranje energije v prečki

$$M_{Rd}^{SPOJ} \geq 1.1 \gamma_{ov} M_{pl,Rd}^{PREČKA}$$

$$V_{Rd}^{SPOJ} \geq 1.1 \gamma_{ov} (V_{G,Ed} + V_{M,Ed})^{PREČKA}$$

- **Rotacijska kapaciteta**  $\theta_p$  v območju plastičnega členka ne sme biti manjša od:
  - 35 mrad za DCH in
  - 25 mrad DCM s  $q > 2$ .

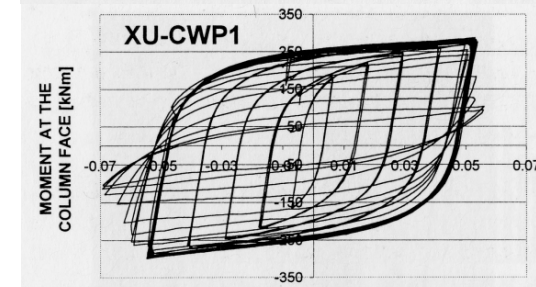
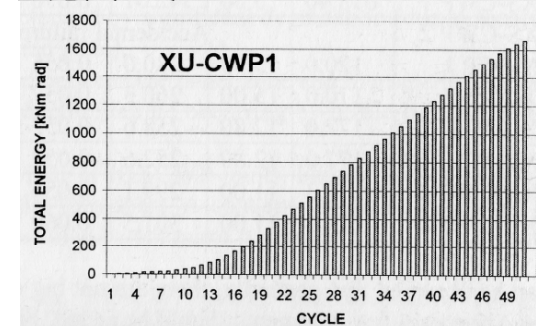
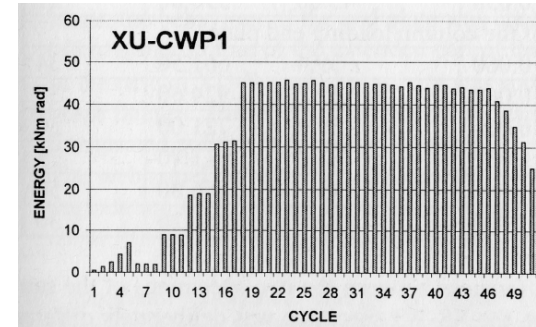
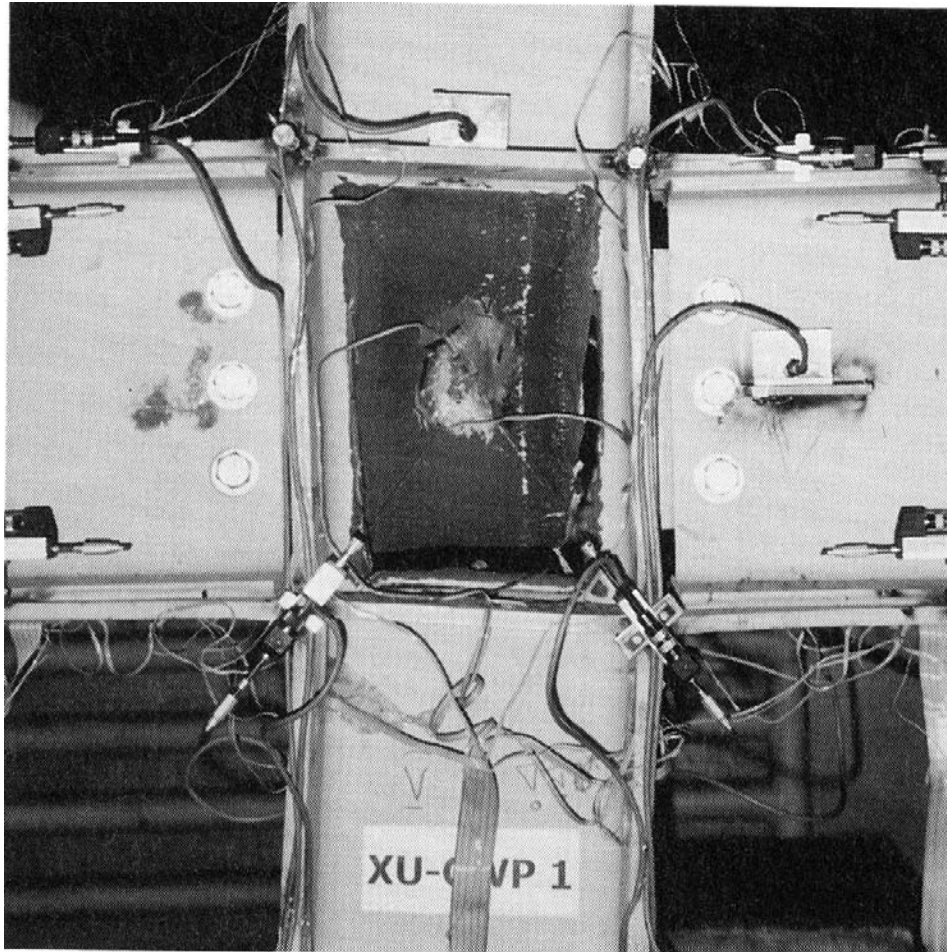
$$\theta_p = \delta / 0.5L$$



# Rotacijska kapaciteta

- Testi – rotacijska kapaciteta (prečka)
  - $\theta_p$  – ciklično obremenjevanje, največ 20% manjša togost in nosilnost
  - Strižna deformacija panela stojine sme prispevati največ 30%
- Standardni vroče valjani profili v 1. oziroma 2. razredu kompaktnosti, polnonosilni spoji ✓ ✓
- Prerezi nenavadnih oblik ??
- Delnonosilni spoji ??

# Ciklično testiranje varjenega spoja



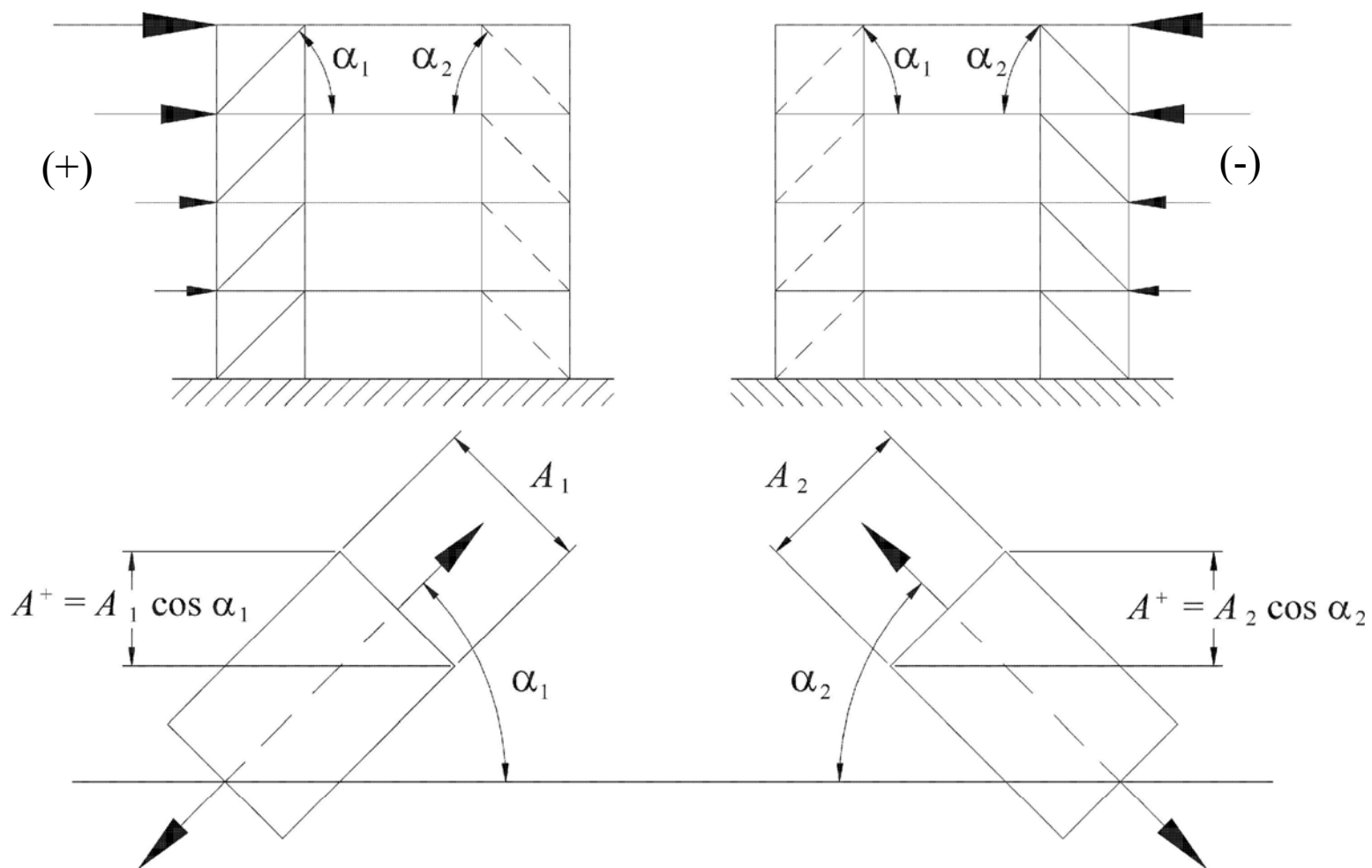
# Pravila projektiranja za okvire s centričnimi povezji

- Osnovne zahteve
  - plastifikacija nateznih diagonal nastopi **pred poružitvijo spojev** in pred **plastifikacijo** ali nestabilnostjo **prečk in stebrov**.
  - Diagonalni elementi povezij morajo biti razporejeni na tak način, da ima konstrukcija pri spreminjanju smeri delovanja horizontalne obtežbe podobne deformacijske lastnosti v vseh nadstropjih in v vseh zavetrovanih smereh.

- Osnovne zahteve

- V vsakem nadstropju mora veljati:

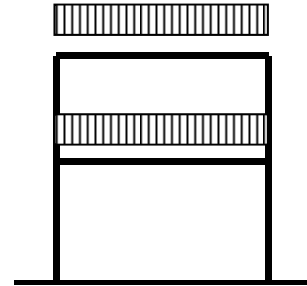
$$\frac{|A^+ - A^-|}{A^+ + A^-} \leq 0,05$$



# Analiza okvira

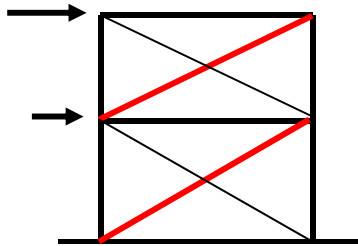
- Gravitacijska obtežba

$$G + Q$$

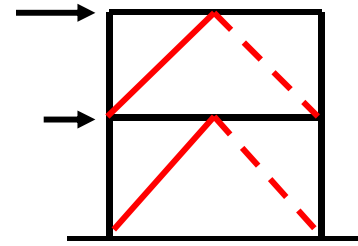


- Seizmična obtežba

$$\gamma_I A_E$$



X



V

-pushover?

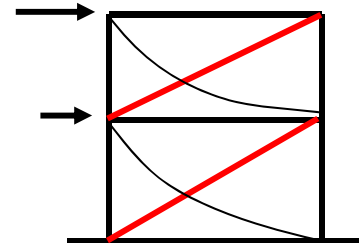
-nelin. dinamična  
analiza?



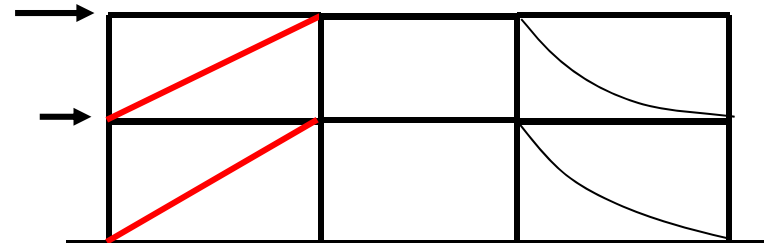
# Diagonalni elementi

- Omejitve vitkosti

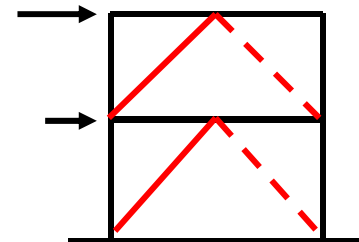
- $1.3 < \bar{\lambda} \leq 2.0$



- $\bar{\lambda} \leq 2.0$



- Ena ali dve etaži –  
ni omejitev za  $\bar{\lambda}$



# Diagonalni elementi

- Nateg:  $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = Af_y/\gamma_s$
- Tlak:  $N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \chi Af_y/\gamma_s$
- Priključki diagonal **polnonosilni**–priporočljivo
- Delnonosilni priključki? **manj disipiranja**
  - zadostna deformacijska kapaciteta
  - vpliv deformacij v spoju upoštevan v globalni analizi

# Diagonalni elementi

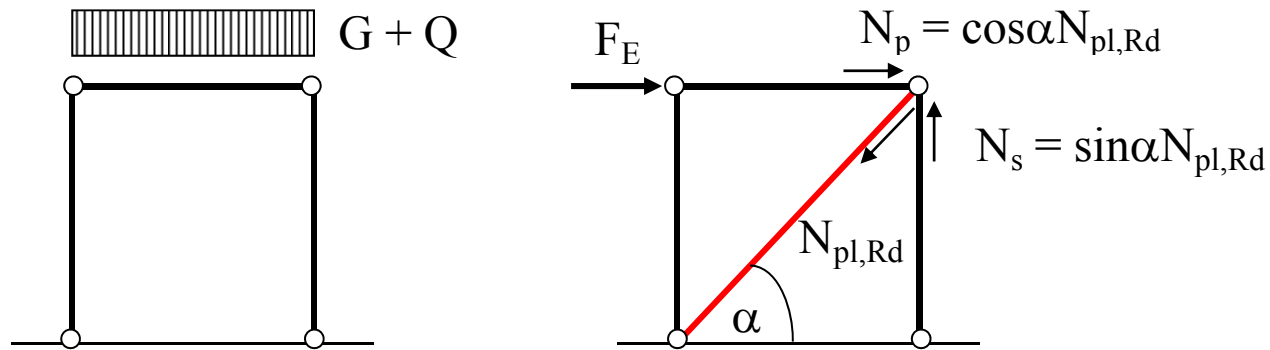
- Da je zagotovljeno enakomerno disipativno obnašanje diagonal, se sme največja vrednost faktorja dodatne nosilnosti prereza  $\Omega_i$  razlikovati od najmanjše vrednosti  $\Omega$  za največ 25%.

$$\Omega_i = N_{pl,Rd,i} / N_{Ed,i}$$

Diagonal ne smemo predimenzionirati, da ne povečamo preveč faktorja  $\Omega$ . Ker je prečna sila etaže v višjih etažah manjša, je običajno potrebno tam **prereze diagonal zmanjšati**.

# Prečke in stebri

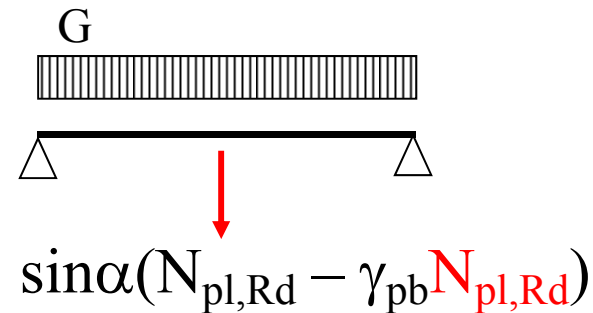
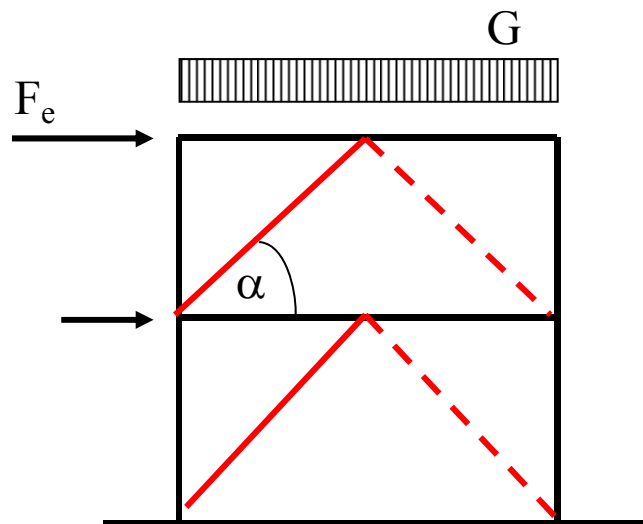
- Dominantna je **osna sila**, saj seizmični vplivi ne povzročajo upogibnih momentov



$$N_{pl,Rd} (M_{Ed}) \geq N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

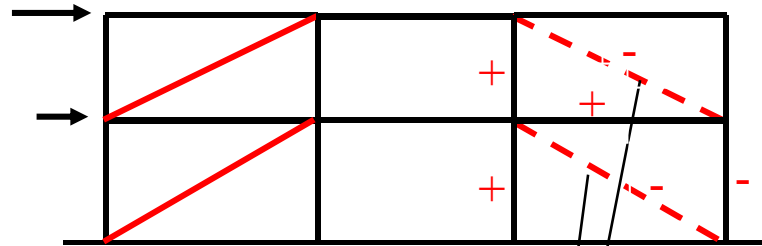
# Prečke V povezij

Gravitacijska (neseizmična obtežba) +  
neuravnotežena vertikalna rezultanta od diagonal (po  
uklonu tlačne diagonale) brez vmesne podpore



$$\gamma_{pb} = 0.3$$

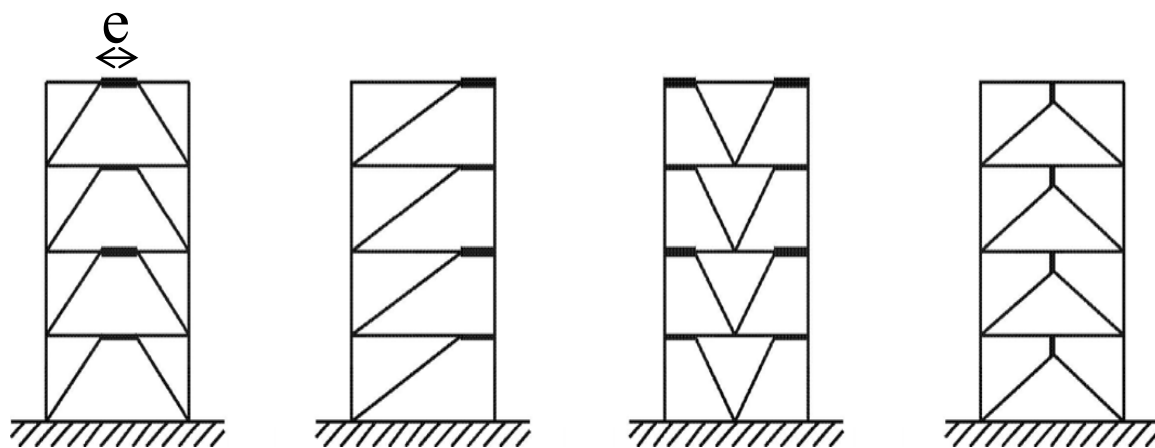
Povezja, kjer se diagonale ne sekajo



$N_{b,Rd}!!$  – samo za  
stebre in prečke

# Pravila projektiranja za okvire s ekscentričnimi povezji

Ekscentrično priključene diagonale – formiranje  
seizmičnih členov (seismic link)



horizontalni

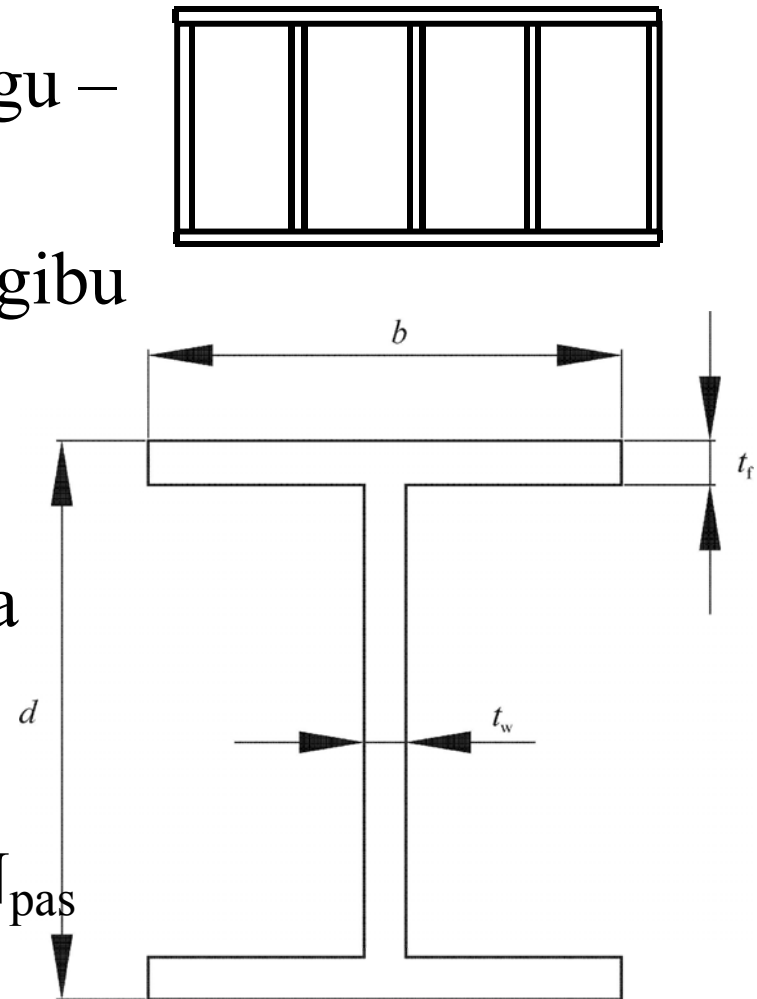
vertikalni

# Seizmični členi

- **Kratki členi:** disipiranje v strigu – stojina člena
- **Dolgi členi:** disipiranje v upogibu
- **Srednjedolgi členi:** disipiranje s kombinacijo upogiba in striga

Enojna, dovolj debela stojina!

Bočno podpiranje:  $N_{izb} = 0.06N_{pas}$





# Seizmični členi

Kontrola nosilnosti:

$$M_{p,link} = f_y b t_f (d - t_f) \quad (\text{samo pasnici})$$

$$V_{p,link} = (f_y / \sqrt{3}) t_w (d - t_f) \quad (\text{stojina})$$

***pri  $N_{Ed} / N_{pl,Rd} \leq 0,15$***

$$M_{Ed} \leq M_{p,link}$$

$$V_{Ed} \leq V_{p,link}$$

notranje sile iz elastične  
analize

# Porušni mehanizem v seizmičnem členu

- Meja med upogibno in strižno porušitvijo (dolgi – kratki členi)
- Plastični porušni mehanizem:  $2M_{pl} \vartheta = V_{pl} e \vartheta \rightarrow e = \frac{2 M_{pl}}{V_{pl}}$
- Kriteriji za dolžino člena v EC8

– Strižna porušitev – kratki člen

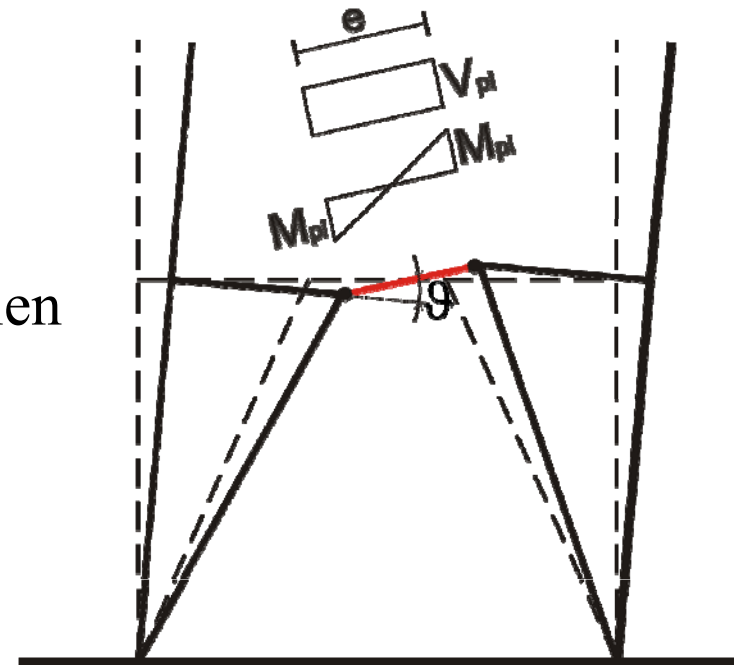
$$e_s = \frac{1.6 M_{pl}}{V_{pl}}$$

– Čista upogibna porušitev – dolgi člen

$$e_l = \frac{3 M_{pl}}{V_{pl}}$$

– Srednje dolgi člen

$$e_s < e < e_l$$



# Omejitve za dolžine členov

kratki členi  $e < e_s = 0,8 (1+\alpha) M_{p,link}/V_{p,link}$

dolgi členi  $e > e_L = 1,5 (1+\alpha) M_{p,link}/V_{p,link}$

srednjedolgi členi  $e_s < e < e_L$

$\alpha$  – razmerje momentov na obeh koncih člena  
(seizmično projektno stanje – absolutne  
vrednosti)

## Seizmični členi

***pri***  $N_{Ed}/N_{Rd} > 0,15$  (vpliv osne sile pomemben)

$$V_{p,link,r} = V_{p,link} \left[ 1 - \left( N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right]^{0,5}$$

$$M_{p,link,r} = M_{p,link} \left[ 1 - \left( N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right) \right]$$

***Dolžina člena je omejena***

$$e \leq 1,6 M_{p,link} / V_{p,link} \quad (\text{kratek člen}) \quad \text{pri } R < 0,3$$

$$e \leq (1,15 - 0,5 R) 1,6 M_{p,link} / V_{p,link} \quad \text{pri } R \geq 0,3$$

$$R = N_{Ed} t_w (d - 2t_f) / (V_{Ed} A), \quad A \text{ bruto prerez}$$

# Zahtevana rotacijska kapaciteta seizmičnih členov

**kratki členi**  $\theta_p \leq \theta_{pR} = 0,08$  radiana

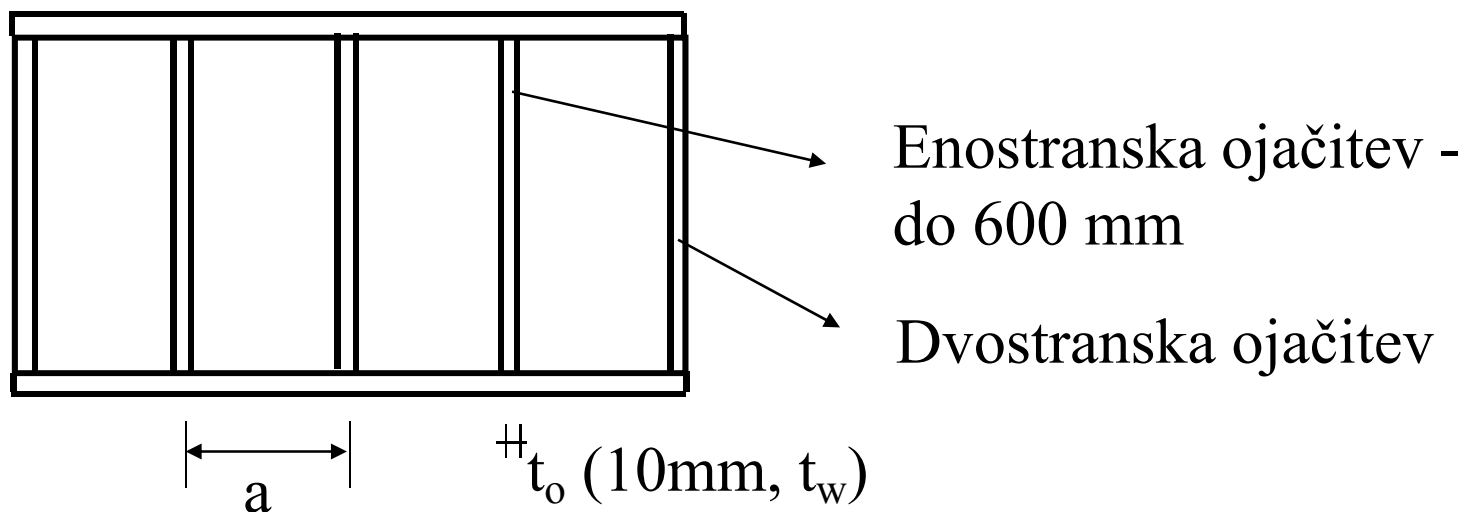
**dolgi členi**  $\theta_p \leq \theta_{pR} = 0,02$  radiana

**srednjedolgi členi**  $\theta_p \leq \theta_{pR}$

(linearna interpolacija med zgornjima  
vrednostma)

# Prečne ojačitve stojine seizmičnega člena

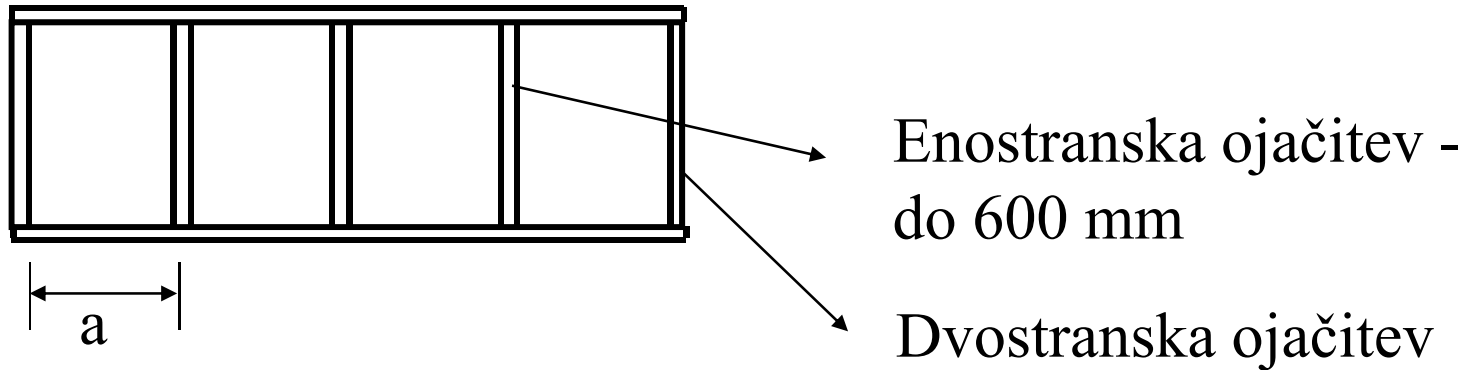
## Kratki člen



$$\begin{array}{ll} a \leq 30t_w - d/5 & \text{pri } \theta_p \geq 0.08 \\ a \leq 52t_w - d/5 & \text{pri } \theta_p \leq 0.02 \end{array}$$

# Prečne ojačitve stojine seizmičnega člena

Dolgi člen



$a = 1.5b$  če je na koncu člena plastični členek

Vmesne ojačitve niso potrebne pri  $e > 5M_p/V_p$

# Elementi brez seizmičnega člena

Dominantna je osna sila:

$$N_{Rd}(M_{Ed}, V_{Ed}) \geq N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

– Kratki členi

$$\Omega_i = 1,5 V_{p,link,i} / V_{Ed,i}$$

– Srednje dolgi in dolgi členi

$$\Omega_i = 1,5 M_{p,link,i} / M_{Ed,i}$$



# Spoji ob seizmičnih členih

Če je konstrukcija projektirana z disipiranjem energije v seizmičnih členih, je potrebno spoje ob seizmičnih členih ali v elementih, ki vsebujejo člene, projektirati ob upoštevanju

- faktorja dodatne nosilnosti prereza  $\Omega_i$  in
- faktorja dodatne nosilnosti materiala  $\gamma_{ov}$

# Pravila projektiranja za konstrukcije tipa obrnjeno nihalo

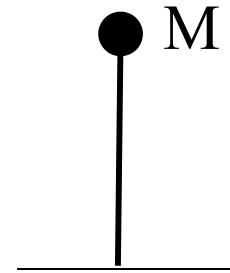
$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

$$\bar{\lambda} \leq 1.5$$

$$\theta \leq 0.2 \quad \text{omejen vpliv TDR}$$

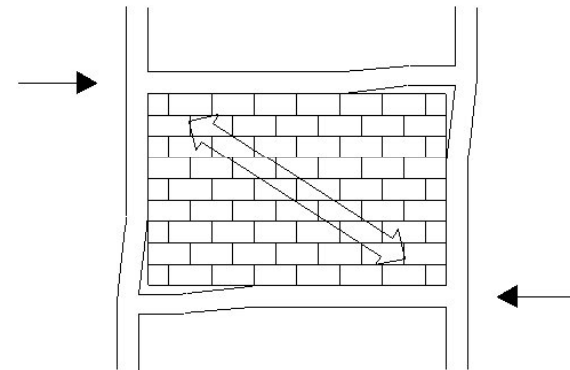


# Dualne konstrukcije

- **Konstrukcije z betonskimi jedri ali betonskimi stenami**
  - Jekleni elementi – pogl. 6 in EN1993-1-1
  - Betonski elementi – pogl. 5
  - Sovprežno delovanje, če je prisotno – pogl 7

- **Pomični okviri v kombinaciji s centričnimi povezji**
  - Enotni faktor obnašanja  $q$
  - Horizontalne sile se delijo na pomične okvire in na povezja v skladu z njihovo elastično togostjo
  - Veljajo pogoji, podani v pogl. 6.6 in 6.7

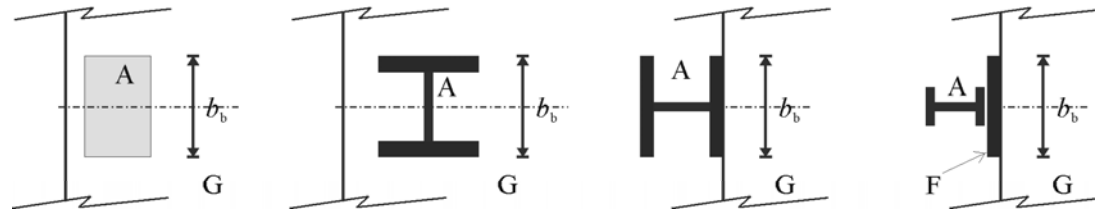
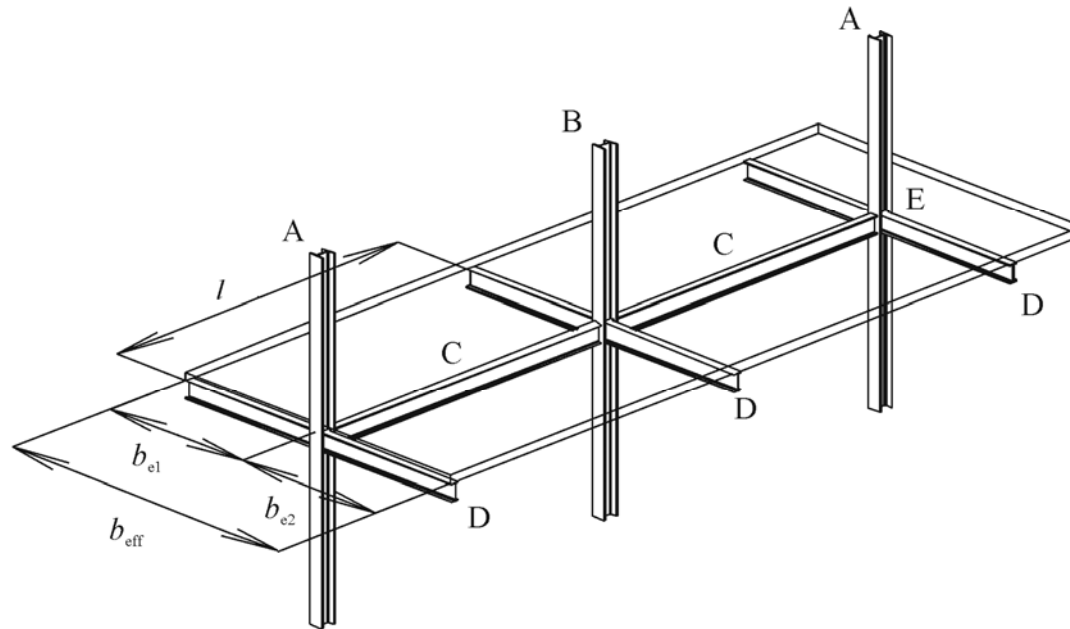
- **Pomični okviri v kombinaciji s polnili**
  - Če so betonska polnila preko veznih sredstev povezana z jeklenim okvirom – velja pogl.7
  - Če so polnila ločena od okvira ob bočnih in zgornji stranici – projektiramo kot jekleni okvir
  - Če so polnila v stiku z okvirom, vendar niso z njim povezana preko veznih sredstev:
    - Polnila enakomerno razporejena po višini stavbe (ali konstrukcija neregularna po višini)
    - Upoštevati formiranje tlačne diagonale v polnilih- pogl. 5.9
    - Upoštevaj pogl. 5, 6, in 8



- **Pomični okviri s sovprežnimi prečkami**

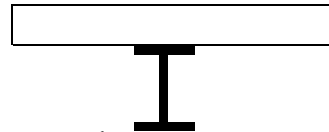
- v območju spoja prečka steber **ni mehanskih povezav** med betonsko ploščo in jeklenim nosilcem. V območju spoja je merodajna nosilnost prečke in okvir dimenzioniramo **po pravilih za jeklene okvire**.
- prečka je **sovprežna po celotni dolžini razpona**. S primerno količino in razporedom vzdolžne in prečne armature zagotovimo sidranje nateznih sil, ki se lahko pojavijo v betonski plošči v območju spoja prečka-steber (spajanje sovprežnega prereza prečke z jeklenim prerezom stebra).
  - veljajo  $q$  faktorji **za jeklene okvire**.
  - za dimenzioniranje nedisipativnih elementov je merodajna plastična upogibna nosilnost **sovprežnih prečk** (največja in najmanjša vrednost).

# Sovprežne prečke

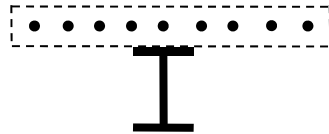


# Globalna analiza

- Elastična analiza okvira
- $n = E_j/E_{cm} = 7$
- Beton v tlaku – polni prerez ( $b_{eff}$ ):  $I_1$



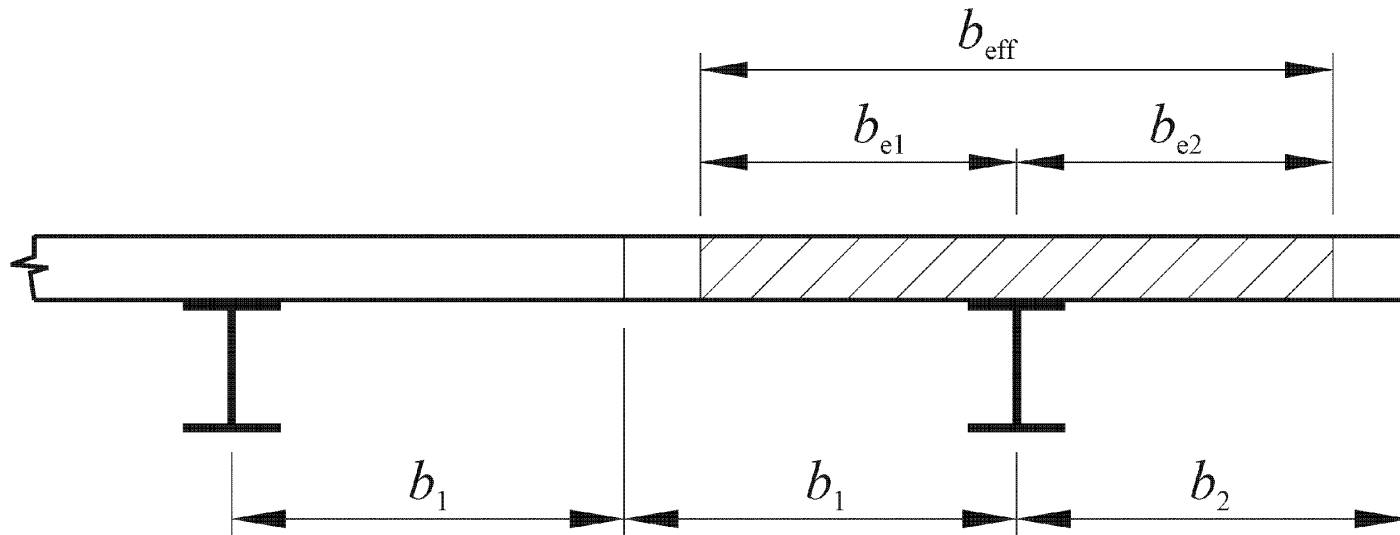
- Beton v nategu – beton razpokan ( $b_{eff}$ ):  $I_2$



- $I_{eq} = 0.6 I_1 + 0.4 I_2$  - prečka
- $(EI)_c = 0,9(EI_a + 0,5E_{cm}I_c + EI_s)$  - steber



# Sodelujoče širine betonske plošče



# Sodelujoče širine betonske plošče

$b_e$	Transverse element	$b_e$ for I (ELASTIC)
At interior column	Present or not present	For negative M : 0,05 $l$
At exterior column	Present	For positive M : 0,0375 $l$
At exterior column	Not present, or re-bars not anchored	For negative M : 0 For positive M : 0,025 $l$

Sodelujoče širine za elastično globalno analizo

# Sodelujoče širine betonske plošče

Sign of bending moment M	Location	Transverse element	$b_e$ for $M_{Rd}$ (PLASTIC)
Negative M	Interior column	Seismic re-bars	$0,1 l$
Negative M	Exterior column	All layouts with re-bars anchored to façade beam or to concrete cantilever edge strip	$0,1 l$
Negative M	Exterior column	All layouts with re-bars not anchored to façade beam or to concrete cantilever edge strip	$0,0$
Positive M	Interior column	Seismic re-bars	$0,075 l$
Positive M	Exterior column	Steel transverse beam with connectors. Concrete slab up to exterior face of column of H section with strong axis oriented as in Fig. 7.5 or beyond (concrete edge strip). Seismic re-bars	$0,075 l$
Positive M	Exterior column	No steel transverse beam or steel transverse beam without connectors. Concrete slab up to exterior face of column of H section with strong axis oriented as in Fig. 7.5, or beyond (edge strip). Seismic re-bars	$b_b/2 + 0,7 h_c/2$
Positive M	Exterior column	All other layouts. Seismic re-bars	$b_b/2 \leq b_{e,max}$ $b_{e,max} = 0,05l$

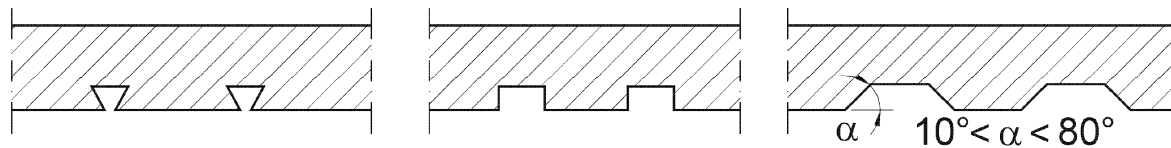
Sodelujoče širine za plastično nosilnost prereza

# Disipiranje v jeklenem prerezu

- V radiju  $b_{ef}$  (velja večja od vrednosti za obe pravokotni smeri) okoli stebra betonska plošča ne sme biti pritrjena na jekleno konstrukcijo
  - vertikalne površine stebra, čepov, veznih pločevin...!!

# Disipiranje v sovprežnem prerezu

- Polna sovprežnost
- Delna sovprežnost (do 0.8 - plastična nosilnost armature) – samo pri duktilnih veznih sredstvih
- Nosilnost sovprežnih sredstev **x 0.75**
- Pri profilirani pločevini dodatna redukcija



$$k_r = 1$$

$$k_r = 1$$

$$k_r = 0.8$$

# Disipiranje v sovprežnem prerezu

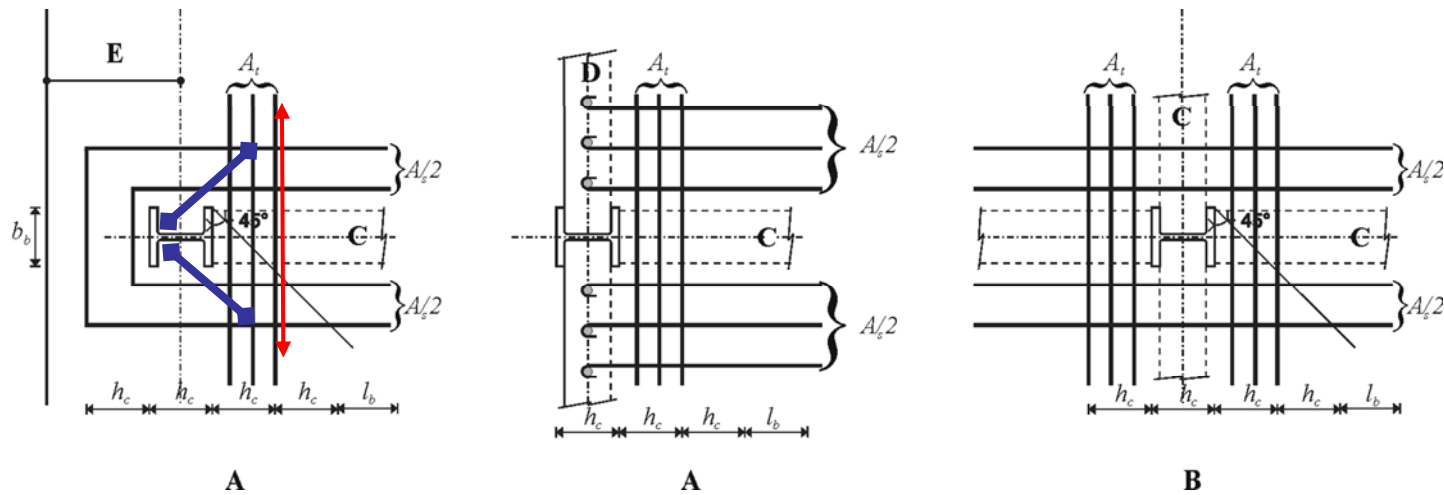
- Zagotavljanje lokalne duktilnosti sovprežnega prereza (beton v tlaku)



Ductility class	$q$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$x/d$ upper limit
DCM	$1,5 < q \leq 4$	355	0,27
	$1,5 < q \leq 4$	235	0,36
DCH	$q > 4$	355	0,20
	$q > 4$	235	0,27

# Disipiranje v sovprežnem prerezu

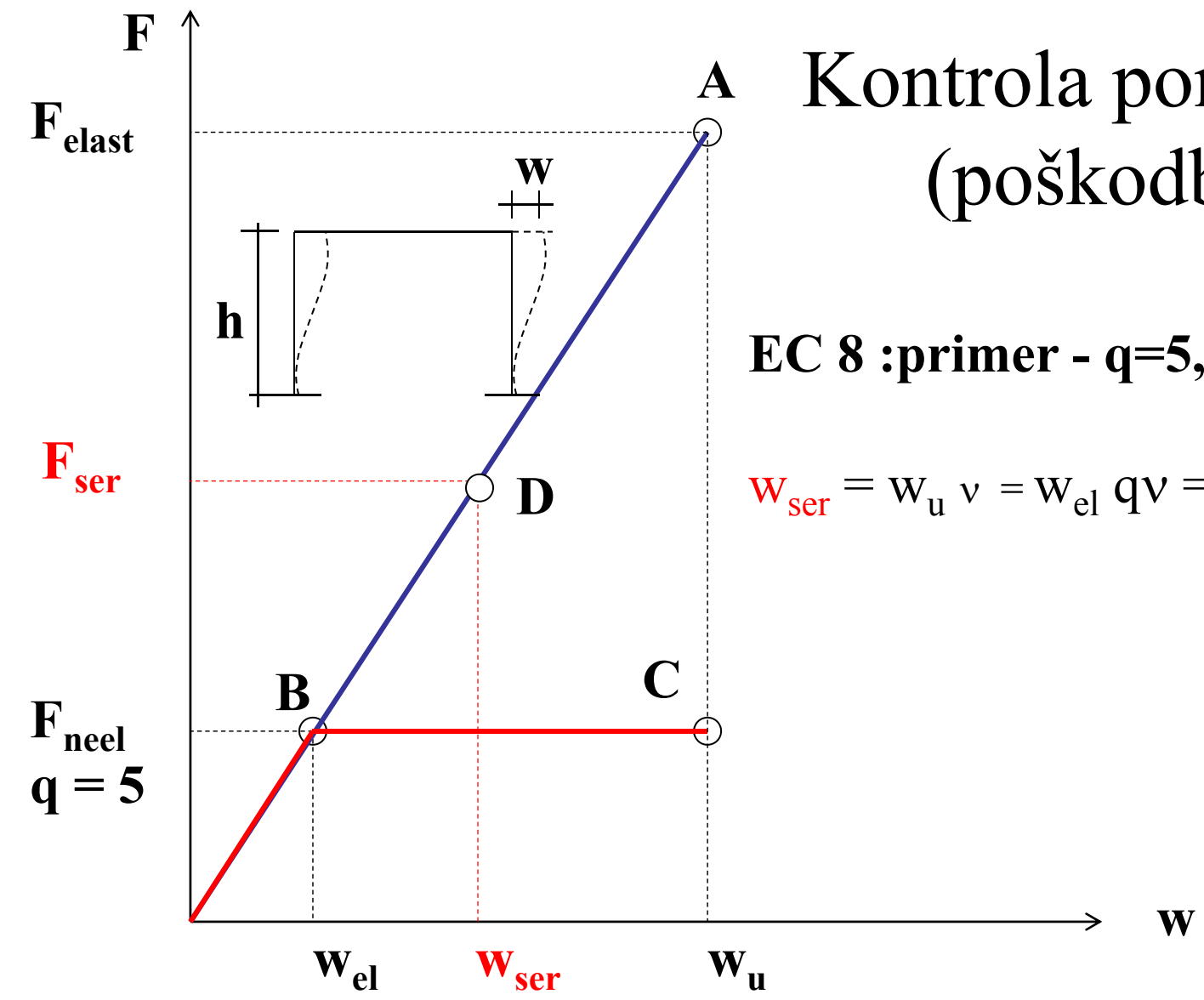
Sidranje natezne armature, prečna armatura (Aneks C)



# Kontrola pomikov (poškodb):

EC 8 :primer -  $q=5, v=0,5$

$$W_{ser} = W_u v = W_{el} qv = 2,5W_{el}$$





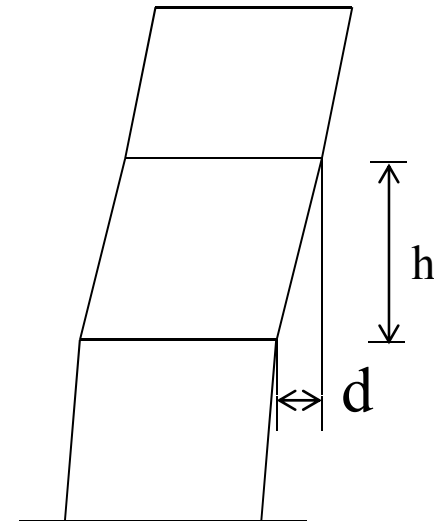
# Kontrola horizontalnih zamikov etaže- omejevanje poškodb pri zmernih potresih

- $d_r v \leq 0.005h$  (krhki nenosilni elementi)
- $d_r v \leq 0.0075h$  (duktilni nenosilni elementi)
- $d_r v \leq 0.010h$  (nenosilni elementi niso v interakciji s konstrukcijo)

$$d_r = d_e q$$

$$v = 0.4(\text{III,IV}) \quad 0.5(\text{I, II})$$

Potres s povratno dobo 95 let



# Kontrola projektiranja in izdelave konstrukcije

- S kontrolo projektiranja in izdelave moramo zagotoviti, da izdelana konstrukcija **ustreza projektni rešitvi**.
  - V načrtih v disipativnih conah **označiti  $f_{y\max}$**
  - Preveriti skladnost materialov s 6.2
  - Kakovost zvarov, prednapenjanje vijakov–EN1090
  - Med izdelavo konstrukcije mora biti zagotovljeno, da napetost tečenja uporabljenega jekla **ne presega vrednosti  $f_{y\max}$** , ki je podana v delavniških risbah, **za več kot 10%**.

- Zelo pomembno je, da izdelana konstrukcija **čim bolj ustreza projektni rešitvi**, saj gre pri prevzemanju seizmičnih vplivov za principe projektiranja nosilnosti.
- V povezavi s trajnim projektnim stanjem bi izbira večjega profila ali boljšega materiala v fazi izdelave konstrukcije **povečala varnost**, pri seizmičnem projektnem stanju pa tak ukrep pri disipativnih elementih pomeni **zmanjšanje varnosti**, saj bodo ostali elementi sedaj bolj izpostavljeni.

- Če kriteriji za  $f_{y\max}$  niso izpolnjeni je potrebno
  - konstrukcijo **ponovno projektirati** na seizmično projektno stanje ob upoštevanju dejanskega stanja (npr. višja meja elastičnosti v coni disipiranja od dovoljene) in dokazati, da spremembe ne vplivajo na varnost

ali

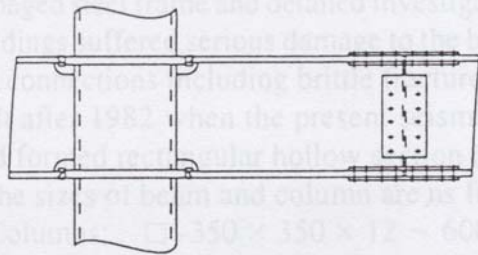
- **nabaviti nov material** oziroma ustrezno **popraviti že izdelane elemente**, da bodo ustrezali projektu.

# Spoji - izkušnje iz preteklih potresov (Kobe, Northridge)

Parametri, ki so vplivali na poškodbe:

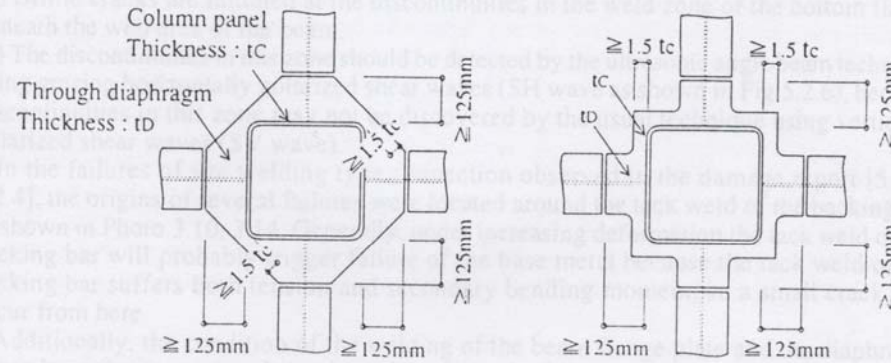
- Duktilnost in žilavost osnovnega materiala
- Žilavost zvara in postopki varjenja
- Kotni zvari
- Razmerje med dejansko in nominalno mejo elastičnosti osnovnega materiala (celo do 1.5!)
- Razmerje med natezno trdnostjo in mejo elastičnosti osnovnega materiala
- Koncentracije napetosti (slaba geometrija z ostrimi prehodi)
- Strižni panel stojine stebra – prevelike deformacije
- Višina in dolžina prečk

# Japonske izkušnje



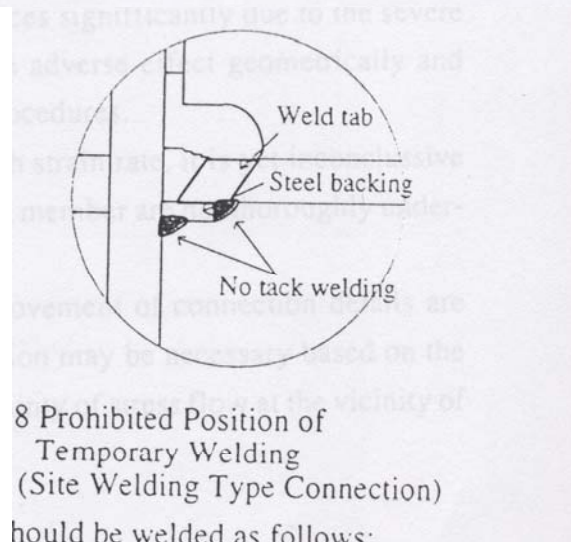
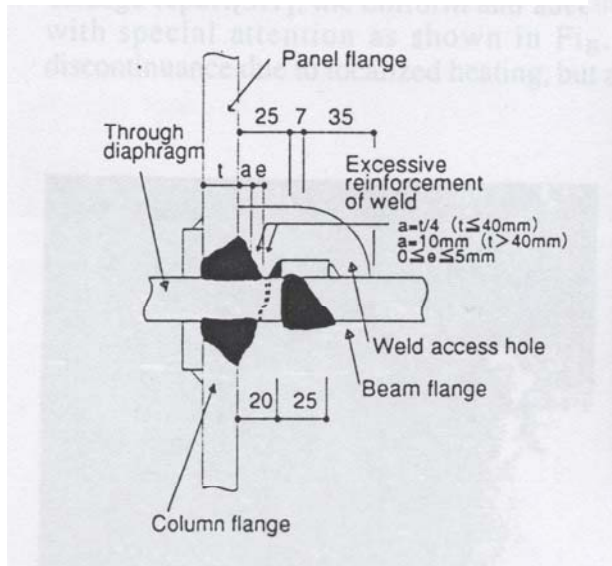
Number of Buildings	Number of Joints	Proportion of Fracture (%)
8	3.013	6.5

Stari detajl

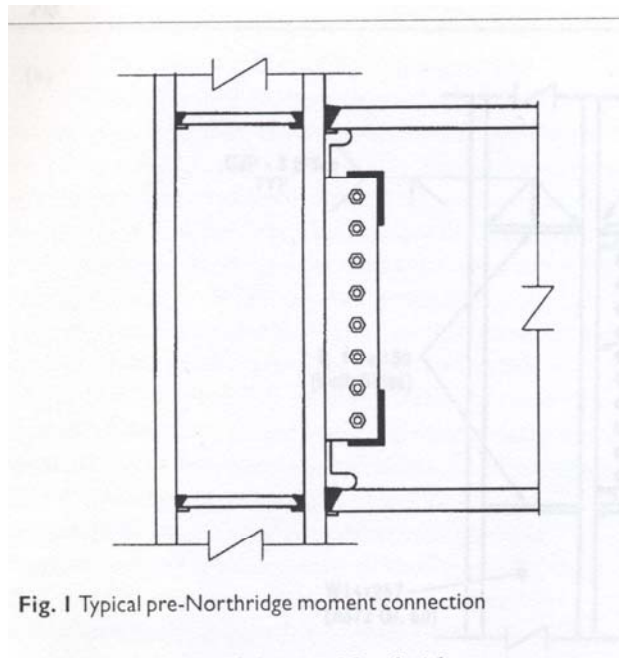


(a) Izboljšani detajli

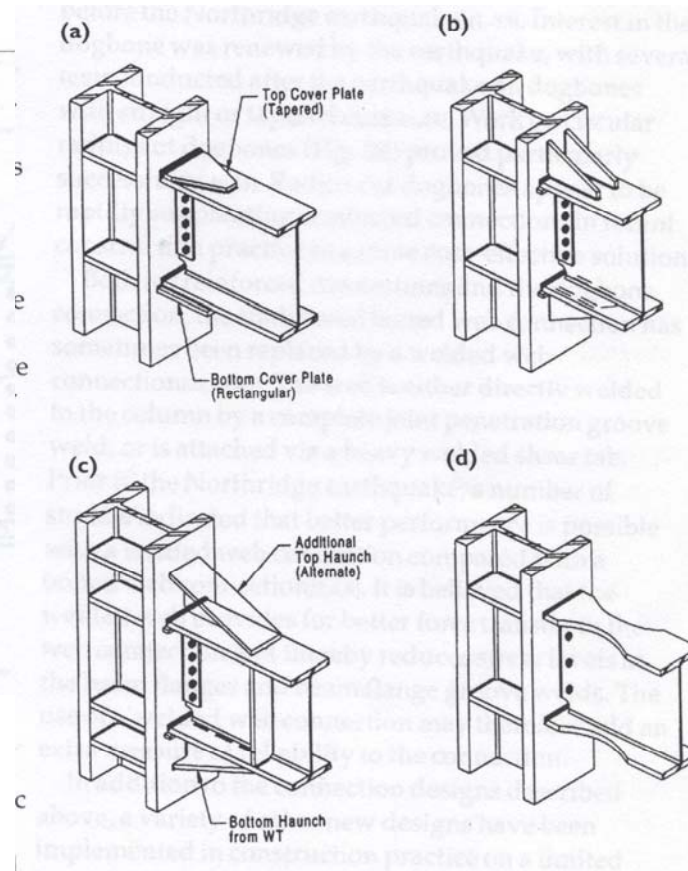
Fig.5.2.4 Examples of Revised Detail of Through Diaphragm



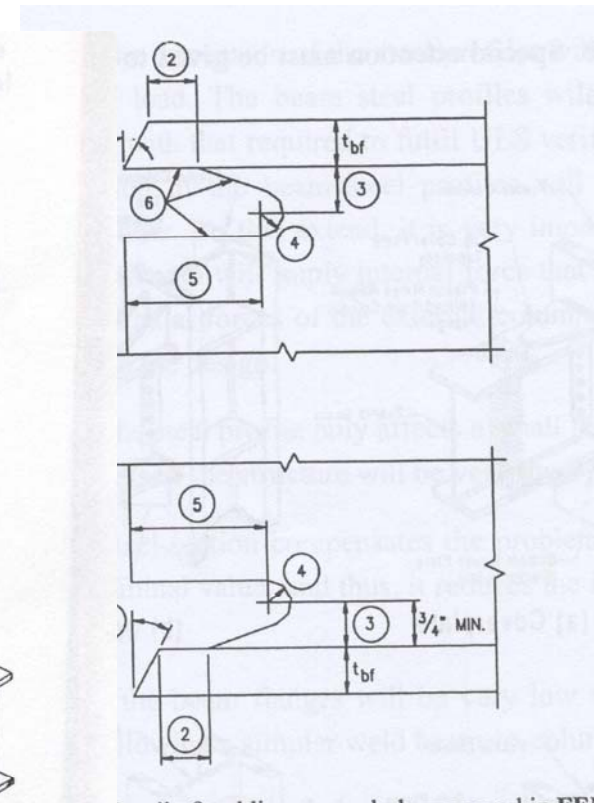
# Ameriške izkušnje



Stari detajl



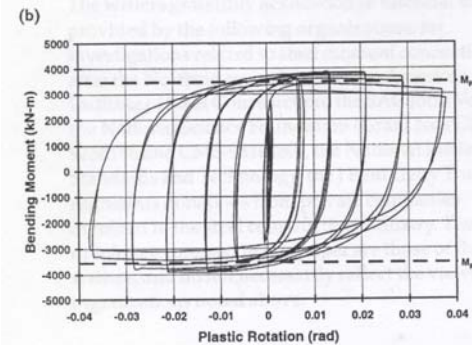
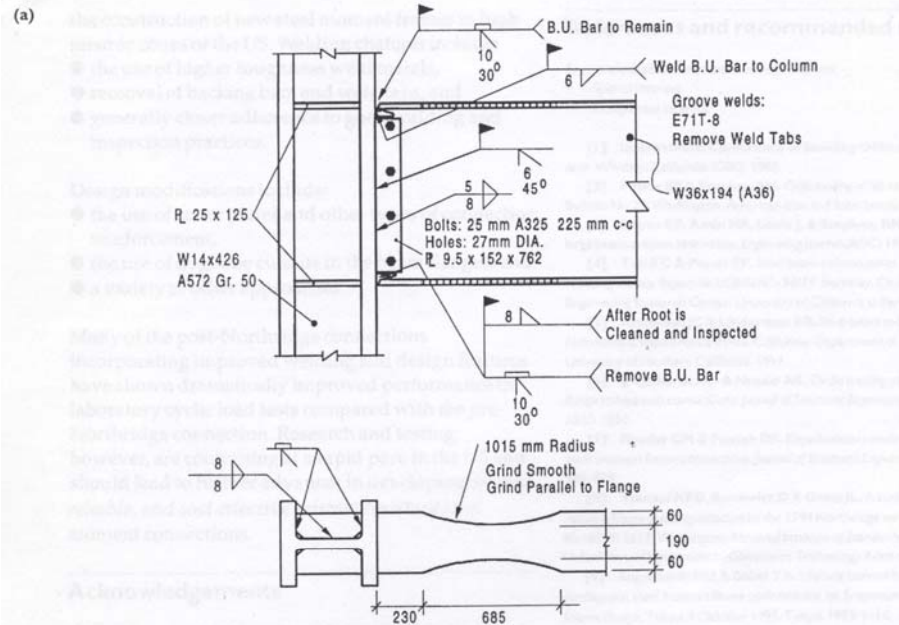
Izoljšani detajli



Izoljšana geometrija  
Izrezov za varjenje



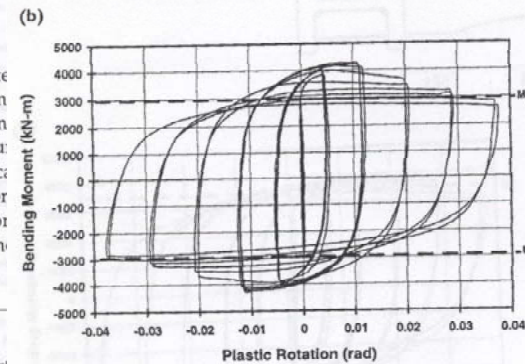
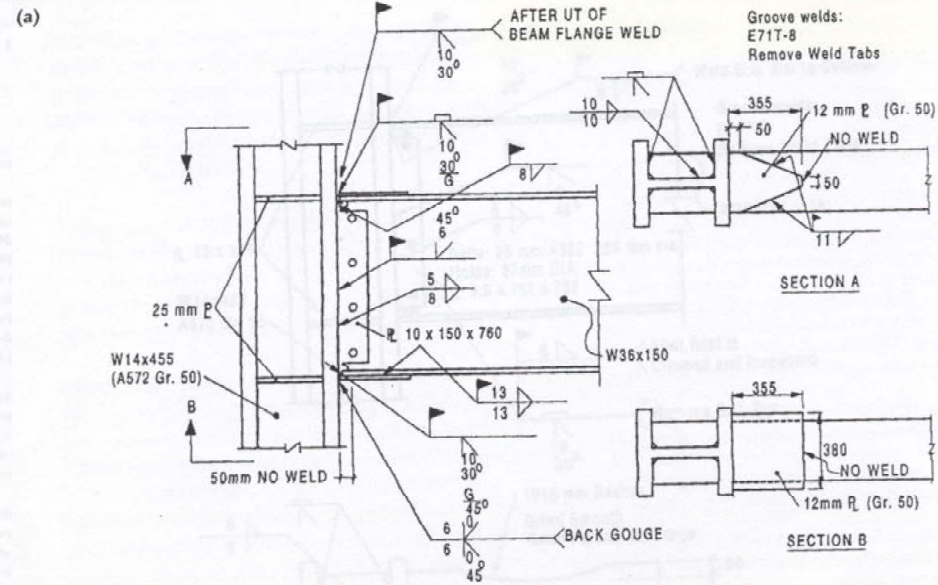
# Ameriške izkušnje



0.03 radians. In both cases, beam capacity degrades gradually due to local flange and web buckling combined with lateral torsional buckling. In no case, however, did the connection ever fail during the test. Compared with the response of the typical Northridge connection (see Fig. 2), these improved connections demonstrate that excellent performance is possible with due care in welding and connection design.

## Conclusions

Research conducted since the Northridge earthquake has provided considerable insight into the ca

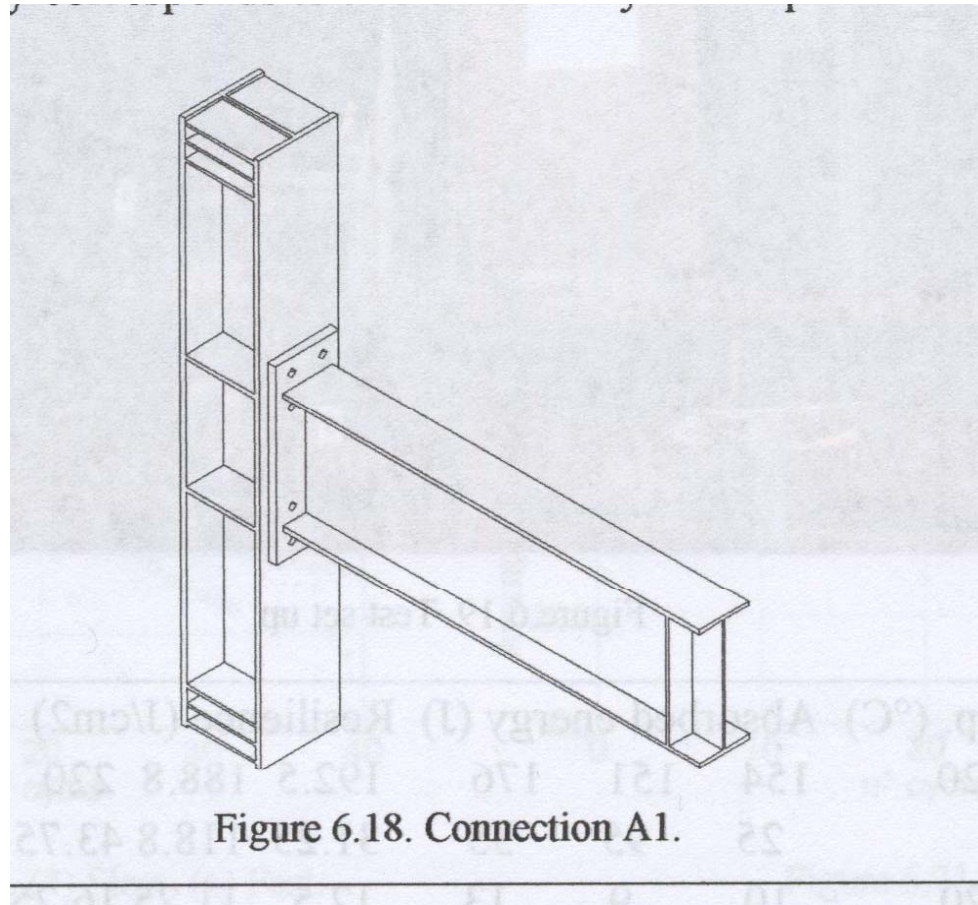


vulnerable region near the face of the column. Reinforced connections, in effect, make the connection stronger than the beam. The dogbone achieves the same goal by making the beam weaker than the connection.

Some research was conducted on the dogbone before the Northridge earthquake (41-43). Interest in dogbone was renewed after the earthquake on dogbone with straight or tapered cuts (44,45). Work on circular radius cut dogbones (Fig. 3d) proved particularly successful (39,40,46). Radius cut dogbones appear to rapidly supplant reinforced connections in



# Evropske izkušnje



# Spoji – možne izboljšave

- Izboljšanje kvalitete zvarov
  - Elektrode s predpisano žilavostjo
  - Podkorenski trak odstraniti in koren zvara povariti
  - Izrezi za prehod zvarov (stojina prečke) – primerna geometrija ali opustitev
  - Sočelni polnopenetrirani zvari boljši od kotnih
  - Ustrezna kontrola zvarov

## Spoji – možne izboljšave

- Ojačanje spoja – plastične deformacije izven spoja
  - Vezna pločevina, vzporedna pasnicam
  - Kratka vuta...
- Oslabitev spoja (dogbone) – plastične deformacije izven spoja
- Zamenjava na montaži varjenih spojev z vijačenimi
- Uporaba čelnih namesto kotnih zvarov

# Ključni ukrepi za zagotavljanje duktilnega obnašanja konstrukcij - povzetek

- Material v conah disipiranja: S235 J0, S275 J0 (ali J2), vijaki 8.8, 10.9 (prednapeti)
- Zelo kompaktni prečni prerezi – 1.razred (standardni vroče valjani profili)
- Polnonosilni spoji ob conah disipiranja
  - Sočelni polnopenetrirani zvari v delavnici
  - Vijačni spoji na montaži (samo preverjeni tipi spojev)
- Upoštevanje  $f_{y,MAX}$  v conah disipiranja (pri izdelavi največ 10% prekoračenje)

Na potresnih področjih je potrebno uporabiti **simetrični spoj**

