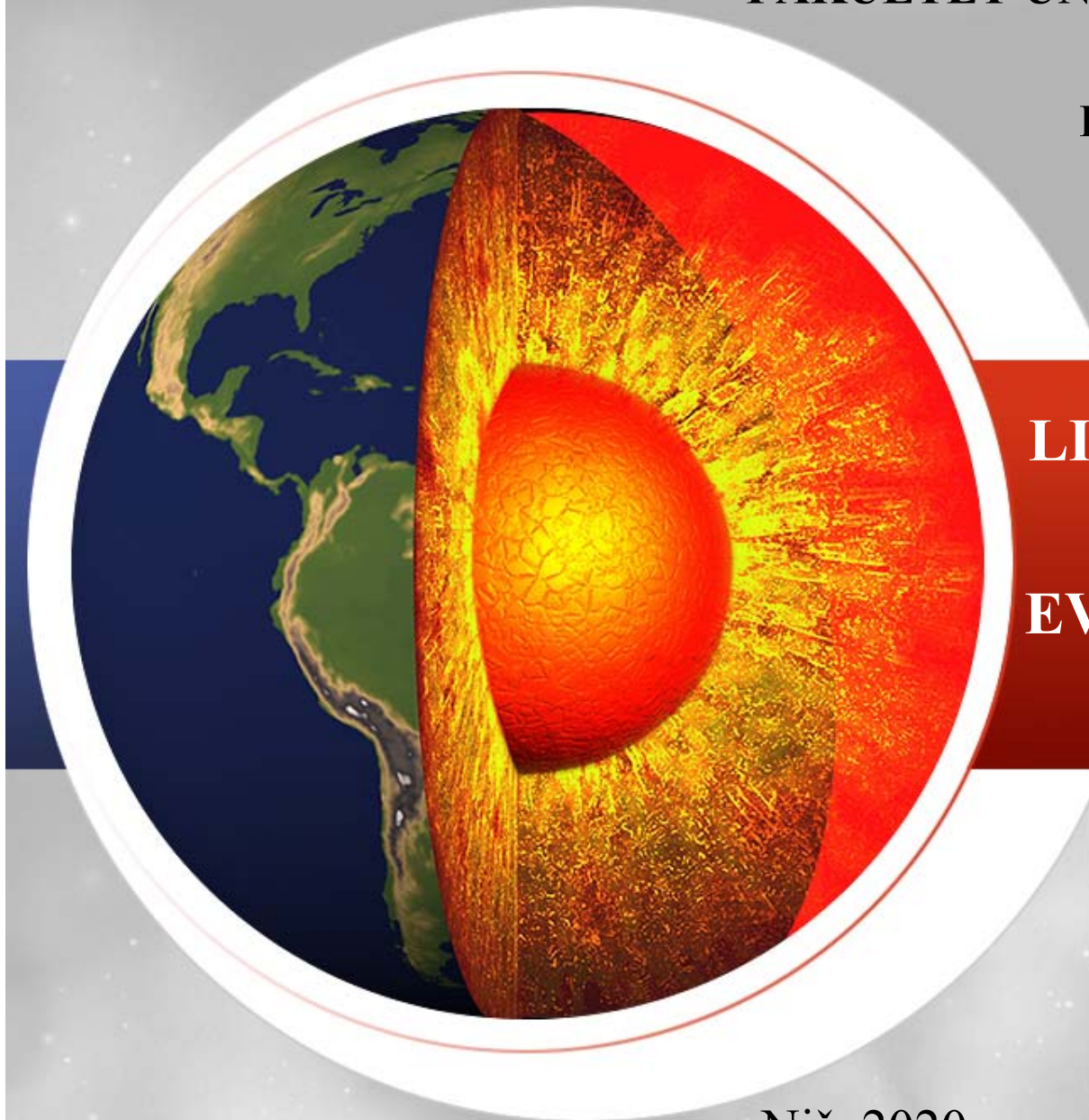


**GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI  
FAKULTET UNIVERZITET U NIŠU**



**DINAMIKA KONSTRUKCIJA  
SA ZEMLJOTRESNIM  
INŽENJERSTVOM**

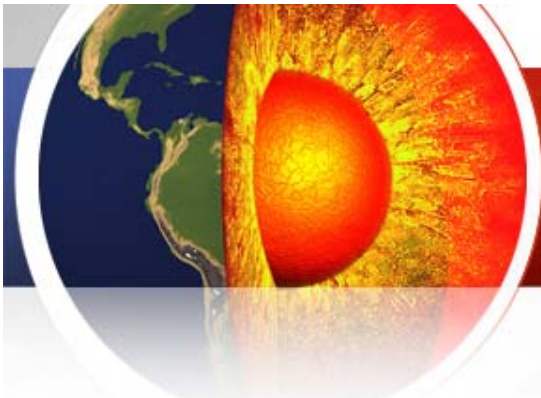
**LINEARNO-ELASTIČNA  
SEIZMIČKA ANALIZA  
ZGRADA PREMA  
EVROPSKOJ NORMI EN  
1998-1:2004**



Niš, 2020.

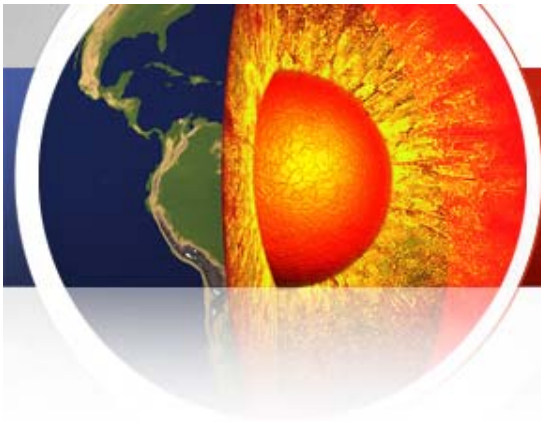
Predmetni nastavnik:  
Dr Dragan Zlatkov, docent

Predmetni asistent:  
Andrija Zorić



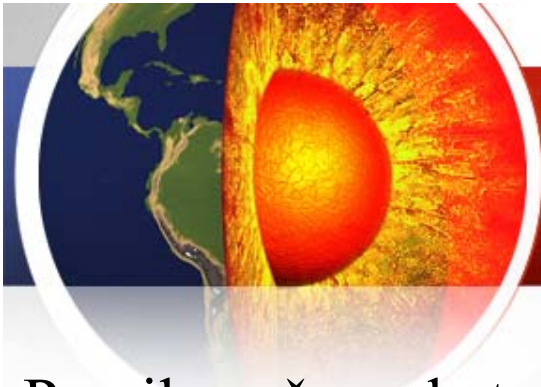
# SADRŽAJ

- LITERATURA;
- POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE;
  - TERMINI I DEFINICIJE;
  - KONCEPT PROJEKTOVANJA;
  - TIPOVI KONSTRUKCIJSKIH SISTEMA;
  - FAKTOR PONAŠANJA ZA HORIZONTALNA SEIZMIČKA DEJSTVA;
  - KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE;
  - PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M;
  - PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H;
- ZAKLJUČAK.



## LITERATURA

- EN 1998-1:2004, Evrokod 8, Proračun seizmički otpornih konstrukcija, Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, Beograd, 2009;
- EN 1990:2002, Evrokod 0, Osnove proračuna konstrukcija, Beograd, 2006;
- Čaušević, M. (2014): *Dinamika konstrukcija, Potresno inženjerstvo – Aerodinamika – Konstrukcijske euronorme*, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb;
- Janković, S. (2014): *Osnove seizmičkog planiranja i projektovanja za inženjere arhitekture i građevine*, AGM knjiga, Beograd;



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE TERMINI I DEFINICIJE

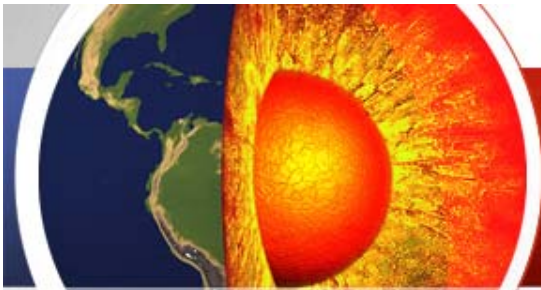
Pravila važe za betonske zgrade livene na licu mesta i montažne zgrade u seizmički aktivnim područjima.

Betonske zgrade kod kojih se okviri sa ravnim pločama (bez greda) koriste kao primarni seizmički elementi nisu potpuno pokriveni ovim pravilima.

### Termini i definicije:

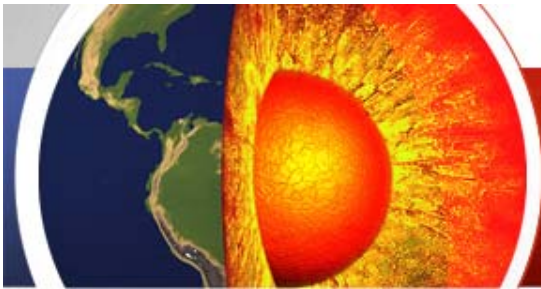
- **Kritična oblast** – Oblast primarnog seizmičkog elementa u kojoj se javlja najnepovoljnija kombinacija uticaja i u kojoj se mogu formirati plastični zglobovi;
- **Greda** – Konstrukcijski element opterećen pretežno poprečnim opterećenjem, čija normalizovana proračunska normalna sila  $\nu = N_{ed} / A_c \cdot f_{cd}$  nije veća od **0,1**;





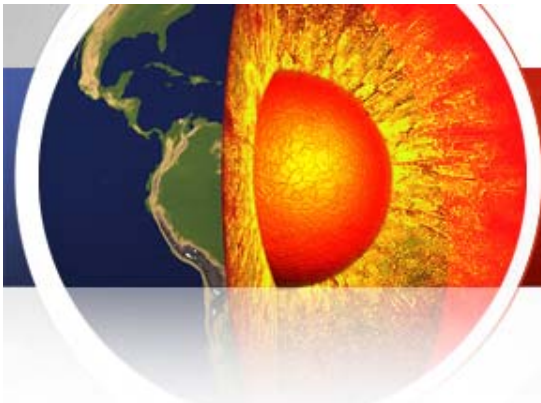
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE TERMINI I DEFINICIJE

- **Stub** – Konstrukcijski element koji je usled gravitacionog opterećenja napregnut silama pritiska i/ili opterećen normalnom silom čija je proračunska normalizovana vrednost  $\nu = N_{ed}/A_c \cdot f_{cd}$  veća od **0,1**;
- **Zid** – Konstrukcijski element na koji se oslanjaju drugi elementi i ima izduženi poprečni presek sa odnosom dužine i debljine  $l_w/b_w$  većim od **4**;
- **Duktilni zid** – Zid koji je uklješten u osnovi tako da je rotacija ove osnove u odnosu na ostale delove konstrukcije sprečena, koji se proračunava i oblikuje tako da se disipacija energije vrši savijanjem u zonama plastičnih zglobova u kojima nema otvora ili većih perforacija neposredno iznad osnove;
- **Veliki lako armirani zidovi** – Zid sa velikim dimenzijama poprečnog preseka ( $l_w$  barem **4,0** m ili dve trećine visine zida  $h_w$ , šta je manje). Ovaj zid ne može biti projektovan za efikasnu disipaciju energije u osnovi;



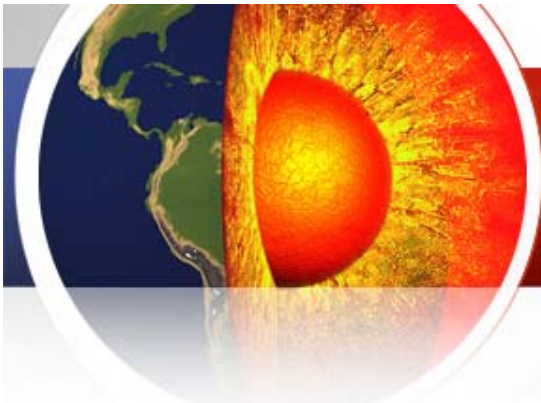
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE TERMINI I DEFINICIJE

- **Povezani zid** – Konstrukcijski element sastavljen iz dva ili više pojedinačnih zidova spojenih sistemom greda odgovarajuće duktilnosti, sposoban da za najmanje **25%** umanja zbir momenata savijanja u nivou temelja koji bi imali razdvojeni zidovi;
- **Sistem zidova** – Konstrukcijski sistem kod koga se vertikalna i horizontalna opterećenja prihvataju pretežno vertikalnim konstrukcijskim zidovima, bilo povezanim ili nepovezanim, a čija je nosivost na smicanje u osnovi veća od **65%** ukupne nosivosti na smicanje celog konstrukcijskog sistema;
- **Okvirni sistem** – Konstrukcijski sistem kod koga se vertikalna i horizontalna opterećenja prihvataju pretežno prostornim okvirima, čija je nosivost na smicanje u osnovi veća od **65%** ukupne nosivosti na smicanje celog konstrukcijskog sistema;



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE TERMINI I DEFINICIJE

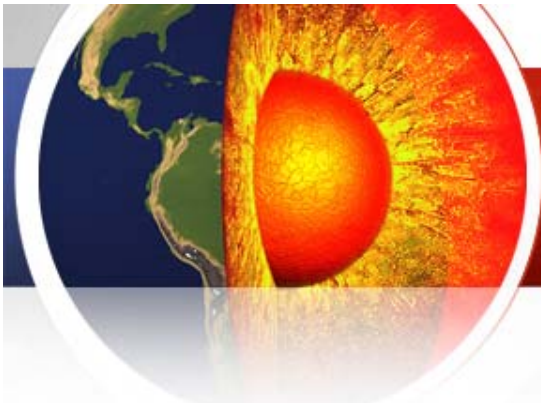
- **Dvojni (kombinovani) sistem** – Konstrukcijski sistem kod koga je prijem vertikalnih opterećenja obezbeđen pretežno prostornim okvirima, a u prijemu horizontalnih opterećenja učestvuju delom okvirni sistemi, a delom konstrukcijski zidovi, pojedinačni ili spojeni;
- **Dvojni sistem sa dominantnim delovanjem okvira** – Kombinovani sistem kod koga je nosivost na smicanje okvirnog dela sistema u nivou temelja veća od **50%** ukupne nosivosti na smicanje celog konstrukcijskog sistema;
- **Dvojni sistem sa dominantnim delovanjem zidova** – Kombinovani sistem kod koga je nosivost na smicanje zidova u nivou temelja veća od **50%** ukupne nosivosti na smicanje celog konstrukcijskog sistema;



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE TERMINI I DEFINICIJE

- **Torziono fleksibilan sistem** – Dvojni sistem ili sistem zidova koji nemaju dovoljnu torzionu krutost (primer ovakvih sistema su fleksibilni okviri kombinovani sa zidovima smeštenim u oblasti blizu težišta zgrade u osnovi);
- **Sistem obrnutog klatna** – Sistem kod koga je 50% ili više od ukupne mase locirano u gornjoj trećini visine konstrukcije ili kod koga se disipacija energije odvija pretežno u osnovi jednog izolovanog nosećeg elementa zgrade.

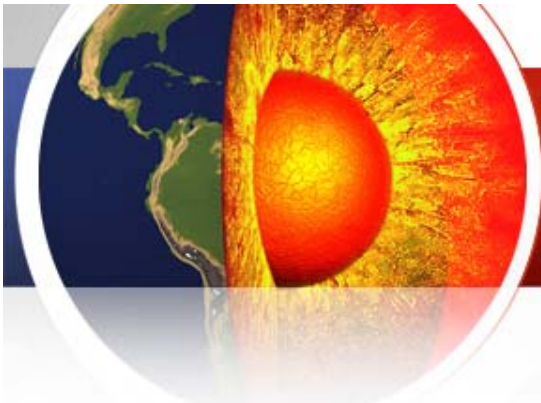




## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE KONCEPT PROJEKTOVANJA

Seizmički otporne betonske zgrade moraju se projektovati tako da se obezbedi kapacitet disipacije energije i ukupno duktilno ponašanje. Betonske zgrade se klasifikuju u dve klase duktilnosti: **DCM** (srednja duktilnost) i **DCH** (visoka duktilnost), zavisno od njihovog kapaciteta histerezisne disipacije energije. Da bi se obezbedio odgovarajući iznos duktilnosti za klase **M** i **H**, moraju se ispuniti posebne odredbe za sve konstrukcijske elemente, za svaku klasu. Za klase duktilnosti se koriste različite vrednosti faktora ponašanja  $q$ .

Betonske zgrade se mogu projektovati alternativno za nisku kapacitet disipacije i nisku duktilnost (klasa **L**). Proračun sa niskom klasom duktilnosti preporučuje se samo u slučaju niske seizmičnosti.

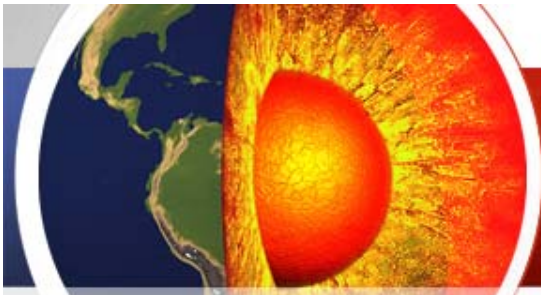


## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE TIPOVI KONSTRUKCIJSKIH SISTEMA

Betonske zgrade se klasifikuju prema tipu konstrukcijskog sistema:

- a) okvirni sistem;
- b) dvojni sistem (sa dominantnim okvirima ili zidovima);
- c) duktilni sistem zidova (povezani ili nepovezani);
- d) sistem velikih lako armiranih zidova;
- e) sistem obrnutog klatna;
- f) torziona fleksibilni sistem.

Osim za konstrukcije klasifikovane kao torziona fleksibilni sistem, betonske zgrade mogu se klasifikovati kao jedan tip konstrukcije u jednom horizontalnom pravcu i kao drugi tip u drugom pravcu.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE FAKTOR PONAŠANJA ZA HORIZONTALNA SEIZMIČKA DEJSTVA

Gornja vrednost faktora ponašanja  $q$  mora da se odredi za svaki horizontalni pravac prema sledećem izrazu:

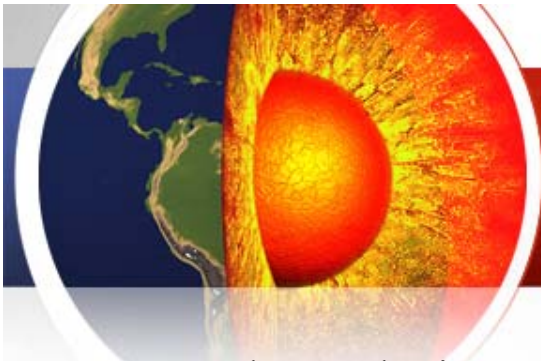
$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

$q_0$  – osnovna vrednost faktora ponašanja, zavisna od tipa konstrukcijskog sistema;

$k_w$  – faktor koji uzima u obzir preovlađujuću vrstu loma konstrukcijskih sistema sa zidovima.

Osnovne vrednosti faktora ponašanja $q_0$ za sisteme regularne po visini			
Tip konstrukcije	DCM	DCH	
Okvirni sistem, dvojni sistem, sistem povezanih zidova	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$	
Sistem nevezanih zidova	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$	
Torziono fleksibilni sistem	2,0	3,0	
Sistem obrnutog klatna	1,5	2,0	

Za zgrade koje nisu regularne po visini, vrednosti  $q_0$  se moraju redukovati za **20%**.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE FAKTOR PONAŠANJA ZA HORIZONTALNA SEIZMIČKA DEJSTVA

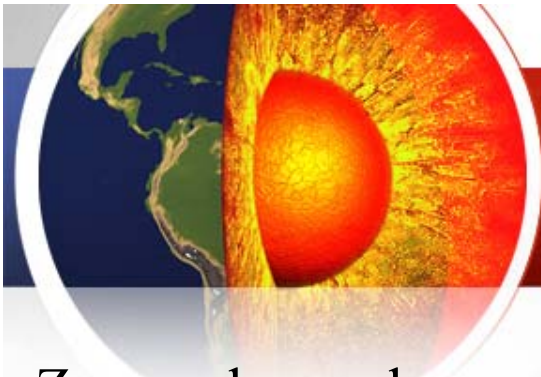
$\alpha_1$  – vrednost kojom se množi projektno horizontalno seizmičko dejstvo da bi se prvi put dostigla plastična nosivost u bilo kom elementu konstrukcije, pri čemu sva ostala proračunska dejstva ostaju konstantna;

$\alpha_u$  – vrednost kojom se množi projektno horizontalno seizmičko dejstvo da bi se plastični zglobovi formirali u dovoljnom broju preseka za razvoj globalne nestabilnosti konstrukcije (da bi se formirao potpuno plastični mehanizam), pri čemu sva ostala proračunska dejstva ostaju konstantna. Vrednost  $\alpha_u$  može se odrediti nelinearnom statičkom analizom.

Za zgrade regularne u osnovi mogu da se koriste aproksimativne vrednosti:

a) Okviri ili ekvivalentni dvojni sistemi okvira:

- jednoetažne zgrade:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ ;
- višespratni okviri sa jednim poljem:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ ;
- višespratni okviri sa više polja ili ekvivalentni dvojni sistemi okvira:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$ .



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE FAKTOR PONAŠANJA ZA HORIZONTALNA SEIZMIČKA DEJSTVA

Za zgrade regularne u osnovi mogu da se koriste aproksimativne vrednosti:

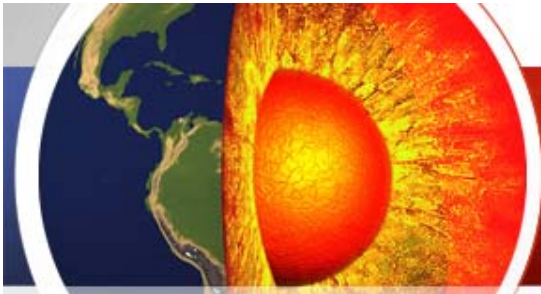
b) Zidovi i ekvivalentni dvojni sistemi zidova:

- sistemi zidova sa samo dva nepovezana zida za svaki horizontalni pravac:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$ ;
- ostali nepovezani sistemi zidova:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ ;
- ekvivalentni dvojni sistemi zidova ili sistemi spojenih zidova:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ .

Za zgrade koje nisu regularne u osnovi, za koje se proračun vrednosti  $\alpha_u/\alpha_1$  ne sprovodi, koriste se približne vrednosti odnosa  $\alpha_u/\alpha_1$  koje se dobijaju kao srednje vrednosti između  $1,0$  i prethodno definisanih vrednosti.

Mogu da se koriste veće vrednosti  $\alpha_u/\alpha_1$  pod uslovom da one budu potvrđene nelinearnom statičkom analizom, ali ne veća od  $1,5$ .





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE FAKTOR PONAŠANJA ZA HORIZONTALNA SEIZMIČKA DEJSTVA

Vrednosti faktora  $k_w$  koji uzima u obzir dominantan oblik loma u konstrukcijskom sistemu sa zidovima, uzimaju se sledeće vrednosti:

$$k_w = \begin{cases} 1,0 & \text{- za okvire i ekvivalentne dvojne sisteme;} \\ 0,5 < \frac{1 + \alpha_0}{3} \leq 1 & \text{- za zidove, ekvivalentne zidove i torziono fleksibilne sisteme} \end{cases}$$

pri čemu je  $\alpha_0$  preovlađujući odnos dimenzija zidova konstrukcijskog sistema.

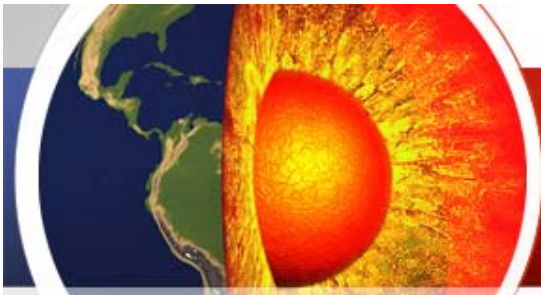
Ako se odnos dimenzija  $h_{wi}/l_{wi}$  svih zidova konstrukcijskog sistema značajnije ne razlikuju, vrednost  $\alpha_0$  može biti određena kao:

$$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$$

$h_{wi}$  – visina zida  $i$ ;

$l_{wi}$  - dužina poprečnog preseka zida  $i$ .

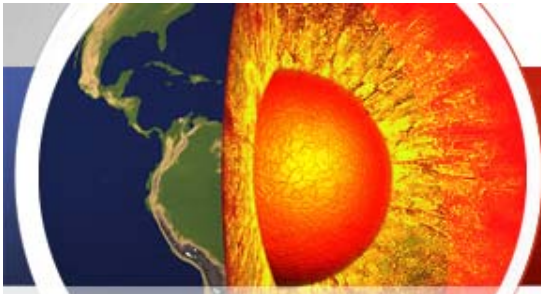
Sistemi velikih lako armiranih zidova ne mogu da se oslone na disipaciju energije u plastičnim zglobovima i treba da se projektuju kao DCM konstrukcije.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE

**Pravila projektovanja prema programiranom ponašanju sa aspekta kapaciteta:**

- Krta lom i drugi nepoželjni mehanizmi loma (koncentracija plastičnih zglobova u stubovima jednog sprata, lom smicanjem konstrukcijskog elementa, lom čvora greda-stub, tečenje temelja) moraju se sprečiti;
- Primarni seizmički stubovi okvira ili ekvivalentnih okvira betonskih konstrukcija treba da zadovolje zahteve programiranog ponašanja uz sledeće izuzetke:
  - a) U ravnim okvirima sa najmanje četir stuba približno istih dimenzija poprečnih preseka, nije neophodno ispunjenje uslova  $\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$ ;
  - b) U donjoj etaži dvoetažne zgrade ako vrednost normalizovanog aksijalnog opterećenja  $\nu_d$  ne prekoračuje vrednost  $0,3$  u bilo kom stubu.
  - c) Armatura u ploči paralelna gredi unutar aktivne širine, uzima se da doprinosi kapacitetu nosivosti na savijanje i uvodi se pri proračunu  $\sum M_{Rb}$  ako se sidri iza preseka grede na licu čvora.

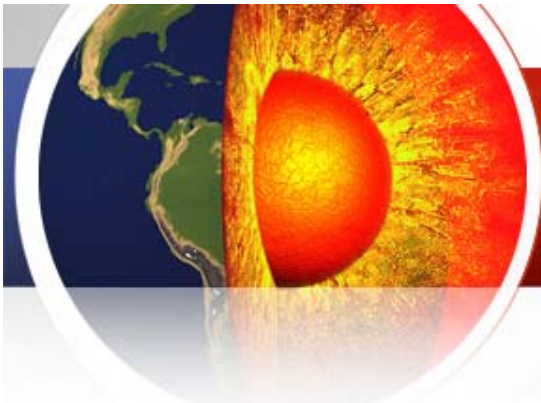


## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE

### **Uslovi lokalne duktilnosti:**

Da bi se obezbedila globalna duktilnost konstrukcije, potencijalne oblasti za formiranje plastičnih zglobova moraju imati visoki kapacitet plastične rotacije. Smatra se da je ovo ispunjeno ako su ispunjeni sledeći uslovi:

- a) Dvojna duktilnost krivine je obezbeđena u svim kritičnim oblastima primarnih seizmičkih elemenata;
- b) Lokalno izvijanje pritisnute armature unutar oblasti potencijalnog plastičnog zgloba primarnih seizmičkih elemenata je sprečeno odgovarajućim merama;
- c) Primenjeni beton i armatura su odgovarajućeg kvaliteta da bi se osigurala lokalna duktilnost.



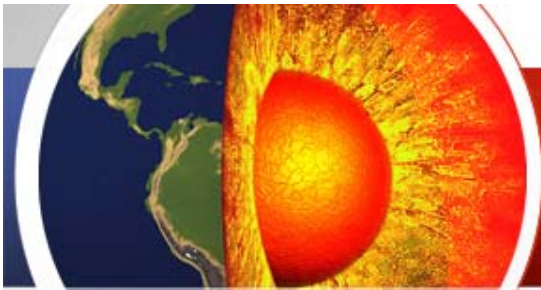
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE

Dvojna duktilnost krivine se smatra obezbeđenom ako je faktor duktilnosti krivine  $\mu_\phi$  kritičnih oblasti (predstavlja odnos post-granične krivine kod **85%** momenta nosivosti i krivine na početku tečenja, pod uslovom da granične dilatacije betona i čelika nisu prekoračene) jednaka sledećim vrednostima:

$$\mu_\phi = 2q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_c$$

$$\mu_\phi = 2 + \frac{2(q_0 - 1)T_c}{T_1} \quad \text{ako je } T_1 < T_c$$

U kritičnim oblastima primarnih seizmičkih elemenata sa podužnom armaturom klase **B** faktor duktilnosti krivine mora biti najmanje **1,5** puta vrednost definisana prethodnim izrazima.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE

### **Konstruktivna rezerva:**

Mora se nastojati da se obezbedi visok stepen konstruktivne rezerve. Konstruktivnim sistemima sa nižim stepenom statičke neodređenosti dodeljuju se niže vrednosti faktora ponašanja.

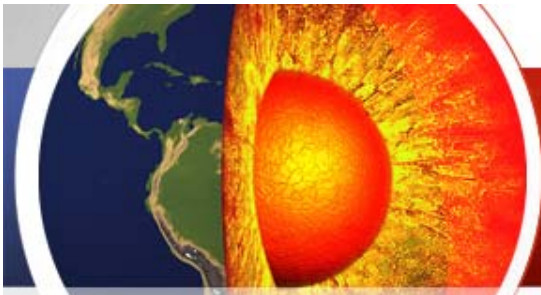
### **Posebne dodatne mere:**

Zbog slučajne prirode seizmičkog dejstva i nepouzdanosti postelastičnog ponašanja betona, ukupna nepouzdanost je znatno viša nego kod neseizmičkih dejstva. Zbog toga se moraju preduzeti odgovarajuće mere da bi se umanjile netačnosti koje se odnose na konfiguraciju konstrukcije, proračun, nosivost i duktilnost.

### **Dokaz sigurnosti:**

Ako posebni podaci nisu dostupni, treba primenjivati vrednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti za svojstva materijala ( $\gamma_c$  i  $\gamma_s$ ) za stalne i prolazne proračunske situacije, pretpostavljajući da je zbog obezbeđenja lokalne duktilnosti, odnos zaostale čvrstoće nakon degradacije i početne čvrstoće približno jednak odnosu koeficijenta  $\gamma_M$  za incidentne i osnovne kombinacije opterećenja.





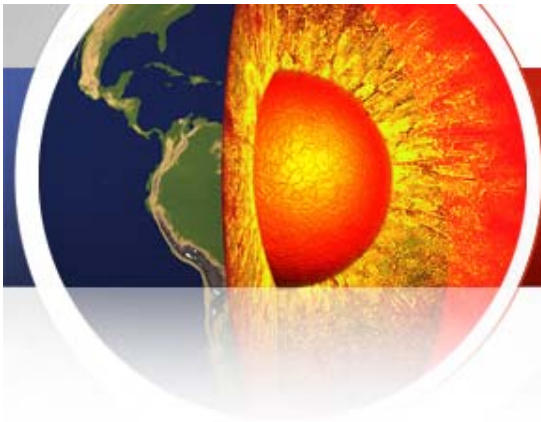
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Zahtevi za materijal:

Ne dozvoljava se upotreba betona klase niže od **C16/20** u primarnim seizmičkim elementima. Osim za zatvorene uzengije ili poprečne veze u kritičnim područjima primarnih seizmičkih elemenata dozvoljava se upotreba samo armature od rebrastih šipki. U kritičnim oblastima primarnih seizmičkih elemenata koristi se čelik za armiranje klase **B** i **C**. Upotreba zavarenih mreža se dozvoljava ako odgovaraju svim ovim uslovima.

### Geometrijska ograničenja - grede:

Mora se ograničiti ekscentricitet između ose grede i ose stuba na njihovom spoju, da bi se obezbedio efikasan prenos cikličnih momenata sa primarne seizmičke grede na stub. Odstojanje između težišta osa dva elementa mora se ograničiti da bude manje od  $b_c/4$ , pri čemu je  $b_c$  najveća dimenzija poprečnog preseka stuba upravna na podužnu osu grede.



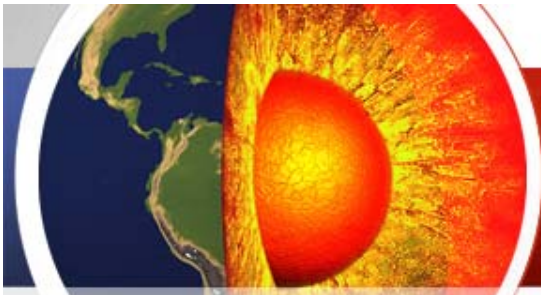
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Geometrijska ograničenja - grede:

Da bi se obezbedili povoljni efekti pritiska u stubovima na prinjanje horizontalnih šipki koje prolaze kroz čvor, širina  $b_w$  primarnih seizmičkih greda mora da zadovolji uslov  $b_w \leq \min\{b_c + h_w, 2b_c\}$ , pri čemu je  $h_w$  visina grede, a  $b_c$  širina stuba.

### Geometrijska ograničenja - stubovi:

Ukoliko je  $\theta \leq 0,1$  dimenzije poprečnog preseka glavnih seizmičkih stubova ne smeju biti manje od desetine većeg rastojanja između tačke infleksije i kraja stuba, za savijanje u ravni paralelno posmatranoj dimenziji stuba.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### **Geometrijska ograničenja – duktilni zidovi:**

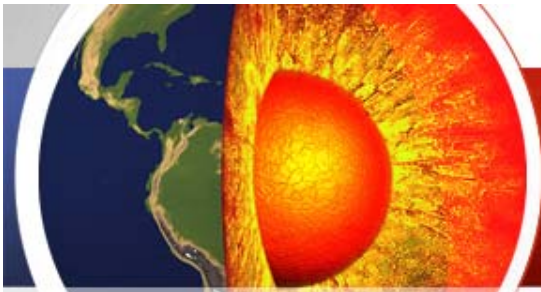
Debljina rebra  $b_{wo}$  [m] treba da zadovolji uslov  $b_{wo} \geq \min\{0,15, h_s/20\}$ , pri čemu je  $h_s$  čista spratna visina. Mora da se zadovolje uslovi za debljinu utegnuto g ivičnog elementa zida.

### **Geometrijska ograničenja – veliki lako armirani zidovi:**

Važe geometrijska ograničenja kao za duktilne zidove.

### **Geometrijska ograničenja – grede koje podupiru diskontinualne vertikalne elemente:**

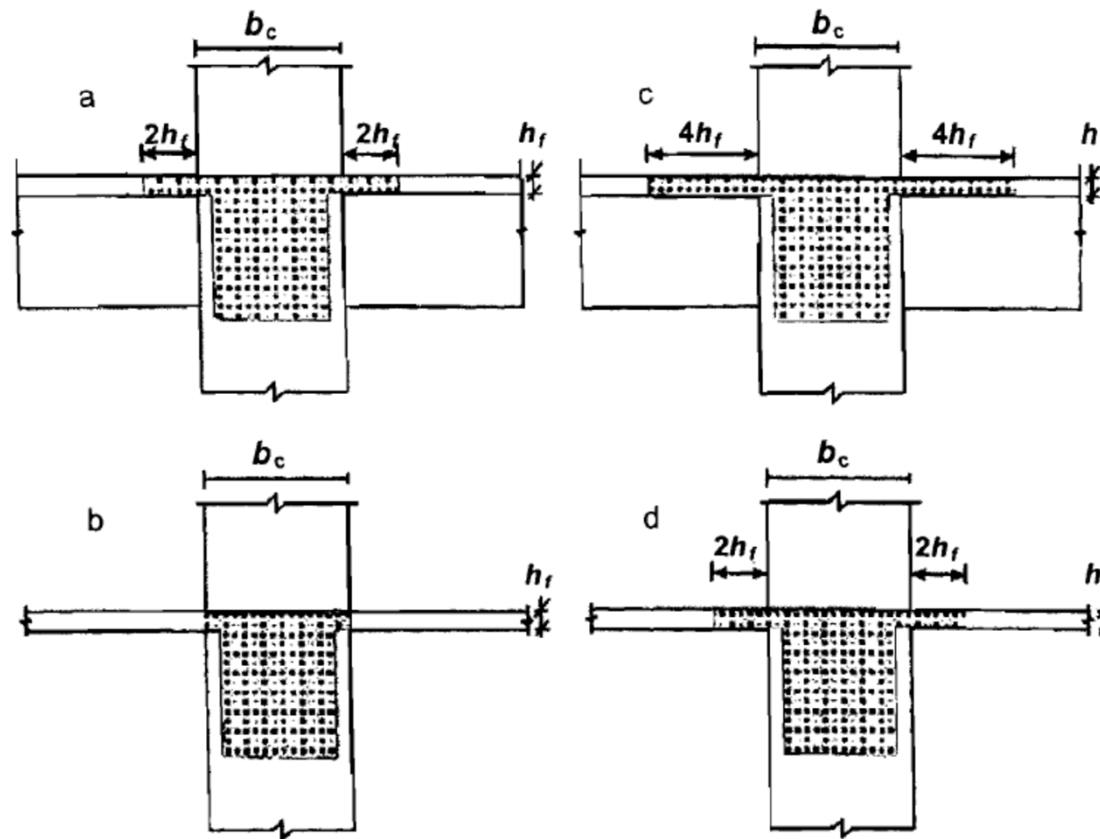
Konstruktivski zidovi ne smeju biti oslonjeni na grede ili ploče. Za glavne seizmičke grede koje podupiru stubove bez kontinuiteta ispod grede ne dopušta se ekscentricitet ose stuba u odnosu na grede i grede moraju da budu direktno oslonjene na najmanje dva oslonca, kao što su zidovi i stubovi.

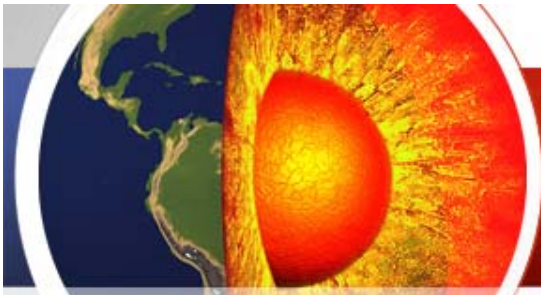


# POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

**Grede – nosivost na savijanje i smicanje:**

Efektivna širina u kojoj može da se raspoređi deo armature gornje zone





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### **Grede – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:**

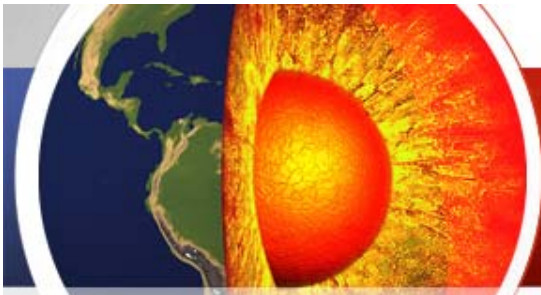
Kritična oblast primarne seizmičke grede smatra se dužina  $l_{cr} = h_w$  ( $h_w$  – visina grede) od krajnjeg preseka na spoju grede i stuba ili deo sa obe strane bilo kog drugog poprečnog preseka u kome može doći do tečenja u seizmičkoj proračunskoj situaciji.

U primarnim seizmičkim gredama koje nose diskontinualne vertikalne elemente kritična oblast je dužine  $2l_{cr}$ .

Unutar kritične oblasti mora se obezbediti dvojna duktilnost krivine. Smatra se da je uslov zadovoljen ako armatura u pritisnutoj zoni nije manja od polovine armature koja je ugrađena u zategnutoj zoni i ako koeficijent armiranja zategnutom armaturom  $\rho$  nije veći od  $\rho_{max}$ :

$$\rho_{max} = \rho' + \frac{0,0018f_{cd}}{\mu_{\phi}\epsilon_{sy,d}f_{yd}}$$





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Grede – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Koeficijent armiranja zategnute zone  $\rho$  ne sme biti manji od vrednosti  $\rho_{min}$ :

$$\rho_{mix} = 0,5 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

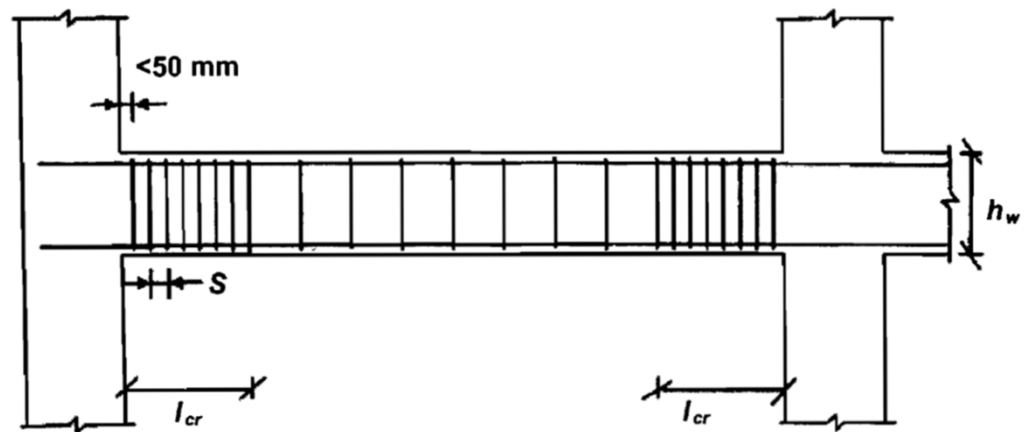
Unutar kritične oblasti primarnih seizmičkih greda prečnik uzengije ne sme biti manji od 6 mm i razmak između uzengija ne sme biti veći od:

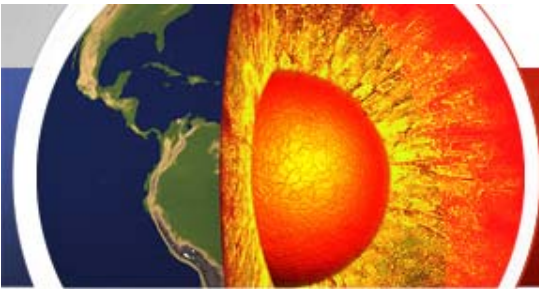
$$s = \min\{h_w/4; 24d_{bw}; 225; 8d_{bl}\}$$

$d_{bw}$  – minimalni prečnik podužne armature;

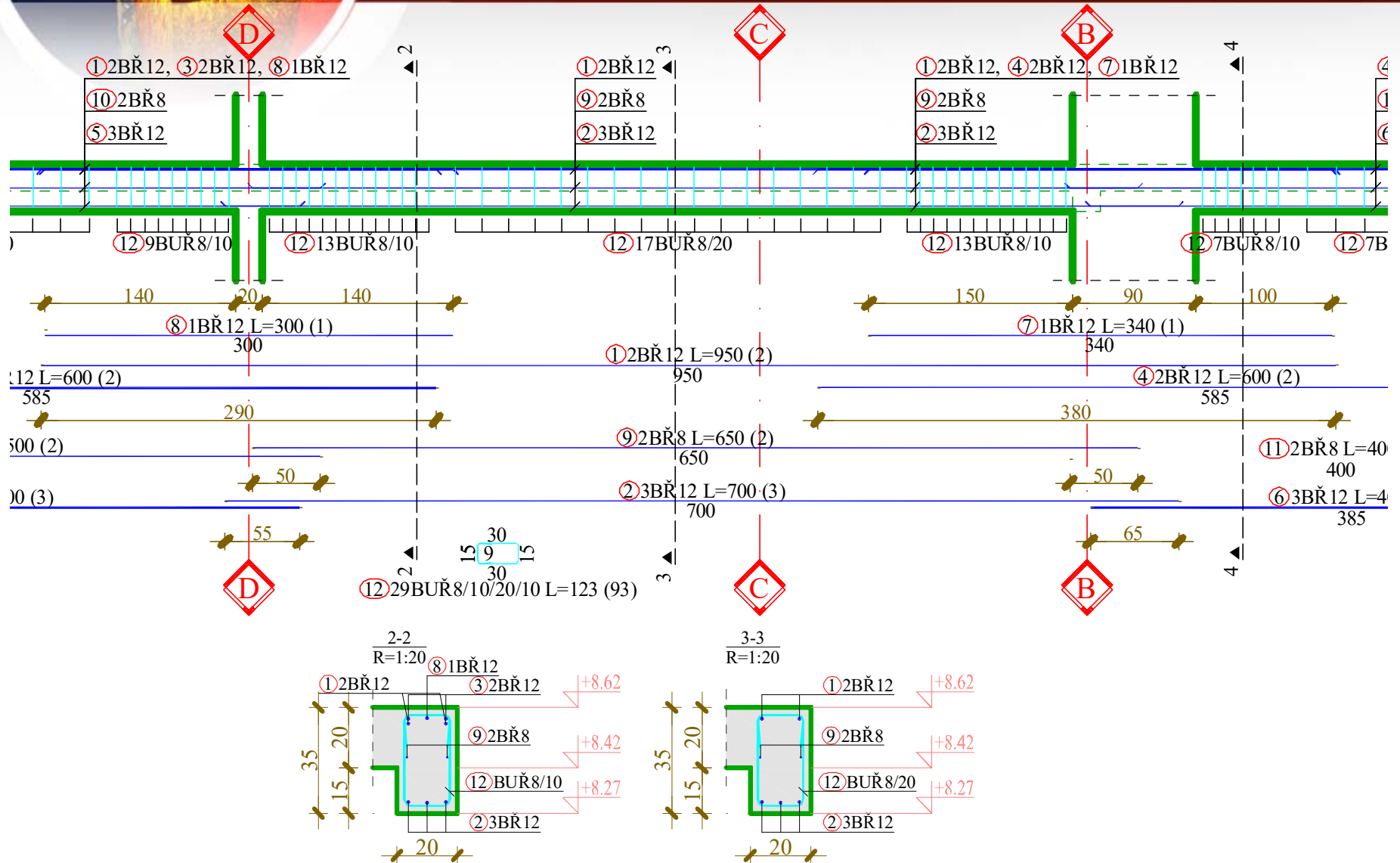
$h_w$  – visina grede.

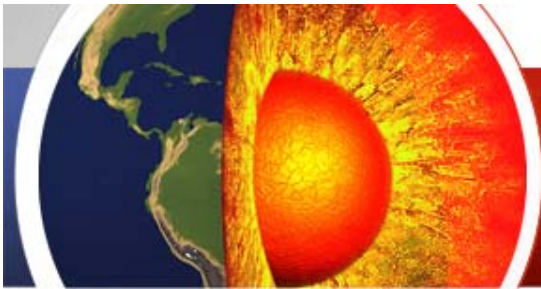
Prva uzengija se postavlja na odstojanju ne većem od 50 mm od kraja grede.





# POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### **Stubovi – nosivost:**

U primarnim seizmičkim stubovima vrednost normalizovane aksijalne sile  $v_d$  ne sme biti veća od **0,65**.

### **Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:**

Ukupni koeficijent armiranja podužnom armaturom  $\rho$  ne sme biti manji od **0,01** niti veći od **0,04**. U simetričnim poprečnim presecima stubova potrebno je obezbediti simetrično armiranje.

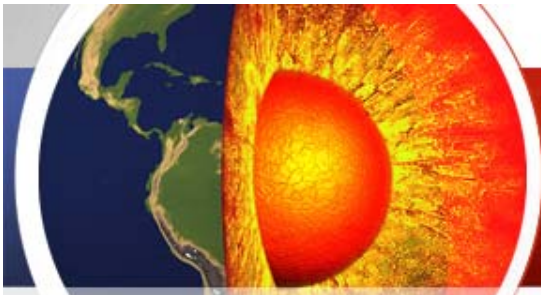
Da bi se obezbedio integritet čvora greda-stub mora se najmanje jedna šipka postaviti između ivičnih šipki duž svih strana stuba.

Dužina kritične oblasti se računa prema izrazu:

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_{cl}/6; 0,45\}$$

$h_c$  – veća dimenzija stuba;

$l_{cl}$  - čista dužina stuba



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Ako je  $l_{cr}/h_c < 3$ , ukupna visina stuba se smatra kritičnom oblašću.

Unutar kritične oblasti u osnovi (na spoju sa temeljem) mora se obezbediti dvojna duktilnost krivine. Smatra se da je uslov zadovoljen ako je zadovoljen izraz:

$$\alpha\omega_{wd} \geq 30\mu_\phi \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{zapremina uzengija za utezanje}}{\text{zapremina betonskog jezgra}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad - \text{ mehanički zapreminski procenat armiranja uzengija za utezanje preseka u kritičnoj oblasti;}$$

$\mu_\phi$  – zahtevana vrednost faktora duktilnosti krivine;

$\nu_d$  – proračunska normalizovana aksijalna sila;

$\varepsilon_{sy,d}$  – proračunska vrednost dilatacije zatezanja čelika na granici tečenja;

$h_c$  – visina ukupnog poprečnog preseka,

$h_o$  – visina utegnutog jezgra (do osa uzengija);

$b_c$  – ukupna širina poprečnog preseka;

$b_o$  – širina utegnutog jezgra (do osa uzengija).



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_{\phi} \cdot \nu_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

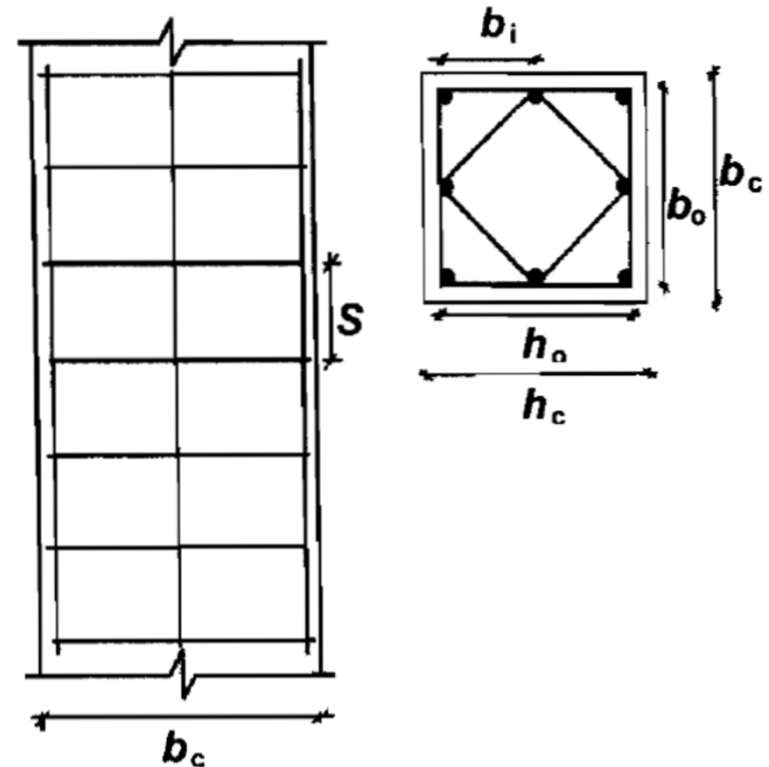
$\alpha$  – faktor globalne efikasnosti utezanja,  $\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$ ;

a) za pravougaone poprečne preseke:

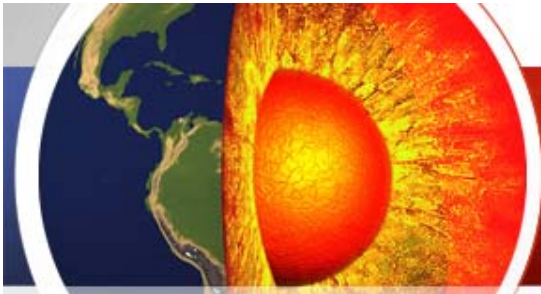
$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6b_o h_o}$$

$$\alpha_s = (1 - s/2b_o)(1 - s/2h_o)$$

$n$  – ukupan broj podužnih šipki poprečno obuhvaćenih uzengijama ili poprečnim vezama;  
 $b_i$  – odstojanje osa obuhvaćenih (pridržanih) šipki;







## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

- b) za kružni poprečni preseke sa kružnim uzengijama i prečnikom utegnutog jezgra  $D_o$  (do osa uzengija):

$$\alpha_n = 1$$

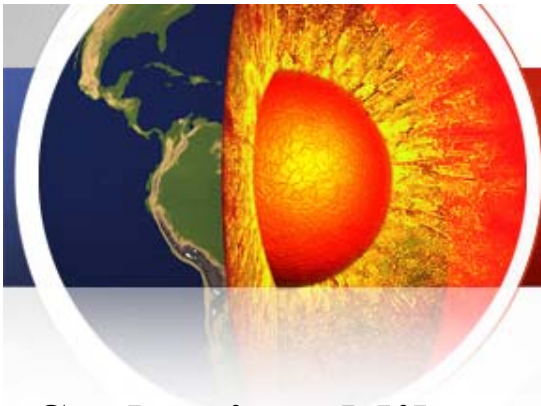
$$\alpha_s = (1 - s/2D_o)^2$$

- c) za spiralno armiran kružni poprečni presek

$$\alpha_n = 1$$

$$\alpha_s = 1 - s/2D_o$$

Minimalna vrednost  $\omega_{wd}$  od 0,08 mora biti obezbeđena u kritičnim oblastima u dnu (osnovi) primarnih seizmičkih stubova.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Da bi se osigurala minimalna duktilnost i sprečilo izvijanje podužnih šipki u primarnim seizmičkim stubovima, moraju se upotrebiti uzengije prečnika ne manjeg od 6 mm. Raspored uzengija mora se odabrati tako da poprečni presek stuba, zahvaljujući uzengijam i vezama, bude u trijaksijalnom naponskom stanju:

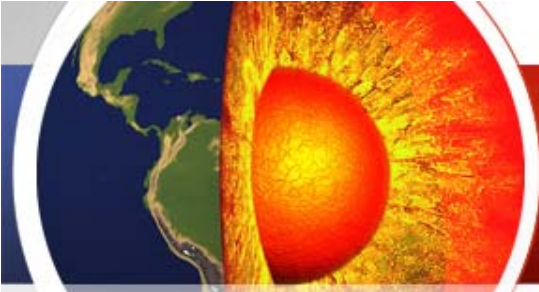
a) razmak uzengija  $s$  nije veći od:

$$s = \min\{b_o/2 ; 175; 85 \cdot d_{bL}\}$$

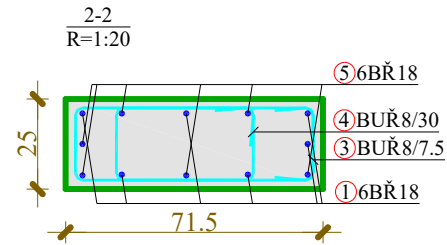
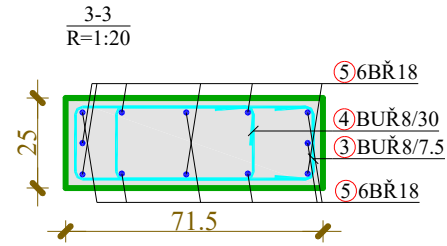
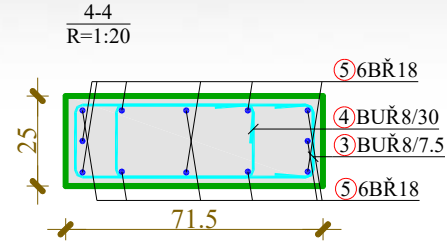
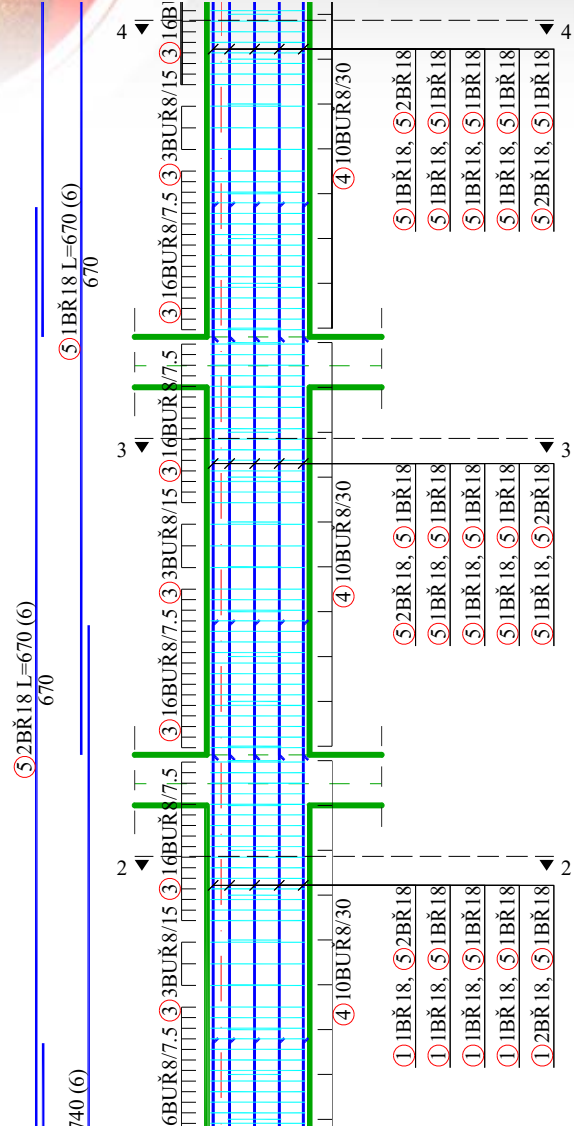
$b_o$  – najmanja dimenzija (u mm) betonskog jezgra (u težišnoj liniji uzengija)

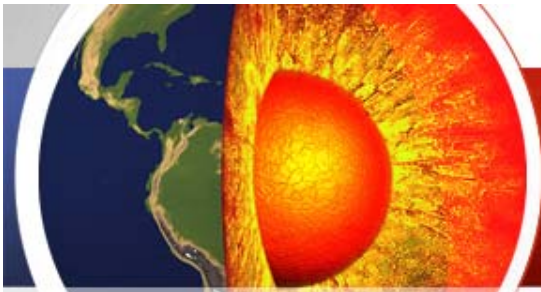
$d_{bL}$  – najmanji prečnik podužnih šipki (u mm).

b) rastojanje između dve susedne podužne šipke, pridržane vezama ili uzengijama, nije veće od **200 mm**.



# POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

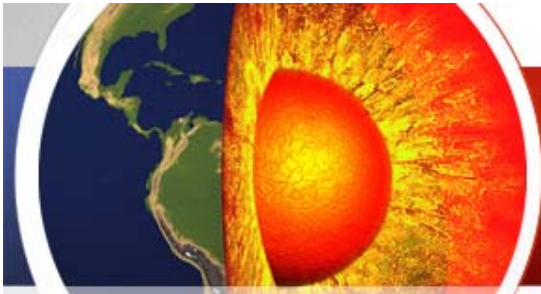
### **Duktilni zidovi – nosivost na savijanje i smicanje:**

U primarnim seizmičkim zidovima vrednost normalizovane aksijalnog opterećenja  $v_d$  ne treba da je veća od **0,4**.

Vertikalna armatura rebra uzima se u obzir pri proračunu nosivosti preseka zida na savijanje.

Složeni preseki zidova, sastavljeni od povezanih ili ukrštenih zidova pravougaonih segmenata (L, T, U, I i slično), treba da se tretiraju kao integralni delovi koji se sastoje od rebara paralelnih ili približno paralelnih pravcu u kome deluje seizmička smičuća sila, sa pojasevima (flanšama) normalnim ili približno normalnim na njih.

Za proračun nosivosti na savijanje, efektivna širina flanše na svakoj strani rebra uzima se da se proteže od ivice rebra sa dužinom koja je jednaka najmanjoj vrednosti od: stvarne širine rebra, jedne polovine rastojanja do susednog rebra zida, 25% ukupne visine zida iznad posmatranog nivoa.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Duktilni zidovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Visina kritične oblasti  $h_{cr}$  iznad osnove zida može se proceniti kao:

$$h_{cr} = \max[l_w, h_w/6] \quad h_{cr} \leq \begin{cases} 2l_w \\ h_s & \text{za } n \leq 6 \text{ spratova} \\ 2h_s & \text{za } n \geq 7 \text{ spratova} \end{cases}$$

$h_s$  – čista spratna visina.

Za zidove pravougaonog poprečnog preseka, mehanički zapreminski koeficijent armature za utezanje  $\omega_{wd}$  u ivičnim elementima treba da zadovolji sledeći izraz:

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30 \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_V) \cdot \varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

$\omega_V$  – mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom rebra:

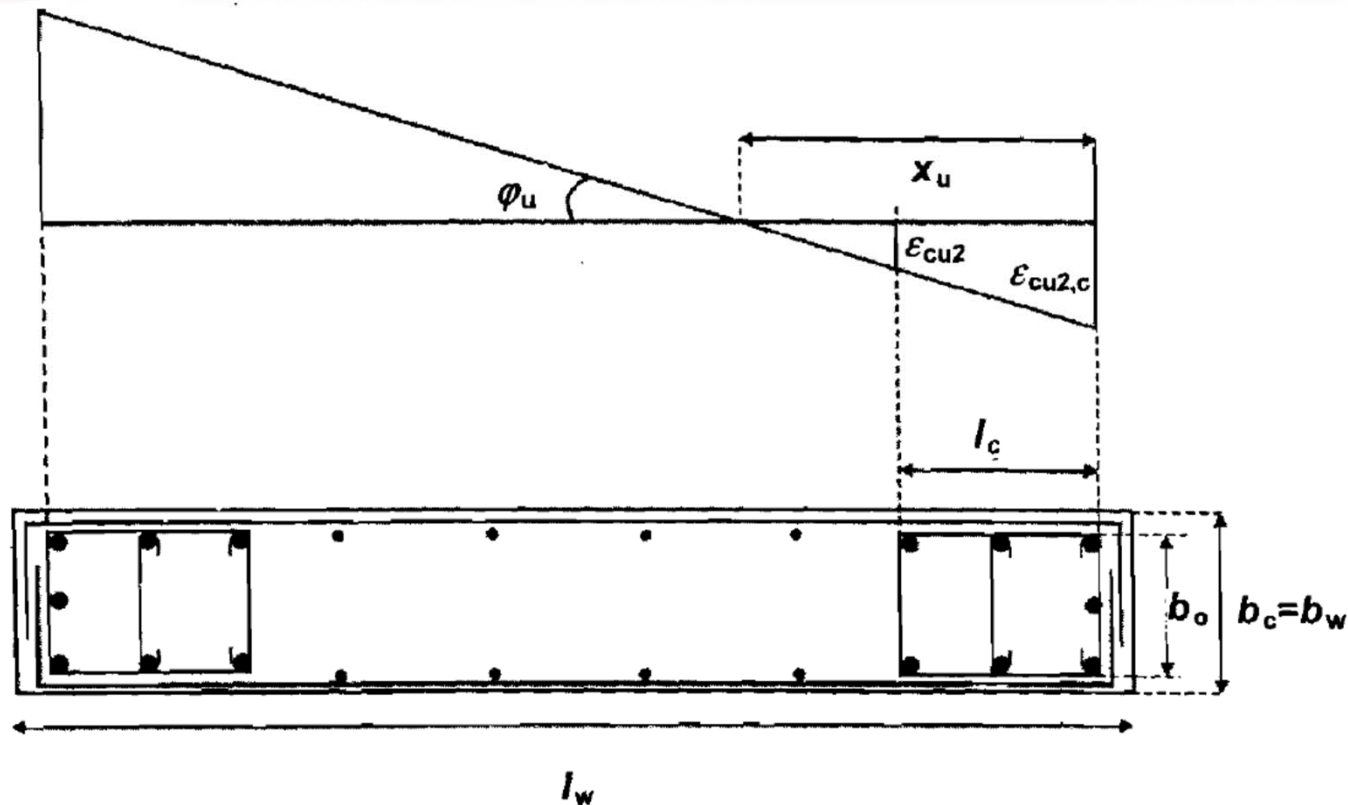
$$\omega_V \geq \rho_V \cdot f_{yd,V} / f_{cd}$$



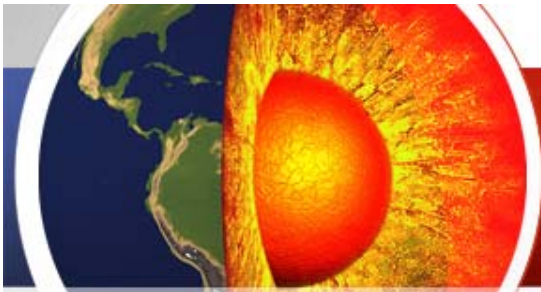


## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

**Duktilni zidovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:**



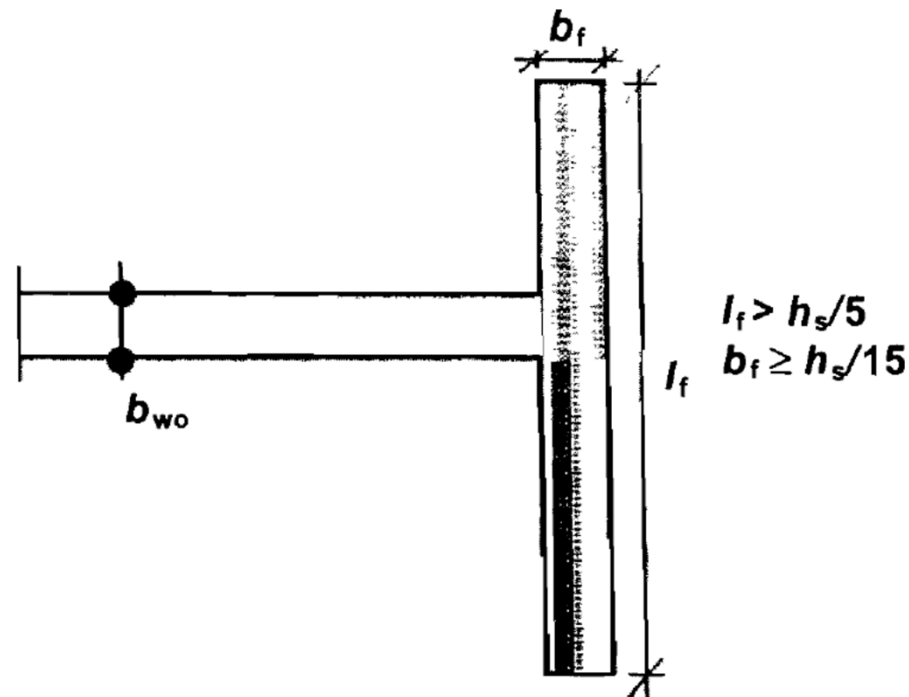
Kao minimalni uslov, dužina  $l_c$  utegnutog ivičnog elementa ne treba da je manja od  $0,15l_w$  ili  $1,50b_w$ .



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Duktilni zidovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Utegnuti ivični element se ne zahteva za flanšu zida kada su ispunjeni uslovi sa slike. Međutim, utegnuti ivični elementi mogu se zahtevati na krajevima ovakvih flanši zbog savijanja van ravni zida.



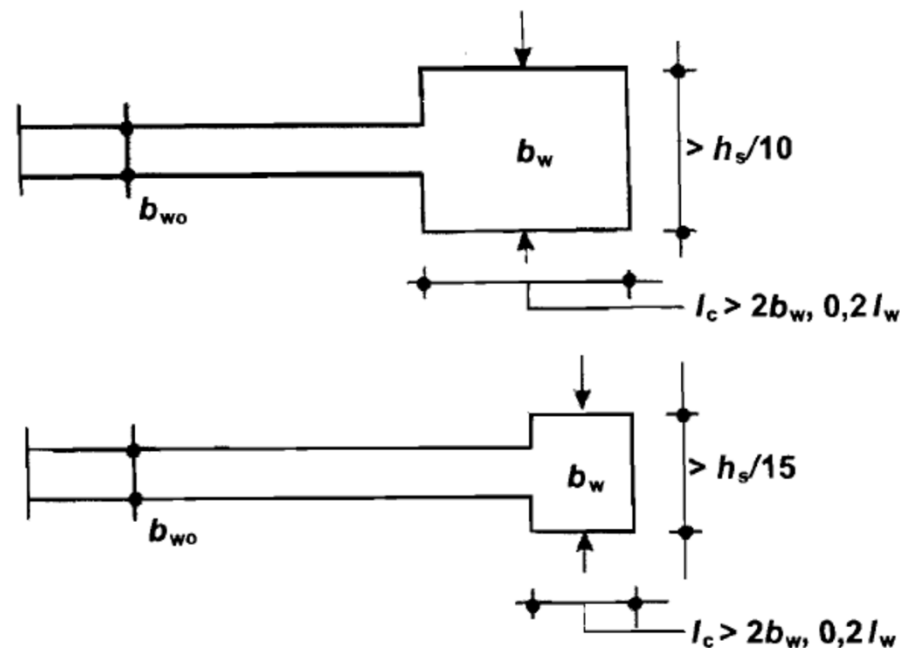


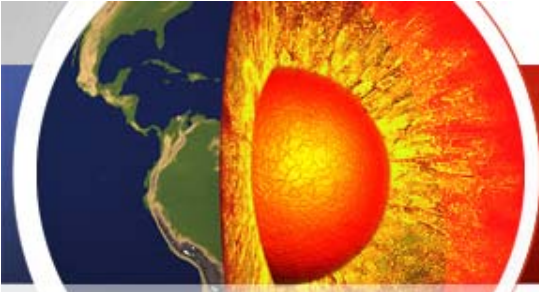
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### Duktilni zidovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

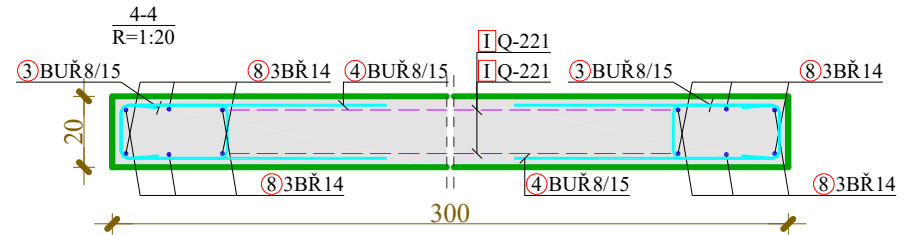
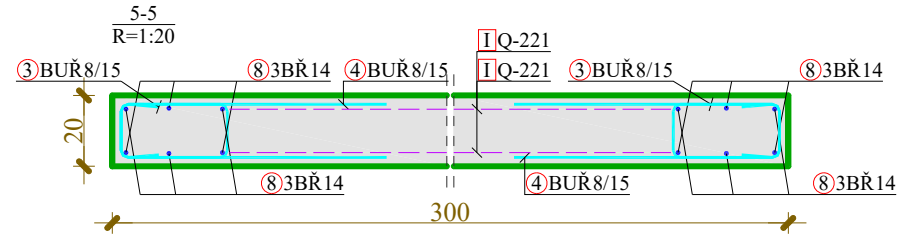
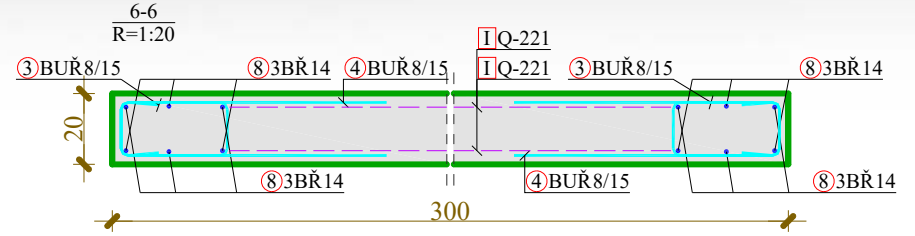
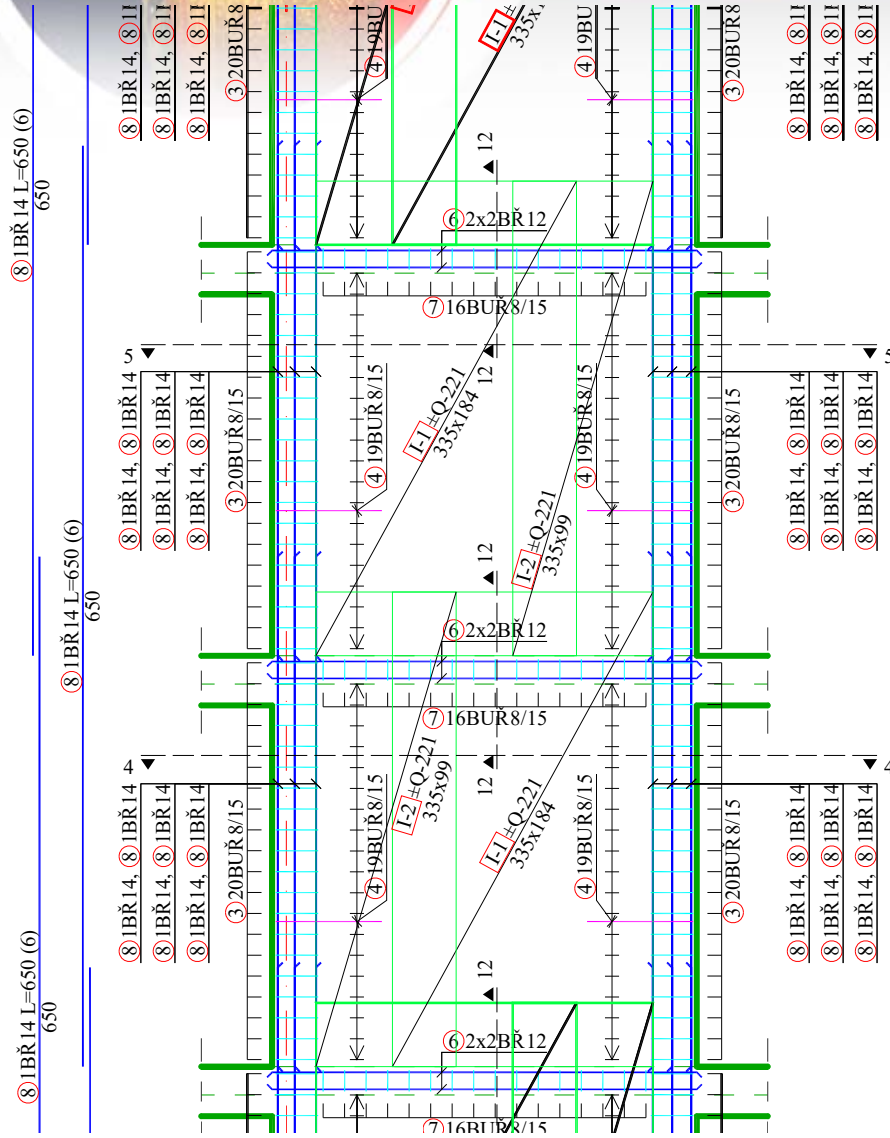
Koeficijent armiranja podužnom armaturom ivičnih elemenata ne treba biti manji od **0,005**.

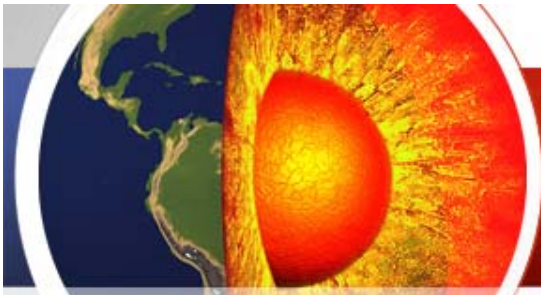
Minimalna debljina utegnutog dela preseka zida definisana je na slici:





# POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### **Veliki lako armirani zidovi – nosivost na savijanje:**

Da bi se sprečila pojava nestabilnosti van ravni zida, ograničavaju se normalni naponi u betonu.

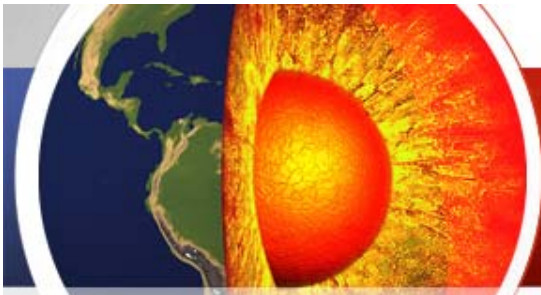
### **Veliki lako armirani zidovi – nosivost na smicanje:**

Proračun smičuće armature je u skladu sa EN 1992-1-1:2004.

### **Veliki lako armirani zidovi – oblikovanje detanja za lokalnu duktilnost:**

Vertikalne šipke potrebne za potvrdu graničnog stanja nosivosti za savijanje sa aksijalnom silom ili za zadovoljenje bilo koje odredbe za minimalnu armaturu, treba da se ubuhvate uzengijama ili poprečnim vezama prečnika ne manjeg od **6 mm** ili jedne trećine prečnika vertialne armature  $d_{bL}$ .

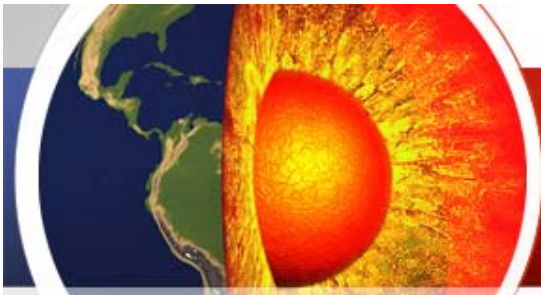




## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI M

### **Veliki lako armirani zidovi – oblikovanje detanja za lokalnu duktilnost:**

Vertikalne šipke potrebne za potvrdu graničnog stanja nosivosti za savijanje sa aksijalnom silom treba da se koncentrišu u ivičnim elementima na krajevima poprečnog preseka. Ovi elementi prostiru se u pravcu dužine zida sa dužinom ne manjom od  $b_w$  ili  $3b_w\sigma_{cm}/f_{cd}$ , pri čemu je  $\sigma_{cm}$  srednja vrednost napona u pritisnutoj zoni betona pri graničnoj nosivosti. Prečnik vertikalnih šipki ne treba da bude manji od **12 mm** u nižim etažama ili u bilo kojoj etaži gde se dužina zida u odnosu na donju etažu redukuje za više od jedne trećine visine etaže. U svim ostalim etažama prečnik vertikalnih šipki ne treba da bude manji od **10 mm**.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

**Biće prikazane razlike u odnosu na klasu duktilnosti M.**

### **Zahtevi za materijal:**

Ne dozvoljava se upotreba betona klase niže od *C16/20* u primarnim seizmičkim elementima. Osim za zatvorene uzengije ili poprečne veze u kritičnim područjima primarnih seizmičkih elemenata dozvoljava se upotreba samo armature od rebrastih šipki. U kritičnim oblastima primarnih seizmičkih elemenata koristi se čelik za armiranje klase *C*.

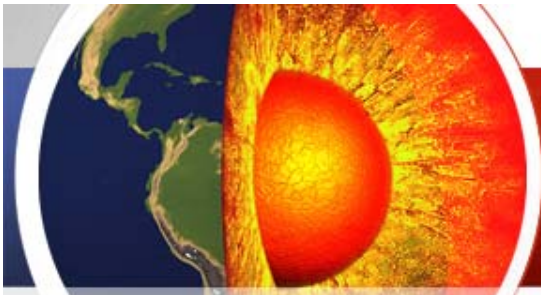
### **Geometrijska ograničenja:**

Minimalna širina greda ne sme biti manja od 200 mm.

Minimalna dimenzija poprečnog preseka primarnih seizmičkih stubova ne sme biti manja od 250 mm.

Nije dozvoljeno oslanjanje duktilnih zidova na ploče i grede.

Ostali zahtevi koji važe za klasu duktilnosti M važe i za klasu duktilnosti H.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

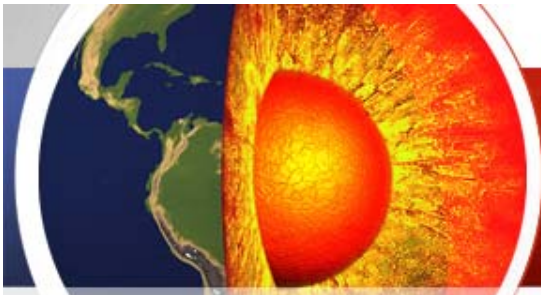
### **Grede – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:**

Kritična oblast primarne seizmičke grede smatra se dužina  $l_{cr} = 1,5h_w$  ( $h_w$  – visina grede). (Za klasu duktilnosti M je  $l_{cr} = h_w$ )

Da bi se zadovoljili uslovi duktilnosti, duž cele primarne seizmičke grede potrebno je postaviti u gornjoj i donjoj zoni najmanje dve šipke sa velikom prionljivošću prečnika 14 mm, kao i jednu četvrtinu maksimalne gornje armature na osloncima voditi po celoj dužini grede.

Unutar kritične oblasti primarnih seizmičkih greda prečnik uzengije ne sme biti manji od 6 mm i razmak između uzengija ne sme biti veći od:

$$s = \min\{h_w/4; 24d_{bw}; 175; 6d_{bl}\}$$



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

### **Stubovi – nosivost:**

U primarnim seizmičkim stubovima vrednost normalizovane aksijalne sile  $v_d$  ne sme biti veća od **0,55**. (Za klasu duktilnosti M je granica 0,65)

### **Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:**

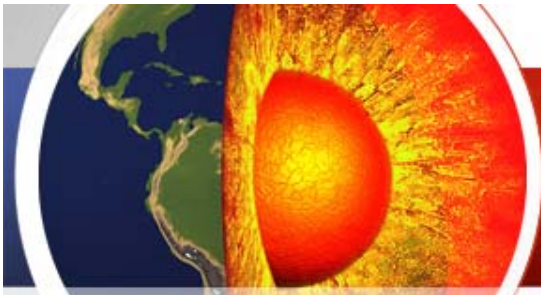
Dužina kritične oblasti se računa prema izrazu:

$$l_{cr} = \max\{1,5h_c; l_{cl}/6; 0,60\}$$

$h_c$  – veća dimenzija stuba;

$l_{cl}$  - čista dužina stuba

Minimalna vrednost  $\omega_{wd}$  od 0,12 mora biti obezbeđena u kritičnim oblastima u bazu stuba ili 0,08 u svim kritičnim oblastima iznad osnove.



## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

### Stubovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Razmak uzengija  $s$  nije veći od:

$$s = \min\{b_o/3; 125; 6d_{bL}\}$$

$b_o$  – najmanja dimenzija (u mm) betonskog jezgra (do unutrašnjosti uzengija)

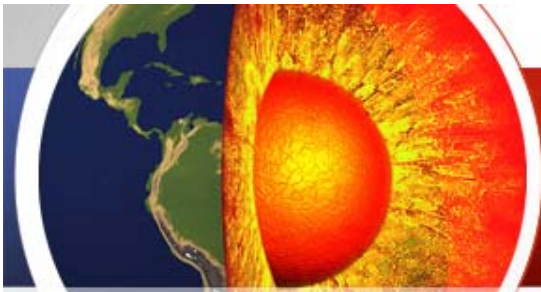
$d_{bL}$  – najmanji prečnik podužnih šipki (u mm).

Prečnik  $d_{bw}$  uzengija je najmanje jednak:

$$d_{bw} \geq 0,40 \cdot d_{bL,max} \cdot \sqrt{f_{ydL}/f_{ydw}}$$

Rastojanje između dve susedne podužne šipke, pridržane uzengijama ili poprečnim vezama ne prelazi 150 mm.





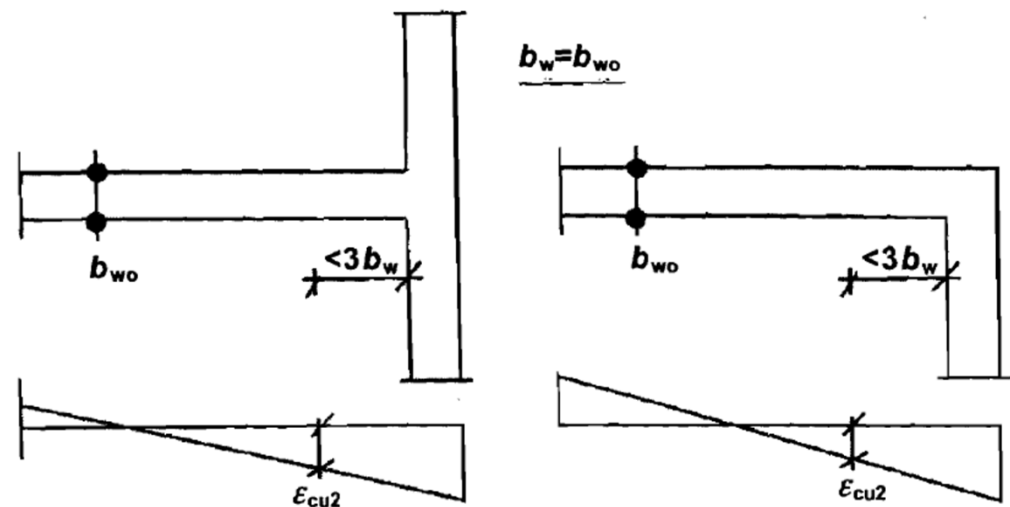
## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

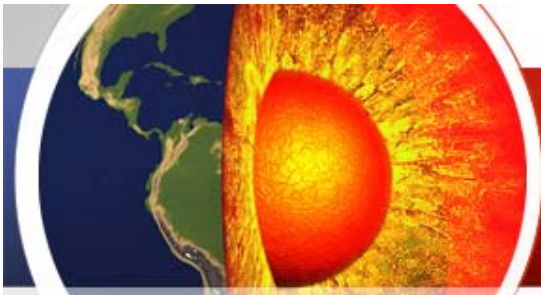
### Duktilni zidovi – nosivost na savijanje i smicanje:

U primarnim seizmičkim zidovima vrednost normalizovane aksijalnog opterećenja  $v_d$  ne treba da je veća od  $0,35$ .

### Duktilni zidovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Ako je zid povezan sa flanšom debljine  $b_f \geq h_s/15$  i širine  $l_f \geq h_s/5$  i ako se utegnuti ivični elemenat mora proširiti van flanše u rebro za dodatnu dužinu  $3b_{wo}$ . tada se debljina  $b_w$  ivičnih elemenata u rebro uzima prema uslovu minimalne debljine kao za klasu duktilnosti M.





## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

### Duktilni zidovi – oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost:

Za ivične elemente zidova minimalna vrednost mehaničkog zapreminskog koeficijenta armature za utezanje  $\omega_{wd}$  je 0,12.

Da bi se sprečile prevremene prsline usled smicanja, mora se obezbediti minimalna količina armature u rebro  $\rho_{h,min} = \rho_{v,min} = 0,002$ .

Armatura rebra treba da se formira sa dve ortogonalne mreže šipki sa istim karakteristikama prijanjanja i to na oba lica zida. Mreže treba da su povezane poprečnim vezama na rastojanju od oko 500 mm.

Armatura rebra ne treba da je prečnika manjeg od 8 mm, ali ne većeg od jedne osmine širine rebra. Rastojanje ne sme biti veće od 250 mm ili 25 prečnika šipke.

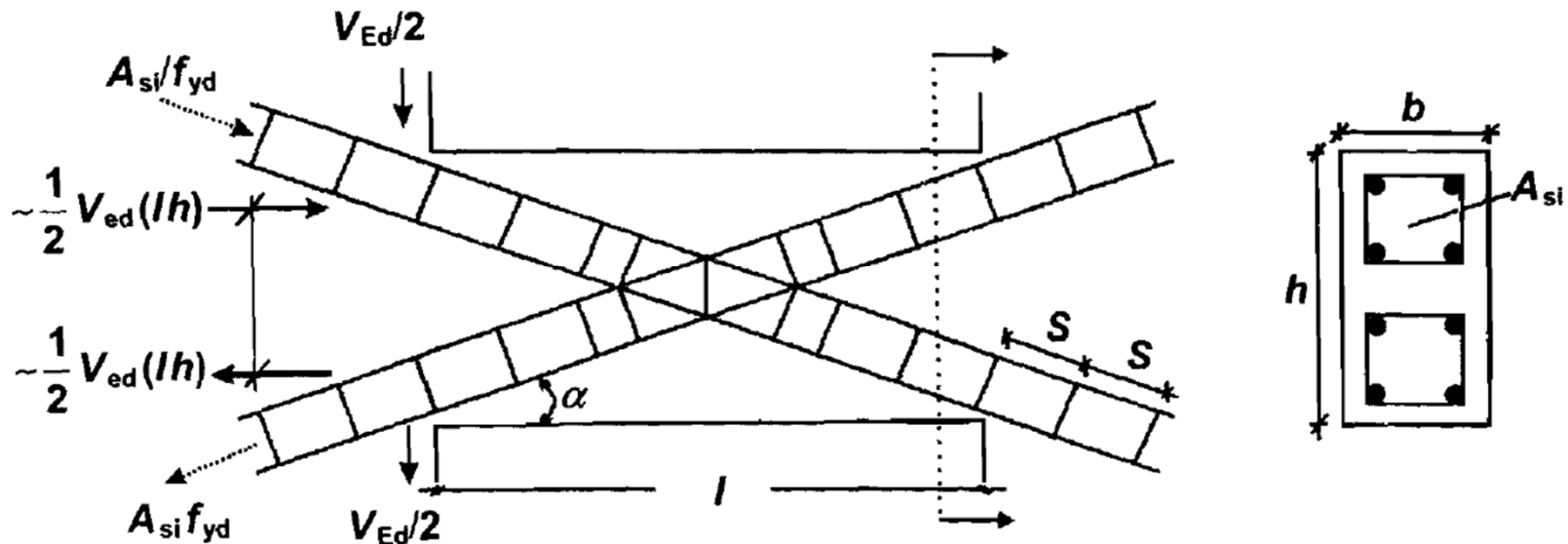
Na mestima prekida betoniranja propisuje se minimalna količina dobro usidrene armature.

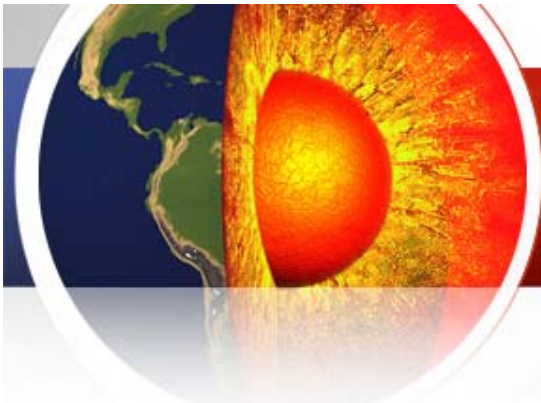


## POSEBNA PRAVILA ZA BETONSKE ZGRADE PROJEKTOVANJE ZA KLASU DUKTILNOSTI H

### Vezni elementi povezanih zidova:

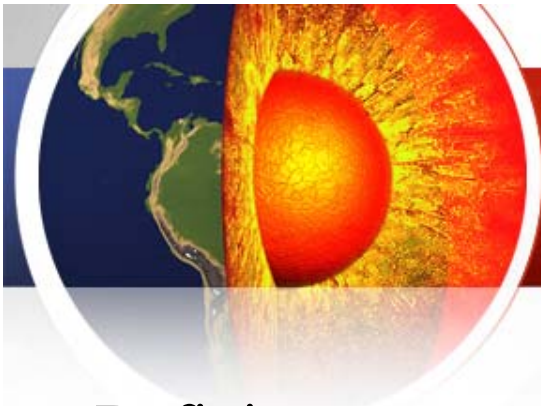
Ukoliko je verovatnoća pojave prslina u oba dijagonalna pravca velika, tj. ako je  $V_{ed} \geq f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$ , ili ukoliko je dominantan oblik loma smicanjem, tj.  $l/h \leq 3$ , nosivost na seizmička dejstva treba obezbediti dijagonalnom armaturom u oba pravca.





## ZAKLJUČAK

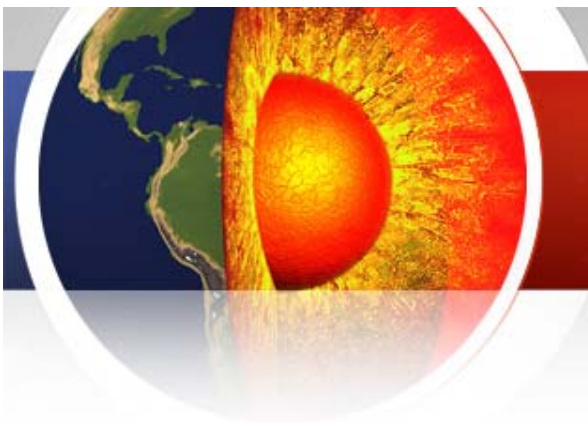
- Definisan je koncept projektovanja kako bi se obezbedilo duktilno ponašanje konstrukcije;
- Betonske zgrade se klasifikuju u dve klase duktilnosti: **DCM** (srednja duktilnost) i **DCH** (visoka duktilnost);
- Definisani su tipovi konstrukcijskih sistema i u zavisnosti od tipa konstrukcijskog sistema definisani su faktori ponašanja  $q$  kojima se redukuje elastični spektar odgovora da bi se odredio projektni spektar odgovora;
- Definisani su kriterijumi za projektovanje koji obuhvataju pravila projektovanja prema programiranom ponašanju, uslove lokalne duktilnosti, konstrukcijsku rezervu itd.;



## ZAKLJUČAK

- Definisana su pravila za projektovanje za klasu duktilnosti DCM koja obuhvataju zahteve za materijal, geometrijska ograničenja, nosivost i oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost;
- Definisana su pravila za projektovanje za klasu duktilnosti DCH, pri čemu su prikazane razlike u odnosu na pravila za projektovanje za klasu duktilnosti DCM;
- Odredbe za sidrenje i nastavljavanje armature, proračun i oblikovanje sekundarnih seizmičkih elemenata, pravila za temelje, lokale efekte usled zidane ili betonkse ispune i montažne betonske konstrukcije nisu prikazane, već se čitalac upućuje na standard EN 1998-1:2004.





HVALA NA PAŽNJI

