

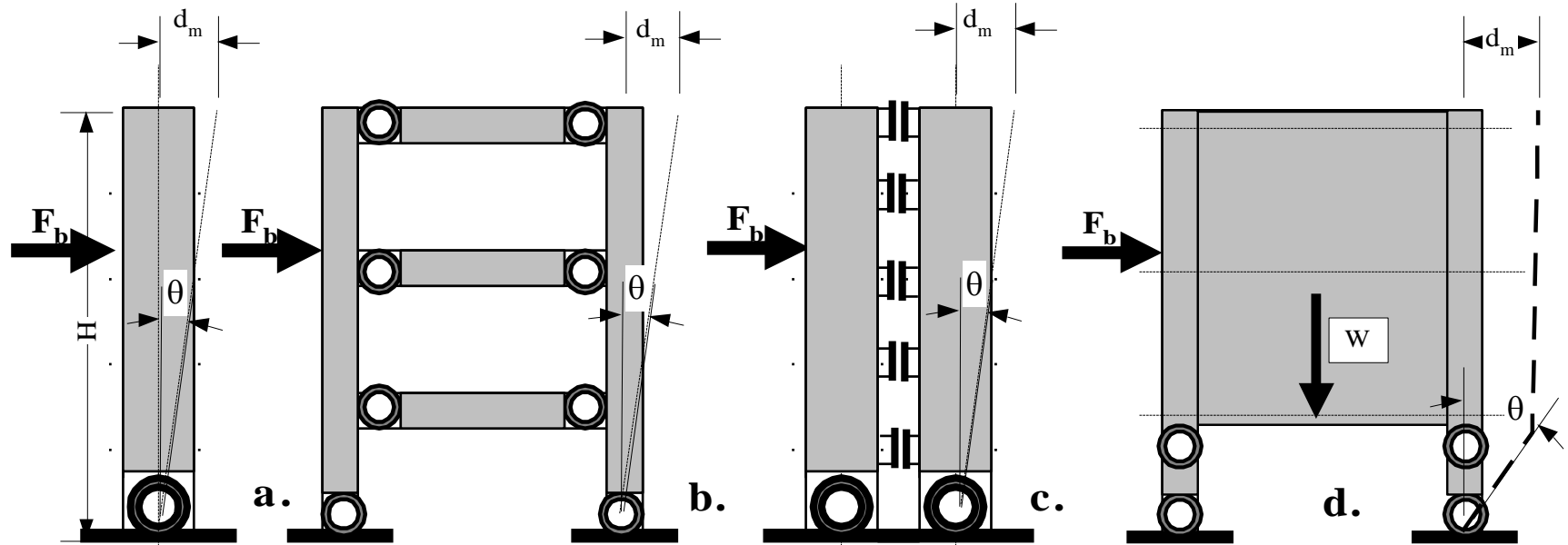
PROJEKTOVANJE I GRAĐENJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA 2

7

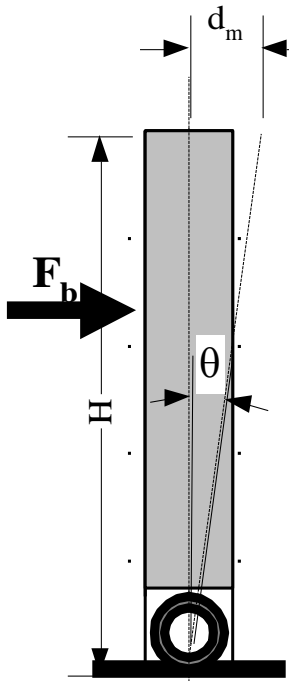
V.prof. dr Branko Milosavljević, dipl.građ.inž.



Plastični mehanizmi sistema sa više stepeni slobode

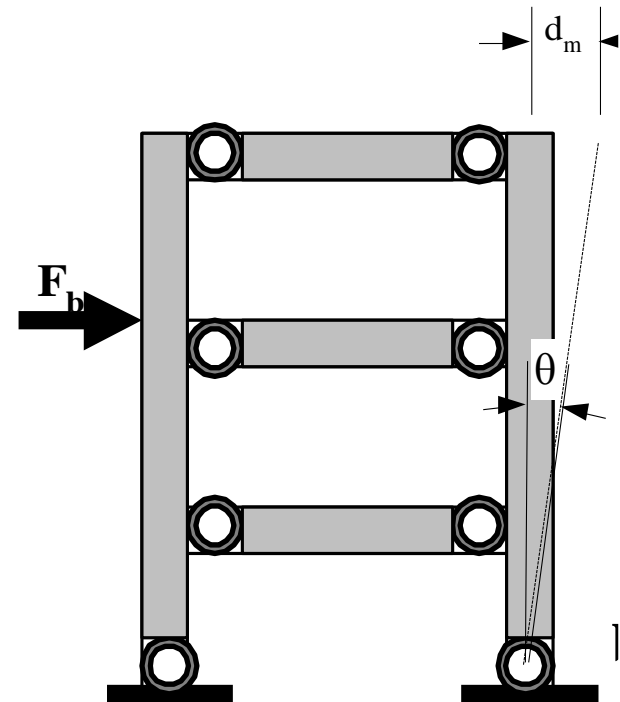


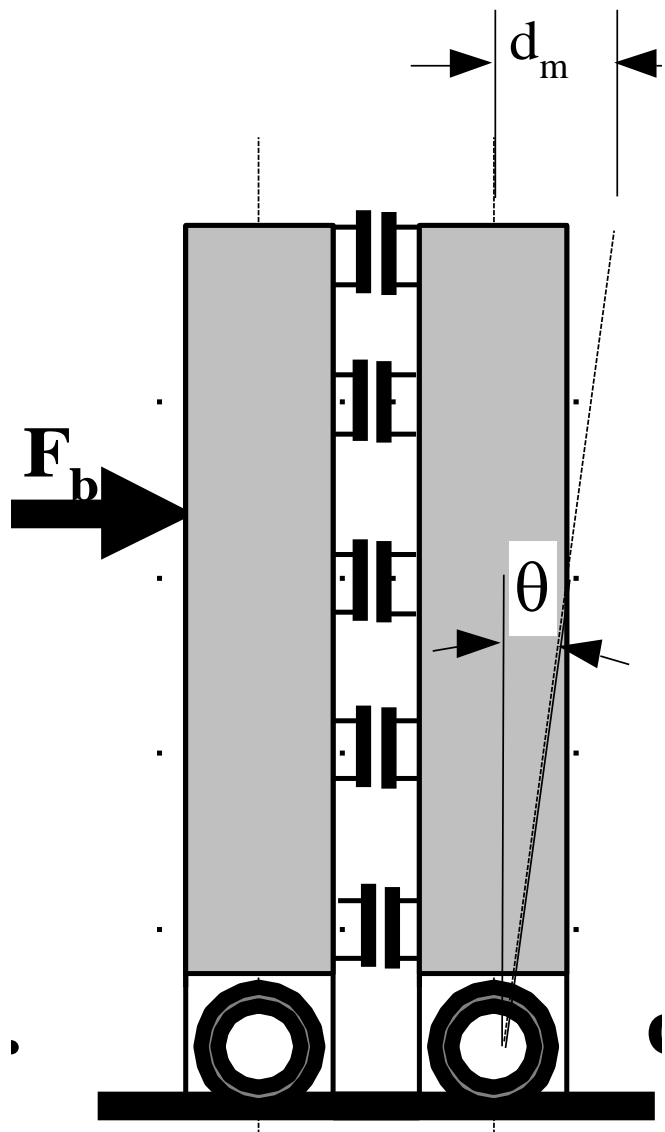
Da bi se ograničilo ukupno seizmičko opterećenje F_b složenijih konstrukcija, neophodno je da se formira *elasto-plastični mehanizam* konstrukcije.



Kod *sistema zidova* koji deluju kao konzole, mehanizam se formira u nivou uklještenja *svih zidova* – konzola
 $\theta = d_m / H$ - ugao rotacije mehanizma

Kod *sistema okvira*, poželjno je da se plastični zglobovi formiraju na *krajevima greda* i u *uklještenju stubova*

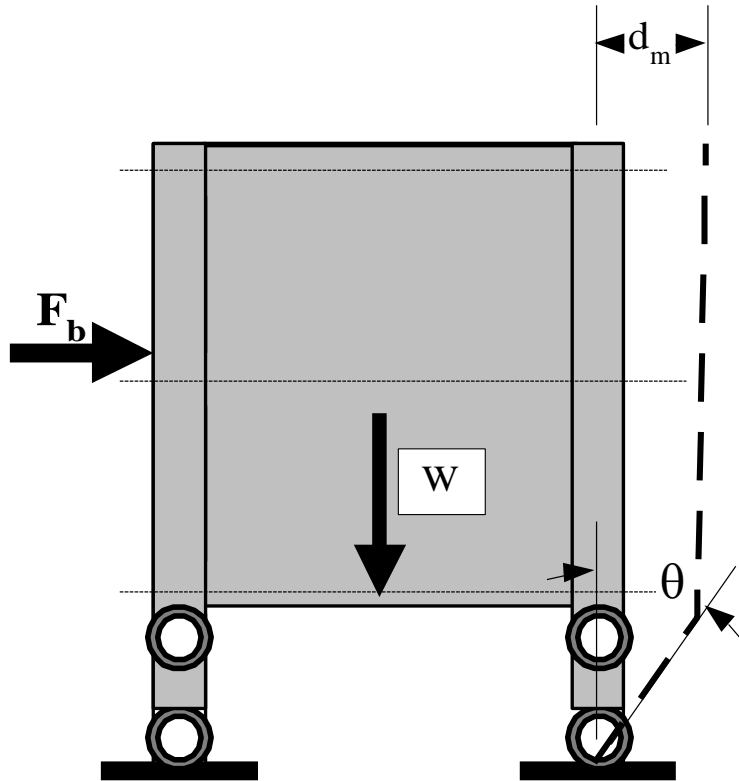




Kod sistema *povezanih zidova*, sa prečkama - *veznim gredama*, osim u uklještenju samih zidova, plastični zglobovi treba da se otvore i u veznim gredama:

– na oba kraja vezne grede (veća dužina, manja visina, savijanje i smicanje)

– *transverzalni plastični zglob* (kratke prečke veće visine, dominantno smicanje)



Kod konstrukcija sa "mekim" ili ***fleksibilnim prizemljem*** iznos prinudnog pomeranja d_m pri zemljotresu ostvaruje se dominantno deformacijama prizemlja.

Rotacija mehanizma θ je znatno veća, pa su i deformacije krajeva stubova, zahtevi za duktilnošću znatno povećani.

Konstrukcija je osetljiva i na efekte drugoga reda.

Kod ovih sistema se ne dozvoljava značajnija redukcija seizmičkog opterećenja, ili se zabranjuju propisima.

“Programirano ponašanje” - obezbeđenje pouzdanosti željenog mehanizma konstrukcije

Koncept snižavanja seizmičkog opterećenja formiranjem plastičnog mehanizma limitirane nosivosti podrazumeva da je projektant prethodno odabrao mesta formiranja plastičnih zglobova.

U konstrukciji postoje oblasti plastičnih zglobova i oblasti "elastičnog ponašanja",

Plastični zglobovi su oblasti sa kontrolisanim ponašanjem, projektovani na željeni nivo *momenata savijanja*, uz obezbeđenje zahtevane duktilnosti ("osigurači" , "najslabiji" delovi)

“Programirano ponašanje” - obezbeđenje pouzdanosti željenog mehanizma konstrukcije

Potrebno je obezbediti:

- da se plastični zglobovi formiraju u željenim presecima, a ne nekim drugim, nekontrolisano,
- da ostali, na zglobove *priključeni delovi konstrukcije*, od kojih se očekuje da se ponašaju elastično, mogu da izdrže najveće uticaje koji se mogu javiti u plastičnim zglobovima pri *pomeranjima usled zemljotresa*.

“Programirano ponašanje” - obezbeđenje pouzdanosti željenog mehanizma konstrukcije

Ne znajući za namere projektanta", prinudna pomeranja konstrukcije i rotacije preseka usled zemljotresa vrlo verovatno će u plastičnim zglobovima izazvati momente jednake *kapacitetu nosivosti preseka* na savijanje, a oni mogu značajno da se razlikuje od *proračunskih momenata nosivosti*.

"

Da bi se priključeni delovi konstrukcije ponašali elastično, očigledno da moraju biti dimenzionisani na realni *kapacitet nosivosti plastičnih zglobova* pri datim pomeranjima. Pri tome, potrebno je obezbediti da se plastični mehanizam formira upravo rotacijama zglobova, a ne nekim drugim, *nepoželjnim formama mehanizma*

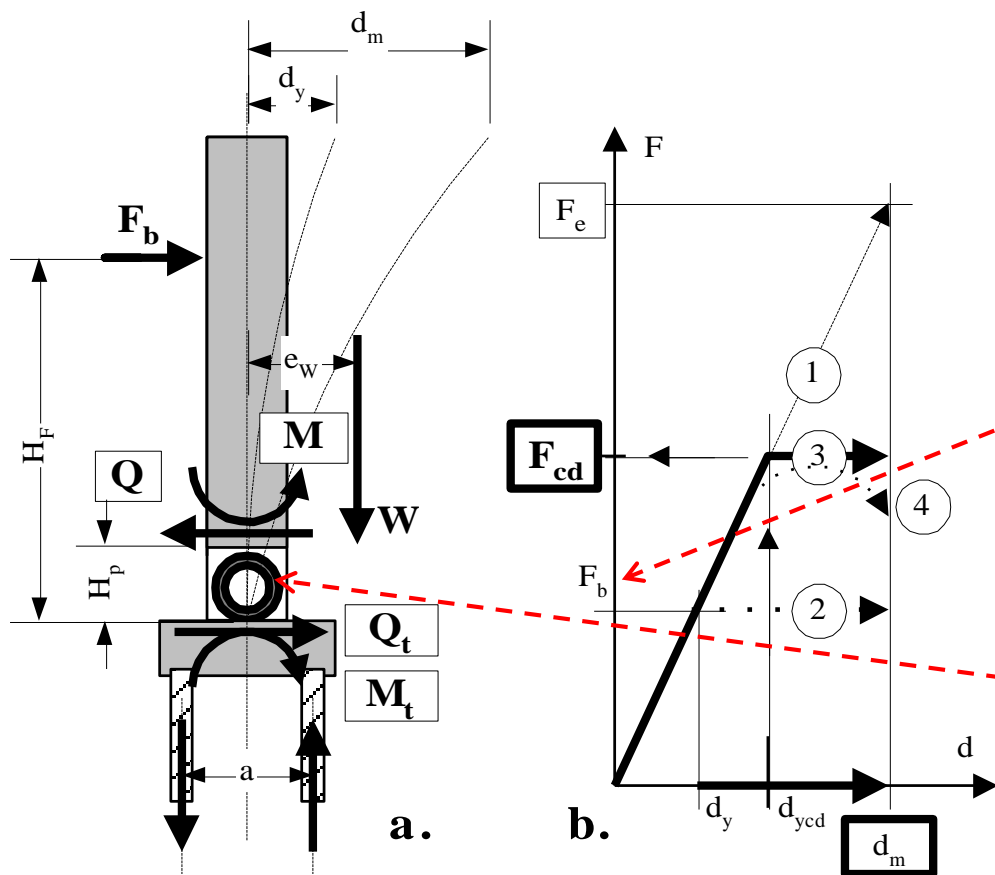
“Programirano ponašanje” - obezbeđenje pouzdanosti željenog mehanizma konstrukcije

Obezbeđenje ostatka konstrukcije od preopterećenja usled pobuđivanja realne nosivosti plastičnih zglobova naziva se *konceptom programiranog ponašanja (capacity design)*.

“

Na projektantu je da obezbedi *hijerarhiju nosivosti konstrukcije, da "kaže konstrukciji kako će da se ponaša pri zemljotresu"*.

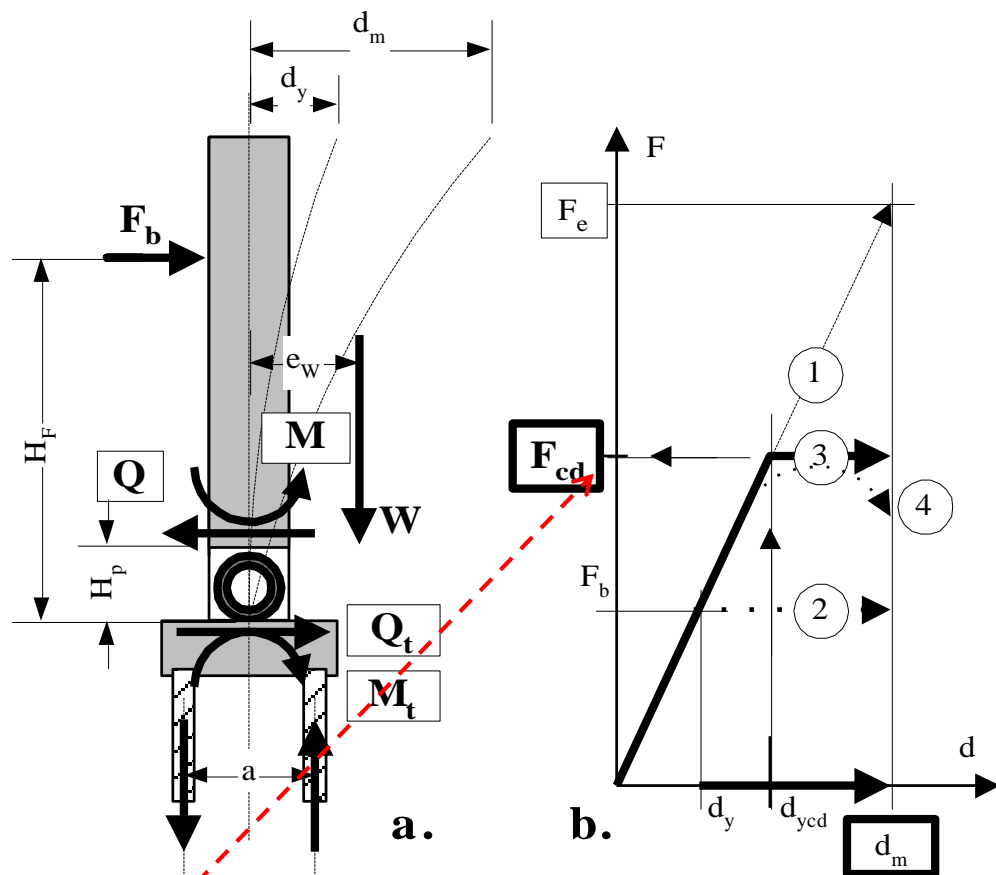
“Programirano ponašanje” – primer AB zida



Za proračunsko seizmičko opterećenje konzolnog zida usvojena je ukupna seizmička sila $F_b (=F_e/R)$. Presek u uklještenju - plastični zglob dimenzionisan je na moment savijanja $M=F_b H_F$ i transverzalnu silu $Q=F_b$.

Odgovor elastične konstrukcije prikazan je linijom 1, a očekivani, proračunski odgovor konstrukcije na dijagramu sila-pomeranje prikazan je linijom 2.

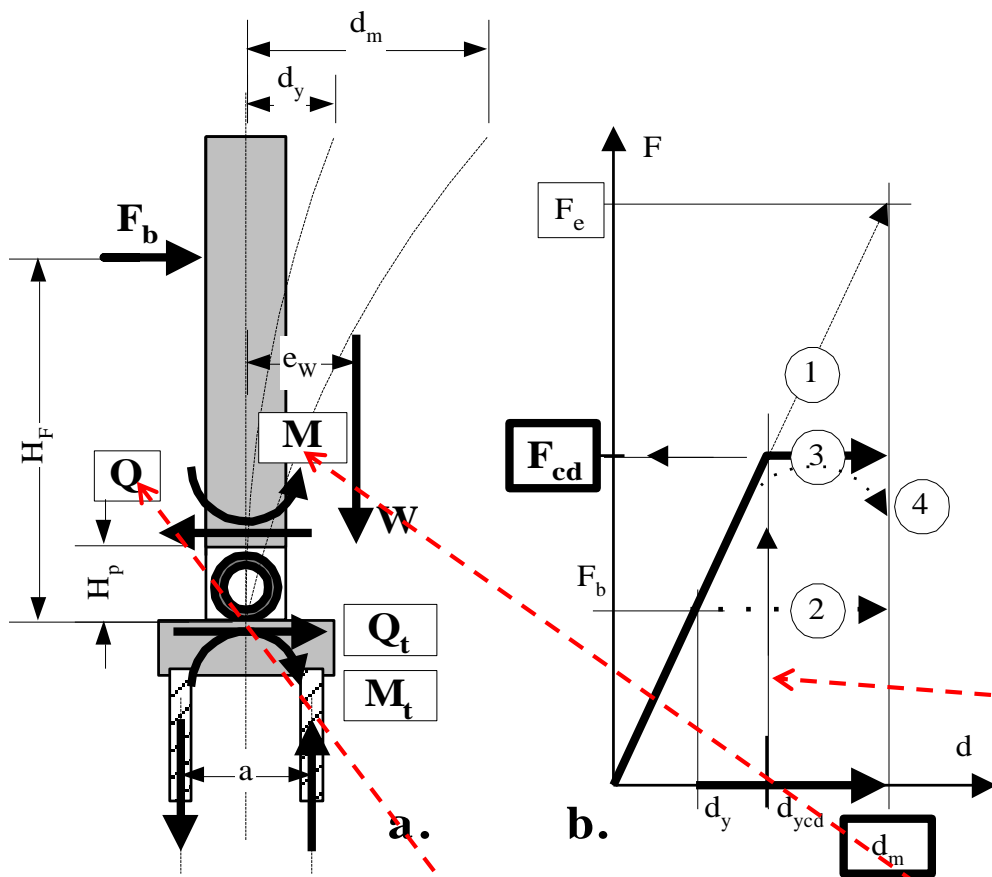
“Programirano ponašanje” – primer AB zida



Uz pretpostavku da je stvarno pomeranje pri zemljotresu jednako računskom pomeranju d_m elastične konstrukcije, u plastičnom zglobu će se indukovati moment savijanja $M_u = \alpha M > M$, zavisno od realne količine ugrađene armature i njenih karakteristika.

U tom slučaju promeniće se i *ukupno seizmičko opterećenje*, $F_{cd} = M_u / H_F = \alpha M / H_F$. Realan odgovor konstrukcije prikazan je linijom 3.

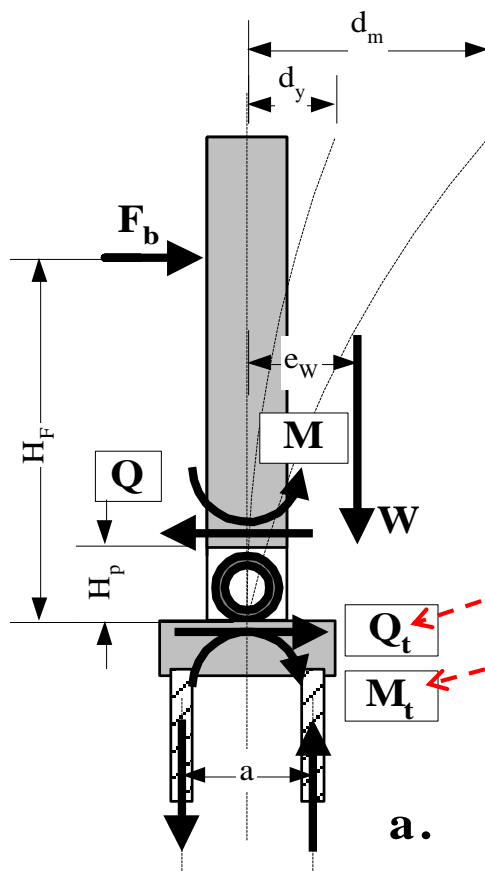
“Programirano ponašanje” – primer AB zida



Za ponašanje objekta u celini, realno veća nosivost plastičnog zgloba čak je i povoljna, jer će nelinearne deformacije nastupiti kasnije, pri pomeranju d_{ycd} , oštećenja će biti manja.

Međutim, oblast plastičnog zgloba treba obezbediti na realnu transverzalnu silu $Q = F_{cd}$, a viši deo konstrukcije i na realni moment αM .

“Programirano ponašanje” – primer AB zida



Pri zemljotresu, od temelja se očekuje da se ponašaju elastično, ako nije drugačije pretpostavljeno u analizi. Pri realnim uticajima u plastičnom zglobu, potrebno je i temelj i šipove sračunati na uticaje

$$Q_t = F_{cd} \text{ i } M_t = \alpha M.$$

U AB konstrukcijama, pri zemljotresu višak armature ne mora da bude na strani sigurnosti, jer je opterećenje tipa "prinudne deformacije"!

“Programirano ponašanje” – temelji

Uticaji na temelje treba da budu određeni prema “capacity design” uz rezervu nosivosti (\leq od elastičnih sila, bez redukcije) – EC8:

$$E_{F,d} = E_{F,G} + \gamma_{R,d} \Omega E_{F,E}$$

$\gamma_{R,d}$ – faktor rezerve nosivosti (1.0 – 1.2 u zavisnosti od q)

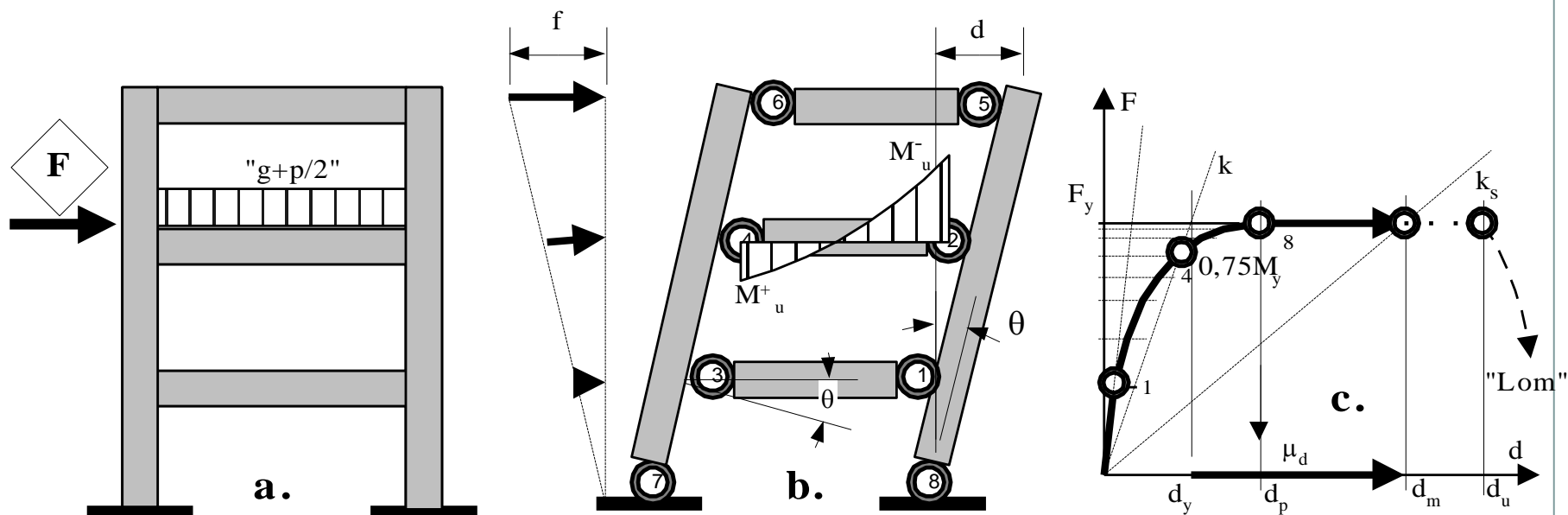
$E_{F,G}$ – uticaj od vertikalnog (neseizmičkog) opterećenja

$E_{F,E}$ – uticaj iz analize za seizmičku pror. situaciju

$\Omega = \min M_{R,d}/M_{E,d}$ priključenih savijenih zidova ili stubova

Za zajedničke temelje više od jednog elementa (temeljne ploče, trake ili grede) $\Omega = 1.0$ uz $\gamma_{R,d} = 1.4$

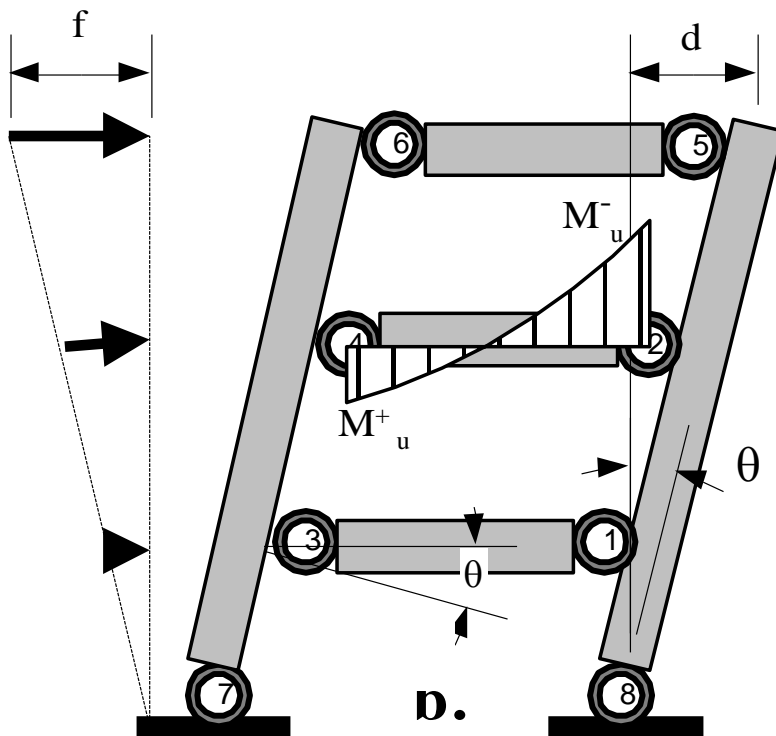
Određivanje nosivosti konstrukcije na horizontalna opterećenja, toka i kapaciteta deformacija konstrukcije koja je prethodno dimenzionisana, i čiji su detalji poznati



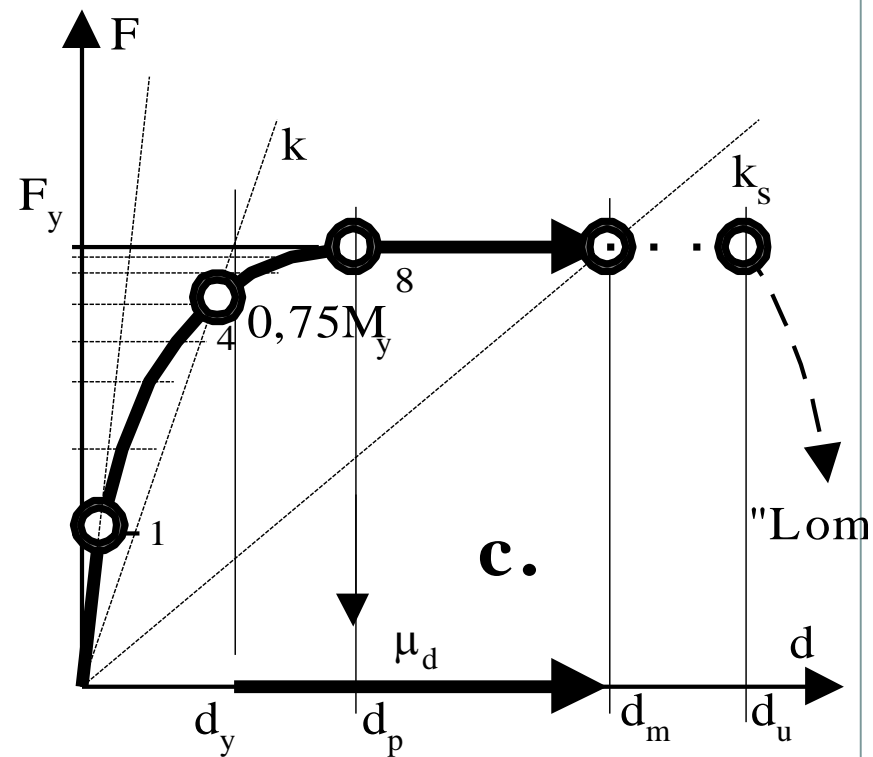
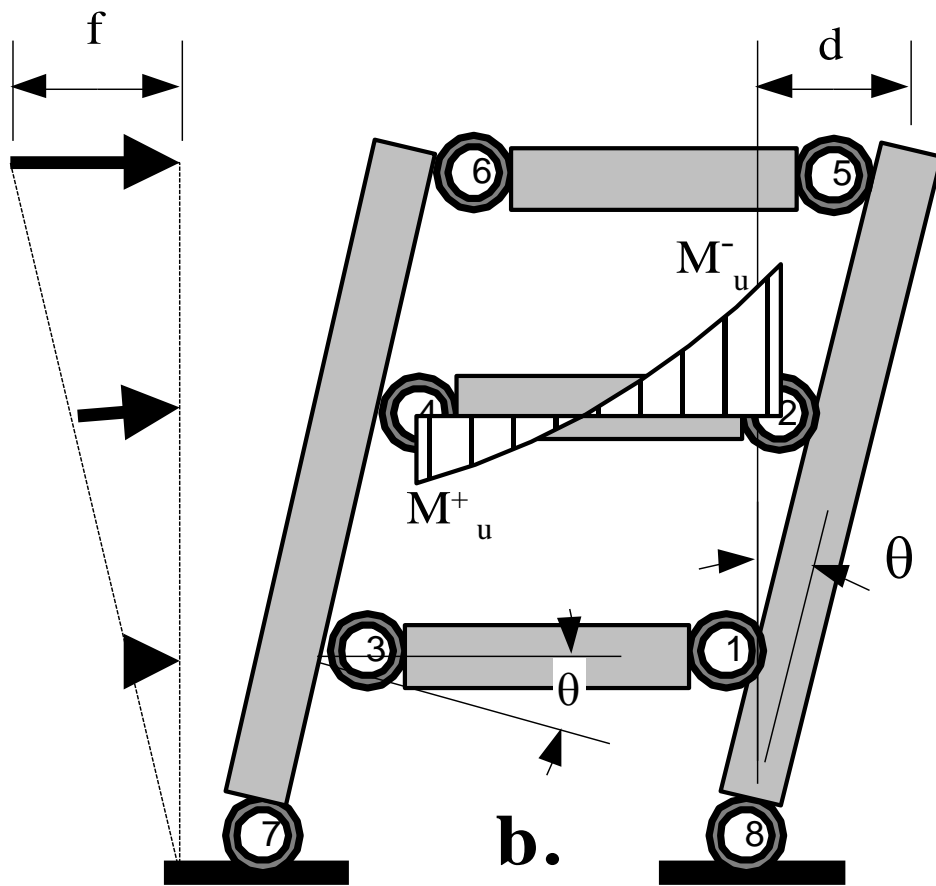
Ako nije unapred jasno koji mehanizam ima *najnižu nosivost*, potrebno je ispitati sve *potencijalno opasne mehanizme*, jer su velike šanse da zemljotres aktivira upravo najslabiji.

“Pushover analiza”

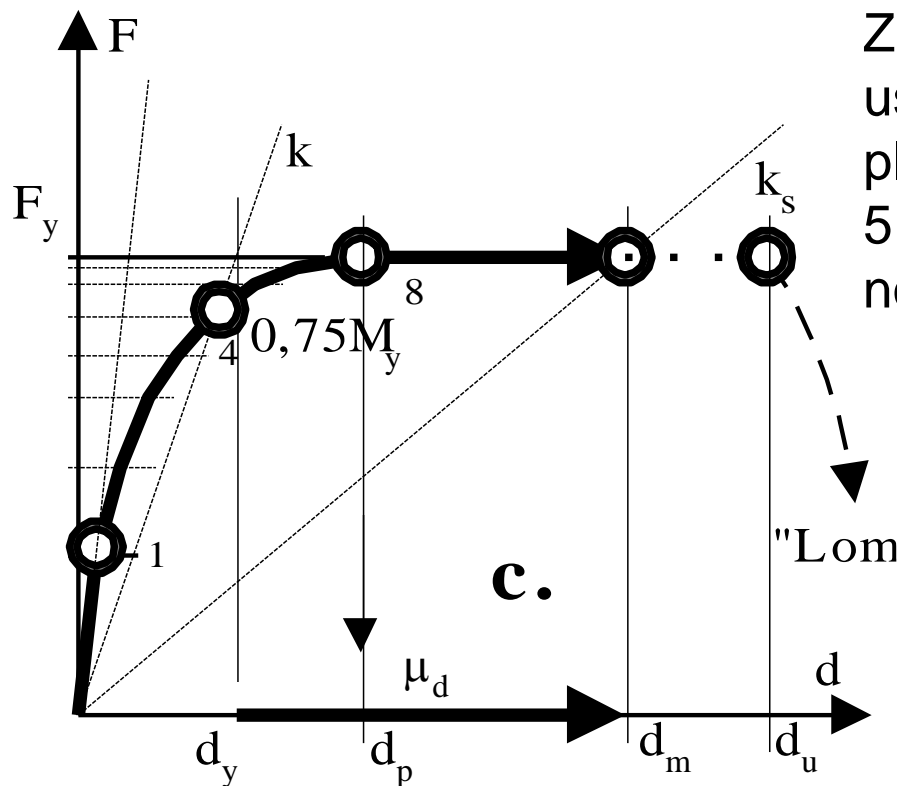
Uz pretpostavku da seizmičko opterećenje F ima u svim fazama isti oblik raspodele po visini, konstrukcija se "horizontalno gura" postepeno povećavajući nivo ukupnog opterećenja F - tzv. "pushover analiza".



Kada u nekom od preseka prognoziranih plastičnih zglobova vrednost momenta savijanja dostigne kapacitet nosivosti, kruta veza elemenata zamenjuje se umetanjem "plastičnog zgloba" sa parom momenata savijanja na priključenim elementima.



U toku analize prati se razvoj formiranja mehanizma, redosled otvaranja zglobova, označenih 1-8



Za definisanje početne krutosti k usvaja se trenutak otvaranja prvog plastičnog zgloba, tačka 1 na slici 5.10.c, ili karakteristična tačka pri 75% nosivosti konstrukcije.

Sa porastom opterećenja, konstrukcija se "para", do formiranja kompletnog mehanizma pri pomeranju d_p i opterećenju, kapacitetu nosivosti F_y

Najranije otvoreni plastični zglobovi imaju i najveće post-elastične deformacije, pa i najveće zahteve za obezbeđenjem potrebne duktilnosti,

Na nivou konstrukcije u celini može govoriti o "prosečnoj potrebnoj duktilnosti" μ_d

Nosivost mehanizma F_y i vrednost očekivanog pomeranja d_m pri zemljotresu definišu *efektivnu sekantnu krutost* k_s .

Projektovano ponašanje elemenata ramovskih konstrukcija

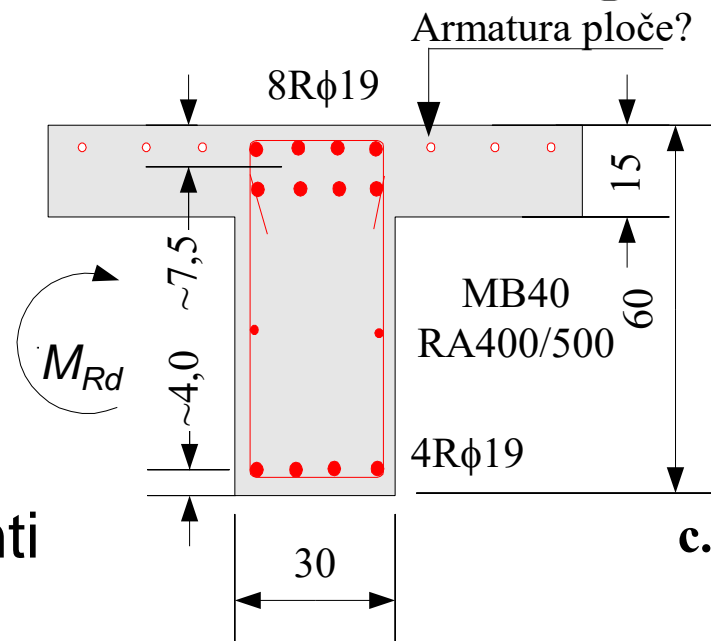
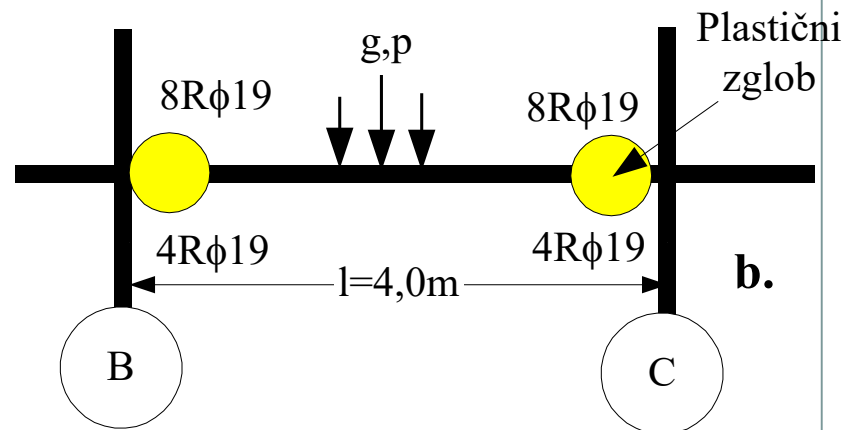
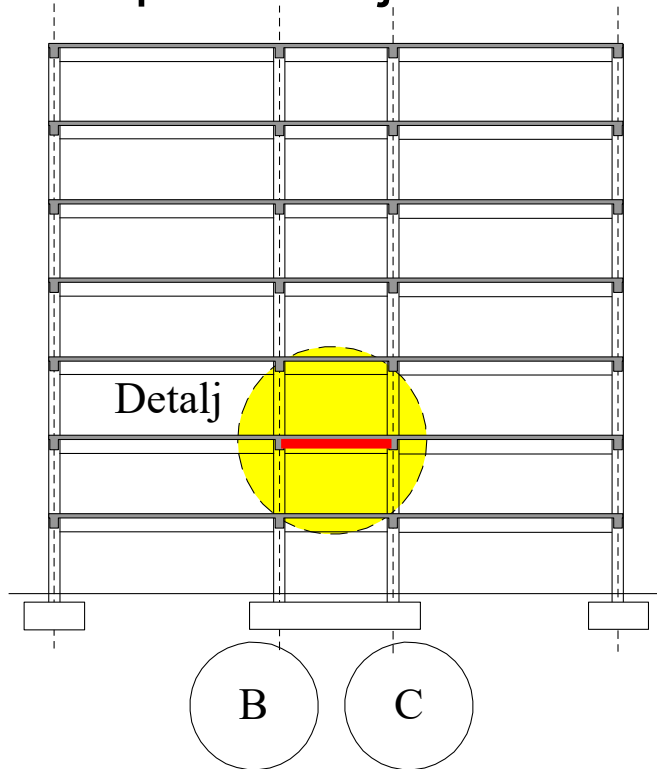
Grede

Konstruisanje armature obuhvata tri nivoa:

- a) dimenzionisanje potrebne armature prethodno lociranih plastičnih zglobova, prema proračunskim momentima dobijenim analizom
- b) usvajanje podužne armature oblasti plastičnih zglobova - „kritičnih oblasti“ prema EC8
- c) osiguranje od „krtog loma“ (transverzalne sile) ostatka grede za situaciju dostizanja *realnog kapaciteta nosivosti plastičnih zglobova* pri pomeranjima usled zemljotresa

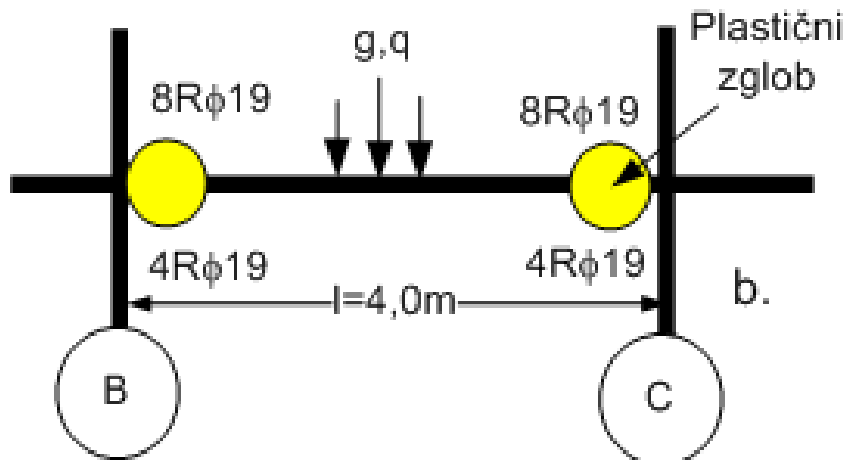
Projektovano ponašanje elemenata ramovskih konstrukcija

Grede



Pri pomernijima i rotacijama preseka u toku zemljotresa, za očekivati je da se na krajevima greda pojave momenti jednaki realnoj nosivosti preseka plastičnih zglobova $M_{Rd,B}$ i $M_{Rd,C}$

Projektovano ponašanje elemenata ramovskih konstrukcija Grede



Slučaj a – dejstvo na desno (,d)

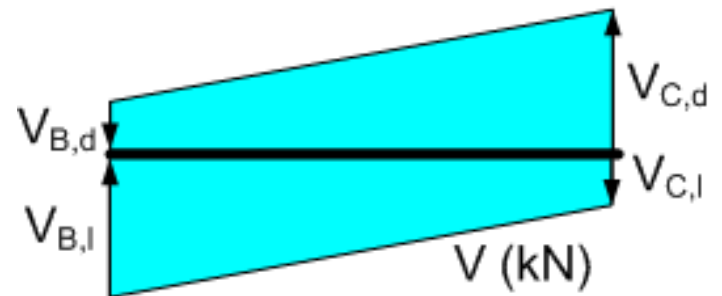
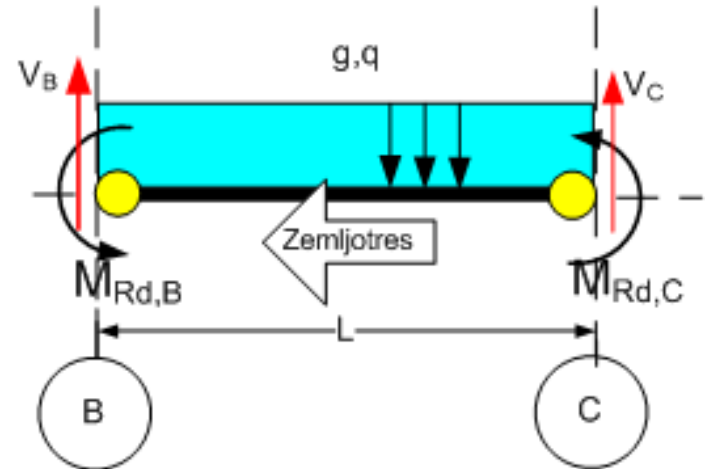
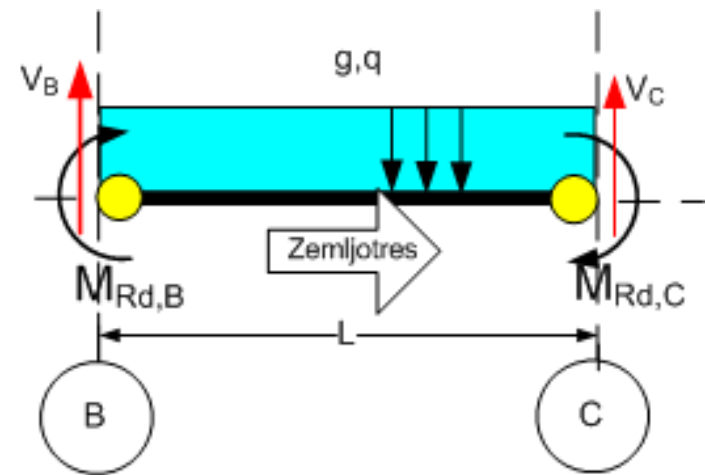
$$V_{B,d} = V_{Ed,(g+q),B} - (M_{Rd,B} + M_{Rd,C})/L$$

$$V_{C,d} = V_{Ed,(g+q),C} + (M_{Rd,B} + M_{Rd,C})/L$$

Slučaj b – dejstvo na levo (,l)

$$V_{B,l} = V_{Ed,(g+q),B} + (M_{Rd,B} + M_{Rd,C})/L$$

$$V_{C,l} = V_{Ed,(g+q),C} - (M_{Rd,B} + M_{Rd,C})/L$$



Projektovano ponašanje elemenata ramovskih konstrukcija

Stubovi

Usled gravitacionog opterećenja, unutrašnji stubovi okvira obično imaju zanemarljive momente savijanja.

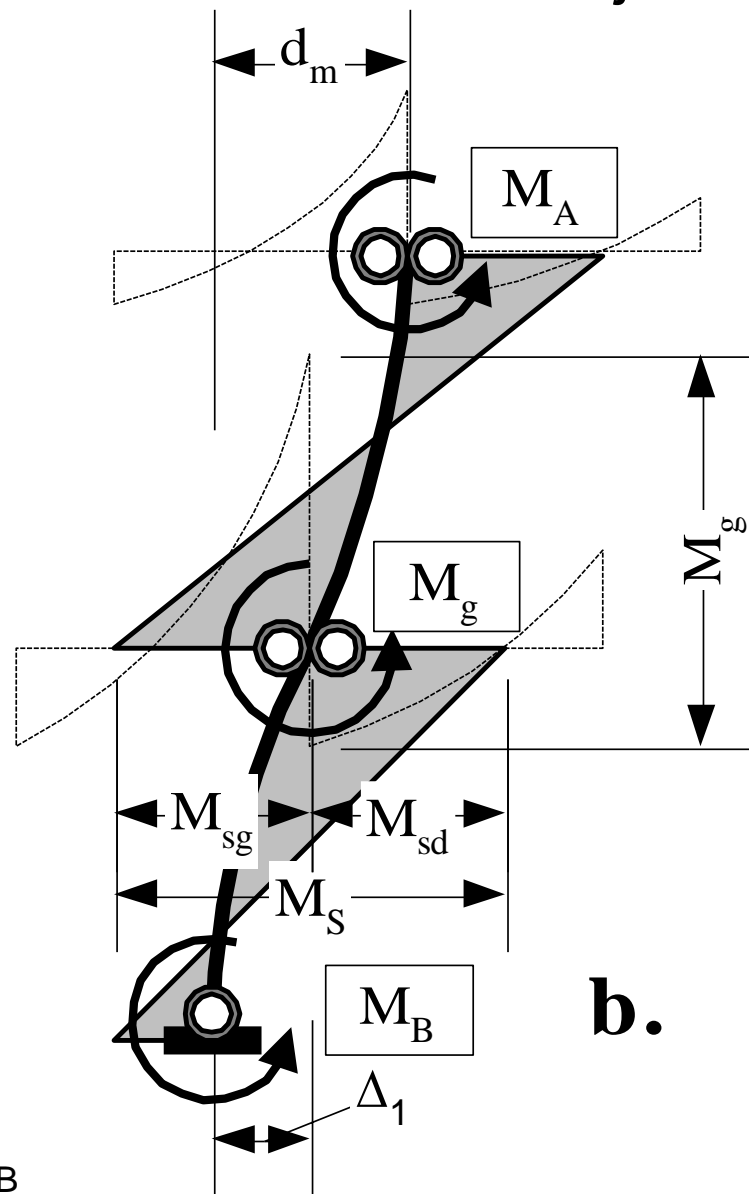
Pri pomeranjima d_m usled zemljotresa i dostizanju *kapaciteta nosivosti plastičnih zglobova priključenih greda* u čvoru okvira, M_A i M_g

Zahtev (EC8)

$$M_s = M_{sg} + M_{sd} > 1.3 M_g$$

$$M_g = M_{Rd,g,l} + M_{Rd,g,d}$$

Stubovi "participiraju" samo jednim plastičnim zglobom, u uklještenju stuba M_B



Projektovano ponašanje elemenata ramovskih konstrukcija

Iskustva zemljotresa - kolaps konstrukcije može da nastupi i u

čvorovima okvira.

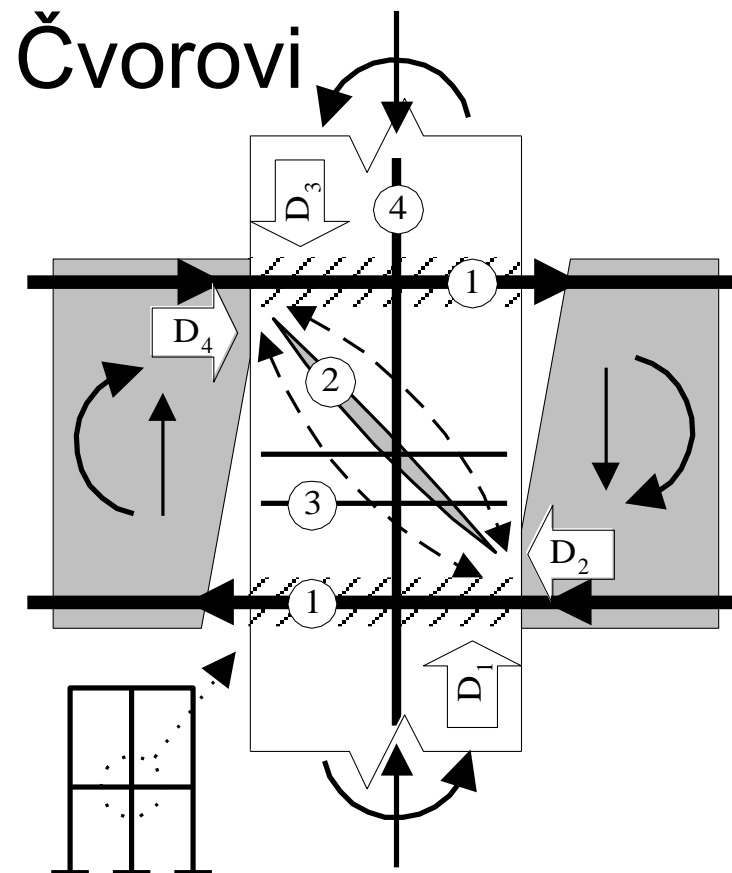
Momenti greda su suprotnog znaka – armatura je “vučena” kroz čvor (1).

Ograničenje maksimalnog prečnika armature grede u zavisnosti od širine grede sprečava proklizavanje.

Tada je obezbeđeno formiranje

mehanizma rešetke sa silom *pritisaka*

kroz čvor → ravnoteža pritisak u stubu i gredi, sile D_i .



Preveliki pritisak → kose pukotine (2), lom betona cepanjem,
Zatezanja prihvataju uzengije (3) i podužna armatura stuba (4)
→ kontinuitet armature kroz stub