

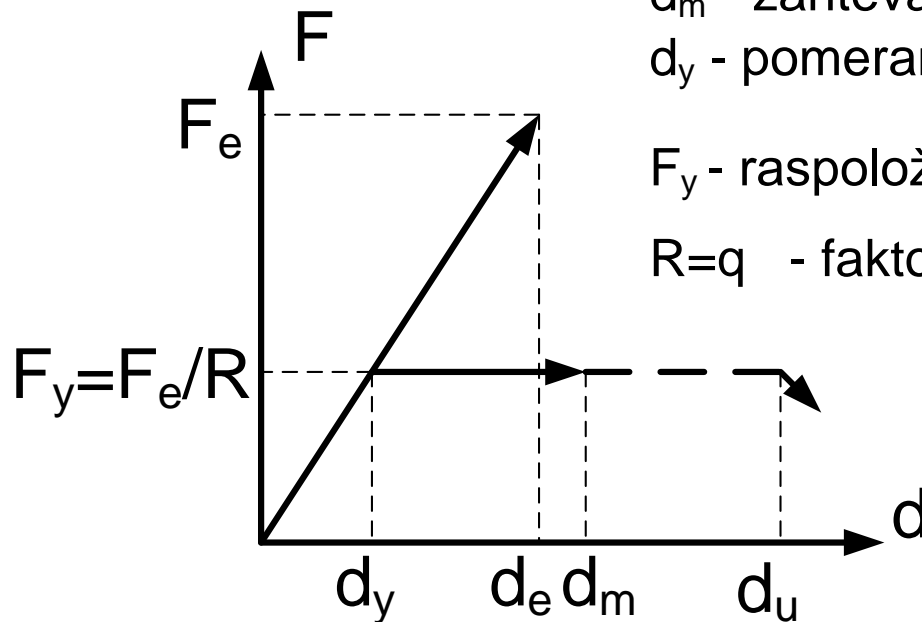
PROJEKTOVANJE I GRAĐENJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA 2

6

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



Elasto-plastično ponašanje



d_u – pomeranje konstrukcije pri lomu
 d_m - zahtevano pomeranje konstrukcije
 d_y - pomeranje konstr. na granici elastičnosti

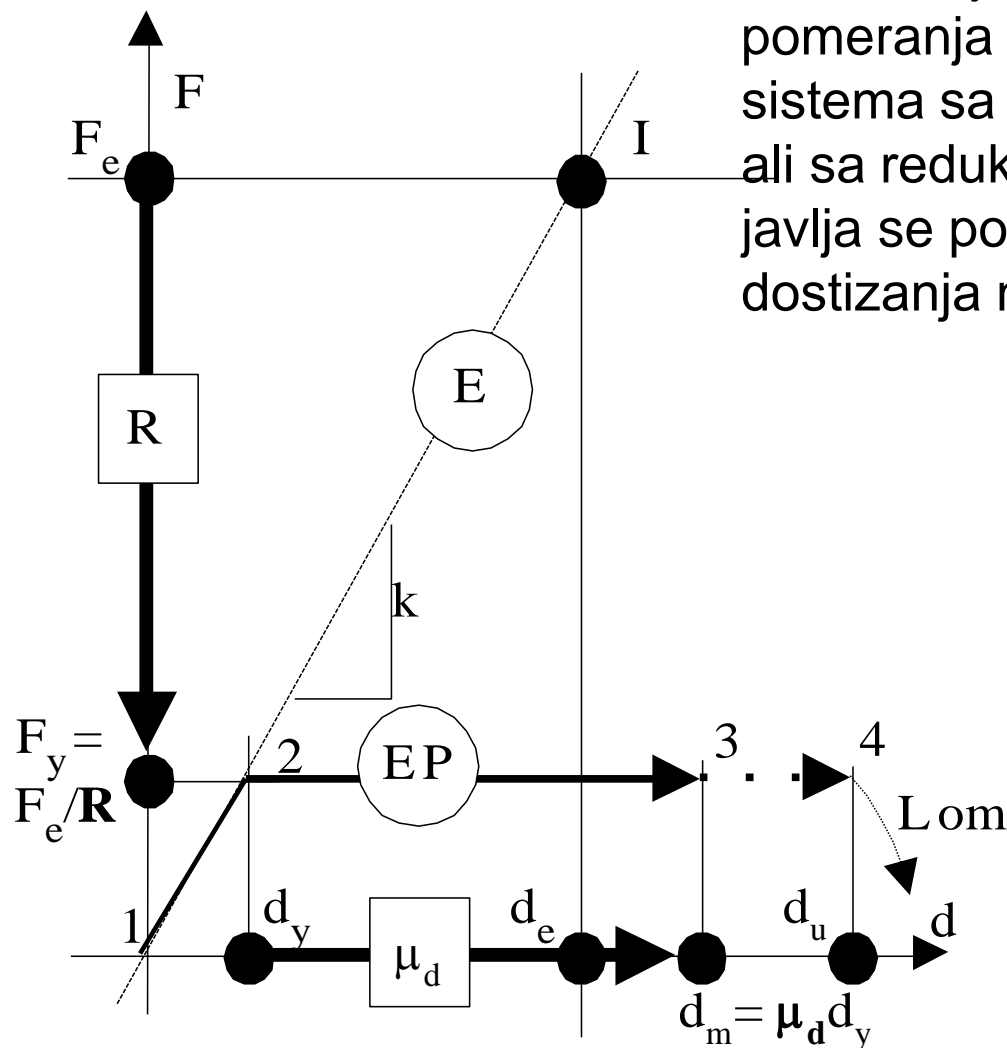
F_y - raspoloživa nosivost konstrukcije

$R=q$ - faktor redukcije (ponašanja-EC8)

$\mu_m = d_m/d_y$ – zahtevana duktilnost (po pomeranju)

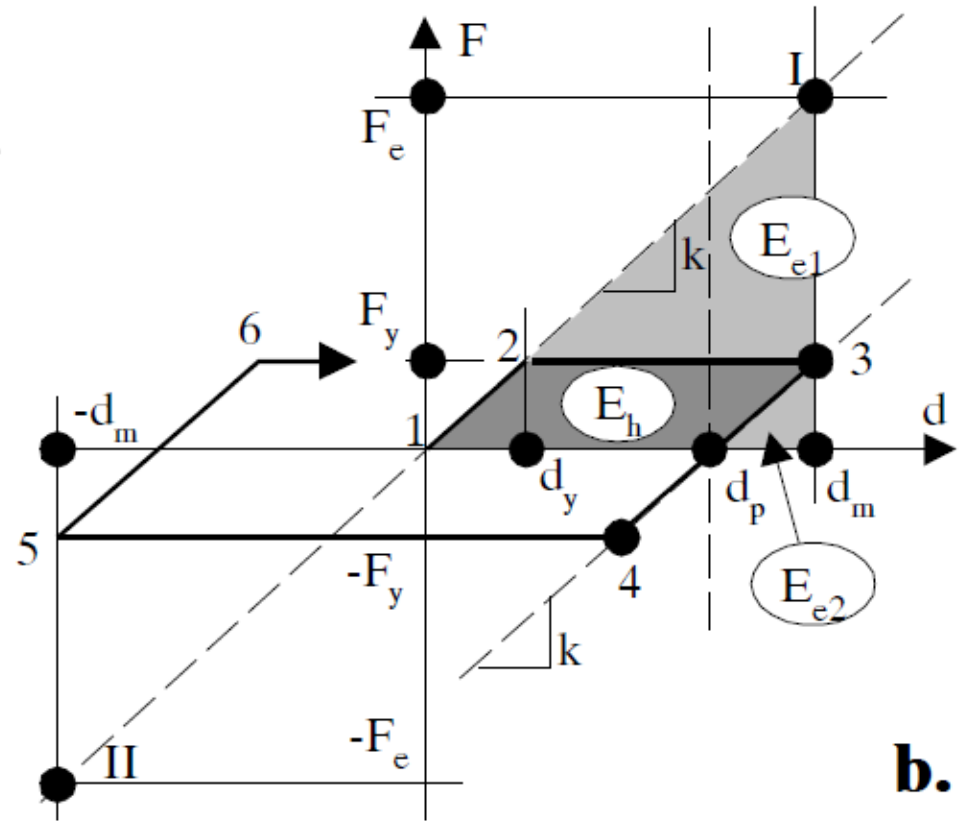
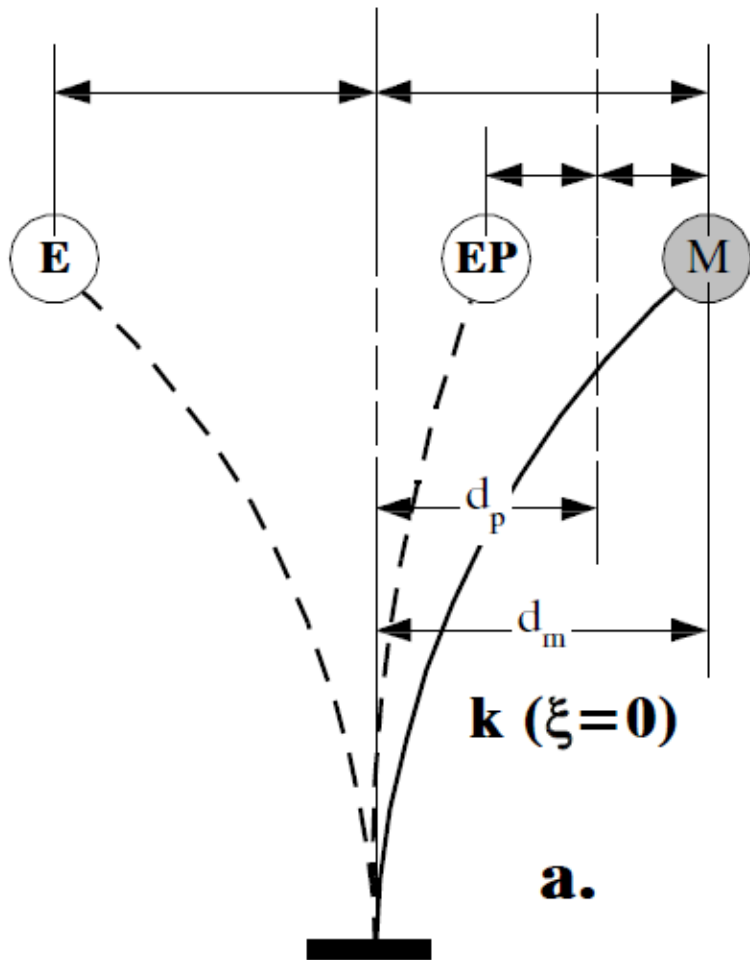
Odgovor elastične konstrukcije sa krutošću k na dati zapis ubrzanja tla, za maksimalno seizmičko opterećenje F_e je relativno pomeranje d_e .

Potrebno je odrediti maksimalnu vrednost pomeranja d_m Kod elastoplastičnog sistema sa istom inicijalnom krutošću k , ali sa redukovanom nosivošću $F_y = F_e/R$ javlja se pomeranje d_y na granici dostizanja nosivosti tj. granici elastičnosti.

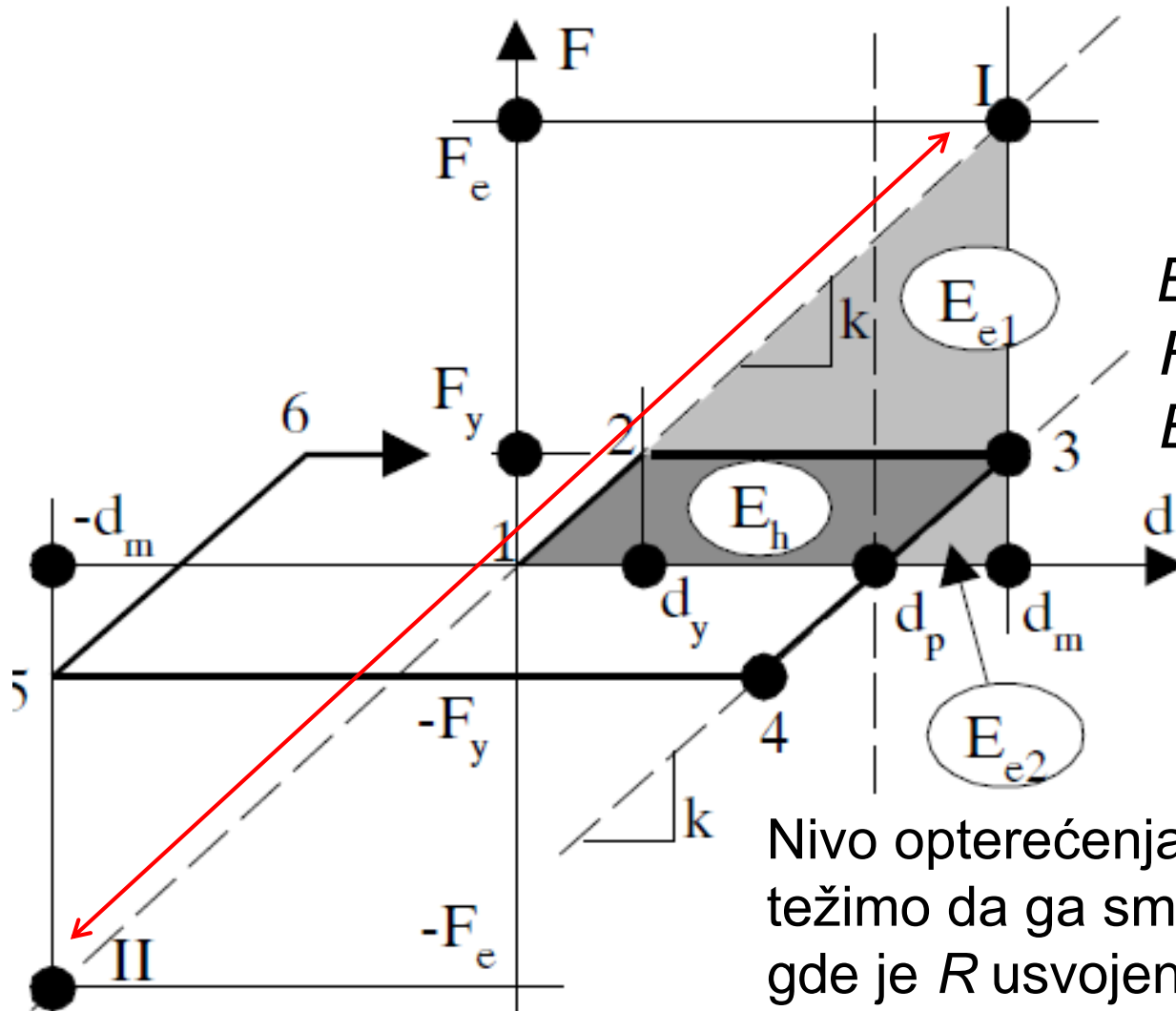


Odnos $\mu_d = d_m/d_y$ naziva se *potrebna duktilnost pomeranja sistema*. *Kapacitet pomeranja konstrukcije d_u treba da je veći od očekivanog maksimalnog pomeranja d_m pri zemljotresu. Potrebno je utvrditi potrebnu duktilnosti pomeranja pri usvojenoj redukciji nosivosti sistema.*

Dinamika elasto-plastičnog sistema



Dinamika elasto-plastičnog sistema



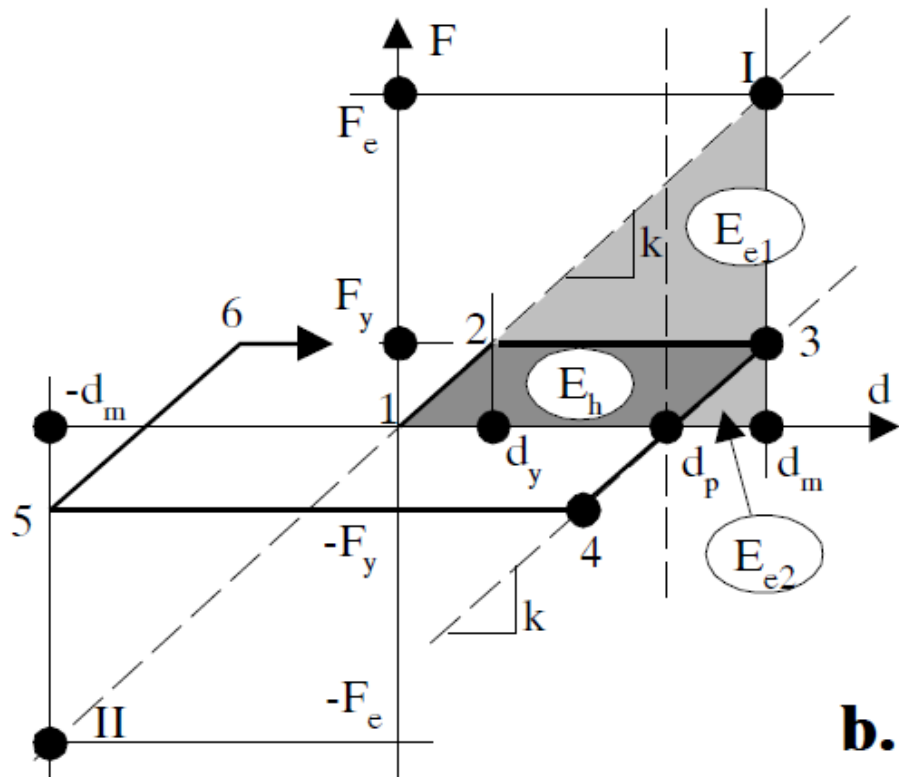
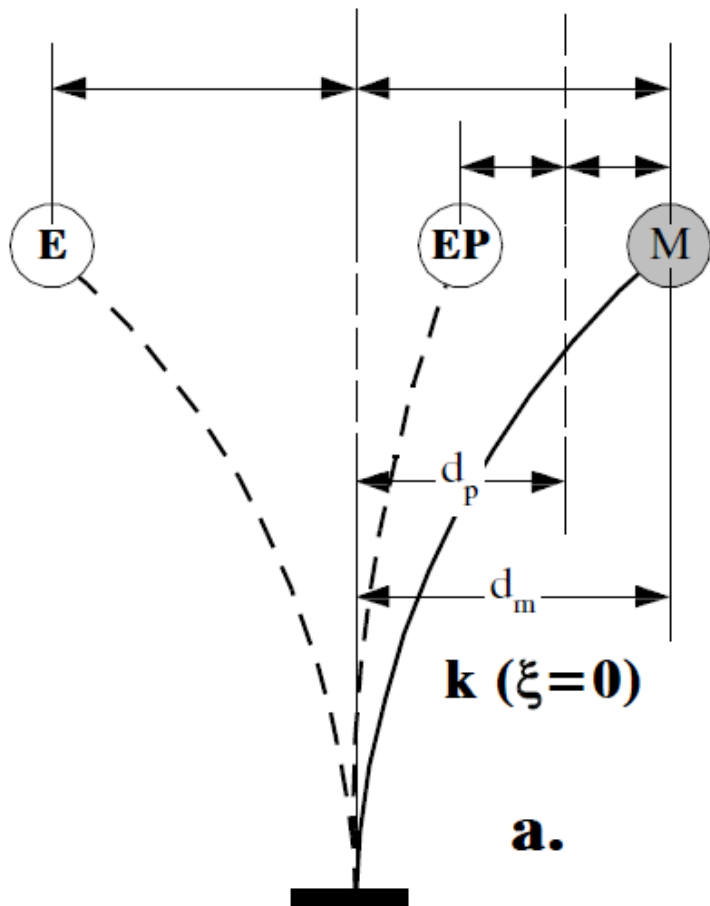
Elastično ponašanje

$$F_e = k d_m$$

$$E_p = E_{e1} + E_h + E_{e2}$$

Nivo opterećenja F_e neprihvatljiv, težimo da ga smanjimo na $F_y = F_e/R$, gde je R usvojena vrednost *faktora redukcije elastičnog opterećenja*.

Dinamika elasto-plastičnog sistema

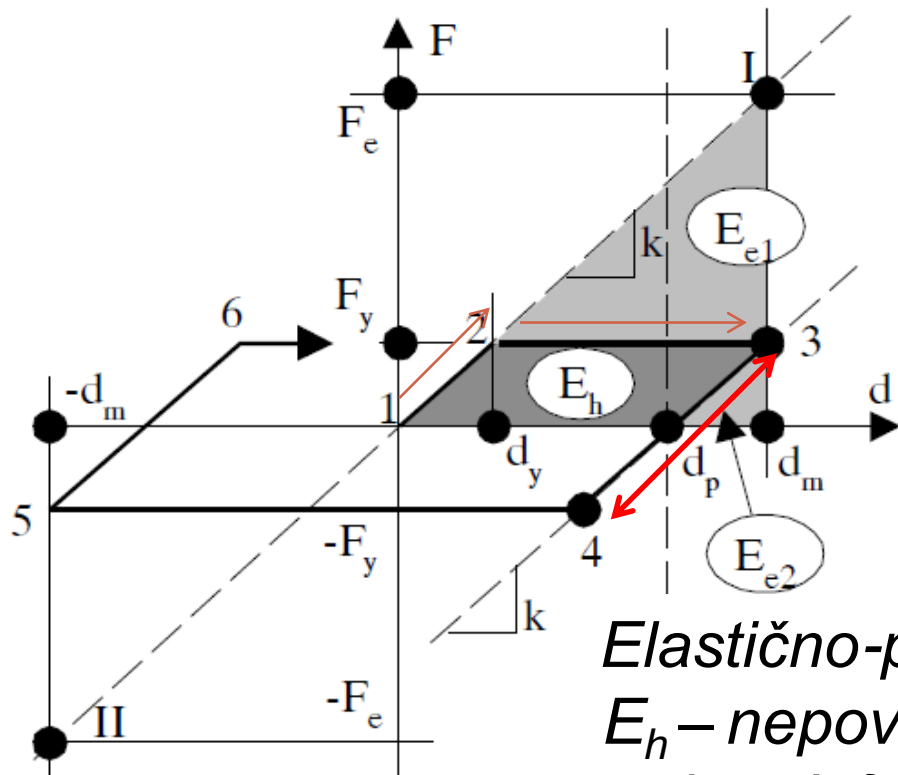


Elastično-plastično ponašanje $F_y = F_e / R$

E_h – nepovratna energija potrošena na trajnu deformaciju d_p

$E_p = E_{e2}$

Dinamika elasto-plastičnog sistema



Pri prinudnom pomeranju d_m , EP sistem sa istom *inicijalnom krutošću* k "stići će" u tačku 3.

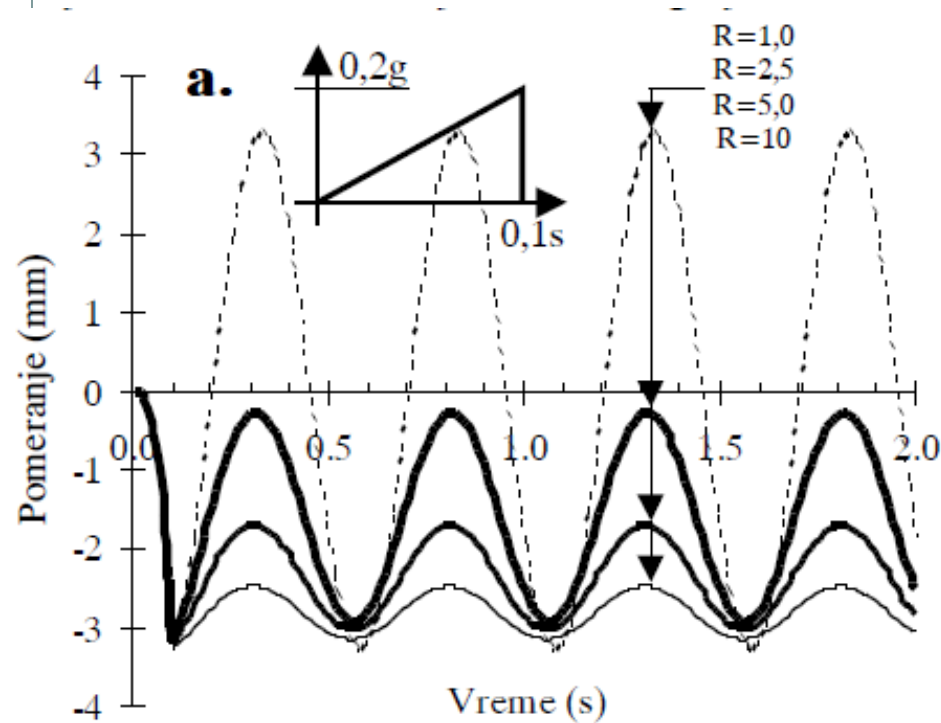
Elastično-plastično ponašanje $F_y = F_e / R$

E_h – *nepovratna energija potrošena na trajnu deformaciju* d_p

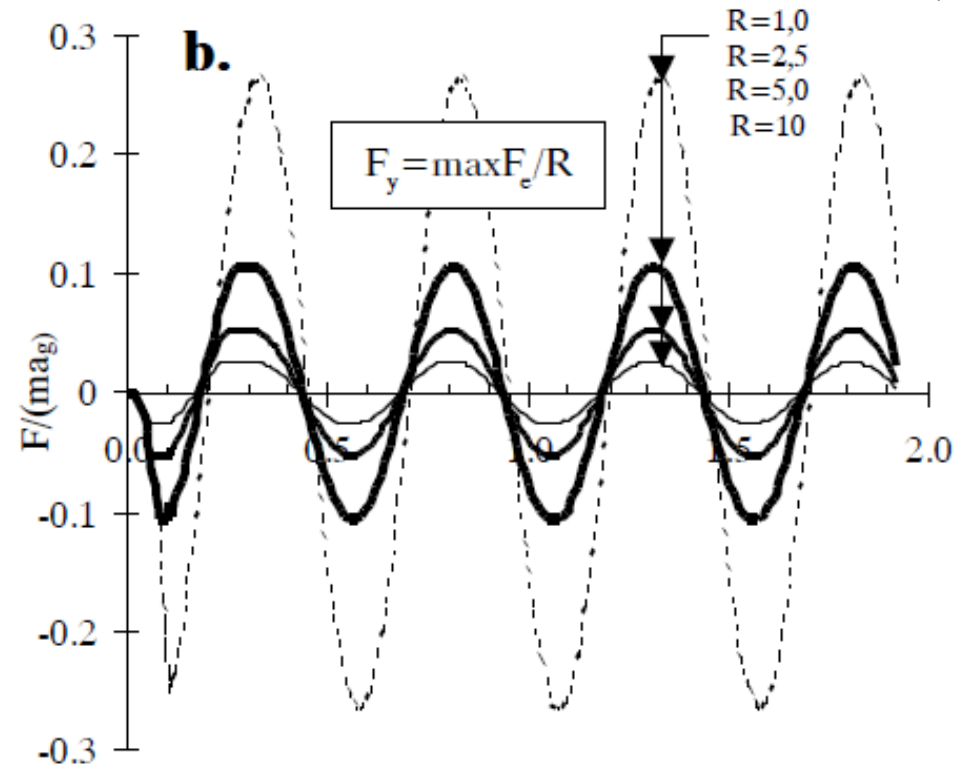
Potencijalna energija EP sistema: $E_p = E_{e2}$

Oslobađanjem, EP sistem osciluje u "pomerenom položaju", sa smanjenim ubrzanjem i amplitudom

Odgovor elasto-plastičnog sistema



Relativno pomeranje

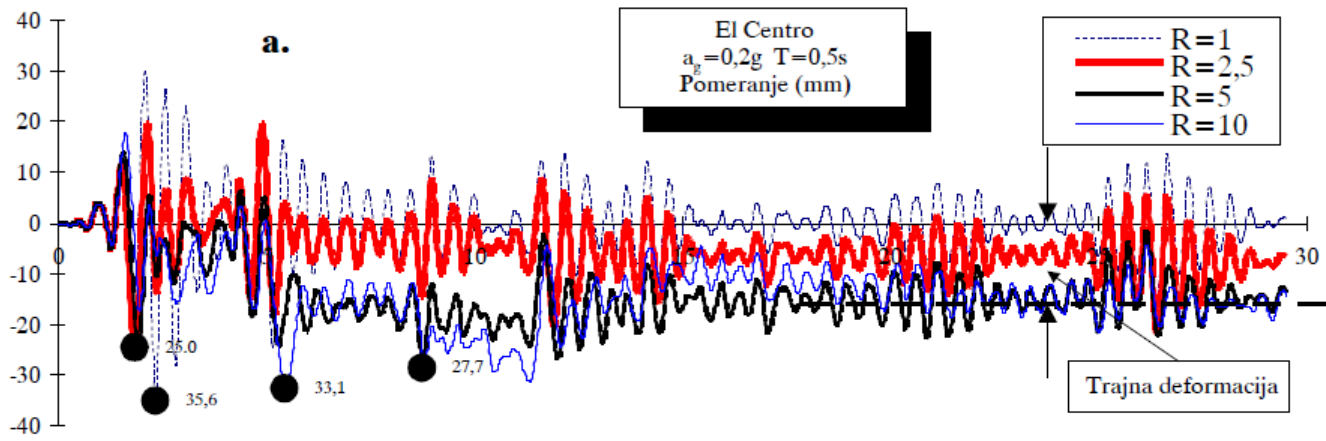


Opterećenje na konstrukciju

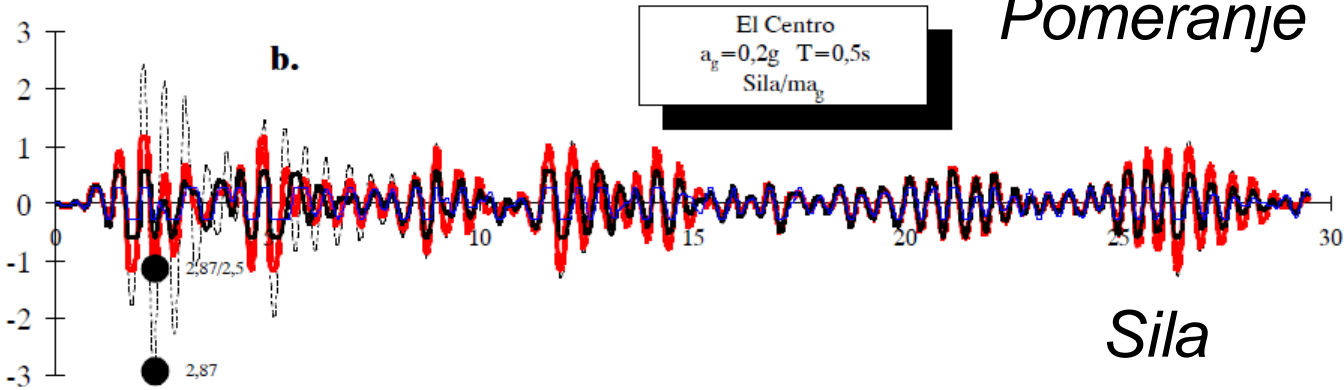
Primer bez prigušenja

Oscilovanje sistema u deformisanom položaju

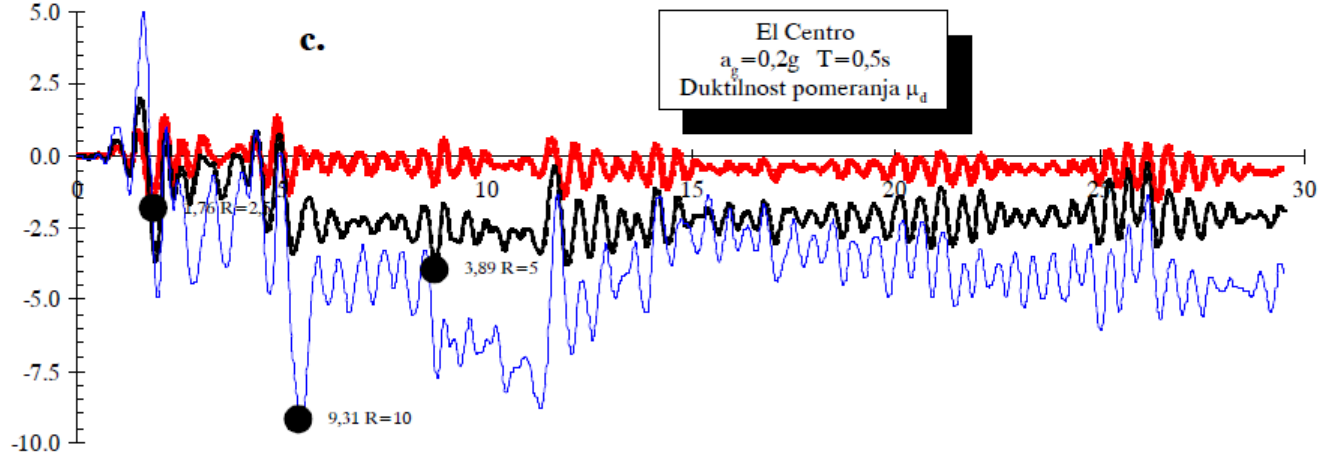
Odgovor elasto-plastičnog sistema – primer El Centro



Pomeranje

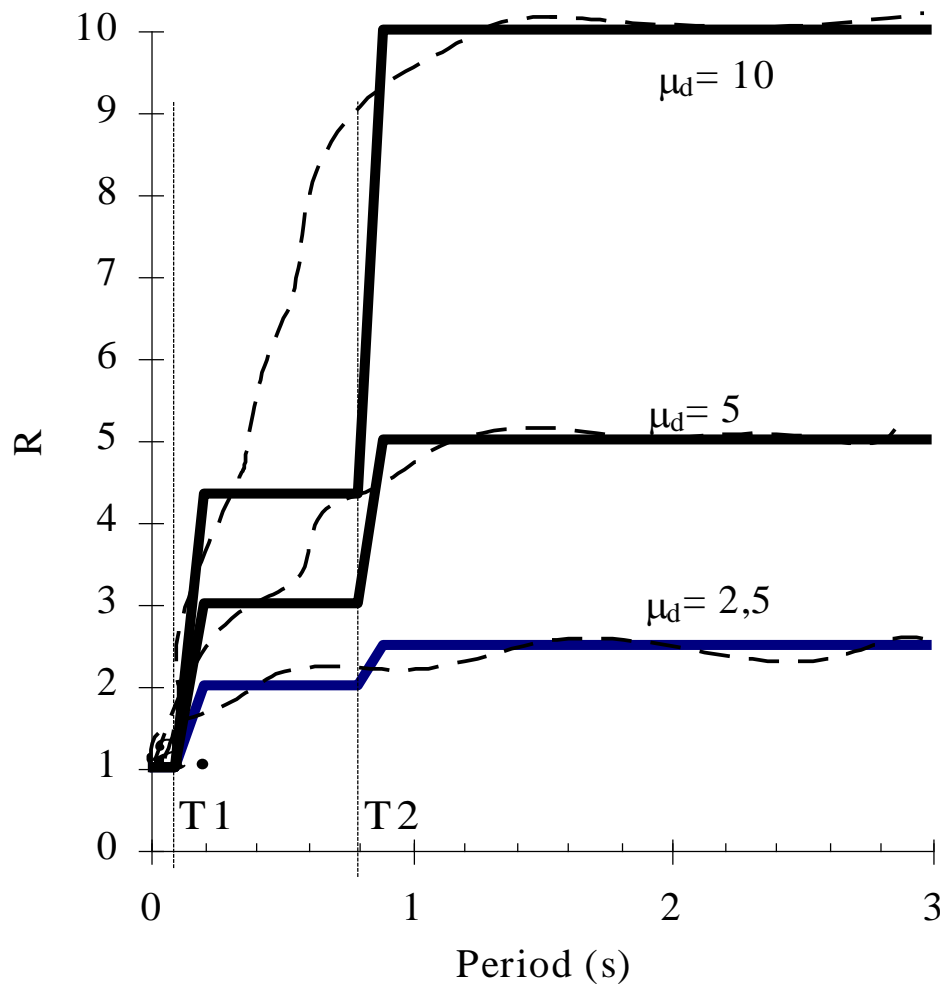


Sila



Potrebna duktilnost pomeranja
 $\mu_d(t) = d(t)/d_y$

Kakva je veza između faktora redukcije $R=F_e/F_y$ i potrebne duktilnosti pomeranja $\mu_d(t)=d(t)/d_y$?



U praksi je obično poznata obezbedjena vrednost faktora duktilnosti pomeranja μ_d , a traži se dozvoljena vrednost faktora redukcije opterećenja R

$$T \leq T_1 \rightarrow R=1$$

$$T_1 < T \leq T_2 \rightarrow R=(\mu_d - 1)^{1/2}$$

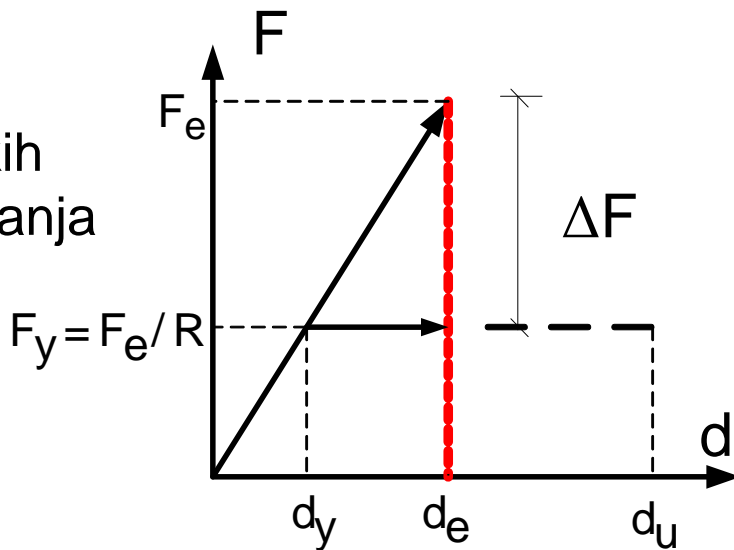
$$T > T_2 \rightarrow R=\mu_d$$

(Konstrukcije manje krutosti)

$$T \geq 0.7 \text{ s}$$

$$\mu_d = d_e / d_y = F_e / F_y = R = q$$

Uslov jednakih pomeranja



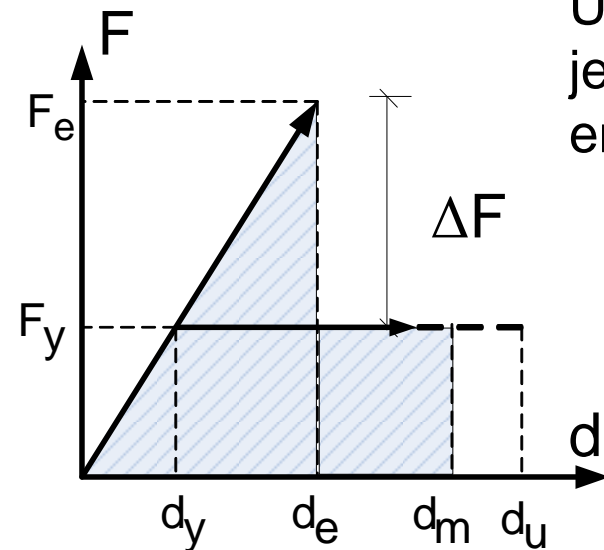
$$d_e = R d_y = \mu_d d_y$$

(Konstrukcije srednje krutosti)

$$T < 0.7 \text{ s}$$

R – faktor redukcije,
q – faktor ponašanja (EC8)

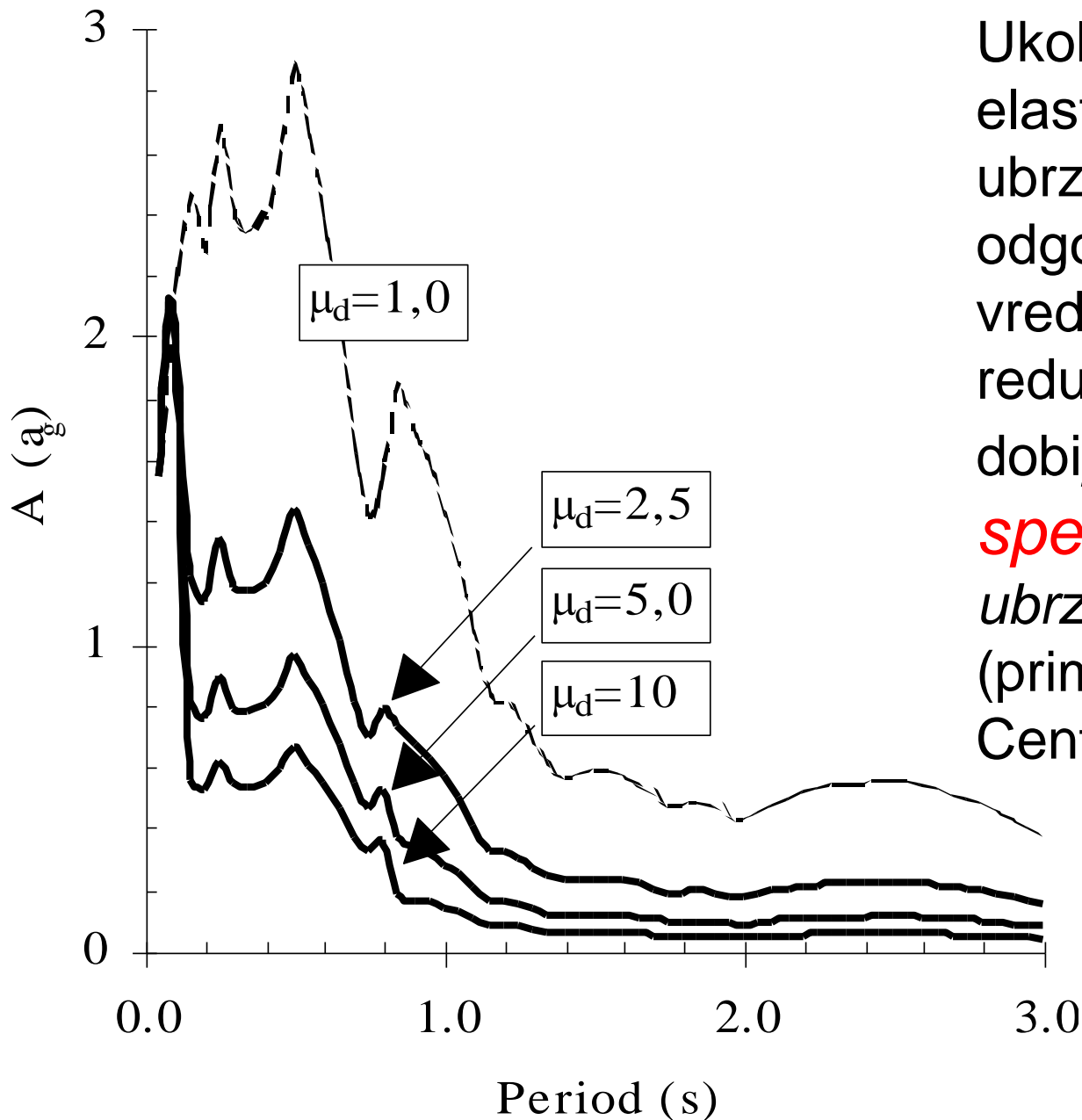
Uslov jednakih energija



$$d_m = \mu_d d_y$$

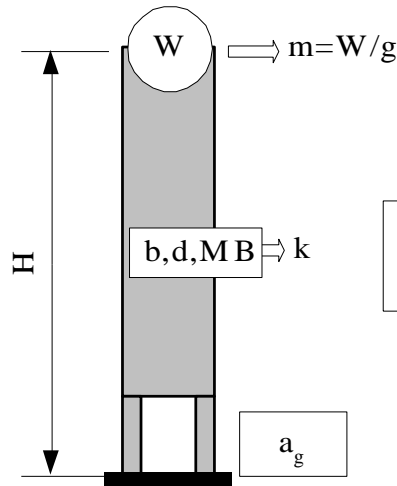
$$\mu_d = (R^2 + 1) / 2$$

Za $T < 0.2 \text{ s}$ (izrazito krute konstr.) → R=1 – objekti se projektuju kao elastični

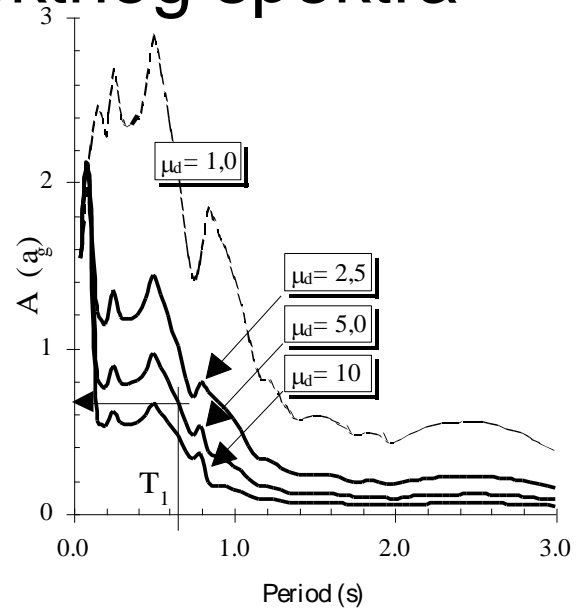


Ukoliko se vrednosti elastičnog spektra ubrzanja ($R=1$) podele odgovarajućim vrednostima faktora redukcije $R(m_d, T)$, dobija se ***nelinearni spektar pseudo ubrzanja konstrukcije***, (primer za zapis El Centro)

Postupak proračuna konstrukcije primenom nelinearnog projektnog spektra



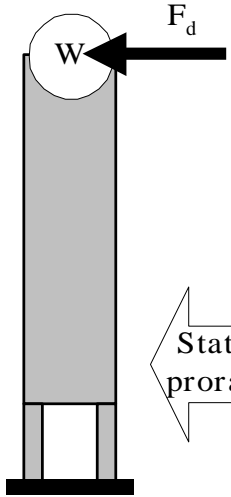
$T_1 = 2\pi(m/k)^{1/2}$
Procena $\mu_d (= 5,0)$



Konstruis. detalje
Obezbejenje μ_d

Dimenzionisanje preseka
 Kontrola pomeranja

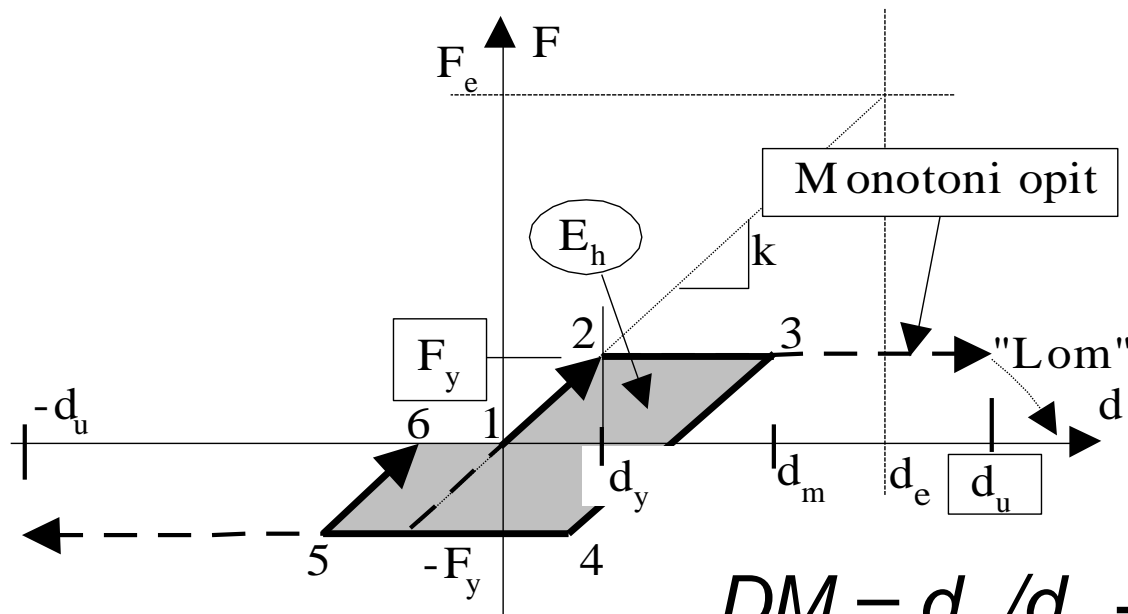
M, Q, N, d



Stati~ki prora~un

Projektno seizmi~ko optere }enje
 $F_d = (F_y) = m a_g A$

Za kriterijum prihvatljivog odgovora nelinearne konstrukcije se može usvojiti indeks oštećenja konstrukcije $DM = d_m/d_u < 1$
 d_m - maksimalno pomeranje pri zemljotresu
 d_u - obezbeđen kapacitet pomeranja konstrukcije pri monotonom statičkom prinudnom pomeranju



veći broj značajnijih ciklusa post-elastičnih deformacija →

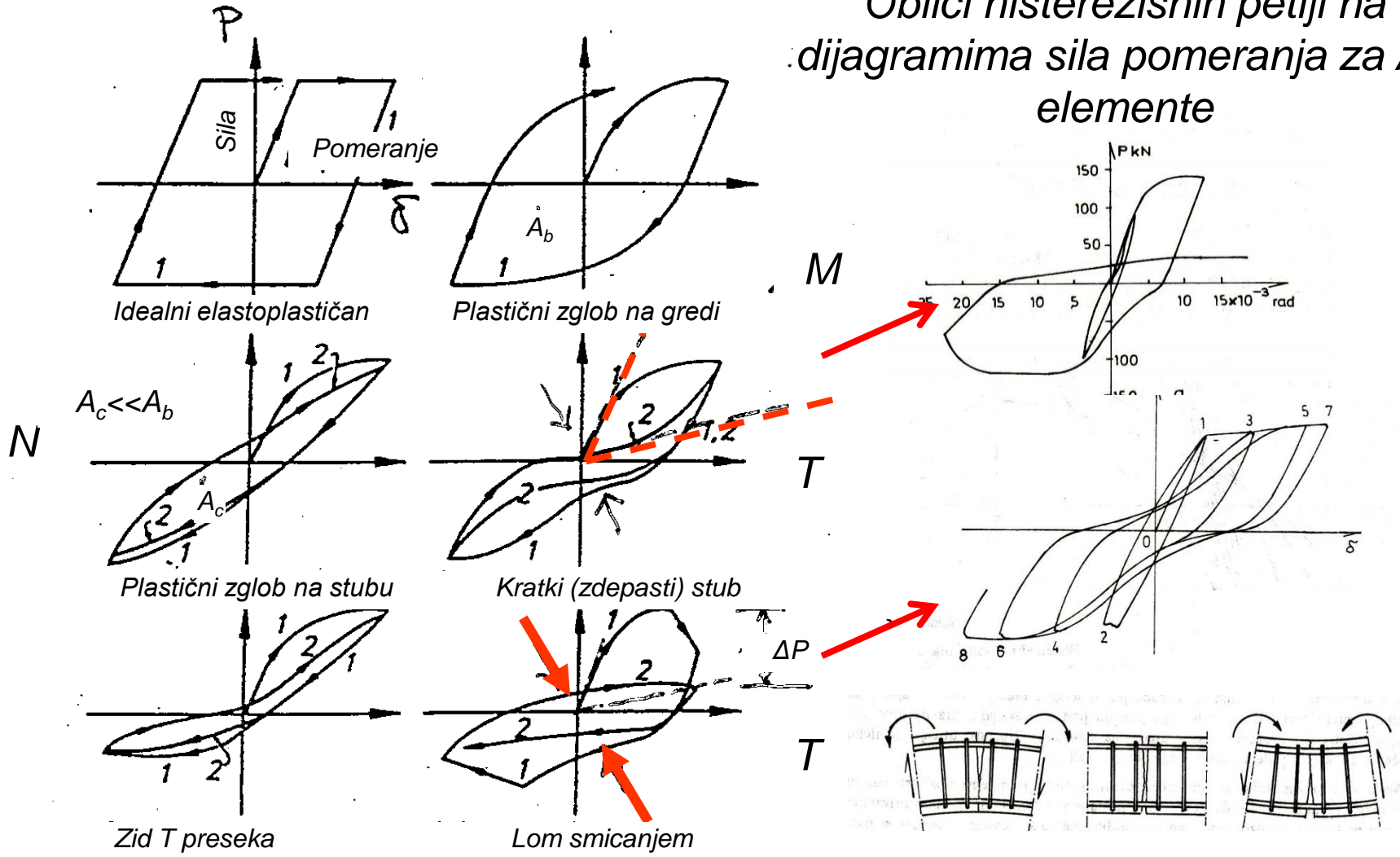
akumulacija oštećenja

$$DM = d_m/d_u + 0.15 \Sigma E_h / (F_y d_u) < 1$$

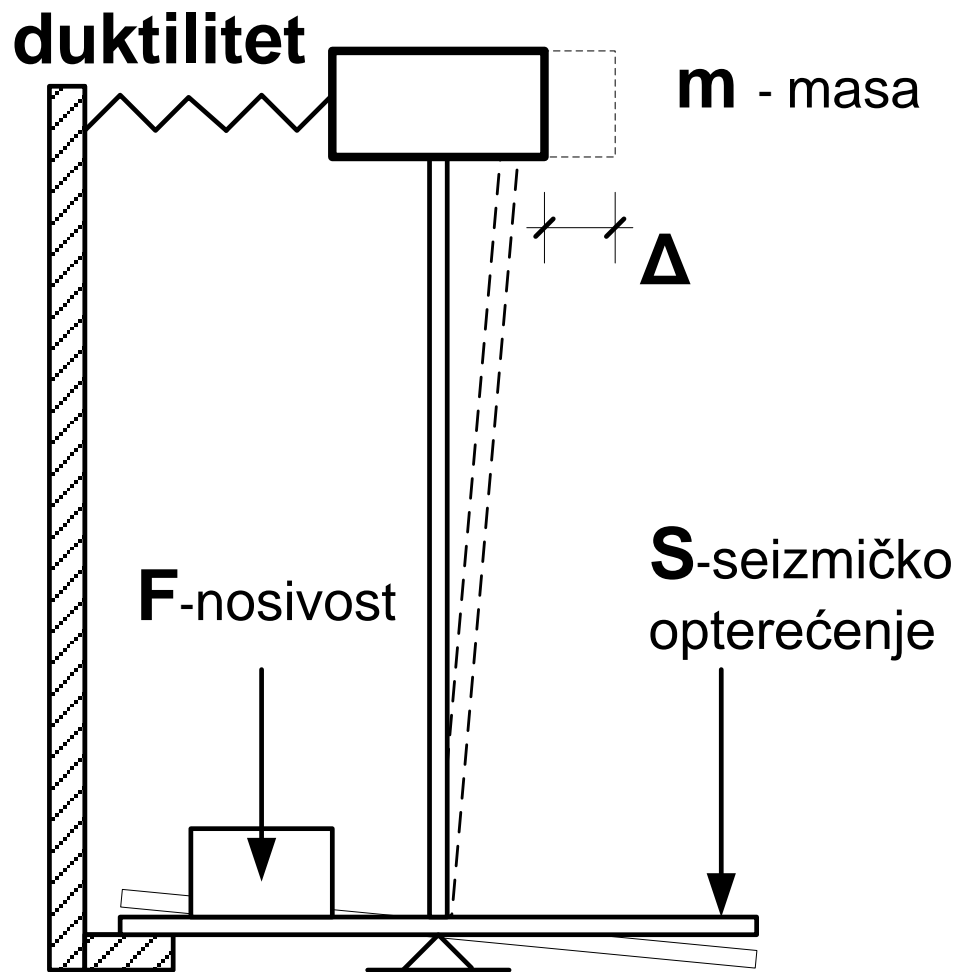
gde je ΣE_h integral potrošene energije - *histerezisne krive* elasto-plastičnog sistema

Elasto-plastično ponašanje AB elementata pri cikličnom opterećenju

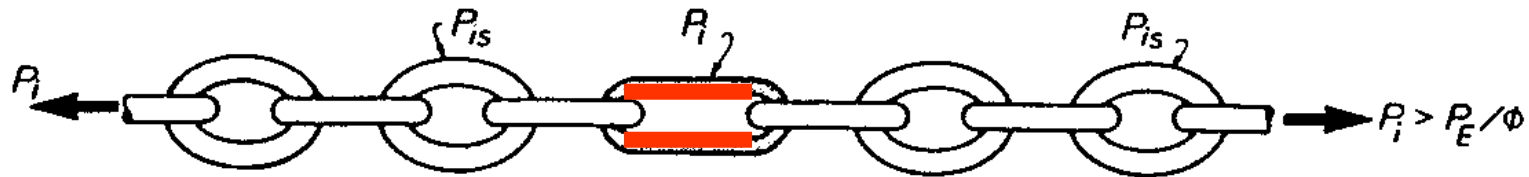
Oblici histerezisnih petlji na
dijagramima sila pomaranja za AB
elemente



Nelinearni sistemi - koncept nelinearnog odgovora konstrukcije



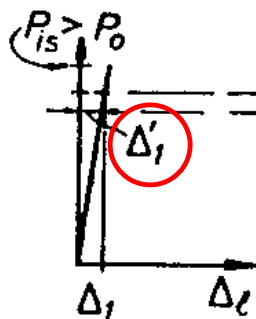
Nosivost i duktilnost konstrukcije – analogija sa duktilnim lancem



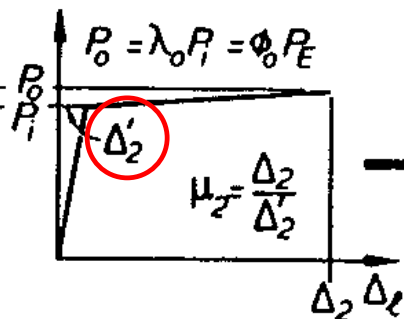
Kрте (neduktilne) karike

Duktilna karika

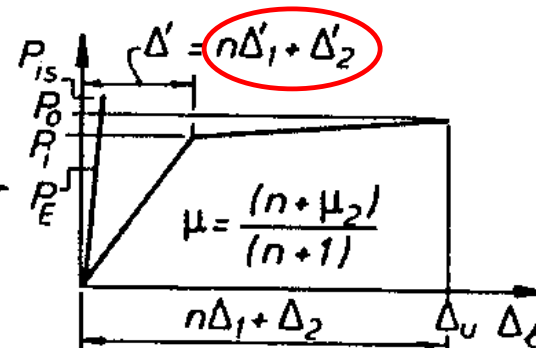
Kрте karike



$n \times$ Krta karika
(a)



Duktilna karika
(b)

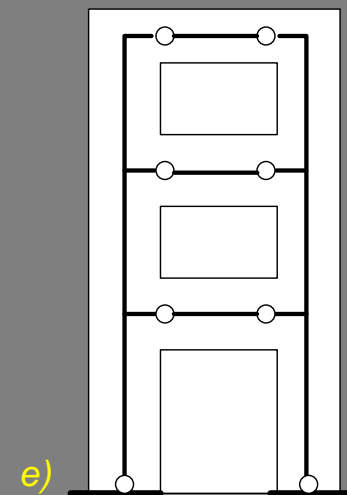
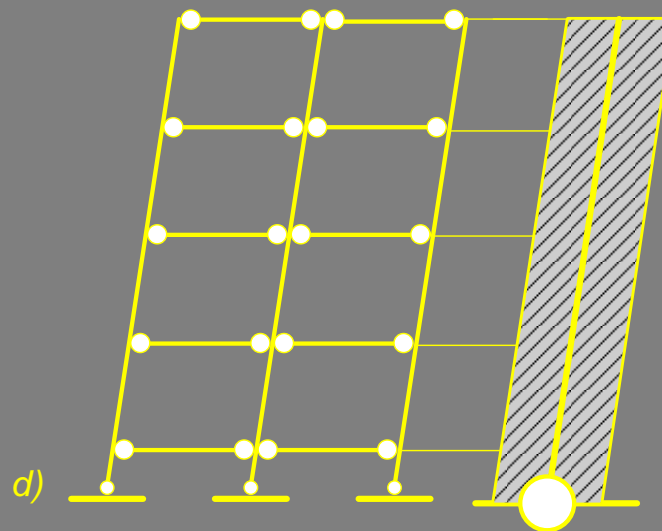
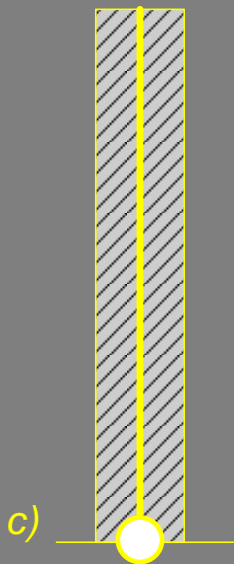
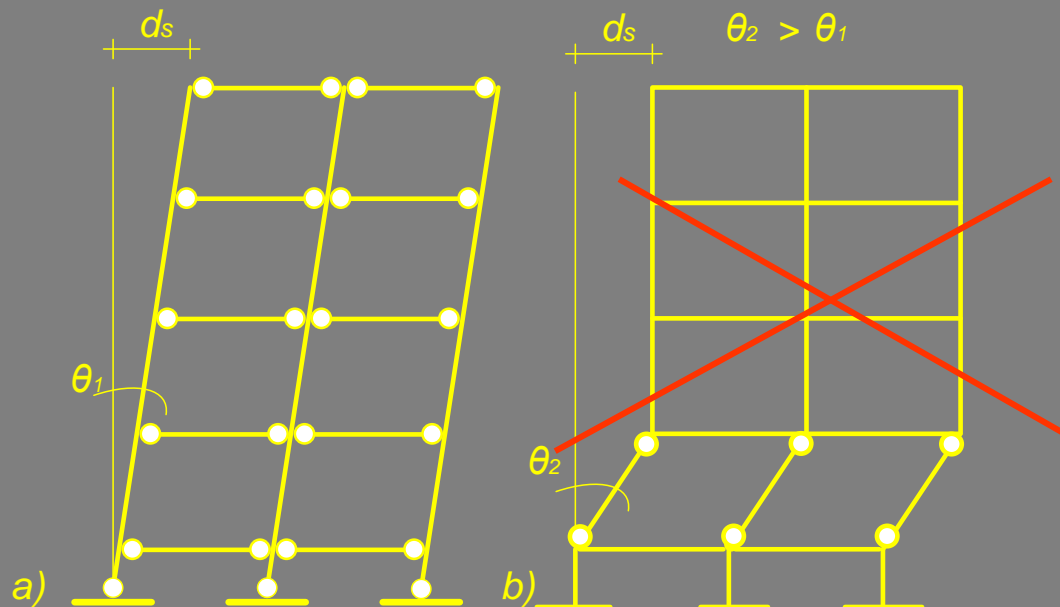


Duktilni lanac
(c)

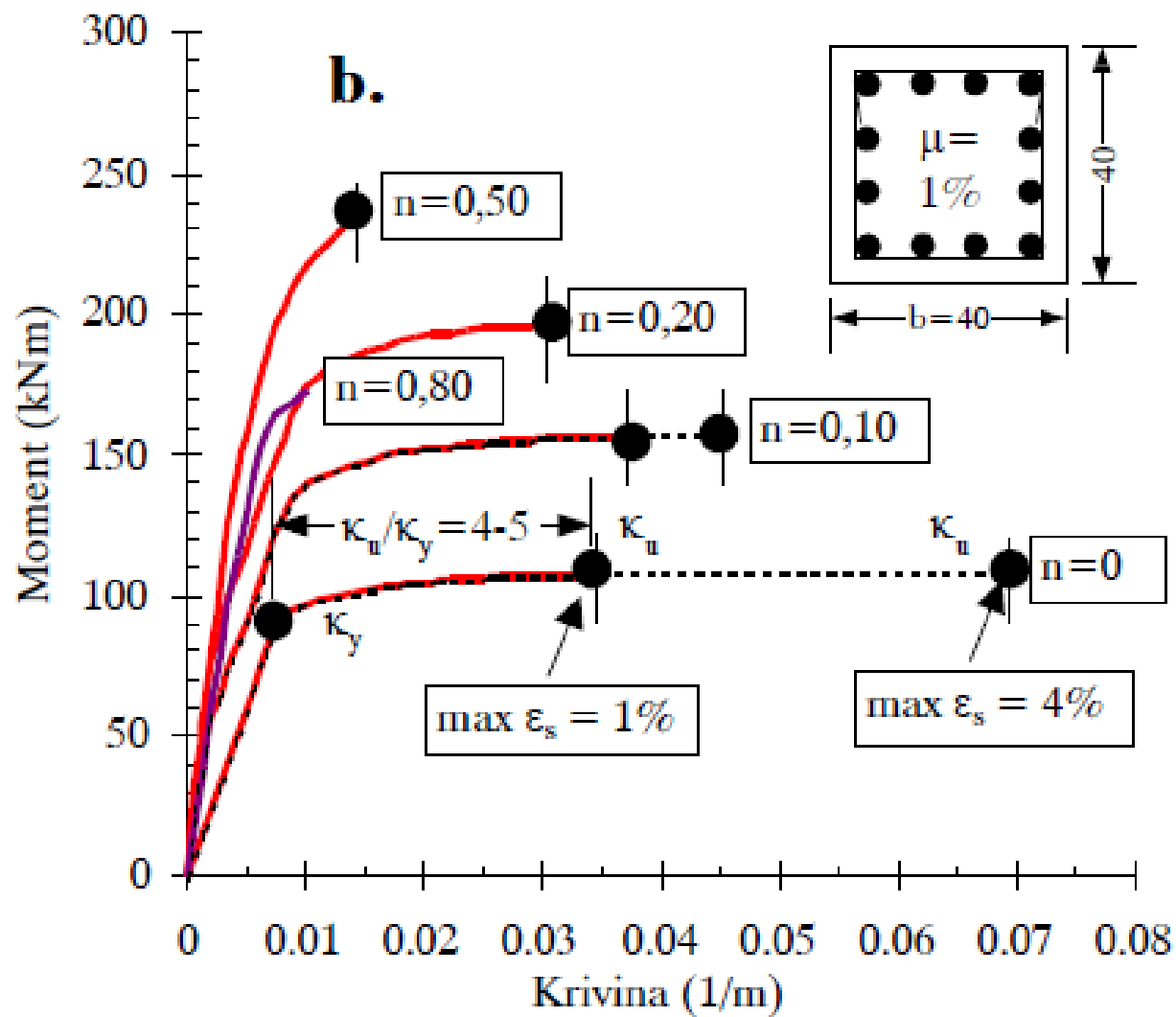
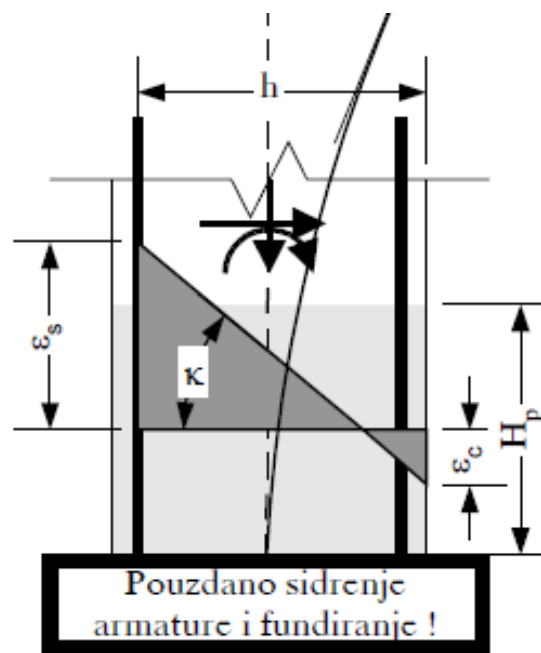
Duktilnost lanca određuje duktilnost najslabije karike

Kako potrebnu duktilnosti pomaranja a time i ifaktor redukcije $R=Fe/Fy$

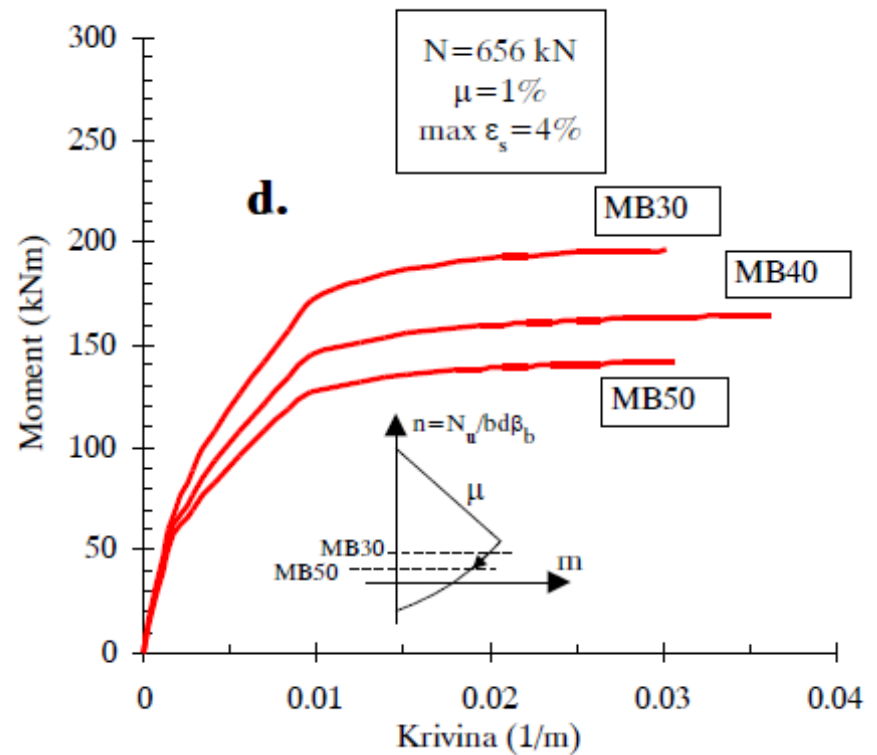
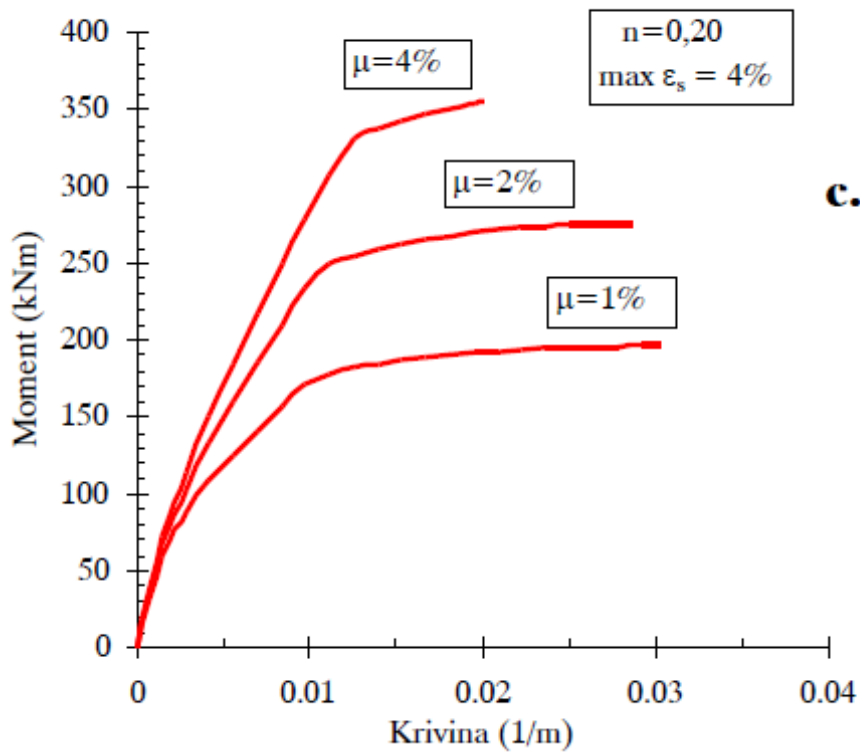
Položaji plastičnih zglobova u elementima konstrukcije



Uticaj normalne sile na krivinu

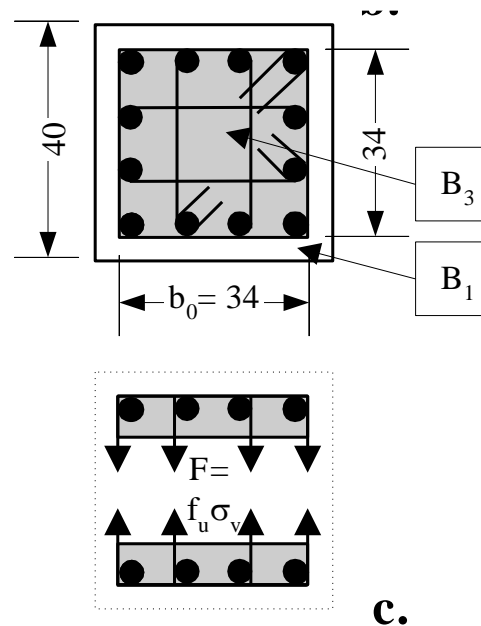
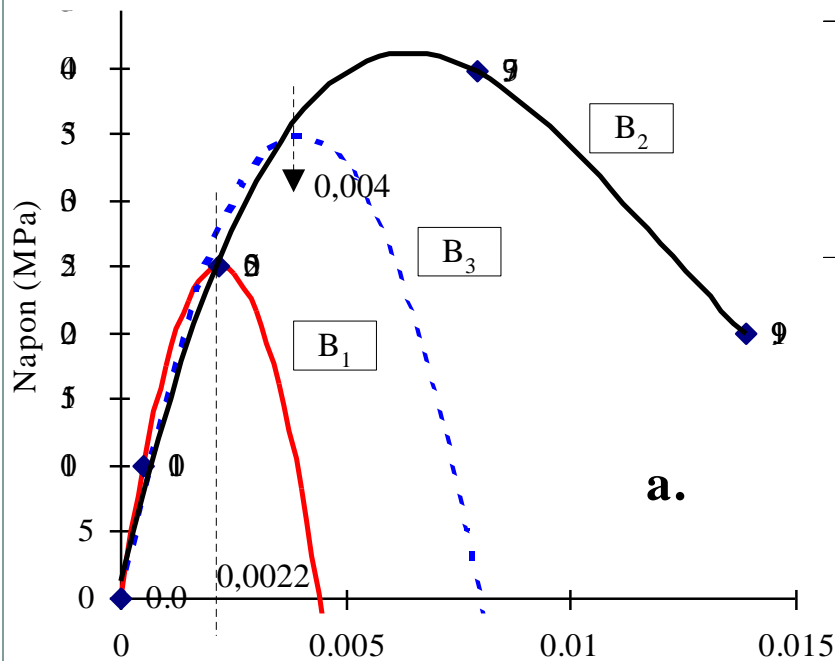


Uticaj klase betona i podužne armature na krivinu



Uticaj poprečnog utezanja na nosivost i duktilnost betona

Poprečna armatura povećava jednoaksijalna čvrstoću elementa, jer se bočnom širenju betona pri povećanim dilatacijama pritiska, sa pojavom podužnih prslina u pravcu opterećenja suprotstavljaju uzengije preseka - preseki su "poprečno utegnuti"

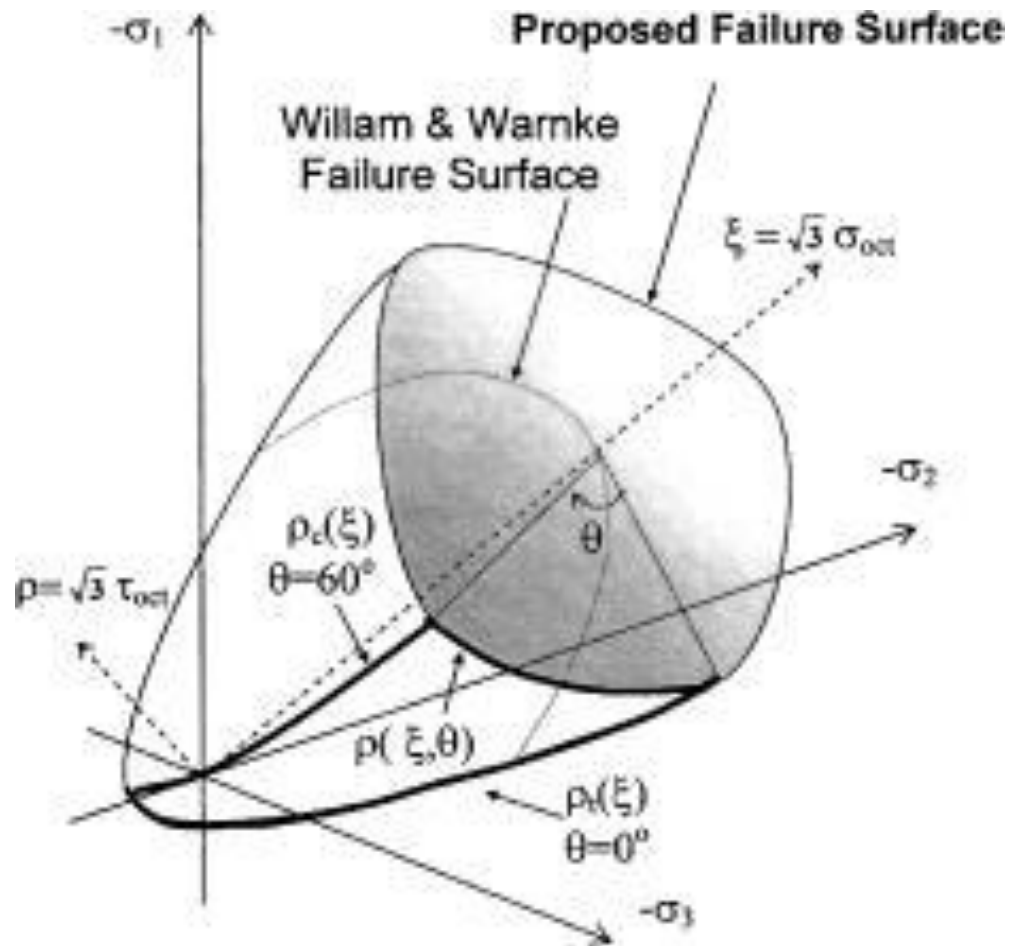


B_1 iz opita za $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$, B_2 isto + utezanje sa $R\phi 10/10$. Povećanje nosivosti je značajno, i što je važnije, kapacitet dilatacija je povećan.

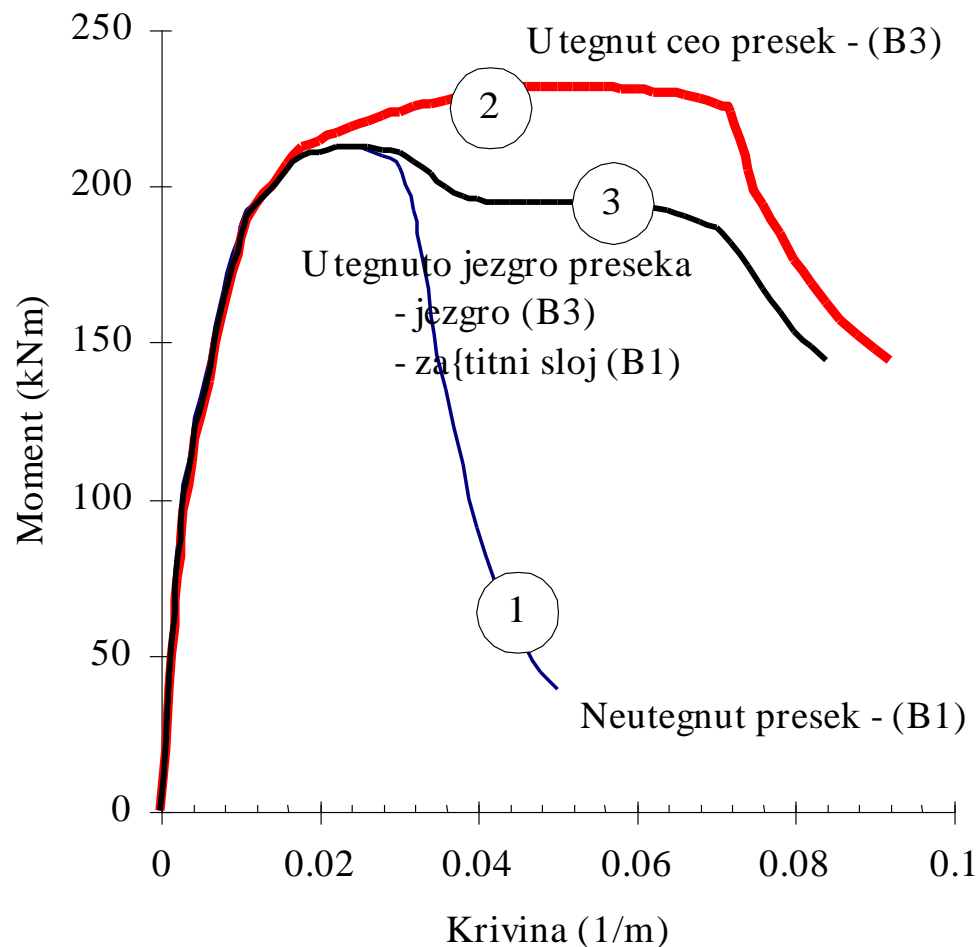
Bočnom širenju betona opire se "omotač" od podužne armature i uzengija.

Efikasnost utezanja zavisi od količine i podužnog razmaka uzengija, granice razvlačenja čelika ali i od razmaka podužnih šipki koje su "bočno pridržane - poduprte" uzengijama.

Ovaj omotač obuhvata utegnuto jezgro preseka dimenzija b_0



Dijagram moment - krivina preseka normalne sile od $N=0,2f_{cd}'b^2$ ($n=0,2$).



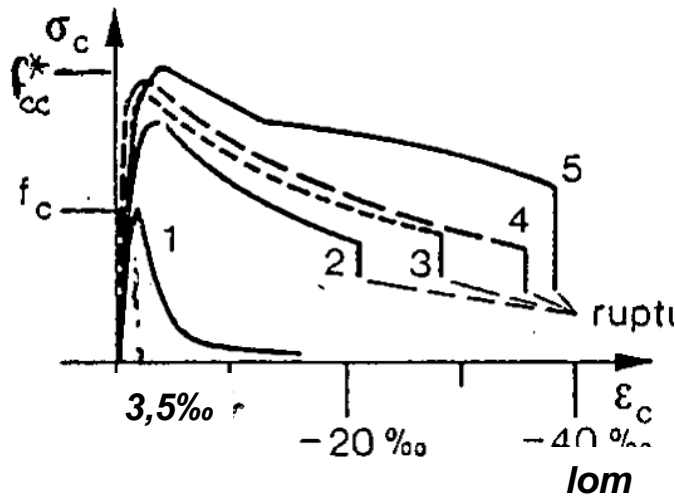
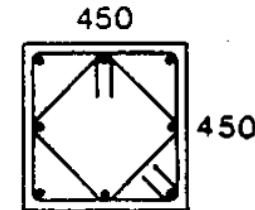
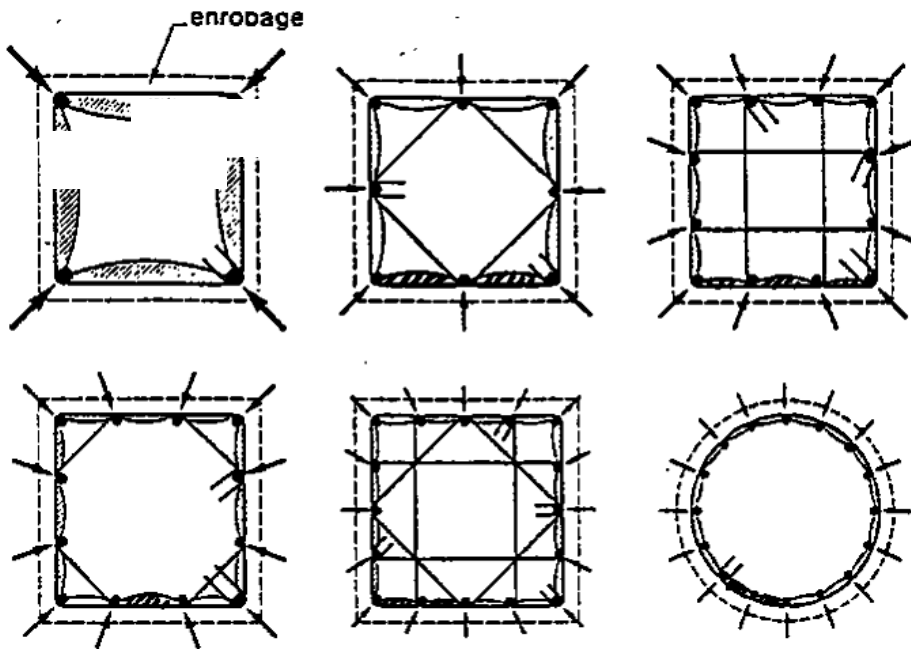
Kriva 1 → odgovor neutegnutog preseka (B_1).

Kriva 2 predstavlja odgovor preseka uz pretpostavku da je ceo poprečni presek utegnuto (B3). Pri povećanim dilatacijama pritiska nastupa odvajanje, "oljuskavanje" zaštitnog sloja preseka, i svođenje nosivog preseka na presek utegnutog jezgra.

Kriva 3 → odgovor preseka kod koga je jezgro utegnuto, a za zaštitni sloj modeliran kao neutegnuto.

U oba slučaja, utezanje preseka znatno povećava granične dilatacije pri dostizanju loma preseka, samim tim i maksimalne krivine, odnosno kapacitet deformacija.

Efekat poprečne armaturena na odnos napon – dilatacija u betonu



- ① *bez uzengija*
- ② $\emptyset 10, s = 98 \text{ mm}$
- ③ $\emptyset 10, s = 72 \text{ mm}$
- ④ $\emptyset 12, s = 88 \text{ mm}$
- ⑤ $\emptyset 12, s = 64 \text{ mm}$

SAVREMENI KONCEPT PROJEKTOVANJA ZGRADA U SEIZMIČKI AKTIVNIM OBLASTIMA

- Računski intenzitet zemljotresa sa povratnim periodom od 475 godina
- Elastično ponašanje \Rightarrow veliki uticaji \rightarrow ekonomski razlozi \rightarrow nelinearne deformacije \rightarrow disipacija energije
- Velika oštećenja \rightarrow pad nosivosti \rightarrow kolaps?
- Manji zemljotresi u elastičnoj oblasti
- Moguća sanacija konstrukcije

Koncepcija projektovanja ab konstrukcija:

- Zone sa koncentracijama nelinearnih deformacija ("plastični zglobovi")
- Za dejstvo projektnog zemljotresa konstrukcija mora da poseduje integritet (bez rušenja)
- Mora da poseduje kapacitet preostale nosivosti (gravitaciono opterećenje, naknadni potresi)

ZAKLJUČAK

Seizmička otpornost konstrukcije može se postići:

- a) Velikom nosivošću (bez bilo kakvog oštećenja) - velika početna ulaganja
- b) Kombinacijom: manja nosivost + odgovarajuća duktilnost (jači zemljotres \Rightarrow eventualno prihvatljiva oštećenja + sanacija)
 \rightarrow optimalno rešenje \rightarrow manja početna ulaganja

Duktilno ponašanje podrazumeva → otvaranje plastičnih zglobova → preraspodelu statičkih uticaja (način da konstrukcije prežive jake zemljotrese) uz mali pad nosivosti

⇒ Dobrodošle konstrukcije sa **većom statičkom neodređenošću**