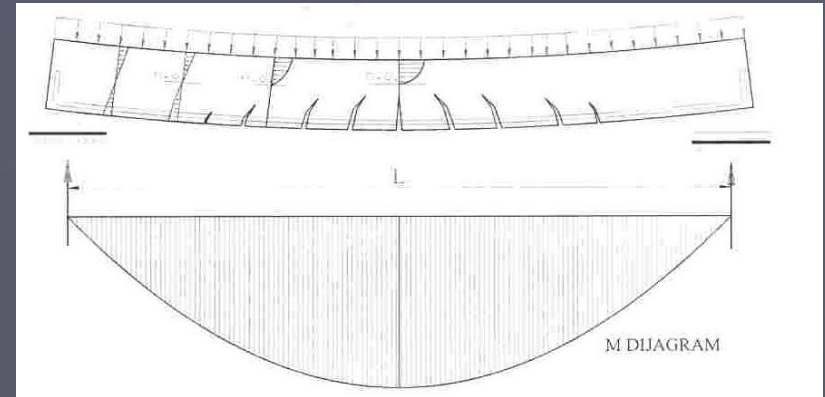
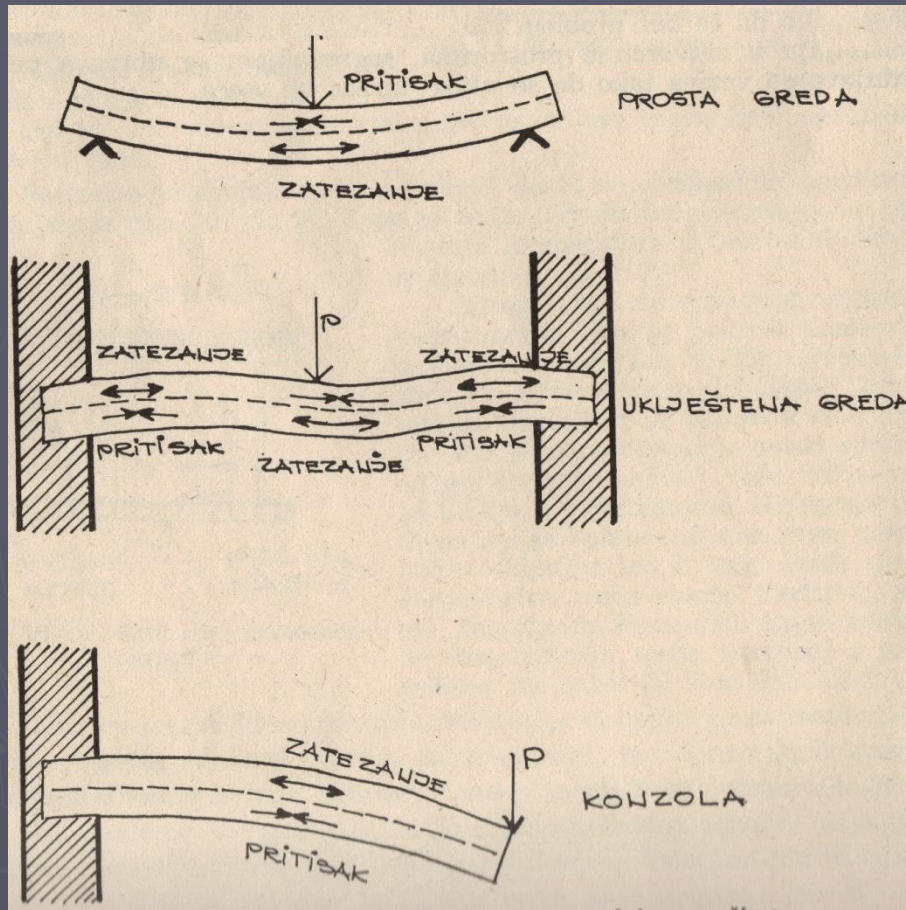


Raspored naprezanja grednim nosačima



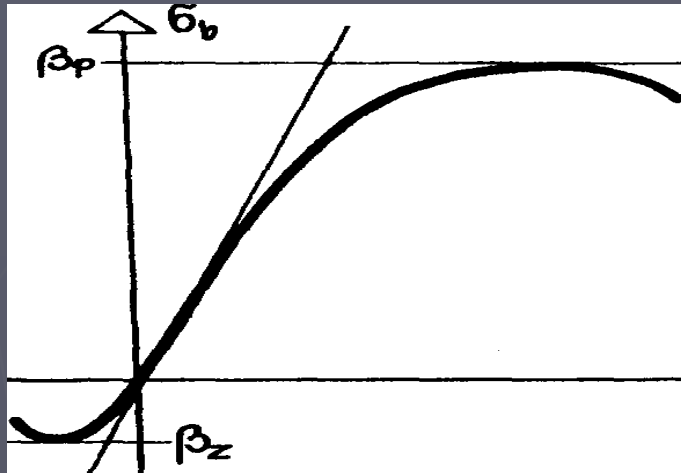
Prosta greda opterećena ravnomjernim opterećenjem

Na slici vidimo prsline koje se razvijaju usljed nemogućnosti betona da preuzme napone zatezanja, nastale kao posljedica djelovanja momenta savijanja u gredi.

Armatura se postavlja u zonu zatezanja, jer beton preuzima 10-15 puta veće napone pritiska od napona zatezanja.

I beton i čelik imaju približno isti koeficijent širenja (veza među njima je postojana).

OSOBINE MATERIJALA



Sopstvena težina betona u analizi opterećenja uzima se da iznosi:

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{Nearmiran beton} \\ &= 2400 \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma &= \text{Armiran beton} \\ &= 2500 \text{ kg/m}^3 = 25 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Dijagram napon-deformacije betonske prizme

Deformabilnost materijala je njegovo svojstvo da se elastično i plastično deformiše do trenutka razaranja. Na ova mehanička svojstva betona utiče veliki broj parametara, od kojih su najvažniji:

- kvalitet i vrsta cementa,
- kvalitet i granulometrijski sastav agregata,
- vodocementni faktor,
- način spravljanja betona,
- prirodne primjese u agregatu i vodi,
- dodaci cementu ili betonskoj mješavini
- ugradnje betona u konstrukciju i
- njega betona

Projektom konstrukcije od armiranog i nearmiranog betona, zavisno od statičkih, eksploatacionih, tehnoloških i drugih uslova određuje se potreban marka betona MB i druga svojstva koja uslovljavaju trajnost betona.

Marka betona MB je normirana čvrstoća pri pritisku u MPa, koja se zasniva na karakterističnoj čvrstoći pri pritisku određenoj na kockama ivice 20 cm, koje su čuvane u vodi ili u najmanje 95% vlazi, pri temperaturi $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, pri starosti betona od 28 dana.

Karakteristična čvrstoća pri pritisku je vrijednost ispod koje se može očekivati najviše 10% svih čvrstoća na pritisak registrovanih na ispitivanim uzorcima.

Za armirani beton ne smije se upotrijebiti marka betona niža od MB 15.

Čvrstoća betona u funkciji čvrstoće betonske kocke

čvrstoća betonske kocke	$= f_{bk}$
čvrstoća betonske prizme	$= 0,8 \cdot f_{bk}$
čvrstoća pri čistom smicanju	$= 0,2 \cdot f_{bk}$
čvrstoća pri zatezanju od savijanja	$= 0,14 \cdot f_{bk}$
čvrstoća pri čistom zatezanju	$= 0,07 \cdot f_{bk}$

f_{bk} je karakteristična čvrstoća na pritisak određena na betonskoj kocki ivica 20 cm;

f_{bz} je čvrstoća betona pri aksijalnom zatezanju;

f_{bzs} je čvrstoća betona na zatezanje pri savijanju;

d je visina poprečnog presjeka elementa izražena u m;

f_{τ} je čvrstoća betona pri čistom smicanju.

Ispitivanje čvrstoće betona pri direktnom zatezanju f_z

$$\frac{f_{bzs}}{f_{bz}} = \left(0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{d}}\right) \geq 1 \quad f_{bz} = 0,25 \cdot \sqrt[3]{f_{bk}^2}$$

2.1.1.3. Čvrstoća betona pri čistom smicanju f_{τ}

$$f_{\tau} = 0,5 \cdot \sqrt{f_{bk} \cdot f_{bz}} \quad f_{\tau} = 0,321 \cdot f_{bk}^{\frac{5}{6}}$$

f_{bk} (MPa)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
f_{bz} (MPa)	1.5	1.8	2.1	2.4	2.65	2.9	3.15	3.4	3.6	3.8

Deformacije betona pri kratkotrajnim dejstvima

MODUL ELASTIČNOSTI predstavlja mjerenu veličinu odnosa napona i dilatacija. Ako nemamo eksperimentalno određene podatke i ako su naponi u betonu manji ili jednaki f_{bk} , mogu se usvojiti srednje vrijednosti modula elastičnosti date u tabeli.

f_{bk} (MPa)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
E_b (Gpa)	27	28.5	30	31.5	33	34	35	36	37	38

$$\sigma_b \leq 0,4 \cdot f_{bk} \quad E_b = 9,25 \cdot \sqrt[3]{f_{bk} + 10}$$

Analitički izraz za određivanje modula elastičnosti.

$$\nu_b = 0,20$$

$$G_b = \frac{E_b}{2(1 + \nu_b)} = 0,42 E_b$$

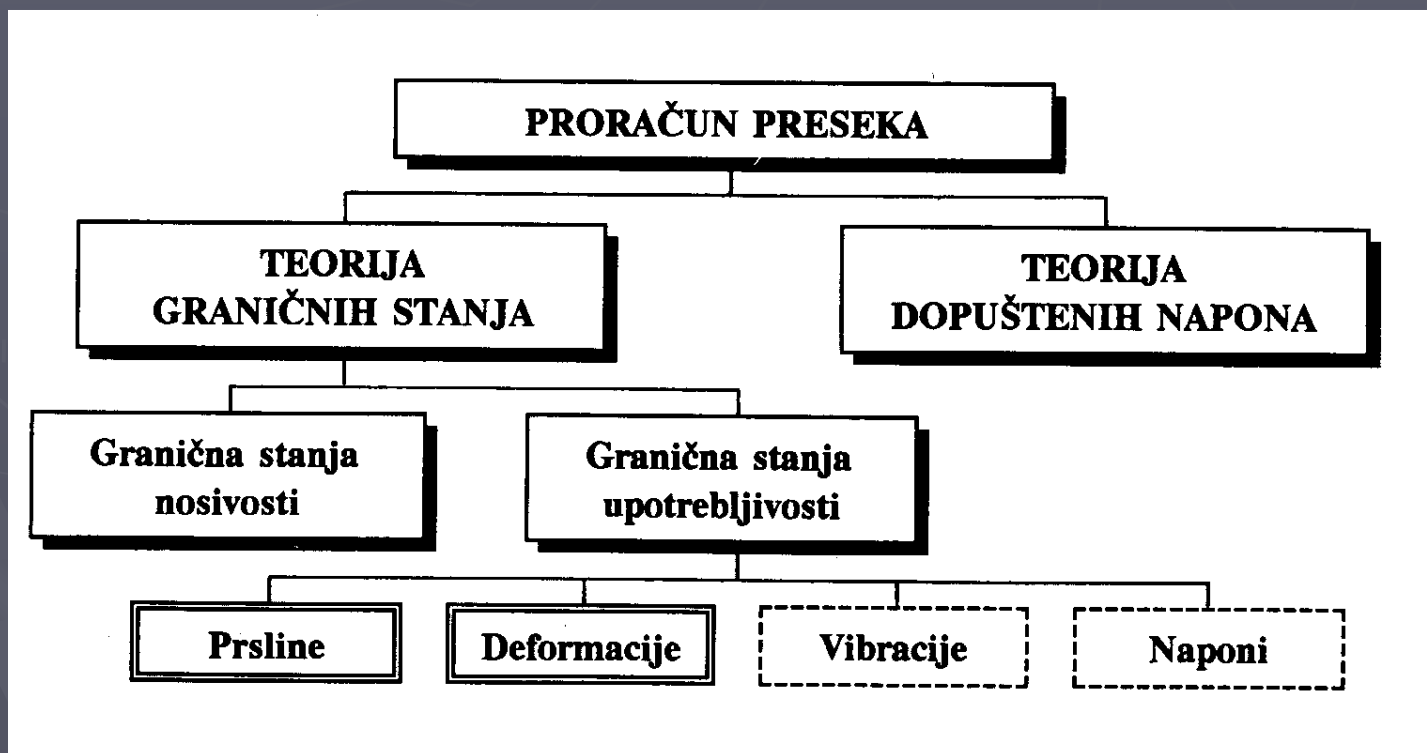
U slučaju kad se ne može zanemariti uticaj poprečnih deformacija za beton se usvaja poasonov koefocijent od 0.2

Modul smicanja izračunava se na osnovu vrijedosti modula elastičnosti.

Teorijske osnove proračuna AB elemenata

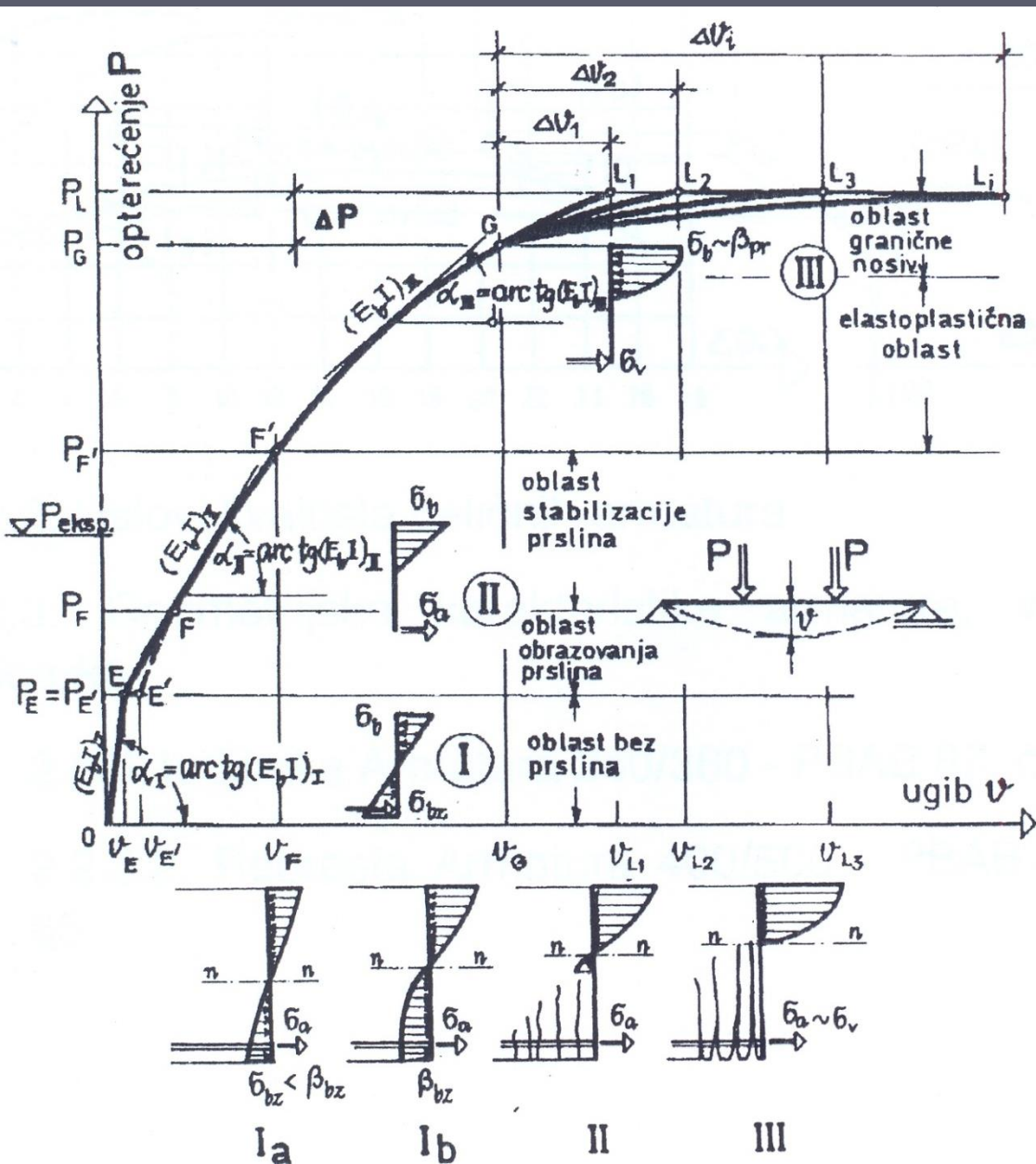
Statički uticaji se u poprečnim presjecima AB konstrukcija proračunaju po metodama statike konstrukcija (teorija elastičnosti).

Kada su poznati statički uticaji proračun presjeka, odnosno dimenzionisanje se može izvršiti na sledeće načine:



Teorija dopuštenih napona, zasniva se na idealnim elastičnim svojstvima materijala, betona i čelika, ali ona ne obezbeđuje potpunu sigurnost na lom i pojavu prsline u presjecima pa je napuštena. U našim propisima za beton se koristila do 1987. godine.

Ponašanje AB presjeka i elemenata pri porastu opterećenja



Faza I je oblast bez prslina, nosač; se ponaša elastično.

Faza II je oblast sa prslinama, koja se sastoji od oblasti obrazovanja prslina i oblasti stabilizacije prslina. Granica stabilizacije prslina (tačka P_F odnosno B), nastaje kada naponi u pritisnutoj ivici σ_b dostignu vrijednost od oko 0.3-0.4 f_{bk} . Ne formiraju se nove prsline, postojeće se proširuju i produblju do neutralne ose, što dovodi do daljeg pada krutosti i povećanja deformacija.

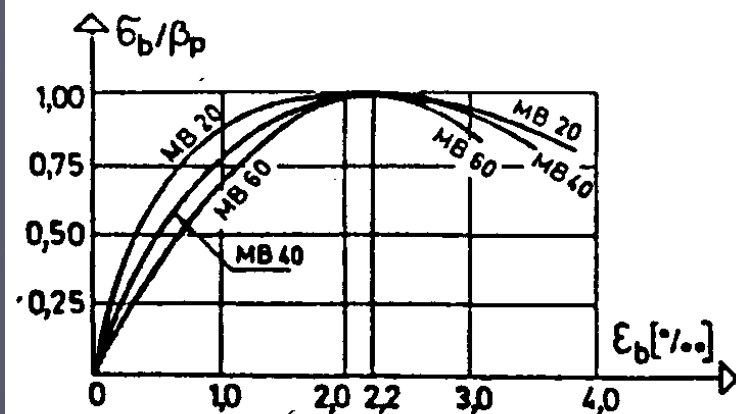
Faza III je lom nosača, koji nastaje usljed dostizanja granice tečenja armature ili dostizanje čvrstoće na pritisak u pritisnutoj zoni.

Osnove metoda proračuna AB presjeka

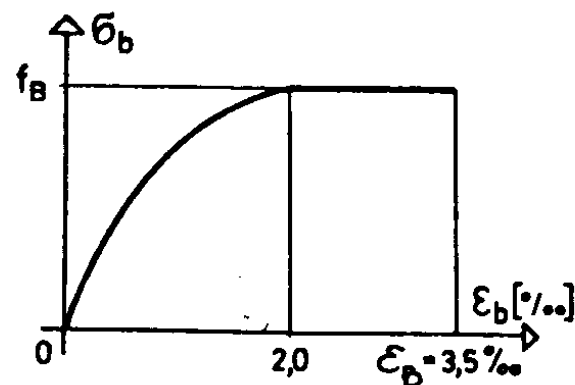
Proračun preseka prema graničnoj nosivosti zasniva se na sledećim pretpostavkama o ponašanju preseka u graničnom stanju loma:

1. raspodela dilatacija po visini poprečnog preseka je linearna, dakle, hipoteza *Bernoulli*-a o ravnim presecima ostaje u važnosti i u stanju loma,
2. beton se u zoni zatezanja isključuje iz prijema napona zatezanja. Celokupne sile zatezanja prima samo armatura,
3. smatra se da u stanju loma nije narušena veza između betona i čelika, dakle važi pretpostavka da je $\varepsilon_b = \varepsilon_a$,
4. veza između napona i dilatacija po visini pritisnute zone betona nije linearna i aproksimira se tzv. radnim dijagramom betona (RDB) kojim se u proračunu opisuje ponašanje pritisnutog betona u stanju loma,
5. računski dijagram veze napona i dilatacija u čeliku (dijagram $\sigma_a - \varepsilon_a$) aproksimira se bilinearnim radnim dijagramom čelika (RDČ).

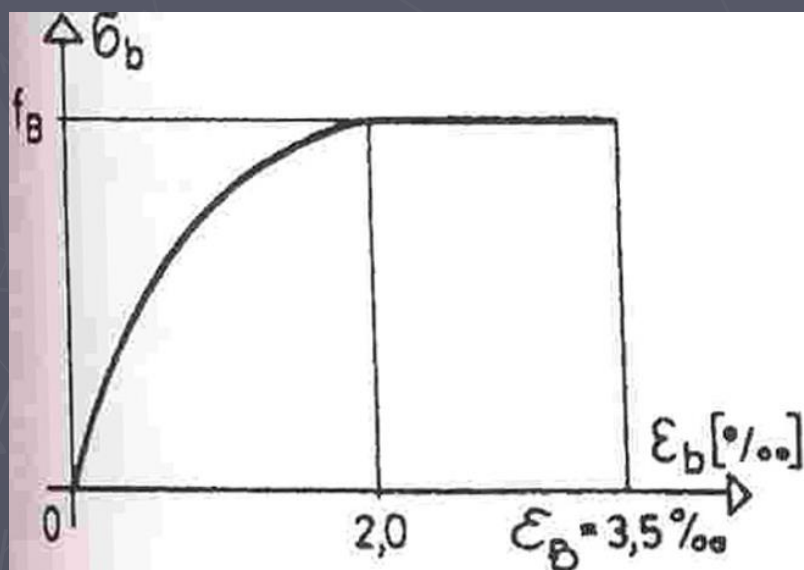
Naponsko deformacijske veze za beton



Zavisnost dijagrama napon - dilatacija od kvaliteta betona



Standardni dijagram betona



Dijagram $\sigma_b - \epsilon_b$ -

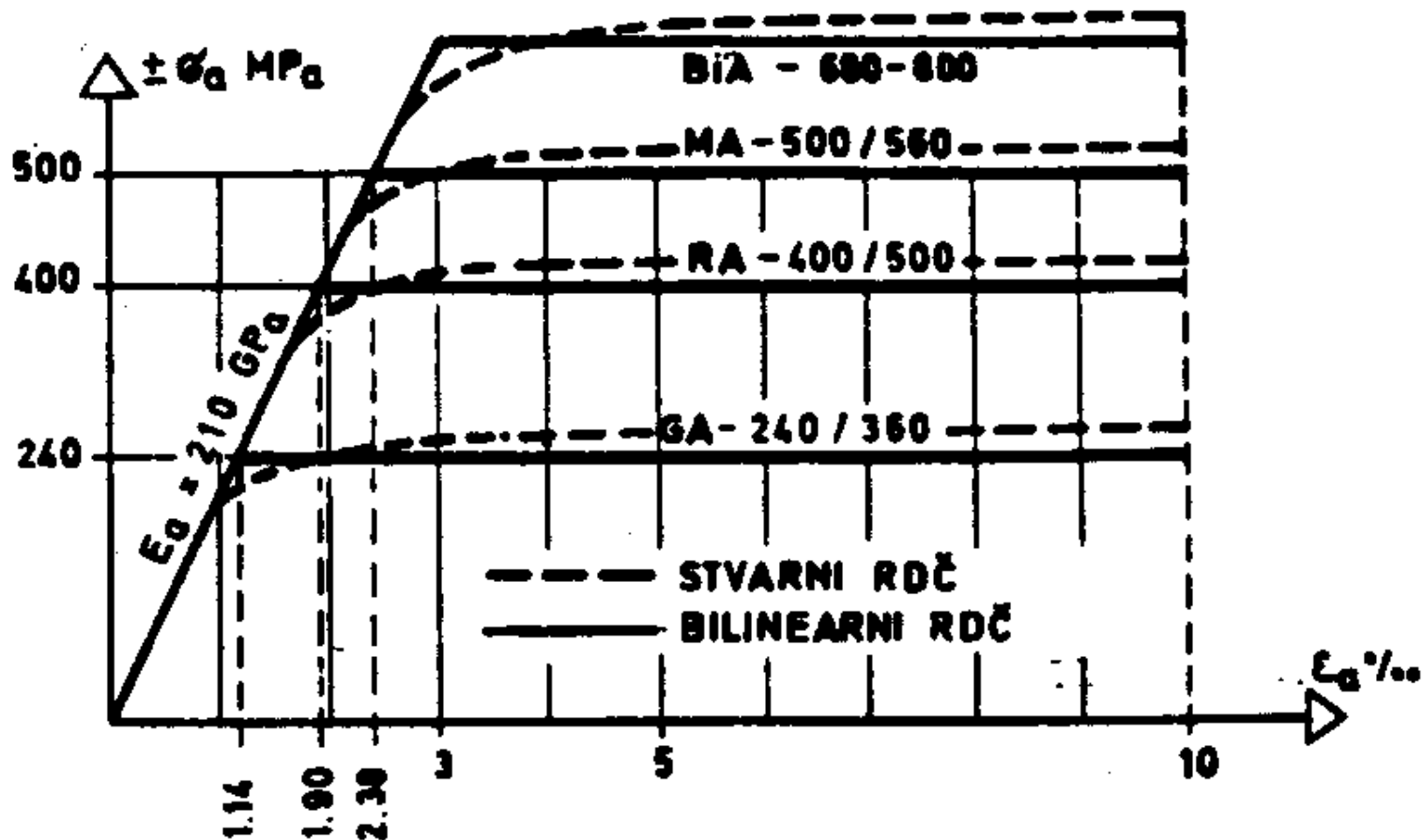
kvadratna parabola + prava

$$1. \quad \sigma_b = f_B \times (4 - \epsilon_b) \times \epsilon_b / 4$$

$$\text{za } 0 \leq \epsilon_b \leq 2\text{‰}$$

$$2. \quad \sigma_b = f_B$$

$$\text{za } 2\text{‰} \leq \epsilon_b \leq 3,5\text{‰}$$



Radni dijagram čelika

Kada dilatacije u čeliku dostignu 5-10 ‰ AB nosači koji se savijaju počinju naglo da se deformišu i za mali prirast opterećenja pa govorimo o dostizanju loma po armaturi iako napon u armaturi nije dostigao granicu kidanja.

Računska čvrstoća pri pritisku f_B za dijagram "parabola+prava"

Računska čvrstoća betona pri pritisku, f_B , data je u sljedećoj tablici. Računska čvrstoća betona zavisi od MB i koristi se u jednačinama za dimenzionisanje betonskih presjeka.

Redukcija je propisana, jer se vodilo računa da:

- pri djelovanju dugotrajnih opterećenja čvrstoća pri pritisku iznosi oko 85% odgovarajuće čvrstoće pri djelovanju kratkotrajnih opterećenja koja se primjenjuju na uzorcima pri određivanju marke betona;
- na pritiskutoj ivici savijanih nosača i uopšte kod pritisnutih elemenata, naponi u betonu pri lomu više odgovaraju čvrstoći betonske prizme f_{bp} nego čvrstoći betonske kocke f_{bk} . Odnos čvrstoća iznosi $f_{bp} = (0.8 - 0.85) f_{bk}$.

MB	10	15	20	30	40	50	60
f_B	7	10.5	14	20.5	25.5	30	33
f_B/MB	0.70	0.70	0.70	0.68	0.64	0.60	0.55

Tablica računskih čvrstoća betona za različite MB

Suština proračuna preseka prema graničnim stanjima loma sastoji se u dokazu da je granična nosivost preseka N_u veća ili jednaka nosivosti tog preseka pri delovanju graničnih uticaja N_s :

$$N_u \geq N_s$$

gde su *granični uticaji* odgovarajući računski uticaji u eksploataciji S_i uvećani parcijalnim koeficijentima sigurnosti γ_{ui} :

$$S_u = \sum_i \gamma_{ui} S_i$$

(7.2)

$$S_R \geq S_u \quad S_u = \sum_i \gamma_{ui} \cdot S_i \quad i = g, p, \Delta$$

$$S_u = \sum \gamma_{ui} S_i = \gamma_{ug} S_g + \gamma_{up} S_p + \gamma_{u\Delta} \cdot S_{\Delta}$$

S tim u vezi, *parcijalni koeficijenti sigurnosti* treba da pokriju:

- netačnosti vezane za procene veličine stalnog i povremenog opterećenja - moguća odstupanja u ovim procenama kreću se do 15%,
- disperziju rezultata i netačnosti pri određivanju mehaničkih osobina materijala ($MB \rightarrow f_B, E_b$ i slično),
- netačnosti pri usvajanju proračunskog statičkog sistema u odnosu na stvarni rad konstrukcije,
- odstupanja koja nastaju usvajanjem računskih karakteristika materijala u odnosu na stvarne (RDB i $RDČ$),
- netačnosti koje su posledica zanemarivanja uticaja temperature, tečenja i skupljanja betona na graničnu nosivost konstrukcije,
- tolerantna odstupanja koja nastaju u toku građenja armiranobetonskih konstrukcija,
- moguće razlike između izvedenog i projektovanog položaja armature, veličine zaštitnog sloja i eventualni manji obim korozije čelika i betona.

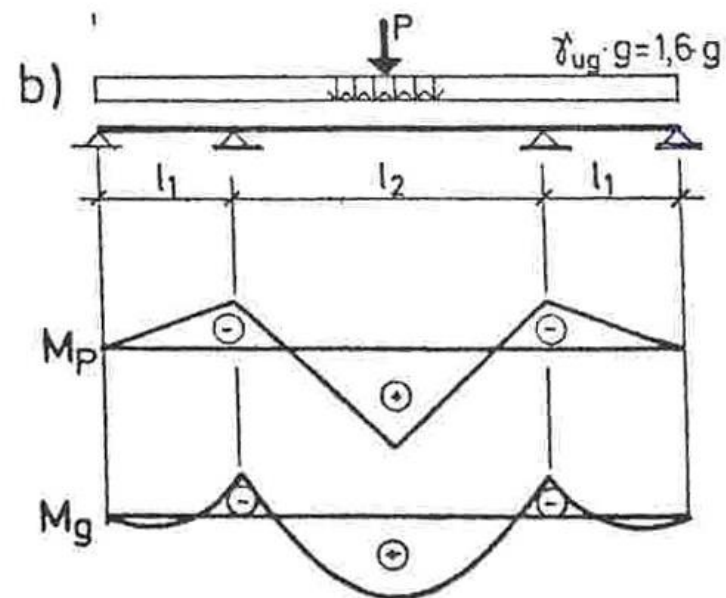
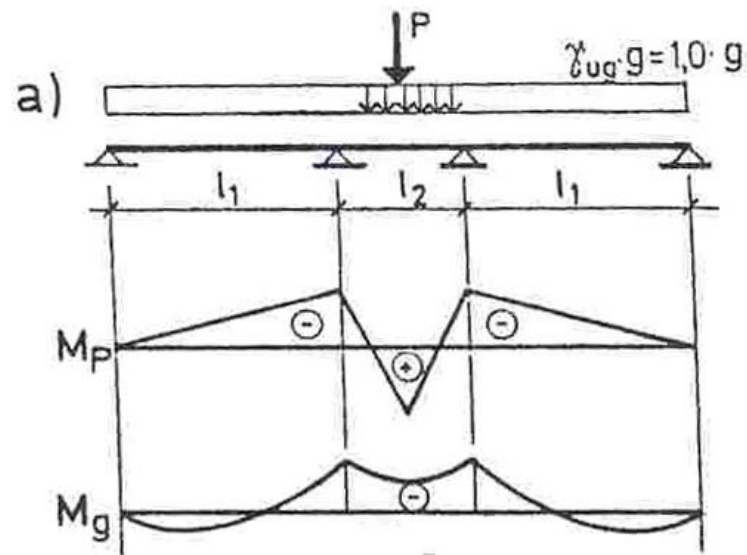
Međutim, treba naglasiti da *parcijalni koeficijenti sigurnosti* ne pokrivaju eventualne greške u proračunima statičkih uticaja i dimenzionisanju.

$$S_u = 1,6S_g + 1,8S_p$$

$$S_u = 1,9S_g + 2,1S_p$$

$$S_u = S_g + 1,8S_p \quad \text{za } \epsilon_a \geq 3\text{‰}$$

$$S_u = 1,2S_g + 2,1S_p \quad \text{za } \epsilon_a \leq 0\text{‰}$$



Povoljno (a) i nepovoljno (b) dejstvo stalnog opterećenja ***g*** pri određivanju površine preseka donje podužne armature u srednjem polju

$$\text{za } \epsilon_a \geq 3\text{‰} \quad S_u = S_g + 1,5S_p + 1,3S_\Delta$$

$$\text{za } \epsilon_a \leq 0\text{‰} \quad S_u = 1,2 + 1,8S_p + 1,5S_\Delta$$

$$S_u = 1,3S_g + 1,5S_p + 1,3S_\Delta$$

$$S_u = 1,5S_g + 1,8S_p + 1,5S_\Delta$$

Moguća stanja deformacija presjeka

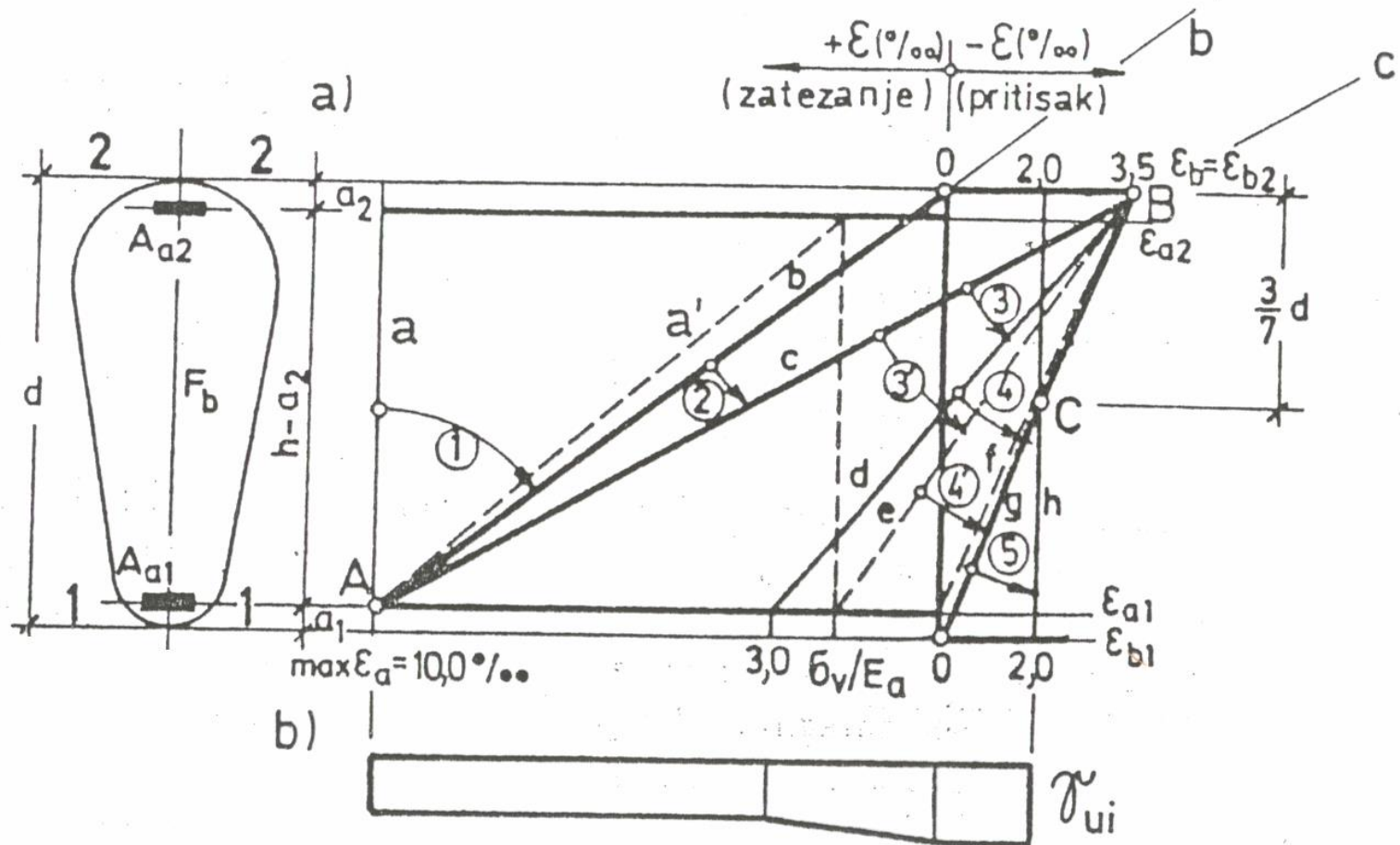
U proračunu prema graničnim stanjima kriterijum loma su vrijednosti dostignutih, konvencionalno usvojenih, graničnih dilatacija. U zavisnosti od materijala u kome su te granične dilatacije dostignute, razlikujemo tri vrste loma:

- a) lom po betonu, kada je $\epsilon_b = 3.5\text{‰}$; $0 \geq \epsilon_a \geq -10\text{‰}$,
- b) lom po armaturi, kada je $0 \leq \epsilon_b \leq 3.5\text{‰}$; $\epsilon_a = -10\text{‰}$,
- c) simultani lom, kada je $\epsilon_b = 3.5\text{‰}$; $\epsilon_a = -10\text{‰}$.

Dilatacije pritiska se označavaju pozitivnim, a dilatacije zatezanja negativnim brojem.

U oblasti graničnih stanja loma moguća su deformacijska stanja presjeka (stanja dilatacija) prikazana na sledećoj slici. Pri tome se razlikuju sledeća područja:

Naponsko deformacijske obalsti



Slika 84/1 Oblast mogućih raspodela dilatacija u armiranobetonskom preseku kod dostizanja granične nosivosti

1. područje između linija a i b :

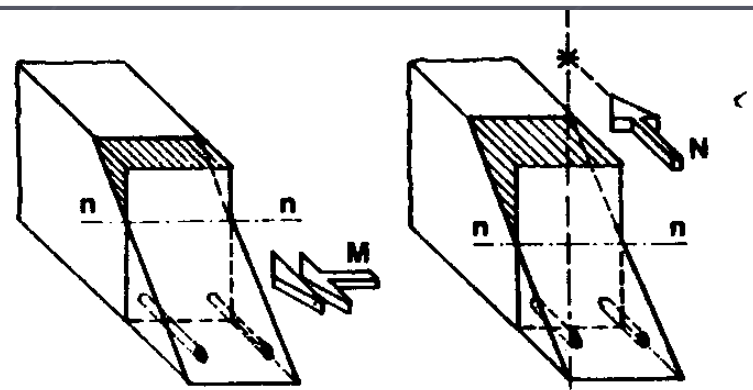
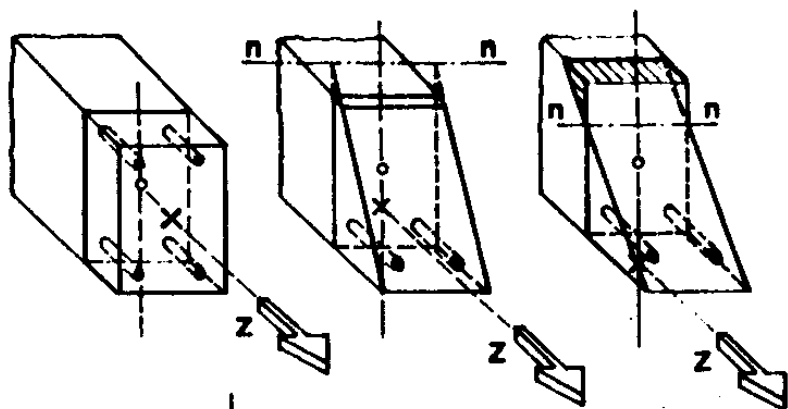
odgovara slučaju čistog zatezanja ili ekscentričnog zatezanja u fazi malog ekscentriciteta, pri čemu je $\epsilon_a = -10\text{‰}$; $\epsilon_b \leq 0\text{‰}$. Parcijalni koeficijenti sigurnosti su $\gamma_{xi} \leq 1.8$, a lom nastaje po zategnutoj armaturi,

2. područje između linija b i c :

odgovara slučajevima čistog savijanja i složenog savijanja (M, N), pri čemu je $\epsilon_{a1} = -10\text{‰}$; $0 \leq \epsilon_{b2} \leq 3.5\text{‰}$. Parcijalni koeficijenti sigurnosti su $\gamma_{xi} \leq 1.8$. U ovom području lom može biti po armaturi ili simultani,

3. područje između linija c i d :

odgovara slučajevima čistog savijanja ili složenog savijanja sa silom pritiska pri čemu je $\epsilon_{b2} = 3.5\text{‰}$; $-10 \leq \epsilon_{a1} \leq -3.0\text{‰}$. Parcijalni koeficijenti sigurnosti su još uvek $\gamma_{xi} \leq 1.8$.



4. područje između linija d i g :

odgovara slučajevima složenog savijanja sa velikom silom pritiska u kojima lom nastaje po betonu, pri čemu je dilatacija u betonu $\epsilon_{b2} = 3.5\text{‰}$, a dilatacija u čeliku u granicama $-3\text{‰} \leq \epsilon_{a1} \leq 0$. Ovo područje karakteriše povećanje vrednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti, idući od $\epsilon_{a1} = -3\text{‰}$ prema $\epsilon_{a1} = 0\text{‰}$, jer se neutralna linija nalazi nisko u preseku koji je većim delom pritisnut,

5. područje između linija g i h :

odnosi se na slučajeve ekscentričnog pritiska (mali ekscentricitet), pri čemu dilatacije betona na jače pritisnutoj ivici preseka variraju između $2 \leq \epsilon_{b2} \leq 3.5\text{‰}$, odnosno na manje pritisnutoj ivici između $0 \leq \epsilon_{b1} \leq 2\text{‰}$. Centričnom pritisku odgovaraju dilatacije betona $\epsilon_{b1} = \epsilon_{b2} = 2\text{‰}$ (linija dilatacija h). Parcijalni koeficijenti sigurnosti, koji odgovaraju stanju dilatacija $\epsilon_{a1} \geq 0\text{‰}$ (pritisak u armaturi), imaju veće vrednosti jer je naponsko stanje preseka takvo da može nastupiti "nenajavljeni lom", odnosno pojava iznenadnog krtoq loma po betonu bez prethodnih vidljivih oštećenja elementa.

