



Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program: **GRAĐEVINARSTVO**
Modul: **KONSTRUKCIJE**
Godina/Semestar: **3 godina / 5 semestar**

Naziv predmeta (šifra): **TEORIJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA 1
(B2K3B1)**

Nastavnik: **Prof.dr Snežana Marinković**

Naslov predavanja: **OSNOVE PRORAČUNA**

Datum : 07.10.2020.

Beograd, 2020.

Sva autorska prava autora prezentacije i/ili video snimaka su zaštićena. Snimak ili prezentacija se mogu koristiti samo za nastavu na daljinu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2020/2021 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.

Sadržaj

- Uvod
- Osnove proračuna
- Osobine materijala
- Analiza
- ULS-Savijanje
- ULS-Smicanje
- ULS-Torzija
- ULS-Strut&tie modeli
- Trajnost
- Performance based design
- Ploče u jednom pravcu



Teorijska postavka

Proračun betonskih konstrukcija se danas zasniva na primeni *Teorije graničnih stanja* i *Teorije pouzdanosti*.

Osnovna postavka *Teorije graničnih stanja* je da proračunom treba dokazati *nosivost*, *funkcionalnost* i *trajnost* konstrukcije u toku njenog eksploatacionog veka, sa odgovarajućom *pouzdanošću*.

Pod pouzdanošću se podrazumeva sigurnost od dostizanja raznih graničnih stanja (nosivost, funkcionalnost, trajnost). Zasniva se na *prihvatljivoj verovatnoći* da projektovana konstrukcija neće biti nepodobna za primenu u toku eksploatacionog veka, odnosno da nijedno relevantno granično stanje neće biti prekoračeno.

Zahtevani nivo pouzdanosti se obezbeđuje *koeficijentima sigurnosti*.



Teorijska postavka

Granična stanja su stanja čijim prekoračenjem konstrukcija više nije u stanju da odgovori proračunskim zahtevima. Dokazuju se dve osnovne grupe graničnih stanja:

- *granična stanja nosivosti - ULS*
- *granična stanja upotrebljivosti - SLS*

Pored toga, obezbeđuje se zahtevana *trajnost* konstrukcije.



Granična stanja nosivosti

Granična stanja nosivosti se manifestuju gubitkom nosivosti konstrukcije, te se dakle odnose na **sigurnost** ljudi i konstrukcija. Proračunom treba dokazati, da je nosivost (otpornost) preseka, elementa ili cele konstrukcije (R), za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja, veća ili najmanje jednaka vrednosti odgovarajućeg uticaja (E), *sa odgovarajućom pouzdanošću*:

$$\frac{R}{E} \geq \gamma$$

- E uticaj od opterećenja (moment savijanja, aksijalna sila, transverzalna sila, moment torzije.....odnosno njihovo kombinovano dejstvo);
- R odgovarajuća nosivost (otpornost) preseka, elementa ili cele konstrukcije;
- γ zahtevani globalni koeficijent sigurnosti.



Granična stanja upotrebljivosti

Granična stanja upotrebljivosti se manifestuju gubitkom upotrebljivosti konstrukcije, te se odnose na **funkcionalnost**, **udobnost ljudi**, **estetski izgled** konstrukcije. Proračunom treba dokazati, *sa odgovarajućom pouzdanošću*, da su veličine od kojih zavise upotrebljivost – kriterijumi upotrebljivosti, za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja, manje ili najviše jednake nekim zahtevanim graničnim vrednostima. Kriterijumi upotrebljivosti se najčešće izražavaju kroz kontrolu **napona** i **deformacija**, **prslina** i **vibracija** betonskih konstrukcija.

$$\frac{C_R}{C_E} \geq \gamma$$

C_E	kriterijum upotrebljivosti (naponi, deformacije, prsline....);
C_R	odgovarajuća granična vrednost kriterijuma;
γ	zahtevani globalni koeficijent sigurnosti.

Trajnost

Trajnost konstrukcije treba da bude takva da je njena upotreba moguća tokom *proračunskog eksploatacionog veka*. Pod proračunskim eksploatacionim vekom podrazumeva se vreme u kome se konstrukcija može upotrebljavati za predviđenu namenu sa prihvatljivim (uobičajenim) merama održavanja, dakle bez velikih popravki i sanacija.

Trajnost betonskih konstrukcija u najvećoj meri zavisi od kvaliteta betona.

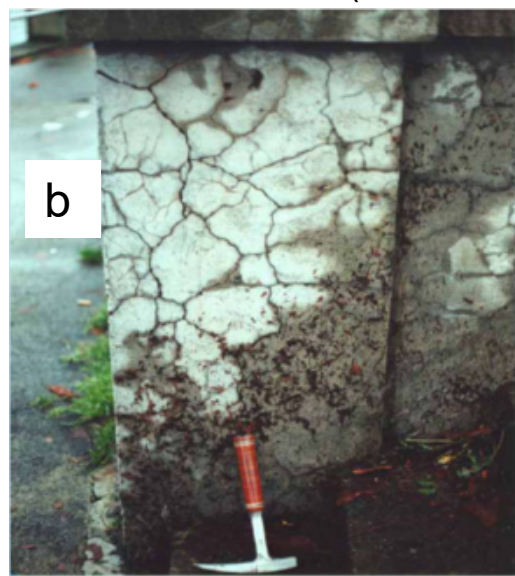
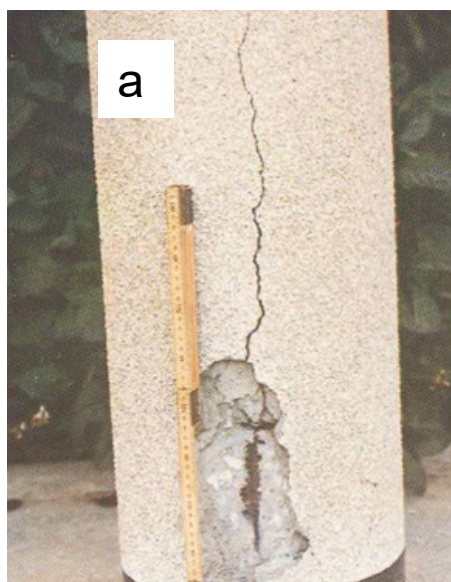
Kvalitet betona kao materijala, u smislu trajnosti, odnosi se prvenstveno na njegovu strukturu, odnosno na tip i raspored pora, jer od toga zavisi mogući transportni mehanizam kroz beton i omogućuje interakcija sredine i betona. Takva interakcija određuje potencijalne *mehanizme deteriorizacije* – procesa oštećenja koja propagiraju kroz vreme.



Trajnost



Korozija armature i otpadanje zaštitnog sloja betona (karbonatizacija, hloridi)



- (a) prsline usled ekspanzije betona prozrokovane korozijom armature (velika količina hlorida u agregatu);
- (b) oštećenja usled alkalno-agregatne reakcije (AAR)

Trajnost



Oštećenja i prsline usled
dejstva ciklusa smrzavanja-
odmrzavanja



Rastvaranje i ispiranje CaOH_2



Koncept pouzdanosti

Postoje razne vrste nepouzdanosti zbog kojih su osnovne veličine neophodne za proračun (opterećenja, uticaji od opterećenja, uticaji sredine, nosivost, geometrijski podaci) praktično slučajno promenljive veličine:

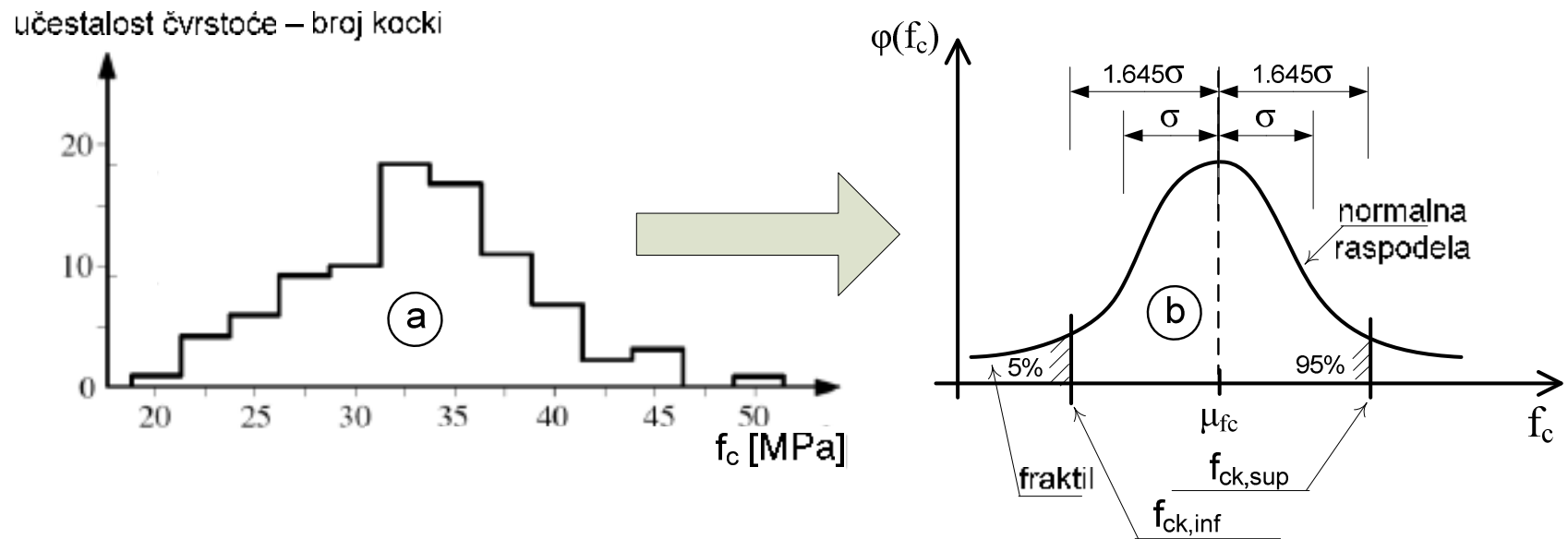
- veličina stvarnih opterećenja i njihov raspored se može razlikovati od pretpostavljenih;
- pretpostavke i uprošćenja koja činimo u analizi konstrukcija mogu rezultovati uticajima koji se razlikuju od onih koji stvarno deluju;
- zahvaljujući našem nedovoljnom poznavanju, stvarno ponašanje konstrukcije se može razlikovati od pretpostavljenog;
- stvarna svojstva materijala se mogu razlikovati od specificiranih;
- stvarne dimenzije elemenata i položaj armature se može razlikovati od specificiranih.

Zbog toga je neophodno da se utvrdi određen nivo pouzdanosti – sigurnosti od dostizanja raznih graničnih stanja.



Koncept pouzdanosti

PRIMER: Realna raspodela čvrstoće betona i aproksimacija krivom normalne raspodele



donja karakteristična vrednost:

$$f_{ck,inf} = \mu_{f_c} - 1.645\sigma$$

gornja karakteristična vrednost:

$$f_{ck,sup} = \mu_{f_c} + 1.645\sigma$$

μ srednja vrednost

σ standardna devijacija



Koncept pouzdanosti

Procena sigurnosti konstrukcije od dostizanja nekog graničnog stanja može se sprovesti uvođenjem koeficijenta sigurnosti ili, alternativno, uvođenjem funkcije G - granice sigurnosti koja je razlika između nosivosti konstrukcije i odgovarajućih uticaja:

$$\gamma = \frac{R}{E} \qquad G = R - E$$

- E uticaj od opterećenja;
- R odgovarajuća nosivost (otpornost) preseka, elementa ili cele konstrukcije;
- γ koeficijent sigurnosti.



Koncept pouzdanosti

Verovatnoća loma, koja se odnosi na fiksirani referentni vremenski period T:

$$P_f = P\{R / E \leq 1\} = P\{\gamma \leq 1\} \quad P_f = P\{R - E \leq 0\} = P\{G \leq 0\}$$

gde P_f predstavlja, verovatnoću loma-otkaza, odnosno verovatnoću da je razmatrano granično stanje dostignuto ili prekoračeno makar jednom u toku T.

Ovaj potpuno probabilistički pristup ima veoma ograničenu primenu u inženjerskoj praksi, jer je veoma složen a i potrebne statističke raspodele promenljivih najčešće nisu poznate.



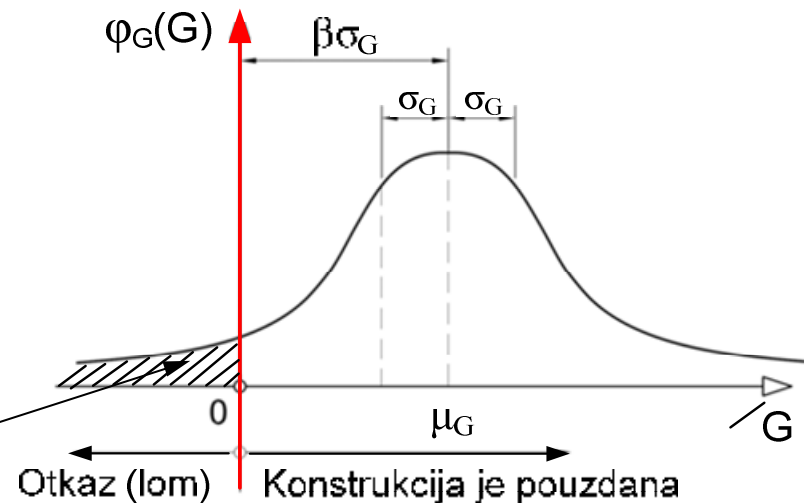
Koncept pouzdanosti

Ako su poznate samo srednje vrednosti i standardne devijacije slučajnih promenljivih E i R, ali ne i njihova statistička raspodela, verovatnoća loma se može oceniti na osnovu indeksa pouzdanosti β :

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G}$$

μ_G srednja vrednost G
 σ_G standardna devijacija G

$$P_f = \int_{-\infty}^0 \varphi_G(G) dg$$



Propisivanjem određene vrednosti za indeks pouzdanosti propisuje se verovatnoća loma-otkaza ili nivo sigurnosti – pouzdanosti.

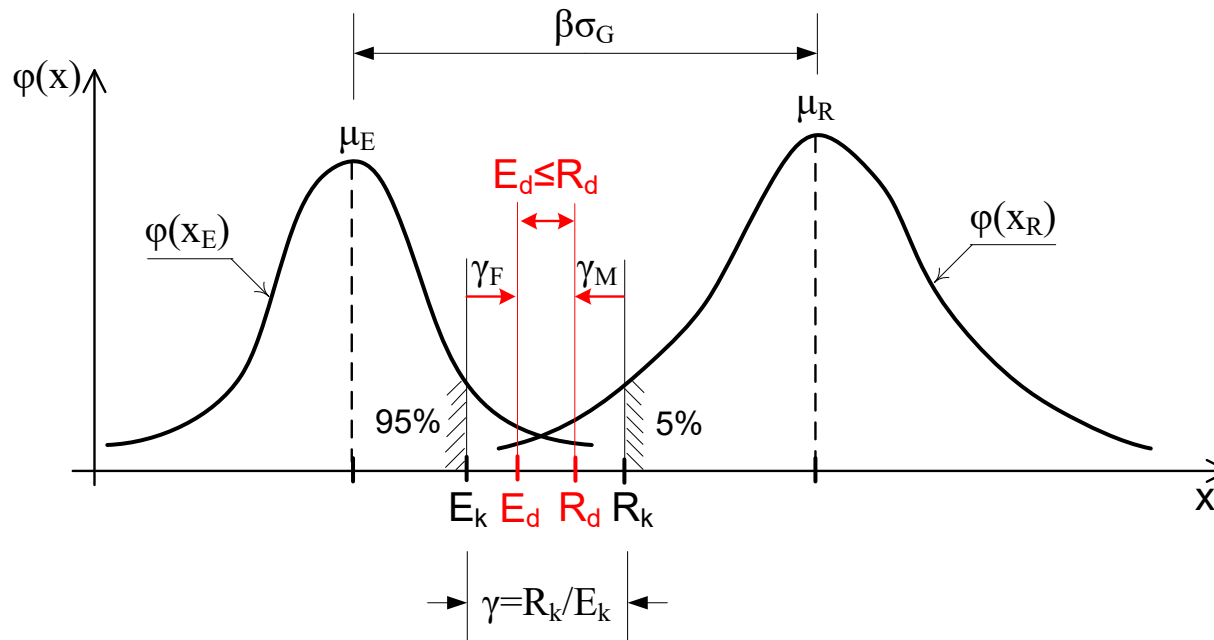
Koncept pouzdanosti

Za praktične inženjerske proračune najviše se koristi **metod parcijalnih koeficijenata sigurnosti**, polu-probabilistički pristup u kome se koriste *karakteristične vrednosti* slučajno promenljivih a *parcijalnim koeficijentima sigurnosti* se uzimaju u obzir nesigurnosti vezane za uticaje od opterećenja, nosivosti i geometriju konstrukcije.

- nosivost (R) i uticaji od opterećenja (E) su nezavisne slučajne promenljive čija se stvarna raspodela može aproksimirati normalnom (Gausovom) raspodelom;
- **karakteristične vrednosti** R_k i E_k se određuju na osnovu propisane veličine fraktila njihove (normalne) raspodele; to su vrednosti koje, sa određenom verovatnoćom, neće biti prekoračene u toku eksploatacionog veka konstrukcije;
- ove vrednosti se transformišu u **proračunske**, R_d i E_d , primenom **parcijalnih koeficijenata sigurnosti** za uticaje usled opterećenja γ_F i za nosivost γ_M .



Koncept pouzdanosti



$$\gamma = \frac{R_k}{E_k} = \gamma_F \gamma_M$$

$$\frac{R_k}{\gamma_M} = \gamma_F E_k$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

$$E_d = \gamma_F E_k$$

$$E_d \leq R_d$$

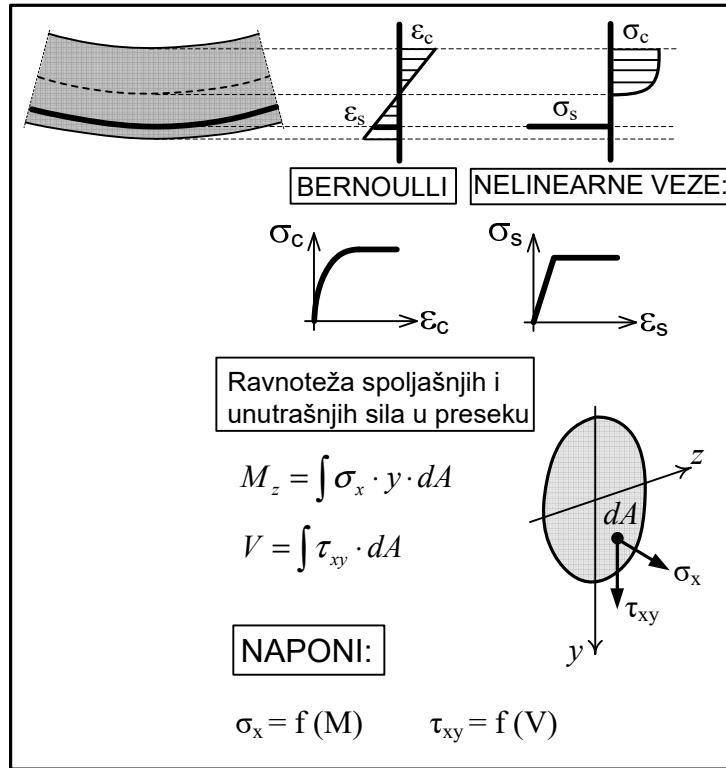


Koncept pouzdanosti

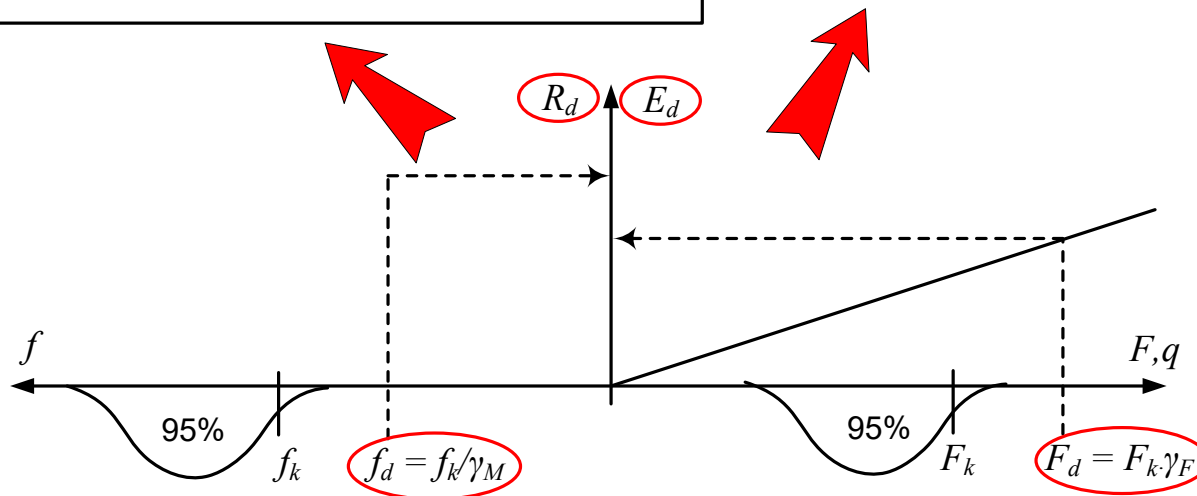
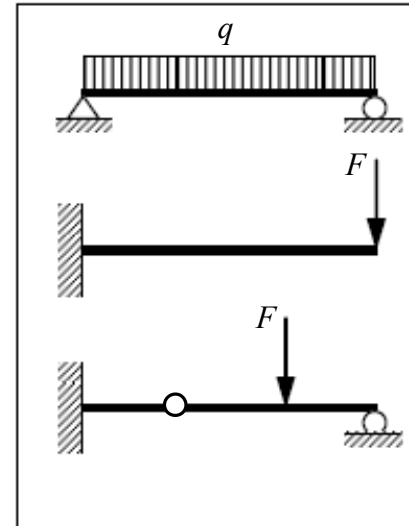
Metod parcijalnih koeficijenata ili **proračunskih vrednosti** ima široku primenu u konstruktorskoj praksi, za sve konstrukcijske materijale.

Kada se izabere određeni nivo pouzdanosti, odnosno određena verovatnoća loma, može se odrediti indeks pouzdanosti i na osnovu njega izvršiti kalibracija parcijalnih koeficijenata sigurnosti i propisati pravilnicima ili standardima. Primena ovog metoda dakle ne zahteva poznavanje probabilističkih aspekata problema sigurnosti od strane inženjera-projektanata, jer su oni već obuhvaćeni napred navedenim izborima.





Modeliranje konstrukcije i opterećenja i analiza - PRORAČUN SILA U PRESEKU



EC0 i EC2

Evrokod 0 pruža mogućnost projektantu da izabere odgovarajući **nivo pouzdanosti**, klasifikujući ih na 2 načina:

Klase prema posledicama (CC), na osnovu posledica loma ili nezadovoljavajućeg funkcionisanja konstrukcije:

Klasa prema posledicama	Opis	Primeri zgrada i drugih objekata
CC3	Velike posledice za gubitak ljudskih života, ili vrlo velike ekonomske i socijalne posledice, ili posledice po sredinu.	Tribine, javni objekti, objekti od vitalnog značaja kod kojih su posledice loma velike (koncertne i sportske dvorane, stadioni, elektrane...).
CC2	Srednje posledice za gubitak ljudskih života, značajne ekonomske i socijalne posledice, ili posledice po sredinu.	Stambene i administrativne zgrade, javne zgrade, kod kojih su posledice loma srednje.
CC1	Male posledice za gubitak ljudskih života, kao i male ili zanemarljive ekonomske i socijalne posledice, ili posledice po sredinu.	Poljoprivredne zgrade u koje ljudi normalno ne ulaze (na primer zgrade za skladištenje), staklene bašte....



EC0 i EC2

Klase prema pouzdanosti (RC), na osnovu indeksa pouzdanosti β za granična stanja nosivosti:

Klasa pouzdanosti	Minimalne vrednosti indeksa pouzdanosti β	
	Referentni period od 1 godine	Referentni period od 50 godina
RC3 (CC3)	5.2	4.3
RC2 (CC2)	4.7	3.8
RC1 (CC1)	4.2	3.3

Kao referentna klasa pouzdanosti u Evrokodu 0 usvojena je klasa **RC2**, dakle vrednost indeksa pouzdanosti β za referentni period od 50 godina i **za granična stanja nosivosti treba da bude najmanje jednaka 3.8.**

Ciljna vrednost indeksa pouzdanosti β za referentni period od 50 godina i **za granična stanja upotrebljivosti iznosi 1.5.**



EC0 i EC2

Veza između indeksa pouzdanosti β i verovatnoće loma (otkaza):

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1.28	2.32	3.09	3.72	4.27	4.75	5.20

SLS \longleftarrow
ULS \longleftarrow

1:10 – 1:100
1:10000

Verovatnoća smrtnosti u saobraćaju

Uzrok smrti	Verovatnoća/god.	Verovatnoća/životni vek
Pešak	2.13E-05	1.64E-03
Biciklista	2.78E-06	2.14E-04
Motociklista	1.07E-05	8.24E-04
Osoba u autu	5.24E-05	4.05E-03
Osoba u kamionu	1.31E-06	1.01E-04
Osoba u autobusu	1.30E-07	1.00E-05
Osoba u vozu	4.07E-07	3.14E-05
Osoba u avionu	9.12E-08	7.04E-06
Jahač	3.22E-06	2.94E-04
Ukupno, saobraćaj	1.66E-04	1.28E-02



EC0 i EC2

Proračun konstrukcija se zasniva na konceptu dokaza *graničnih stanja nosivosti i upotrebljivosti, i trajnosti*, primenom *metode parcijalnih koeficijenata sigurnosti* odnosno *proračunskih vrednosti*.

Proračunske situacije

Proračunom se moraju dokazati granična stanja za sve kombinacije opterećenja kojima konstrukcija može biti izložena u toku građenja i eksploatacije:

- *stalne* proračunske situacije, koje se odnose na normalne uslove eksploatacije;
- *prolazne* proračunske situacije, koje se odnose na privremene, prolazne uslove u kojima se nalazi konstrukcija, na primer u toku izvođenja ili popravke;
- *incidentne* proračunske situacije, koje se odnose na izuzetne uslove, kao na primer požar, eksplozija, udar vozila itd.;
- *seizmičke* proračunske situacije, koje se odnose na uslove u kojima se nalazi konstrukcija izložena zemljotresu.



EC0 i EC2

Dejstva i uticaji od dejstava

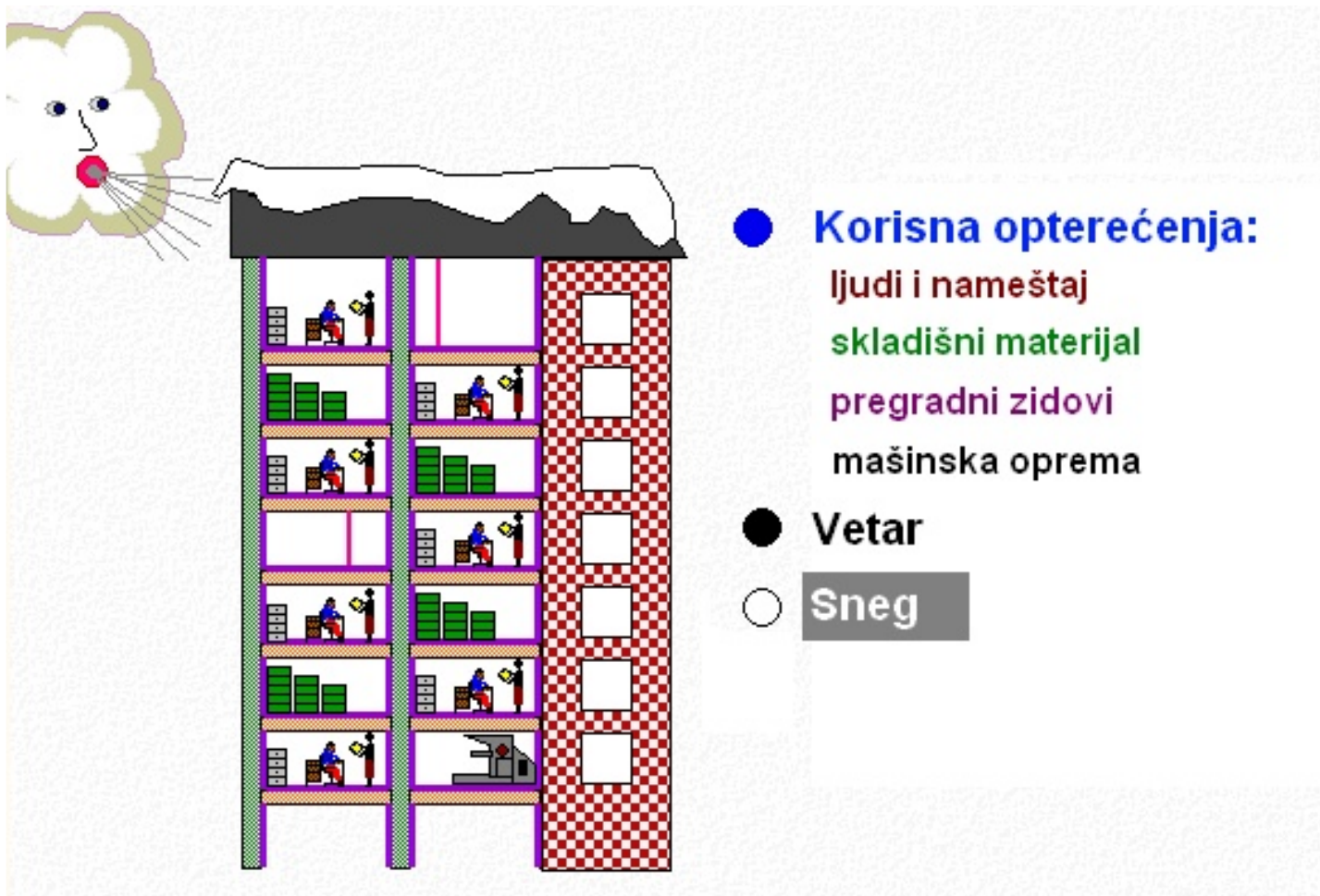
Pod dejstvima se podrazumevaju spoljašnja opterećenja i prinudne ili sprečene deformacije.

Prema promenljivosti u toku vremena, dejstva se klasifikuju na:

- **stalna dejstva G** su dejstva koja deluju na konstrukciju tokom najvećeg dela njenog upotrebnog veka. U njih spadaju direktna dejstva (sopstvena težina, nepokretna oprema, kolovozni zastor, prethodno naprezanje) i stalna indirektna dejstva kao skupljanje, tečenje, nejednako sleganje oslonaca;
- **promenljiva dejstva Q** su dejstva koja deluju na konstrukciju u toku određenog vremena i mogu biti promenljiva i u prostoru (korisna opterećenja, dejstva vetra, snega, saobraćajna opterećenja, termički uticaji);
- **incidentna dejstva A** su dejstva čija je verovatnoća pojave mala i koja se mogu i ne moraju javiti tokom upotrebnog veka konstrukcije (eksplozije, udari vozila). U ovu grupu spadaju i **seizmička dejstva A_E** .



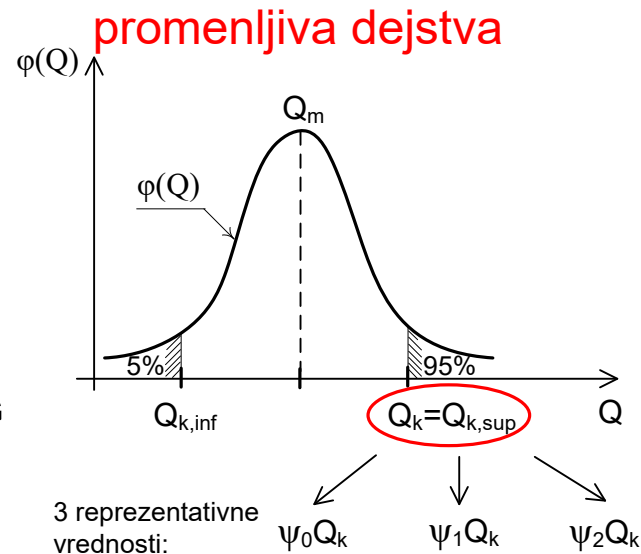
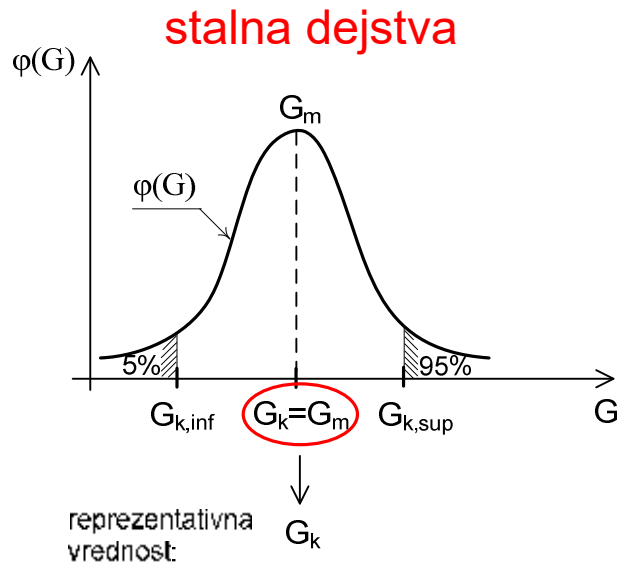
PRIMER: PROMENLJIVA DEJSTVA, ZGRADA



EC0 i EC2

Reprezentativne i karakteristične vrednosti dejstava

Karakteristična vrednost se određuje kao srednja, gornja (sa fraktilom 95%) i donja vrednost (sa fraktilom 5%) Gauss-ove raspodele, u zavisnosti od vrste dejstva. To može biti i neka propisana nominalna vrednost kada statistička raspodela nije poznata.



incidentna dejstva

propisuje se
proračunska vrednost
 A_d

seizmička dejstva:
 A_{Ek} ili A_{Ed} (EC8)



EC0 i EC2

Različitim reprezentativnim vrednostima se uzima u obzir verovatnoća istovremenog delovanja svih promenljivih opterećenja u punom iznosu ili različita verovatnoća pojave korisnih, incidentnih i seizmičkih dejstava:

- *Vrednost za kombinacije* je proizvod koeficijenta za kombinovanje i karakteristične vrednosti promenljivog opterećenja $\psi_0 Q_k$. Koristi se u slučaju delovanja više promenljivih dejstava i to za granična stanja nosivosti i nepovratna granična stanja upotrebljivosti;
- *Česta vrednost* je proizvod $\psi_1 Q_k$ i koristi se za dokaz graničnih stanja nosivosti pri incidentnim proračunskim situacijama i dokaz povratnih graničnih stanja upotrebljivosti;
- *Kvazi-stalna vrednost* je proizvod $\psi_2 Q_k$ a primenjuje se za dokaz graničnih stanja nosivosti pri incidentnim i seizmičkim proračunskim situacijama i dokaz povratnih graničnih stanja upotrebljivosti.



EC0 i EC2

Koeficijenti ψ_i za konstrukcije u zgradarstvu prema SRPS EN 1990/NA

Dejstvo	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Korisno opterećenje (SRPS EN 1991-1-1)			
Kategorija A: Prostorije za domaćinstvo i stanovanje	0.7	0.5	0.3
Kategorija B: Kancelarijske prostorije	0.7	0.5	0.3
Kategorija C: Prostorije za okupljanje ljudi	0.7	0.7	0.6
Kategorija D: Trgovačke prostorije	0.7	0.7	0.6
Kategorija E: Skladišne prostorije	1.0	0.9	0.8
Kategorija F: Saobraćajne površine, vozilo ≤ 30 kN	0.7	0.7	0.6
Kategorija G: Saobraćajne površine, $30\text{kN} < \text{vozilo} \leq 160$ kN	0.7	0.5	0.3
Kategorija H: Krovovi	0	0	0
Opterećenja od snega (SRPS EN 1991-1-3)			
Finska, Švedska, Norveška, Island	0.7	0.5	0.2
Ostale članice CEN, lokacije visine $H > 1000\text{m}$ nadmorske visine	0.7	0.5	0.2
Ostale članice CEN, Lokacije visine $H \leq 1000\text{m}$ nadmorske visine	0.5	0.2	0
Opterećenja od vetra (SRPS EN 1991-1-4)	0.6	0.2	0
Temperatura (ne požar) (SRPS EN 1991-1-5)	0.6	0.5	0



EC0 i EC2

Karakteristične vrednosti svojstava materijala

Svojstva materijala se uvode u proračun preko **karakterističnih vrednosti**. Kada su u pitanju čvrstoće materijala, za karakterističnu vrednost treba uzeti **donju vrednost**, ili obe vrednosti - donju (fraktil 5% Gauss-ove raspodele) i gornju (fraktil 95% Gauss-ove raspodele), kada je proračunski dokaz osetljiv na varijacije ovih svojstava. Kada se ne raspolaže sa dovoljnim statističkim podacima za određivanje karakterističnih vrednosti, mogu da budu korišćene nominalne vrednosti. Za svojstva od kojih zavise deformacije (modul elastičnosti, dilatacije skupljanja i tečenja), za karakterističnu vrednost se može usvojiti srednja vrednost svojstva.



EC0 i EC2

Proračunske vrednosti dejstava i uticaja od dejstava

Proračunske vrednosti dejstava F_d određuju se množenjem reprezentativne vrednosti dejstva parcijalnim koeficijentom sigurnosti za dejstva:

$$F_d = \gamma_f F_{rep} = \gamma_f \psi F_k$$

F_k	karakteristična vrednost dejstva
F_{rep}	relevantna reprezentativna vrednost dejstva
γ_f	parcijalni koeficijent sigurnosti za dejstva, kojim se uzima u obzir mogućnost odstupanja vrednosti dejstava od reprezentativnih vrednosti



EC0 i EC2

Proračunske vrednosti uticaja od dejstava E_d su:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{f,F} F_{rep,i} a_d \}$$

Uprošćeno:

$$E_d = E \{ \gamma_{F,i} F_{rep,i} a_d \}$$

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{Sd} \gamma_{f,i}$$

koeficijent sigurnosti koji uključuje nepouzdanosti reprezentativnih vrednosti opterećenja γ_f i modeliranja uticaja od opterećenja γ_{Sd} ; ubuduće - **koeficijent sigurnosti za uticaje od dejstava**.

a_d

proračunske vrednosti geometrijskih podataka = a_{nom}



EC0 i EC2

Proračunske vrednosti svojstava materijala i nosivosti

Proračunske vrednosti svojstava materijala X_d određuju se deljenjem karakteristične vrednosti svojstva parcijalnim koeficijentom sigurnosti za svojstva. Za proračunske vrednosti nosivosti, kao kod proračunskih vrednosti uticaja od dejstava, u većini slučajeva može se uvesti uprošćenje:

$$R_d = R \left\{ \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d \right\}$$

R_d	proračunska vrednost nosivosti – proračunska nosivost
$X_{k,i}$	karakteristične vrednosti svojstava materijala
$\gamma_{M,i}$	parcijalni koeficijent sigurnosti koji obuhvata nepouzdanosti karakterističnih vrednosti svojstava materijala i nepouzdanosti modeliranja nosivosti; ubuduće - koeficijent sigurnosti za materijale .
a_d	proračunske vrednosti geometrijskih podataka

EC0 i EC2

Prema SRPS EN 1992-1-1, parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale, za **granična stanja nosivosti**, iznose:

Proračunske situacije	γ_c za beton	γ_s za čelik za armaturu	γ_s za čelik za prethodno naprezanje
Stalne i prolazne	1.5	1.15	1.15
Incidentne *	1.2	1.0	1.0

* za seizmičke situacije –pogledati EC8

Prema SRPS EN 1992-1-1, parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale, γ_c i γ_s za **granična stanja upotrebljivosti**, su jednaki jedinici.



EC0 i EC2

DOKAZ GRANIČNIH STANJA NOSIVOSTI

Granična stanja nosivosti koja je potrebno proračunom dokazati su sledeća (naravno, dokazuju se relevantna u konkretnom slučaju):

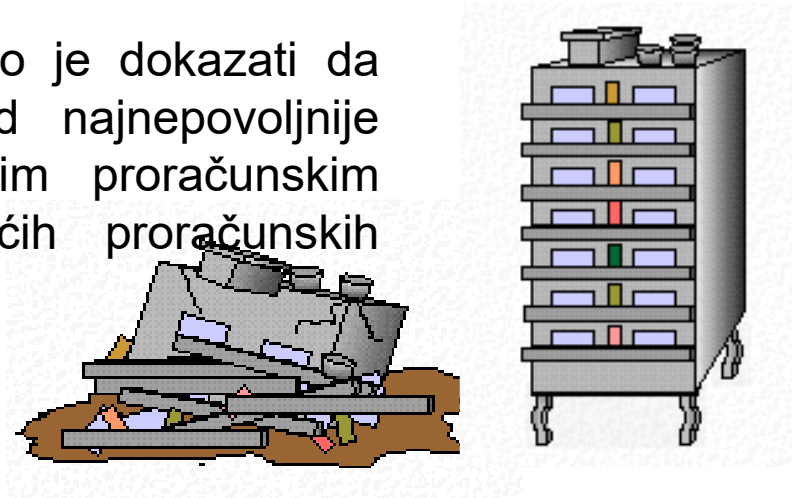
- gubitak statičke ravnoteže konstrukcije ili njenog dela kao krutog tela (oznaka **EQU**);
- lom usled prevelike deformacije, prelaska konstrukcije ili nekog njenog dela u mehanizam, lom poprečnog preseka, gubitak stabilnosti konstrukcije ili nekog njenog dela, uključujući oslonce i temelje (oznaka **STR**);
- lom ili prevelika deformacija tla, kada čvrstoće tla imaju značajnog uticaja na nosivost konstrukcije (oznaka **GEO**);
- lom usled zamora ili drugih uticaja zavisnih od vremena (oznaka **FAT**).



EC0 i EC2

Za granična stanja **STR** i **GEO**, potrebno je dokazati da proračunske vrednosti uticaja E_d , usled najnepovoljnije kombinacije dejstava u svim relevantnim proračunskim situacijama, nisu veće od odgovarajućih proračunskih vrednosti odgovarajućih nosivosti R_d :

$$E_d \leq R_d$$



Za granična stanja gubitka ravnoteže konstrukcije kao krutog tela, na primer usled preturanja ili proklizavanja (**ERU**), potrebno je dokazati

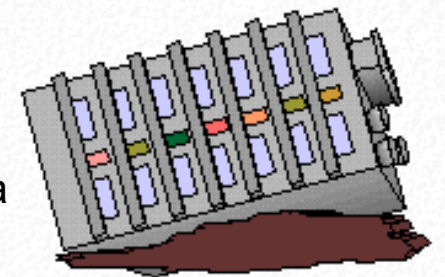
$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

$E_{d,dst}$

proračunska vrednost uticaja od destabilizujućih dejstava

$E_{d,stb}$

proračunska vrednost uticaja od stabilizujućih dejstava



EC0 i EC2

Kombinacije dejstava za dokaz graničnih stanja nosivosti

Za određivanje proračunske vrednosti uticaja, EC0 definiše kombinacije dejstava u zavisnosti od proračunske situacije. Na projektantu je da odredi koje proračunske situacije su relevantne za konkretni problem.

Stalne i prolazne proračunske situacije

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$	karakteristične vrednosti stalnih dejstava
P	reprezentativna vrednost dejstva usled prethodnog naprezanja (najčešće srednja)
$Q_{k,1}$	karakteristična vrednost dominantnog promenljivog dejstva
$Q_{k,i}$	karakteristične vrednosti ostalih promenljivih dejstava
$\gamma_{G,j}$	parcijalni koeficijent za stalna dejstva
γ_P	parcijalni koeficijent za prednaprezanje
$\gamma_{Q,1}$	parcijalni koeficijent za dominantno promenljivo dejstvo
$\gamma_{Q,i}$	parcijalni koeficijent za promenljiva dejstva
$\psi_{0,i}$	koeficijenti za kombinovanje promenljivih dejstava



EC0 i EC2

Incidentne proračunske situacije

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ili } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

gde je A_d proračunska vrednost incidentnog dejstva (udar vozila, požar...). Koja reprezentativna vrednost dominantnog promenljivog dejstva, $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ ili $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ će biti uzeta u razmatranje zavisi od konkretne incidentne situacije.

Seizmičke proračunske situacije

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

gde je A_{Ed} proračunska vrednost uticaja usled seizmičkog dejstva, koja se određuje u skladu sa EC8.



EC0 i EC2

Parcijalni koeficijenti sigurnosti za uticaje od dejstava

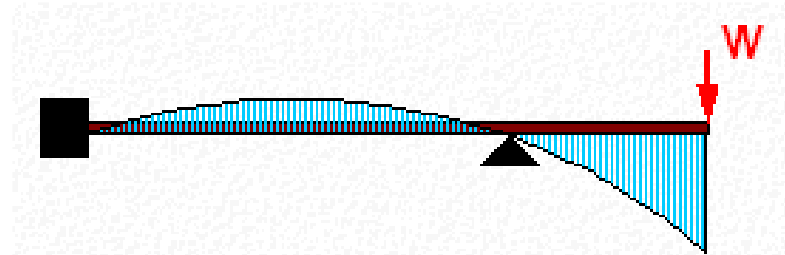
Određivanje proračunskih vrednosti uticaja za **STR**

Stalne i prolazne proračunske situacije	Stalna dejstva		Promenljiva dejstva	
	nepovoljno	povoljno	dominatno	ostala
	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
	$1.35 \sum_{j \geq 1} G_{kj,sup} (1.00 \sum_{j \geq 1} G_{kj,inf}) + 1.50 Q_{k,1} + 1.50 \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$			
Vrednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti γ iznose: $\gamma_{Gj,sup} = 1.35$ $\gamma_{Gj,inf} = 1.00$ $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1.50$ za nepovoljno dejstvo $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 0.00$ za povoljno dejstvo				

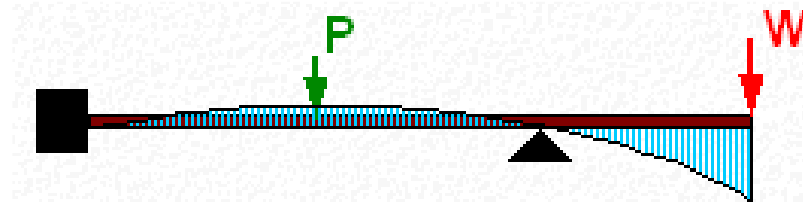


Povoljno i nepovoljno dejstvo

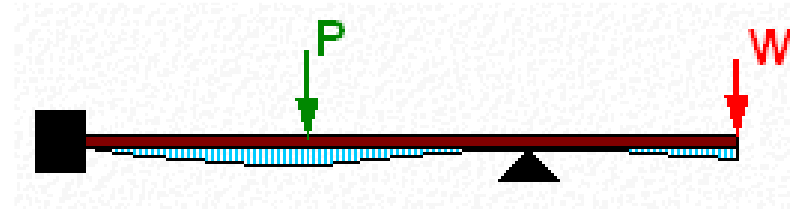
Ugib prepusta grede pod silom W :



Ako se nanese i sila P :



A zatim njena vrednost poveća
Ugib će se smanjiti



Sa aspekta ugiba prepusta
sila P ima povoljno
dejstvo!

EC0 i EC2

Određivanje proračunskih vrednosti uticaja za EQU

Stalne i prolazne proračunske situacije	Stalna dejstva		Promenljiva dejstva	
	nepovoljno	povoljno	dominatno	ostala
	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
U opštem slučaju, vrednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti γ iznose: $\gamma_{Gj,sup} = 1.10$ $\gamma_{Gj,inf} = 0.90$ $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1.50$ za nepovoljno dejstvo $\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 0.00$ za povoljno dejstvo				



EC0 i EC2

Određivanje proračunskih vrednosti uticaja za seizmičke i incidentne proračunske situacije

Proračunska situacija	Stalna dejstva		Dominatno incidentno ili seizmičko dejstvo	Ostala promenljiva dejstva	
	nepovoljno	povoljno		glavno	ostala
Incidentna	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	A_d	$\psi_{11}(\psi_{21})Q_{k1}^{*)}$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$
	$\sum_{\mathbb{P}1} G_{kjsup} \sum_{\mathbb{P}1} G_{kjinl} + A_d + (\psi_{1,i} \psi_{2,i}) Q_{k,i} + \sum_{\mathbb{P}1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$				
Seizmička	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	A_{Ed}	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$	
	$\sum_{\mathbb{P}1} G_{kjsup} \sum_{\mathbb{P}1} G_{kjinl} + A_{Ed} + \sum_{\mathbb{P}1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$				
<p>*) Za glavno promenljivo dejstvo može se uzeti česta ili kvazi-stalna vrednost, u zavisnosti od incidentne situacije koja se razmatra.</p>					

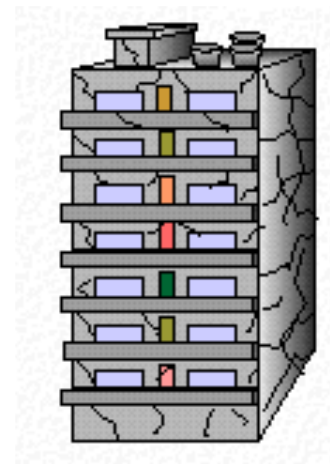
Svi koeficijenti sigurnosti za uticaje od dejstava su jednaki jedinici.

EC0 i EC2

DOKAZ GRANIČNIH STANJA UPOTREBLJIVOSTI

Granična stanja upotrebljivosti se odnose na dokaz sledećih kriterijuma upotrebljivosti:

- napona u betonu i čeliku
- razmaka i širine prslina
- deformacija koje utiču na izgled, komfor korisnika, funkcionisanje konstrukcije, oštećenja fasada i nekonstrukcijskih elemenata;
- vibracija koje izazivaju nekomfornost ljudi i ograničavaju funkcionalnost – nisu obuhvaćene Evrokodom 2.



EC0 i EC2

Potrebno je dokazati, da proračunska vrednost uticaja E_d , koja je propisana u kriterijumu upotrebljivosti, usled najnepovoljnije kombinacije dejstava u svim relevantnim proračunskim situacijama, nije veća od granične proračunske vrednosti relevantnog kriterijuma upotrebljivosti C_d :

$$E_d \leq C_d$$

E_d proračunska vrednost uticaja, koja je propisana u kriterijumu upotrebljivosti, a određena na osnovu relevantne kombinacije

C_d granična proračunska vrednost relevantnog kriterijuma upotrebljivosti



EC0 i EC2

Kombinacije dejstava za dokaz graničnih stanja upotrebljivosti

Karakteristična kombinacija
najveće opterećenje
– kontrola napona

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Kvazi-stalna kombinacija
stalno prisutno opterećenje
– kontrola prslina i ugiba

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Česta kombinacija
između najvećeg i
stalno prisutnog opterećenja

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Svi parcijalni koeficijenti sigurnosti za uticaje od dejstava su jednaki jedinici.



EC0 i EC2

TRAJNOST

Trajnost mora biti dokazana, odnosno konstrukcija mora biti proračunata tako da njena degradacija ne utiče na smanjenje nivoa ponašanja konstrukcije ispod određene mere, imajući u vidu predviđeni nivo održavanja, u toku njenog eksploatacionog veka.

Indikativne vrednosti *proračunskog eksploatacionog veka* :

Kategorija proračunskog eksploatacionog veka	Indikativni proračunski eksploatacioni vek (godina)	Primeri
1	10	Privremene konstrukcije ¹⁾
2	10 do 25	Zamenljivi delovi konstrukcije, kranski nosači, ležišta
3	15 do 30	Poljoprivredne i slične konstrukcije
4	50	Konstrukcije zgrada
5	100	Konstrukcije monumentalnih zgrada, mostovi....

¹⁾Konstrukcije koje mogu da budu uklonjene, sa izgledom da budu ponovo korišćene, ne treba smatrati privremenim

EC0 i EC2

Stepen degradacije konstrukcije se procenjuje na osnovu proračuna, eksperimentalnih ispitivanja i *iskustva sa ranijih sličnih objekata*, ili kombinacijom ovih metoda.

Minimalni zaštitni sloj c_{min} , pod kojim se podrazumeva rastojanje između šipke ili kabla najbližeg površini betona i površine betona, treba da obezbedi siguran prenos napona prijanjanja, zaštitu čelika od korozije (trajnost) i odgovarajuću otpornost na požar.

Minimalni zaštitni sloj je maksimalna vrednost od sledećih veličina:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}\}$$

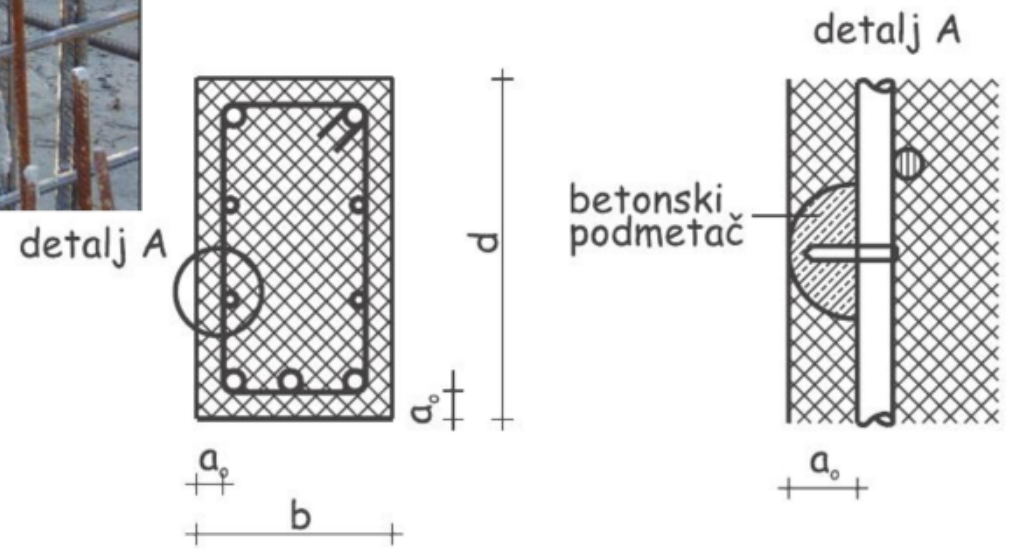
- $c_{min,b}$ minimalni zaštitni sloj iz uslova obezbeđenja prijanjanja (1),
- $c_{min,dur}$ minimalni zaštitni sloj iz uslova obezbeđenja trajnosti (2),
- $\Delta c_{dur,\gamma}$ dodatni sigurnosni element (3),
- $\Delta c_{dur,st}$ smanjenje minimalnog sloja zbog upotrebe nerđajućeg čelika (4),
- $\Delta c_{dur,add}$ smanjenje minimalnog sloja zbog upotrebe dodatne zaštite (5).



EC0 i EC2



EC0 i EC2



EC0 i EC2

(1) Minimalni zaštitni sloj iz uslova dobrog prijanjanja, $c_{min,b}$:

Tip šipke armature	Minimalni zaštitni sloj $c_{min,b}$ *
Pojedinačna šipka	prečnik šipke
Šipke grupisane u svežanj	ekvivalentni prečnik
* Ako je nominalna veličina maksimalnog zrna agregata veća od 32mm, $c_{min,b}$ treba povećati za 5mm	

(2) Minimalni zaštitni sloj iz uslova obezbeđenja trajnosti $c_{min,dur}$ zavisi od **klase izloženosti** i **klase konstrukcije**. Različiti ambijetalni uslovi podeljeni su u 18 različitih klasa izloženosti. Klasa konstrukcije zavisi od indikativne klase čvrstoće betona koja je prikazana u narednoj tabeli.



Trajnost

USLOVI SREDINE MORAJU BITI ODREĐENI U FAZI PRORAČUNA

Uslovi sredine se, za potrebe dokaza trajnosti konstrukcije (odgovarajućih graničnih stanja), mogu propisati kao *klase izloženosti*. Prema ISO 22965-1 (istu klasifikaciju je usvojio EC2), uslovi sredine se mogu razvrstati u 18 različitih klasa izloženosti

Oznaka klase	Uslovi sredine	Primeri
<i>Bez opasnosti od korozije ili drugih agresivnih dejstava</i>		
X0	Veoma suva	Beton u unutrašnjosti zgrada sa veoma niskom vlažnošću vazduha, bez rizika od korozije ili druge agresije
<i>Korozija izazvana karbonatizacijom</i>		
XC1	Suva ili stalno mokra	Beton u unutrašnjosti zgrada sa niskom vlažnošću vazduha; beton stalno pod vodom
XC2	Mokra, retko suva	Površine betona dugotrajno u kontaktu sa vodom; mnogi temelji
XC3	Umereno vlažna	Beton u unutrašnjosti zgrada sa umerenom ili visokom vlažnošću vazduha; beton u spoljašnjem prostoru zaklonjen od kiše
XC4	Ciklično mokra i suva	Površine betona u kontaktu sa vodom, koje ne spadaju u klasu izloženosti XC2

Trajnost

Korozija izazvana hloridima

XD1	Umereno vlažna	Površine betona izložene dejstvu hlorida iz vazduha
XD2	Mokra, retko suva	Bazeni za plivanje; elementi izloženi industrijskim vodama koje sadrže hloride
XD3	Ciklično mokra i suva	Delovi mostova izloženi prskanju aerosola sa hloridima; kolovozi; ploče parkinga

Korozija izazvana hloridima iz morske vode

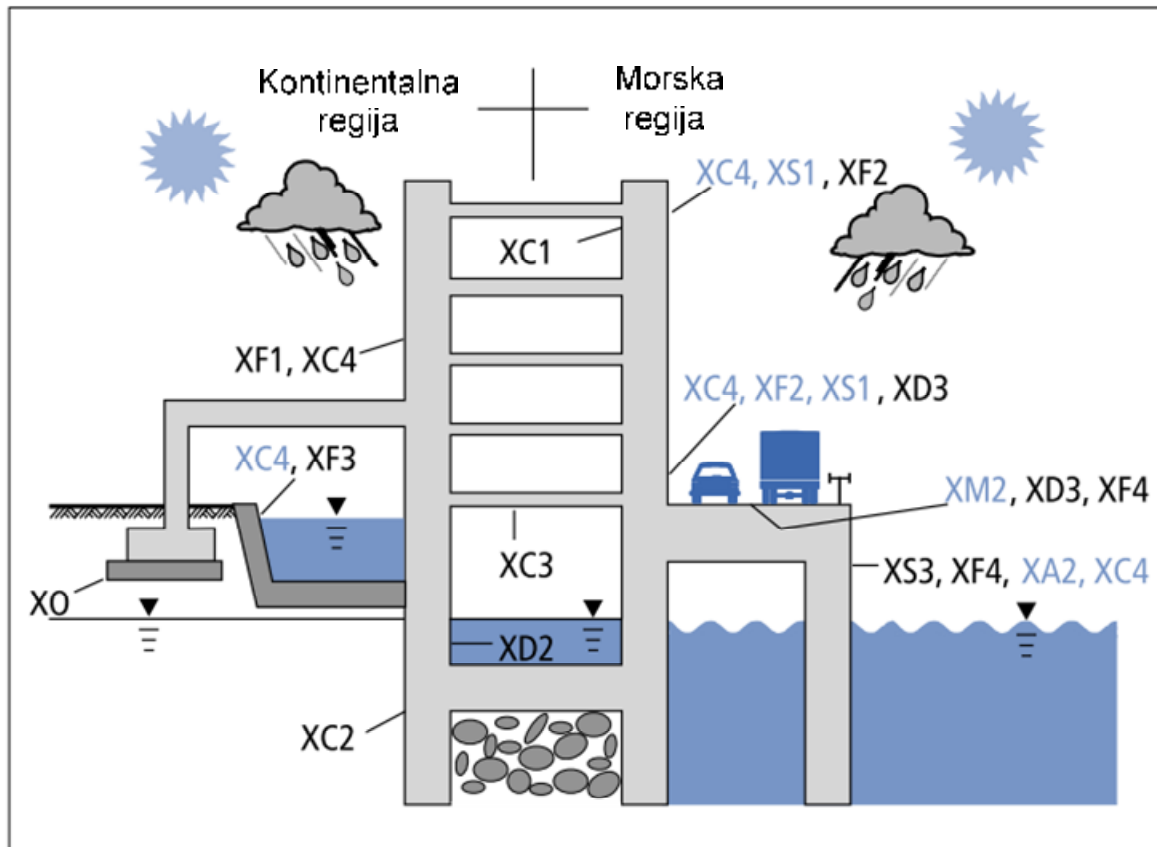
XS1	Izloženost dejstvu soli iz vazduha, ali bez direktnog kontakta sa morskom vodom	Konstrukcije u blizini ili naobali mora
XS2	Stalno pod vodom	Delovi konstrukcija u moru
XS3	Zone pod dejstvom plime i oseke, zapljuskivanja i raspršivanja	Delovi konstrukcija u moru

Korozija izazvana agresijom od uticaja zamrzavanja/odmrzavanja

XF1	Umereno zasićena vodom, bez soli za odleđivanje	Vertikalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju
XF2	Umereno zasićena vodom, sa solima za odleđivanje	Vertikalne površine betona na konstrukcijama na putevima, izložene zamrzavanju i solima za odleđivanje iz vazduha
XF3	Jako zasićena vodom, bez soli za odleđivanje	Horizontalne površine betona izložene kiši i zamrzavanju
XF4	Umereno zasićena vodom, sa solima za odleđivanje	Putne ili mostovske kolovozne konstrukcije izložene solima za odleđivanje; površine betona izložene direktnom uticaju aerosola koji sadrži soli za odleđivanje i zamrzavanju; zone zapljuskivanja konstrukcija u moru, izložene zamrzavanju

Trajnost

Primeri različnih klasa izloženosti



EC0 i EC2

Indikativne klase čvrstoće betona

	Klase izloženosti									
Korozija čelika										
	Karbonatna korozija				Hloridna korozija			Hloridna korozija, morska voda		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Indikativna klasa čvrstoće	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Oštećenje betona										
	Bez rizika		Smrzavanje/odmrzavanje			Hemijska agresija				
	X0		XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3		
Indikativna klasa čvrstoće	C12/15		C30/37	C25/30	C30/37	C30/37		C35/45		

Konstrukcija je klase **S4** ukoliko je njen predviđeni eksploatacioni vek 50 godina, a primenjeni beton je klase čvrstoće koja zavisi od klase izloženosti prema tabeli. Ukoliko konstrukcija ne ispunjava uslove klase S4, recimo ima duži eksploatacioni vek, drugačiju klasu čvrstoće betona, specijalnu kontrolu kvaliteta i sl., klasa S4 se koriguje prema narednoj tabeli:



EC0 i EC2

Klase konstrukcije

Klasa konstrukcije							
Kriterijum	Klasa izloženosti						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Eksploatacioni vek 100 god	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2	povećati klasu za 2
Klasa čvrstoće betona	≥C30/37 smanjiti klasu za 1	≥C30/37 smanjiti klasu za 1	≥C35/45 smanjiti klasu za 1	≥C40/50 smanjiti klasu za 1	≥C40/50 smanjiti klasu za 1	≥C40/50 smanjiti klasu za 1	≥C45/55 smanjiti klasu za 1
Na položaj armature ne utiče proces izgradnje	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1
Obezbeđena specijalna kontrola kvaliteta	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1	smanjiti klasu za 1



EC0 i EC2

Kada je definisana klasa konstrukcije i poznata klasa izloženosti, mogu se odrediti minimalni zaštitni slojevi iz uslova trajnosti, $c_{min,dur}$:

Minimalni zaštitni sloj iz uslova trajnosti, $c_{min,dur}$ (mm)							
Klasa konstrukcije	Klasa izloženosti						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
1	10	10	10	15	20	25	30
2	10	10	15	20	25	30	35
3	10	10	20	25	30	35	40
4	10	15	25	30	35	40	45
5	15	20	30	35	40	45	50
6	20	25	35	40	45	50	55

čelik
armature

Minimalni zaštitni sloj iz uslova trajnosti, $c_{min,dur}$ (mm)							
Klasa konstrukcije	Klasa izloženosti						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
1	10	15	20	25	30	35	40
2	10	15	25	30	35	40	45
3	10	20	30	35	40	45	50
4	10	25	35	40	45	50	55
5	15	30	40	45	50	55	60
6	20	35	45	50	55	60	65

kablovski
čelik



EC0 i EC2

(3) Zaštitni sloj se može povećati za veličinu $\Delta c_{dur,\gamma}$, dodatni sigurnosni element.

(4) Zaštitni sloj se može smanjiti za veličinu $\Delta c_{dur,st}$ zbog upotrebe nerđajućeg čelika ili nekih drugih specijalnih mera.

(5) Zaštitni sloj se može smanjiti za veličinu $\Delta c_{dur,add}$ zbog upotrebe dodatne zaštite betona.

Prema SRPS EN 1992-1-1/NA za sve tri veličine se može usvojiti da su jednake 0.

Nominalni zaštitni sloj koji se koristi pri dimenzionisanju je konačno:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

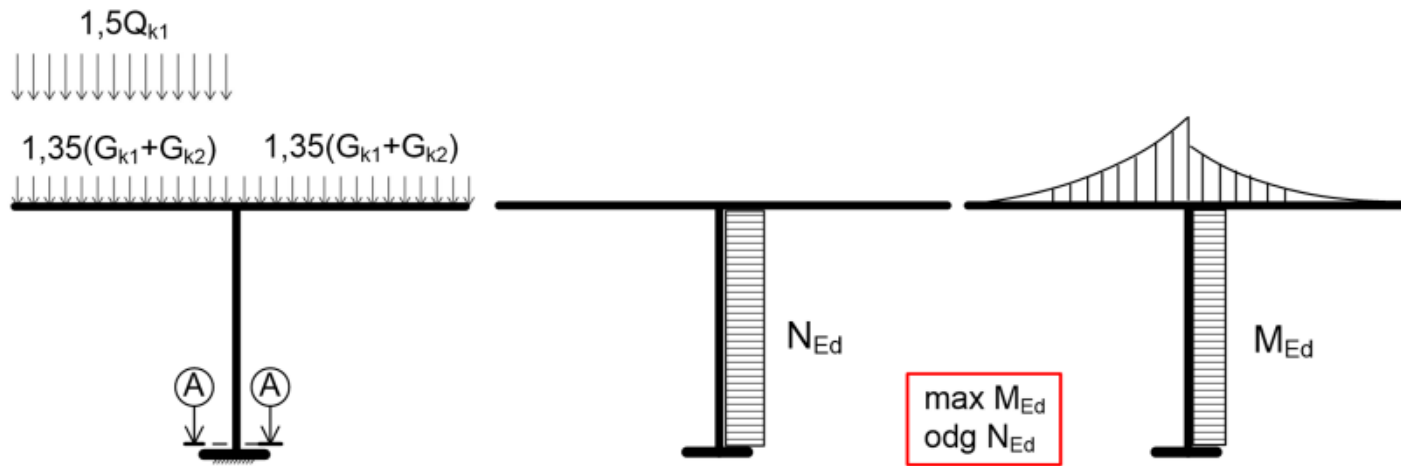
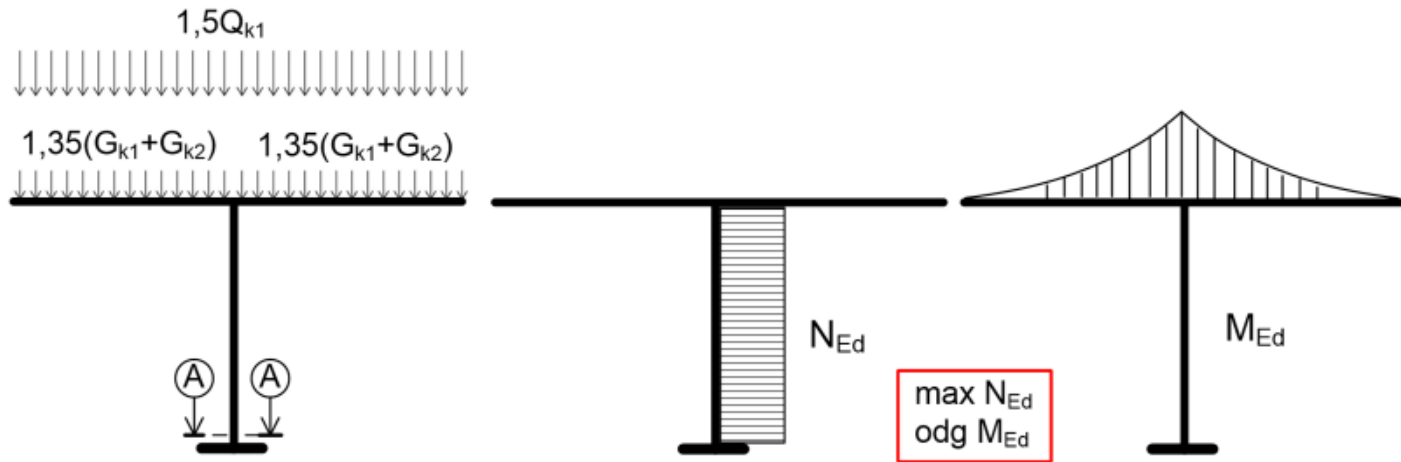
Za veličinu Δc_{dev} SRPS EN 1992-1-1/NA preporučuje vrednost od 10mm.



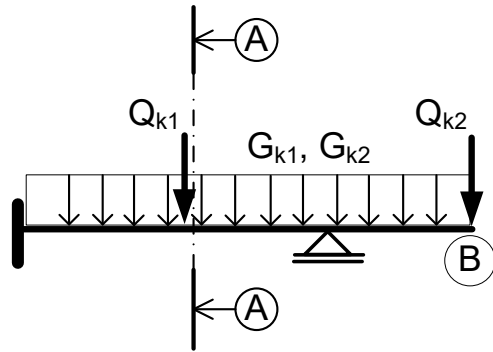
PRIMER 1

Sopstvena težina..... G_{k1}
Dodatno stalno..... G_{k2}
Sneg..... Q_{k1}

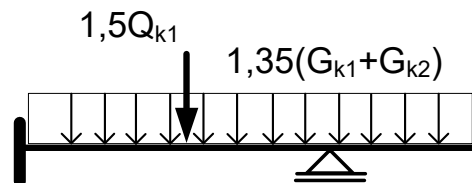
PRESEK A-A



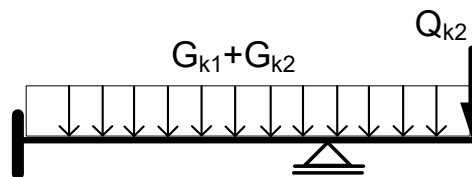
PRIMER 2



Sopstvena težina..... G_{k1}
Dodatno stalno..... G_{k2}
Promenljiva..... Q_{k1}, Q_{k2}



ULS – maksimalni M_{Ed} u preseku A-A



SLS – maksimalni ugib tačke B