



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 : 04(06).10.2021.

*Beograd, 2021.*

*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 2021/2022 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.*

# 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;
- $\gamma$       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;
$\gamma$	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.

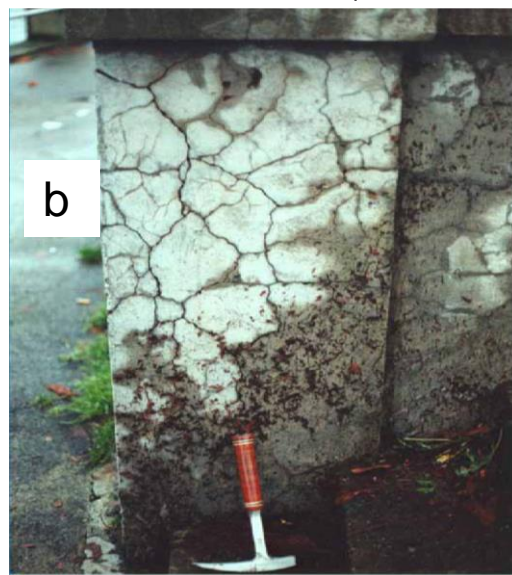
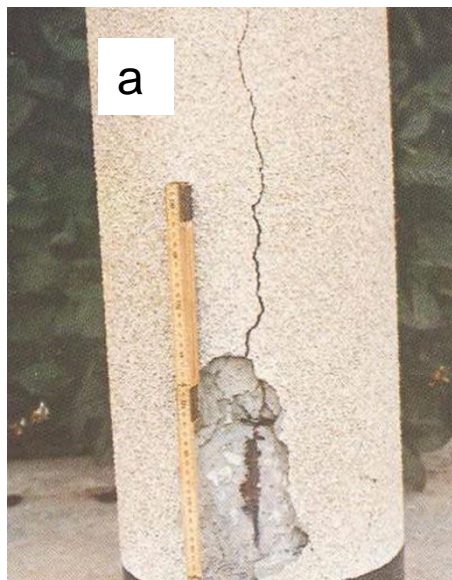
Trajnost betonskih konstrukcija u najvećoj meri zavisi od kvaliteta betona.

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  $\text{CaOH}_2$



# 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.

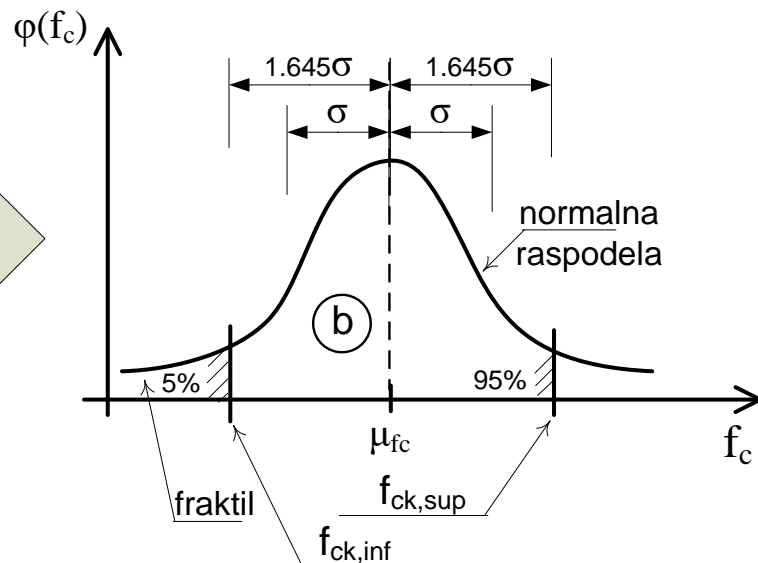
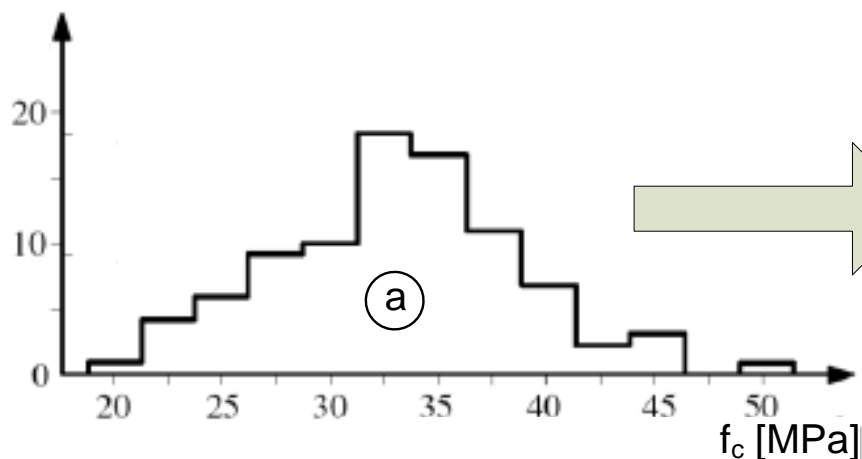
**Zbog toga je neophodno da se utvrdi određen nivo pouzdanosti – sigurnosti od dostizanja raznih graničnih stanja.**



# Koncept pouzdanosti

PRIMER: Realna raspodela čvrstoće betona i aproksimacija krivom normalne raspodele

učestalost čvrstoće – broj kocki



donja karakteristična vrednost:

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

gornja karakteristična vrednost:

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

$\mu$  srednja vrednost

$\sigma$  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;
- $\gamma$       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.

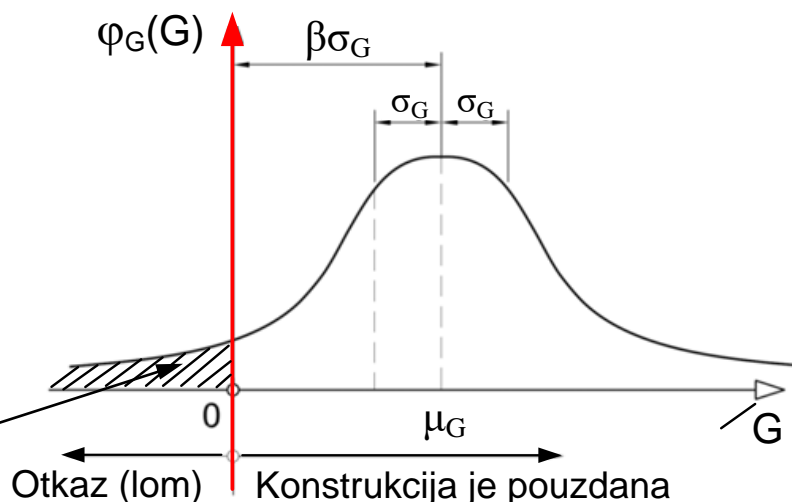
# Koncept pouzdanosti

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  $\beta$ :

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

$\mu_G$  srednja vrednost G  
 $\sigma_G$  standardna devijacija G

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



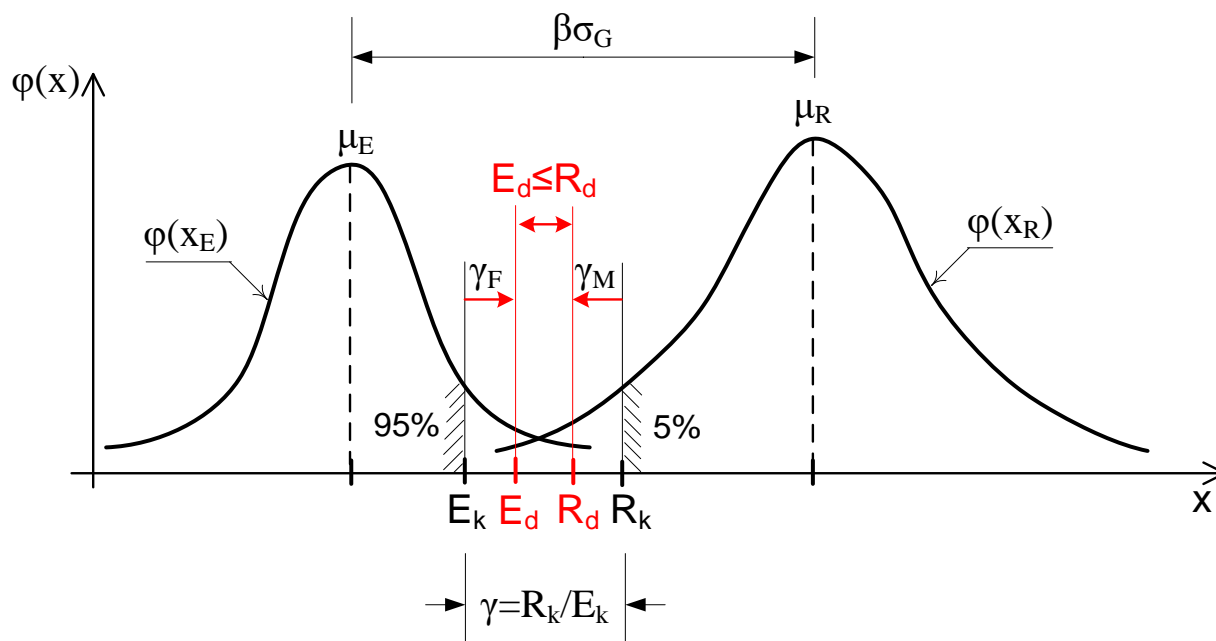
Propisivanjem određene vrednosti za indeks pouzdanosti propisuje se verovatnoća loma-otkaza ili nivo sigurnosti – pouzdanosti.

# 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  $\gamma_F$  i za nosivost  $\gamma_M$ .

# 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 konstrukterskoj 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.



# 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  $\beta$  za granična stanja nosivosti:

Klasa pouzdanosti	Minimalne vrednosti indeksa pouzdanosti $\beta$	
	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  $\beta$  za referentni period od 50 godina i **za granična stanja nosivosti treba da bude najmanje jednaka 3.8.**

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

# EC0 i EC2

Veza između indeksa pouzdanosti  $\beta$  i verovatnoće loma (otkaza):

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

**SLS** ——— ↑

1:10 – 1:100

↑ ——— **ULS**

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.

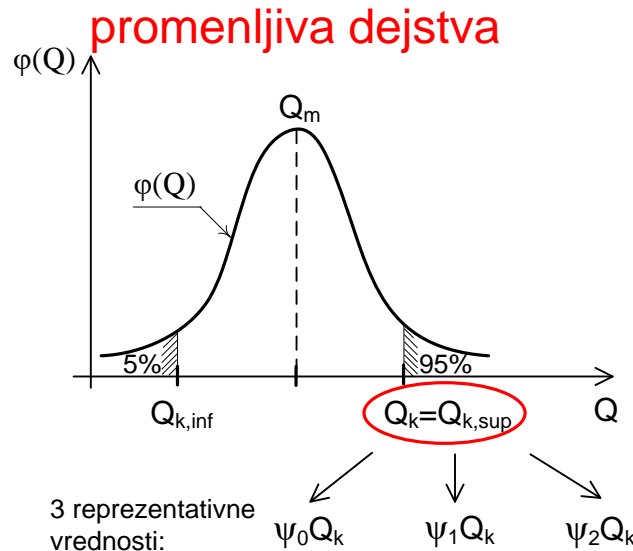
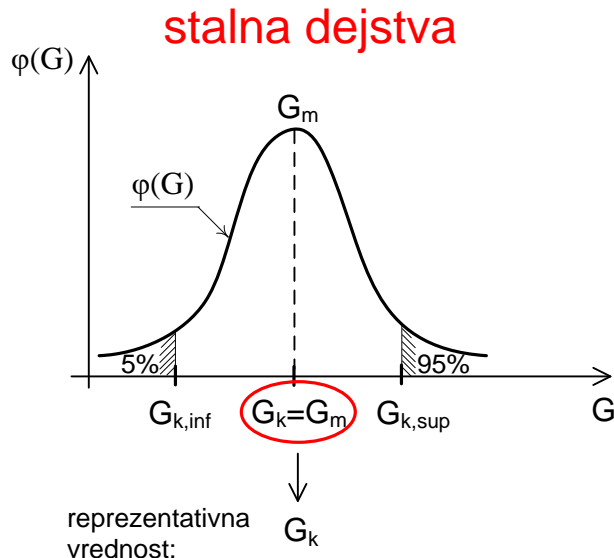
Prema promenljivosti u toku vremena, dejstva se klasifikuju na:

- **stalna dejstva  $G$**  su dejstva koja deluju na konstrukciju tokom najvećeg dela njenog upotrebnoog 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 upotrebnoog veka konstrukcije (eksplozije, udari vozila). U ovu grupu spadaju i **seizmička dejstva  $A_E$** .

# 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  $\psi_i$  za konstrukcije u zgradarstvu prema SRPS EN 1990/NA

Dejstvo	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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 $\leq 30$ 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 $H > 1000$ m nadmorske visine	0.7	0.5	0.2
Ostale članice CEN, Lokacije visine $H \leq 1000$ 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
$\gamma_f$	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:

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

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  $\gamma_f$  i modeliranja uticaja od opterećenja  $\gamma_{Sd}$ ; 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	$\gamma_c$ za beton	$\gamma_s$ za čelik za armaturu	$\gamma_s$ 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,  $\gamma_c$  i  $\gamma_s$  za **granična stanja upotrebljivosti**, su jednaki jedinici.

# EC0 i EC2

## ***DOKAZ GRANIČNIH STANJA NOSIVOSTI***

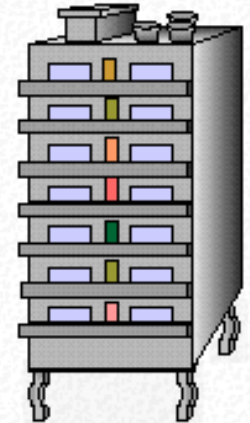
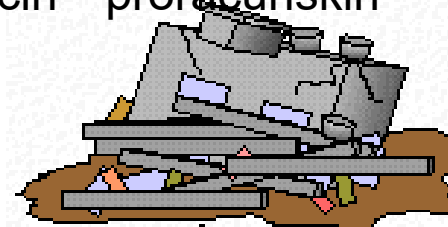
Granična stanja nosivosti koja je potrebno proračunom dokazati su sledeća (naravno, dokazuju se relevantna u konkretnom slučaju):

- 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  $R_d$ :

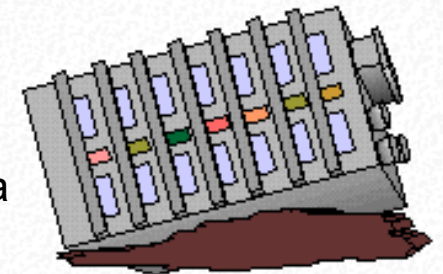
$$E_d \leq R_d$$



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

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

$E_{d,dst}$  proračunska vrednost uticaja od destabilizujućih dejstava  
 $E_{d,stab}$  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
$\gamma_P$	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

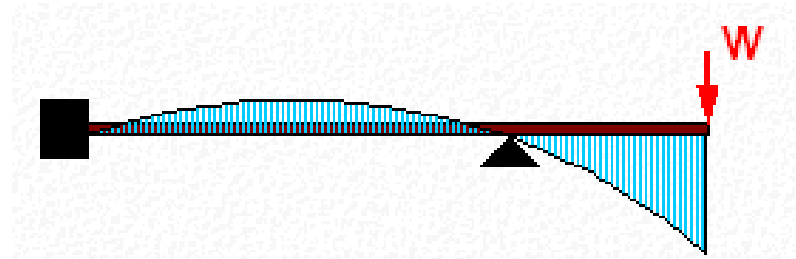
## Parcijalni koeficijenti sigurnosti za uticaje od dejstava

Određivanje proračunskih vrednosti uticaja za STR

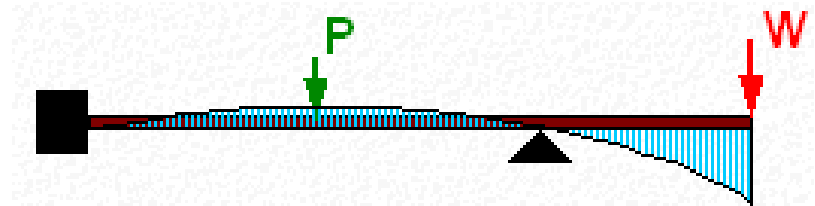
Stalne i prolazne proračunske situacije	Stalna dejstva		Promenljiva dejstva	
	nepovoljno	povoljno	dominatno	ostala
	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
	$1.35 \sum_{j \geq 1} G_{kj,sup} (1.00 \sum_{j \geq 1} G_{kj,inf}) +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

# Povoljno i nepovoljno dejstvo

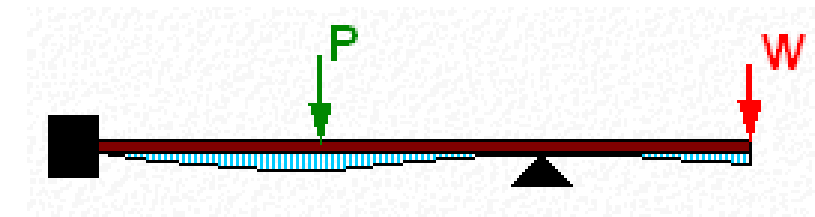
Ugib prepusta grede pod silom  $W$ :



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 $\gamma$ 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	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_d$	$\psi_{11}(\psi_{21})Q_{k1}^*$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$
	$\sum_{j \geq 1} G_{kj,sup} (\sum_{j \geq 1} G_{kj,inf}) + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ili } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$				
Seizmička	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_{Ed}$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$	
	$\sum_{j \geq 1} G_{kj,sup} (\sum_{j \geq 1} G_{kj,inf}) + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$				
<p>*) Za glavno promenljivo dejstvo može se uzeti česta ili kvazi-stalna vrednost, u zavisnosti od incidentne situacije koja se razmatra.</p>					

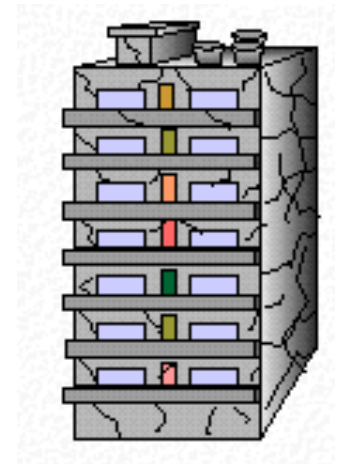
Svi koeficijenti sigurnosti za uticaje od dejstava su jednaki jedinici.

# 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

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

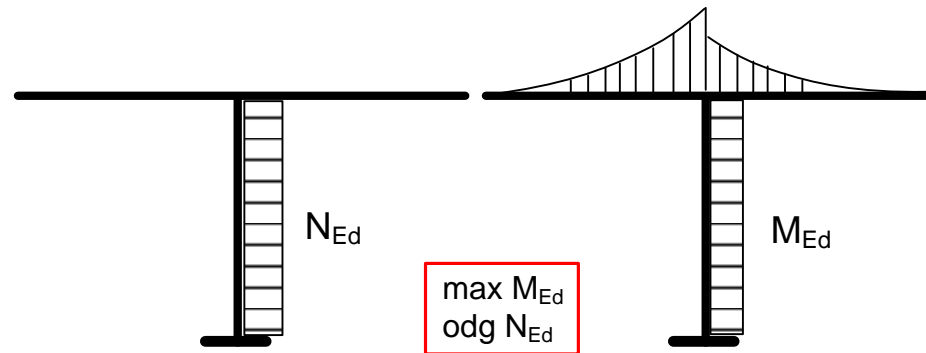
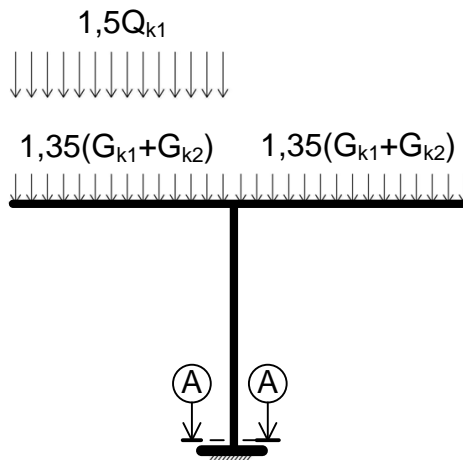
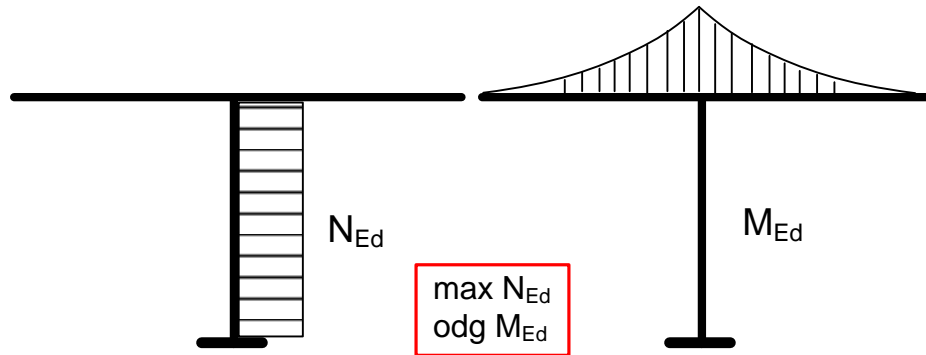
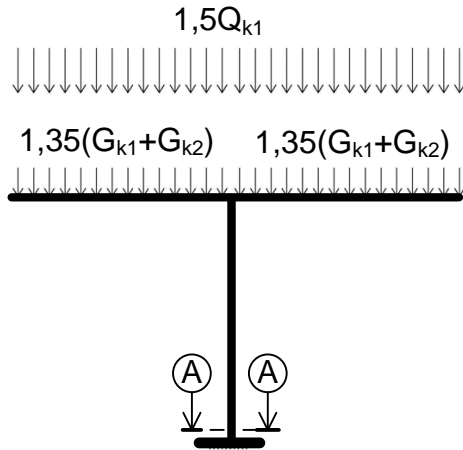
Svi parcijalni koeficijenti sigurnosti za uticaje od dejstava su jednaki jedinici.



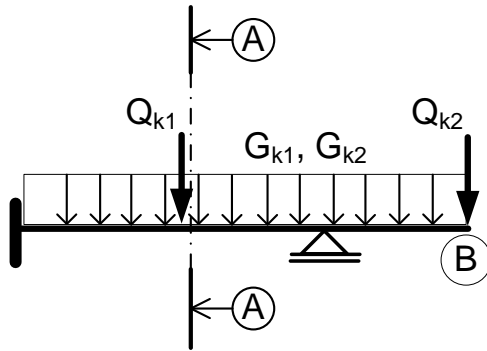
# PRIMER 1

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

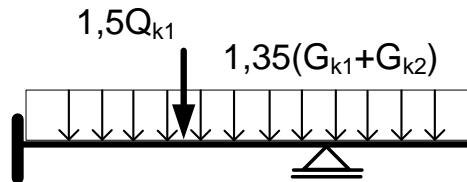
PRESEK A-A



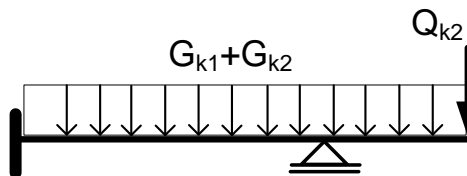
## PRIMER 2



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