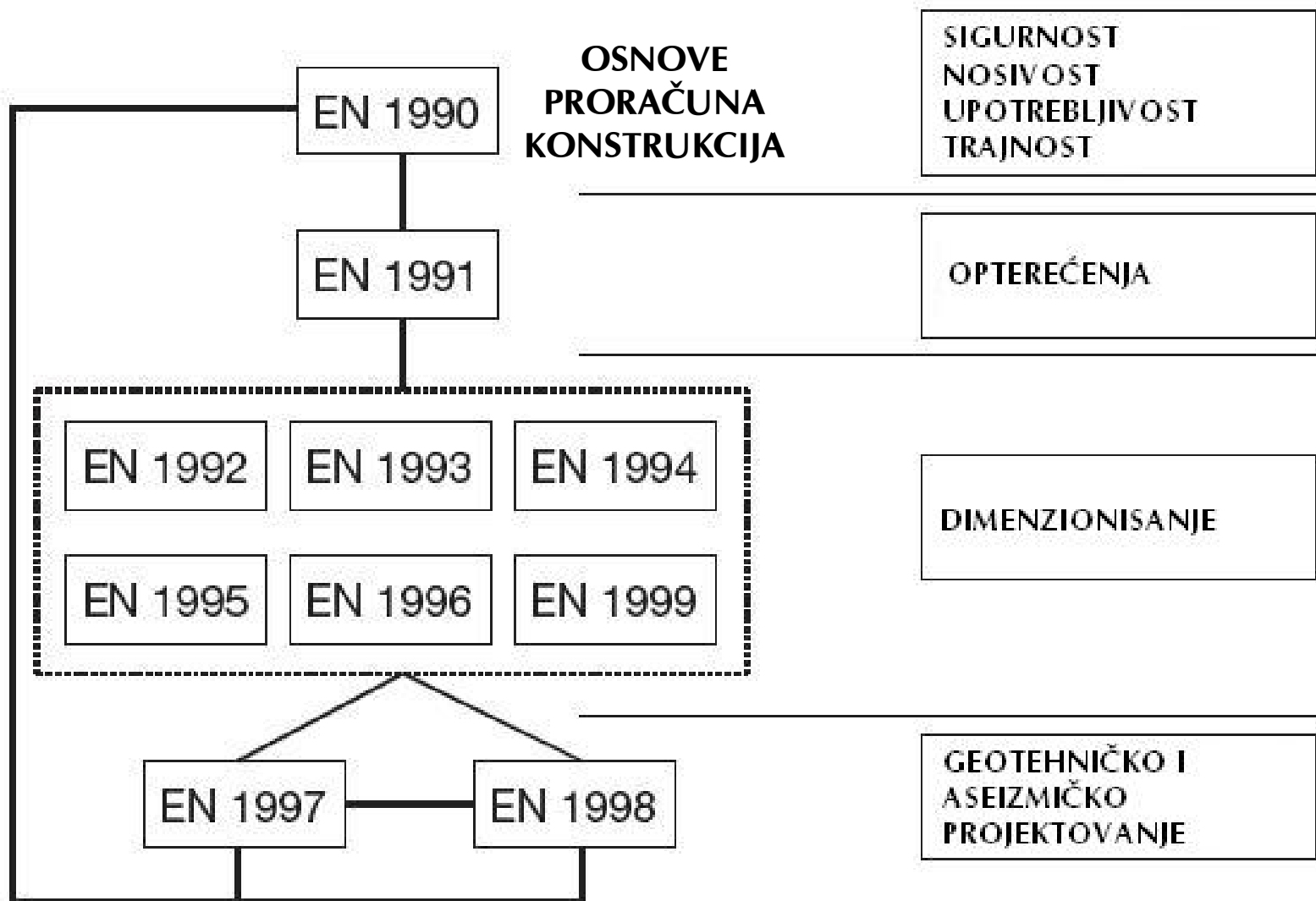


EN 1990: OSNOVE PRORAČUNA KONSTRUKCIJA

EUROCODE 0

Prof. dr Nebojša Đuranović, dipl. inž. građ.

Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet,
Cetinjski put bb, Podgorica, Crna Gora,
nebojsadj@hotmail.com



1. OPŠTE ODREDBE

2. PREDUSLOVI

3. PRINCIPI PRORAČUNA PREMA GRANIČNIM STANJIMA

4. OSNOVNE PROMJENLJIVE

5. ANALIZA KONSTRUKCIJA I PRORAČUN UZ KORIŠĆENJE REZULTATA ISPITIVANJA

6. METODA PARCIJALNIH KOEFICIJENATA SIGURNOSTI

ANEKSI

A1 (normativan) PRIMJENA NA ZGRADE

B (Informativan) UPRAVLJANJE POUZDANOŠĆU KONSTRUKCIJE ZA
GRAĐEVINSKI OBJEKAT

C (Informativan) OSNOVE ZA PRORAČUN PO METODI PARCIJALNIH
KOEFICIJENATA I ANALIZA POUZDANOSTI

D (Informativan) PRORAČUN UZ KORIŠĆENJE REZULTATA ISPITIVANJA

- **EC0** se bavi pitanjima **sigurnosti**, **upotrebljivosti** i **trajnosti** konstrukcija, daje **osnove za proračun** i definiše aspekte **pouzdanosti** objekata.

Porijeklo i razlog rušenja objekata				
Porijeklo	Projektovanje 20 %	Izvođenje 50%	Korišćenje 15%	Ostalo 15%
Uzrok	Greške uslijed ljudske greške: 80% Opterećenja: 20 %			

Razlog rušenja	Drvo %	Čelik %	Beton %
Projektovanje	53	35	40
Izvođenje	27	25	40
Održavanje i upotreba		35	
Materijal	11		
Ostalo	9	5	20

- Zasnovan je na konceptu **graničnih stanja** i primjeni **parcijalnih koeficijenata sigurnosti**. Primjenjuje se zajedno sa *EUROCODE*–ovima 1 do 9. Na taj način, **unifikacijom proračuna** svih vrsta konstrukcija, pored primjene istih principa i metoda, obezbjeđuje se i korišćenje **iste terminologije i oznaka**.

- Parcijalni koeficijenti i ostali parametri pouzdanosti određeni u skladu sa njim, obezbeđuju **prihvatljiv nivo pouzdanosti**, pod pretpostavkom da su praćeni i odgovarajućim kvalitetom ostalih faza građenja, uključujući i faze **projektovanja, revizije, izvođenja i nadzora**.
- **Pouzdanost** (metodama vjerovatnoće i statistike) sagledava sposobnost konstrukcije, ili **konstruktivnog** elementa, da ispuni propisane zahtjeve. Ona mora da bude dostignuta kroz **proračun**, odgovarajuće **izvođenje** i kroz mjere **upravljanja kvalitetom**.
- Konstrukcija mora tokom svog **predviđenog vijeka**, sa odgovarajućim stepenom **pouzdanosti i ekonomično**, da prihvati sva dejstva i uticaje za koje je vjerovatno da mogu da nastanu u toku **izvođenja i eksploatacije**, i da, pri tome, ostane **podobna za upotrebu** koja je zahtijevana, tj. da posjeduje adekvatnu **nosivost, upotrebljivost i trajnost**.
- Ovo se postiže **izborom** pogodnih **materijala**, odgovarajućim **proračunom**, oblikovanjem i konstruisanjem detalja, kao i propisivanjem postupaka **kontrole proračuna, proizvodnje, izvođenja i eksploatacije**, koji su relevantni za odgovarajući projekat.

Nivoi revizije proračuna	Karakteristika	Minimalni preporučeni zahtjevi za kontrolu proračuna, crteža i specifikacija
DSL3 odgovara RC3	proširena revizija	kontrola nezavisnog pravnog lica
DSL2 odgovara RC2	normalna revizija	nezavisna interna revizija
DSL1 odgovara RC1	normalna revizija	samokontrola

Nivoi nadzora	Karakteristike	Zahtjevi
IL3 odgovara RC3	prošireni nadzor	nadzor nezavisnog pravnog lica
IL2 odgovara RC2	normalni nadzor	nezavisni interni nadzor
IL1 odgovara RC1	normalni nadzor	samonadzor

- **Kvalitetnu implementaciju** EC0 mogu obezbijediti samo lica sa odgovarajućim **kvalifikacijama, vještinama i iskustvom**, i to uz kvalitetan **nadzor i kontrolu kvaliteta** - koji pri tome upotrebljavaju materijale i proizvode koji su u skladu sa EUROCODE-ovima i standardima za izvođenje. Sem toga nakon izgradnje mora se obezbijediti adekvatno **održavanje i upotreba** konstrukcije.
- **Nacionalni izbor** u EC0, dopušten je samo u pojedinim odredbama aneksa označenih slovom A.

- **Proračunska situacija** predstavlja uslove u kojima se konstrukcija može naći, i za koje treba dokazati da granična stanja nisu prekoračena.
- **Stalna proračunska situacija**, pokriva uobičajene uslove upotrebe objekta, i ima trajanje istog reda veličine kao **proračunski eksploatacioni vijek konstrukcije**, za razliku od **prolazne/privremene proračunske situacije** koja traje mnogo kraće od toga (recimo tokom izvođenja ili sanacije objekta). **Incidentna proračunska situacija** tretira izuzetne uslove u kojima se može naći konstrukcija (požar, eksploziju, udar, lokalni lom i t. sl.), a **seizmička**, kako joj i ime kaže, seizmički događaj.



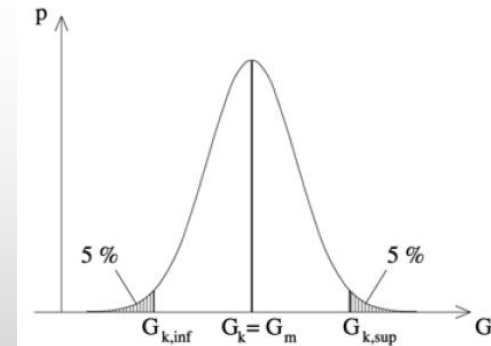
Kategorija	Trajanje objekta (godina)	Primjeri
1	10	Privremene konstrukcije
2	10 do 25	Zamenljivi delovi konstrukcije (recimo, kranski nosači i ležišta)
3	15 do 30	Poljoprivredne i slične konstrukcije
4	50	Konstrukcije zgrada i druge jednostavne konstrukcije
5	100	Konstrukcije monumentalnih zgrada, mostovi, kao i konstrukcije drugih građevinskih objekata

Kategorije **proračunskog eksploatacionog vijeka** (Kategorija) i indikativni proračunski eksploatacioni vijek (Trajanje objekta)

- U slučaju **požara**, nosivost konstrukcije mora da bude **adekvatna** tokom zahtijevanog perioda vremena. Uslijed **eksplozije, udara i t.sl.**, ona može biti oštećena samo do stepena koji je proporcionalan sa osnovnim uzrokom – zahtjev **ROBUSTNOSTI**.

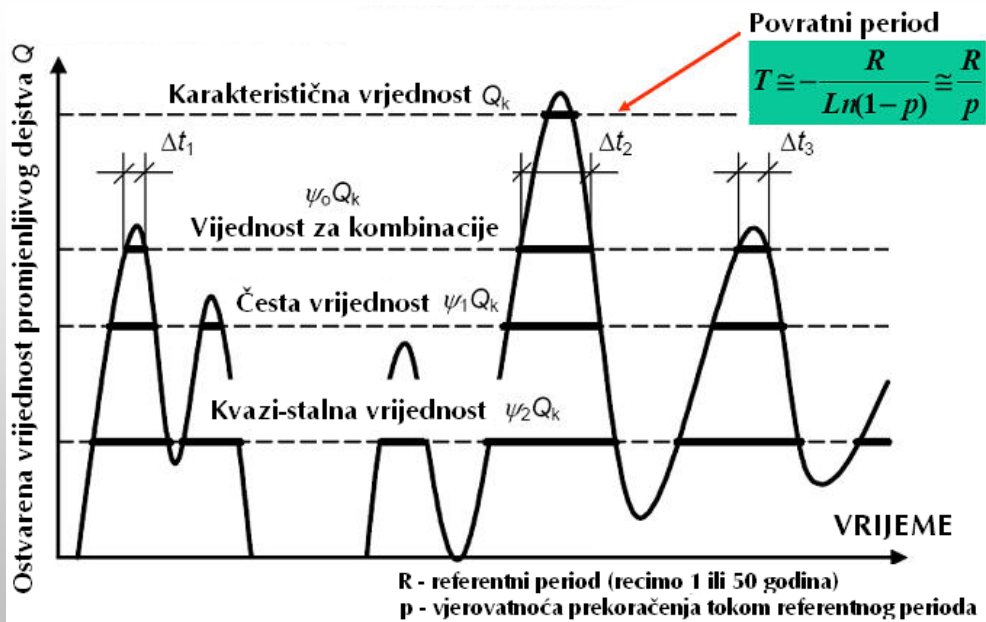


- **Dejstva F** prema porijeklu mogu biti **direktna** (sile i opterećenja) i **indirektna** - prinudne deformacije (recimo uslijed promjena temperature, nivoa vlage, nejednakih slijeganja oslonaca) i ubrzanja (na primer od zemljotresa).
- **Dejstva F** mogu biti i **stalna G** , (direktna, kao što su sopstvena težina, nepokretna oprema, kolovozni zastor, ili indirektna, recimo uslijed skupljanja i nejednakih slijeganja itd) **promjenljiva Q** , (korisna opterećenja, dejstva vjetra, opterećenja od snijega itd.) **incidentna A** , (eksplozije, udar vozila, itd) **seizmička A_E** i **geotehnička**.
- Ako je promjena **G** velika (varijacija preko 5 – 10%), u proračunu moraju da se koriste **gornja** vrijednost **$G_{k,sup}$** i **donja vrijednost $G_{k,inf}$** . Takođe, kada je konstrukcija veoma osjetljiva na promjene **G** (recimo neke prethodno napregnute betonske konstrukcije), treba da budu korišćene dvije vrijednosti, čak iako je koeficijent varijacije mali.
- Tada **$G_{k,inf}$** odgovara fraktilu od 5% (**da neće biti dostignuta**), a **$G_{k,sup}$** fraktilu od 5% (**da će biti prekoračena**) Gauss-ove statističke raspodjele za **G** .



- Isto dejstvo (na primjer: seizmičko dejstvo, udar, snijeg, vjetar i t.sl.) može da budu tretirano **ili kao promjenljivo** ili **kao incidentno** - u zavisnosti od vjerovatnoće njegove pojave na konkretnoj lokaciji;
- Prema položaju u prostoru dejstva mogu biti **nepokretna** (koja imaju nepromjenljivu raspodjelu i položaj) ili **slobodna** (koja mogu da budu promjenljive, prostorne raspodjele);
- **Kvazi-statičko** je u stvari **dinamičko** dejstvo, predstavljeno ekvivalentnim **statičkim** dejstvom;
- **Reprezentativna vrijednost dejstva** F_{rep} je, bilo njegova **karakteristična vrijednost** F_k , bilo neka od ostalih vrijednosti ψF_k .
 - ψ **nije koeficijent sigurnosti !!!!** – njime se samo definiše nivo opterećenja
- **Karakteristična vrijednost** F_k je glavna reprezentativna vrijednost dejstva. Ona se određuje kao srednja, gornja ili donja vrijednost, ili kao nominalna vrijednost;
- **Nominalna vrijednost** određenog parametra utvrđuje se na nestatističkoj osnovi – obično iskustveno;

- **Karakteristična vrijednost promjenljivog dejstva Q_k** po veličini odgovara **gornjoj vrijednosti** (sa određenom vjerovatnoćom da ne bude prekoračena), tj. **donjoj vrijednosti** (sa određenom vjerovatnoćom da bude dostignuta) ili propisanoj nominalnoj vrijednosti promjenljivog dejstva;
- Primjenom različitih vrijednosti koeficijenta ψ (≤ 1) karakteristična vrijednost promjenljivog dejstva Q_k može se umanjiti - tako da postane **vrijednost za kombinacije** opterećenja $\psi_0 Q_k$, **česta vrijednost** $\psi_1 Q_k$, ili **kvazi-stalna vrijednost** $\psi_2 Q_k$.



Kvanitativni odnosi

i

Odnosi vremenskog trajanja
 promjenljivih dejstava

- **Vrijednost za kombinacije** koristi se za proračun GSN i **nepovratnih** GSU, česta **vrijednost** za dokaz GSN koja obuhvataju **incidentna dejstva**, kao i **povratnih** GSU. **Kvazi-stalna vrijednost** služi za dokaz GSN koja obuhvataju **incidentna dejstva**, kao i za dokaz **povratnih** GSU. Ista se koristi se i za proračun **dugotrajnih dejstava**.

- **Rekapitulacija:**

<i>Reprezentativna vrijednost dejstva</i>	Stalno dejstvo	Promjenljivo dejstvo	Incidentno dejstvo	Seizmičko dejstvo
Karakteristična vrijednost	G_k	Q_k	-	A_{Ek} ili
Nominalna vrijednost	-	-	A_d	$A_{Ed} = \gamma_I A_{Ek}$
Vrijednost za kombinacije	-	$\psi_0 Q_k$	-	-
Česta vrijednost	-	$\psi_1 Q_k$	-	-
Kvazi - stalna vrijednost	-	$\psi_2 Q_k$	-	-

γ_I - koeficijent značaja, dat u EC8.

Reprezentativne vrijednosti dejstava

- Sa γ su označeni **parcijalni koeficijenti**, a sa F_d **proračunska vrijednost dejstva**:

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

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

$$\psi = 1,00, \text{ ili } \psi_0, \psi_1, \text{ ili } \psi_2$$

- **Proračunska vrijednost svojstva materijala X_d** definiše se kao:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}$$

X_k - karakteristična vrijednost svojstva materijala;

η - srednja vrijednost koeficijenta konverzije, kojom se uzimaju u obzir uticaji veličine, razmjere, vlage, temperature itd;

γ_m - parcijalni koeficijent svojstva materijala ili proizvoda

- Kada je proračun osjetljiv na promjenljivost **svojstva materijala**, u obzir treba da budu uzete **gornja i donja karakteristična vrijednost svojstva materijala**. Kada je donja vrijednost mjerodavna, **karakteristična vrijednost** treba da bude definisana kao vrijednost sa fraktilom od 5%; a kada je gornja vrijednost mjerodavna, ona treba da bude definisana kao vrijednost sa fraktilom od 95%.

- Proračunske (*design*) vrijednosti uticaja (*Effects*) od dejstava, E_d , (racimo M_{sav} , T -sile, ugib itd) dobijaju se iz:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{f,i} F_{rep,i} ; a_d \} \quad \text{tj.} \quad E_d = E \{ \gamma_{F,i} F_{rep,i} ; a_d \}$$

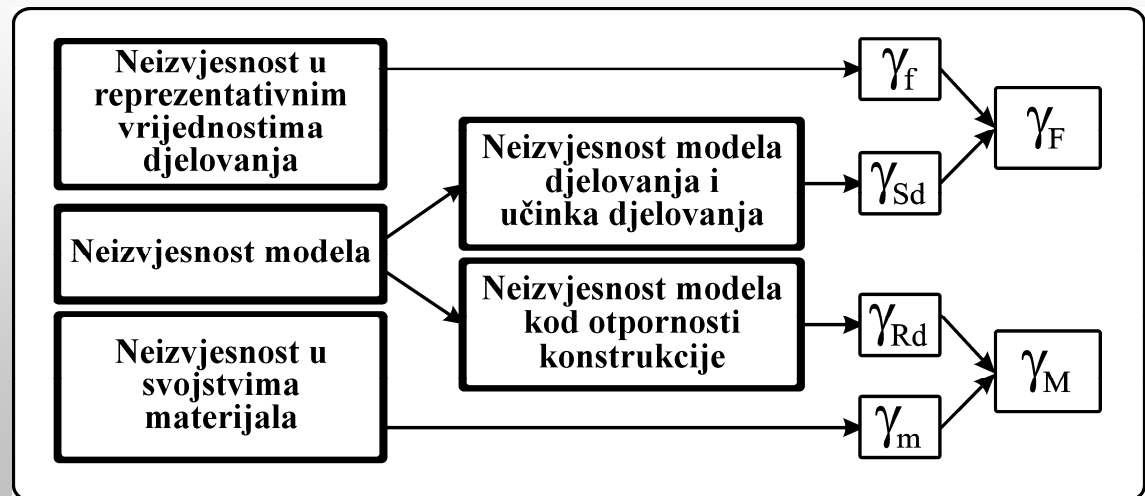
(za linearnu elastičnu analizu)

γ_{Sd} - parcijalni koeficijent kojim se uzimaju u obzir nepouzdanosti u modeliranju uticaja od dejstava i , ponekad, u modeliranju dejstava.

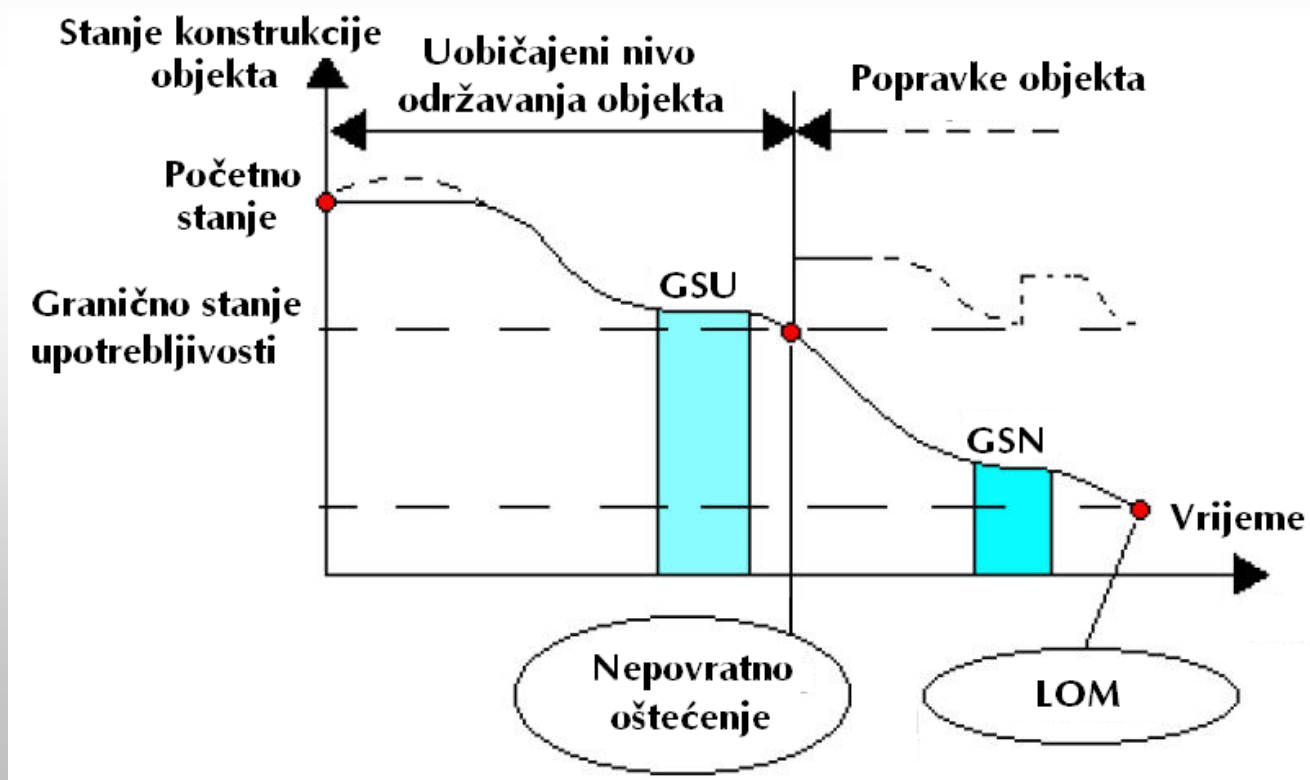
a_d - proračunske vrijednosti geometrijskih podataka;

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{S,d} \gamma_{f,i}$$

**Veze između
koeficijenata
sigurnosti**
(velika i mala slova)



- Proračunom prema graničnim stanjima dokazuje se da, uz korišćenje relevantnih proračunskih vrijednosti za dejstva, svojstva materijala i/ili proizvoda, i geometrijskih podataka, ni jedno granično stanje nije prekoračeno.
- Nakon dostizanja **graničnog stanja** konstrukcija više ne ispunjava proračunske kriterijume **nosivosti** i/ili **upotrebljivosti**.



- **Granična stanja nosivosti** se tiču sigurnosti ljudi i/ili sigurnosti konstrukcije, i dostižu se na jedan od sledećih načina:
 - kao lom uslijed gubitka statičke ravnoteže – **EQU**,
 - **kao unutrašnji lom, ili prevelika deformacija – STR**,
 - kao lom ili prevelika deformacija tla – **GEO**,
 - kao lom uslijed zamora, ili drugih uticaja zavisnih od vremena – **FAT**.
- Uslovi GSN koje konstrukcija mora zadovoljiti:
 - EQU:** $E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$
 - STR i GEO:** E_d (recimo po M_{sav} ili T -sili) $\leq R_d$
- Pobjrojana GSN treba dokazati za **kombinacije dejstava** koje obuhvataju:
 - **stalne ili prolazne proračunske situacije** (tzv. **osnovne kombinacije**):
 - **incidentne proračunske situacije;**
 - **seizmičke proračunske situacije.**

- Uticaji E_d od dejstava se određuju na osnovu:

➤ za stalne ili prolazne proračunske situacije:

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,i} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{o,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (\text{tzv. 6.9b})$$

ili, ispisano na drugi način (za linearnu elastičnu analizu):

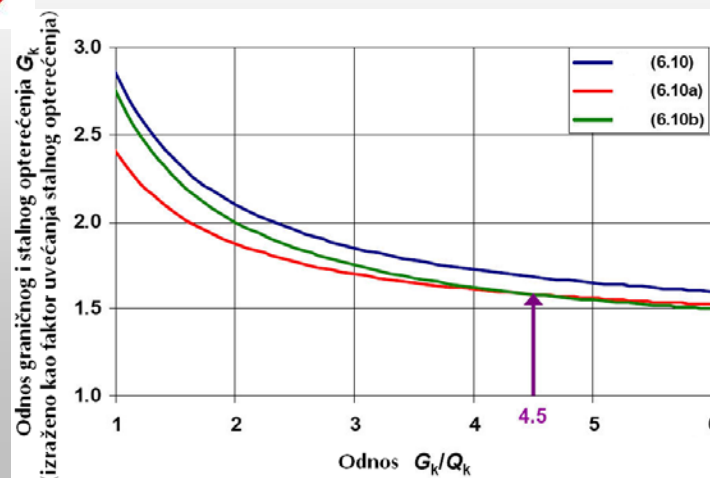
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{o,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{tzv. 6.10})$$

ili

(STR i GEO): $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{o,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{o,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{tzv. 6.10a})$

ili

$$\sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{o,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{tzv. 6.10b})$$



- za incidentne proračunske situacije: (tzv. 6.11b)

$$G_{kj,sup} "+" G_{kj,inf} "+" A_d "+" \psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ ili } \psi_{2,1} Q_{k,1} "+" \psi_{2,2} Q_{k,2}$$

- za seizmičke proračunske situacije: (tzv. 6.12b)

$$G_{kj,sup} "+" G_{kj,inf} "+" \gamma_i A_{Ek} \text{ ili } A_d "+" \psi_{2,1} Q_{k,1} "+" \psi_{2,2} Q_{k,2}$$

- za stalne i prolazne proračunske situacije (**osnovne kombinacije**), **uz preporučene koeficijente sigurnosti** dobijamo:

EQU/STR/GEO (skup A):

$$1.10 G_{kj,sup} "+" 0.90 G_{kj,inf} "+" 1.50 Q_{k,1} "+" 1.50 \psi_{0,2} Q_{k,2}$$

STR/GEO (skup B): $1.35 G_{kj,sup} "+" G_{kj,inf} "+" 1.50 Q_{k,1} "+" 1.50 \psi_{0,2} Q_{k,2}$

STR/GEO (skup C): $G_{kj,sup} "+" G_{kj,inf} "+" 1.30 Q_{k,1} "+" 1.30 \psi_{0,2} Q_{k,2}$

- **Granična stanja upotrebljivosti** se tiču **funkcionisanja** konstrukcije pri normalnoj eksploataciji, **komfora** ljudi i **izgleda** građevinskog objekta
- **Kriterijumi graničnog stanja upotrebljivosti** se određuju u odnosu na uticaj **deformacija** (recimo, **ugiba**) na izgled objekta, komfor korisnika, funkcionisanje i eventualna oštećenja sekundarnih elemenata; **vibracija** na komfor ljudi i funkcionalnost konstrukcije; i **oštećenja** (recimo, prslina) na izgled, trajnost i funkcionalnost konstrukcije.
- Dostizanjem **nepovratnih graničnih stanja upotrebljivosti** posledice po konstrukciju ostaju čak i kada se dejstva uklone, za razliku od **povratnih** GSU posle kojih posledice ne ostaju.
- **Dokazom graničnih stanja upotrebljivosti** treba obezbijediti da je:

$$E_d \leq C_d$$

E_d proračunska vrijednost efekta koji je propisan kao kriterijum upotrebljivosti (ugiba, širine prsline itd).

C_d granična (propisana/projektovana) vrijednost relevantnog kriterijuma upotrebljivosti.

- **Karakteristična kombinacija**, služi za dokaz **nepovratnih GSU** (tj. kada su posledice prekoračenja GSU nepovratne, recimo: prekoračeni ugib prouzrokuje oštećenja ostalih elemenata itd):

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad \text{ili, ispisano na drugi način:}$$

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

- **Česta kombinacija**, služi za dokaz **povratnih GSU** (recimo povremeno otvaranje prslina na PN konstrukcijama):

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

- **Kvazi-stalna kombinacija**, služi za dokaz **GSU za dugotrajna dejstva** (skupljanja, relaksacije ili tečenja) i **izgled konstrukcije** (recimo, ugib, ili prsline ili horizontalno pomjeranje itd):

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

- Za granična stanja upotrebljivosti **parcijalni koeficijenti** γ_M za **svojstva materijala** treba da budu uzeti da su jednaki 1,0 - osim ako je drugačije propisano u EN 1992 do EN 1999

- **Aneks A1: Primjena na zgrade** je obavezan za primjenu i njime su, sem ostalog, **definisane kombinacije dejstava, proračunske** vrijednosti za stalna, promjenljiva i incidentna dejstva, koeficijenti sigurnosti kao i ψ **koeficijenti** koji treba da budu korišćeni u proračunu zgrada.
- **Aneks B: Upravljanje pouzdanošću konstrukcije za građevinski objekat** pouzdanost konstrukcije uvodi u **proračun** kroz određivanje reprezentativnih vrijednosti dejstava i izbor parcijalnih koeficijenata, (preko **klasa pouzdanosti**, koje su bazirane na pretpostavljenim posledicama loma i na izloženosti građevinskih objekata rizičnom slučaju); a u **upravljanje kvalitetom i smanjenje grešaka pri projektovanju i izvođenju** konstrukcije, preko propisanih nivoa **revizije** tehničke dokumentacije i **nadzora** nad izvođenjem.
- **Nivo pouzdanosti** koji se uvodi kroz **proračun**, se obezbjeđuje preko **klasa prema pouzdanosti** RC1, RC2 i RC3 - koje mogu da se povežu sa tri **klase prema posledicama** CC1, CC2 i CC3, i da budu definisane preko **indeksa pouzdanosti** β .

Klasa prema pouzdanosti	Klasa prema poslasticama	Koeficijent za dejstva K_{FI}	Minimalne vrijednosti (GSN) za β , za referentni period od:		Opis ¹⁾ nivoa posledica	Primjeri zgrada i drugih građ. objekata
			1 god	50 god.		
RC3	CC3	1.1	5,2	4,3	Velike	tribine, koncertne dvorane, javne zgrade
RC2	CC2	1.0	4,7 (2.9) ²⁾	3,8 (1.5)	Srednje	stambene i administrativne zgrade, javne zgrade
RC1	CC1	0.9	4,2	3,3	Male	zgrade gdje ljudi u principu provode malo vremena, npr. poljoprivredne zgrade, skladišta, staklene bašte

- Parcijalni koeficijenti dati u EC0 - EC9, odnose se na konstrukciju sa β vrijednošću većom od **3.8**, za referentni period od **50 godina**.

- **Aneks C: Osnove za proračun po metodi parcijalnih koeficijenata i analiza pouzdanosti** je informativan, i, sem ostalog, sadrži informacije i teorijsku podlogu za metodu parcijalnih koeficijenata i za proračun uz korišćenje rezultata ispitivanja, a relevantan je i za upravljanje pouzdanošću.
- **Aneks D: Proračun uz korišćenje rezultata ispitivanja** je takođe informativan, i koristi se još za potrebe definisanja svojstava materijala. To znači da proračun može biti baziran i na rezultatima ispitivanja, i to obično u situacijama **kada nisu na raspolaganju adekvatni proračunski modeli, ako treba koristiti veliki broj sličnih komponenata**, kao i za **potvrđivanje pretpostavki učinjenih u proračunu**.