

SIGURNOST KONSTRUKCIJA

Slavko Zdravković¹, Biljana Mladenović², Mirza Hadžimujić³

Rezime: U radu se prikazuju metode koje se primenjuju radi obezbeđenja tehničke sigurnosti, kao i dodatne sigurnosti uslovljene javnim i socijalnim razlozima. Razmatra se funkcionalno oštećenje i lom, kao i pojam veka trajanja konstrukcije pri projektovanju. Gledano sa tehničkog aspekta, moguće je graditi građevinsku konstrukciju koja je izložena opterećenjima unutar računskih granica, tačno prema projektu sa svim materijalima određene čvrstoće i sa ispravnim analizama i pretpostavkama proračuna, pa neće biti potrebno preduzimanje nekih dodatnih mera radi obezbeđenja sigurnosti. Ustvari, svi su ovi faktori varijabilni, mada se neki od njih mogu tačno predvideti. Da bismo se obezbedili i u odnosu na one koji su neizvesni, povećavamo čvrstoću konstrukcije. Ova povišena čvrstoća obezbeđuje do izvesnog stepena sigurnost i u odnosu na ekstremne uslove promenljivih faktora. Konačan stepen sigurnosti sastoji se iz dela za obezbeđenje u odnosu na tehničke i socijalne posledice rušenja objekta.

Ključne reči: stepen sigurnosti, konstrukcija, zaštita, posledice, vek trajanja konstrukcije

Abstract: The paper presents methods that are used to provide technical safety, as well as additional security due to public and social reasons. It is considered the functional damage and failure, as well as the concept of life of structure in the design. From the technical point of view, it is possible to construct a building that is exposed to the loads within the computational limits, using materials of specific strength, exactly according to the project based on the correct analysis and assumptions of the design and it will not be necessary to take some additional measures to ensure safety. In fact, all these factors are variable, although some of them can be accurately predicted. In order to ensure the structure against those factors which are uncertain, we increase the strength of the structure. This increased strength provides security to a certain degree, regarding the extreme conditions of variable factors as well. The final level of security consists of parts related to the technical and the social consequences of the structure failure.

Key words: stability of structure, static, dynamic, energetic principle, critical load.

¹ dr, redovni profesor, Ekspert Saveznog ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, ul. Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš

² dipl.građ.inž., asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, ul. Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš

³ asistent, Departman za građevinarstvo, Državni Univerzitet u Novom Pazaru

1 UVOD

Možemo graditi konstrukcije različitih stepena sigurnosti. Usvojeni stepen u mnogome zavisi od količine raspoloživih finansijskih sredstava. Sa porastom sigurnosti raste i cena koštanja konstrukcije, jer da bi se obezbedila povećana čvrstoća potrebne su povećane dimenzije sa pojačanim temeljima, ili jači i skuplji materijali. I pored svega nije moguće izgraditi konstrukciju kod koje neće doći do rušenja jer je, na primer, nepoznato opterećenje za vreme dejstva zemljotresa za koje treba vršiti proračun konstrukcije. Obzirom da je pri dejstvu zemljotresa nepoznato i vreme, mesto i intenzitet zemljotresa, nije moguće dati potpuno tačan, već optimalan i ekonomski prihvatljiv proračun. U praksi je uobičajena težnja investitora da stepen sigurnosti bude niži, zbog čega postoje propisi koji obezbeđuju potreban stepen sigurnosti. Metode određivanja sigurnosti moraju dati zadovoljavajuće rešenje i sa tehničkog i sa socijalnog aspekta. Inženjerske konstrukcije otkazuju usled loma ili usled funkcionalnih nedostataka. Lom nastupa kada opterećenje prekorači mogućnost konstrukcije da ga u kritičnom trenutku primi i prenese na tlo. Ovakva situacija nastaje, pre svega, usled nemogućnosti da se pri proračunu odrede stvarna opterećenja i nosivost konstrukcije, ili usled neke greške u konstrukciji. Funkcionalni nedostaci nastaju kada neki uslovi ograničavaju upotrebljivost konstrukcije za proračunata opterećenja, kao što je rezonanca, ugib ili deformacija. Rešenje tehničkog problema zahteva adekvatne metode pri određivanju elemenata koji ograničavaju mogućnost rušenja konstrukcije. Kao dopunski faktor pri određivanju stepena sigurnosti javlja se i socijalni moment. Rešenje sa tog aspekta zahteva unošenje dodatnog stepena sigurnosti u odnosu na onaj koji zahtevaju tehnička razmatranja.

2 KONSTRUKCIJA, PROJEKAT I ZAŠTITA OD RUŠENJA

Konstrukciju možemo definisati kao element ili kao složene elemente podešene i dimenzionisane tako da izdrže određeno opterećenje i da su funkcionalno pogodni. Iako svi elementi i delovi konstrukcije moraju ostvariti graničnu i funkcionalnu otpornost, tendencija u projektovanju je ta da se dejstvo na sve delove što tačnije odredi iako je to teško ili gotovo nemoguće, kao na primer zemljotresno opterećenje. Do nedavno je prema tome sigurnost bila posmatrana

sa dva stanovišta: u projektovanju je dominantna sigurnost elemenata ili jednog dela, dok je u eksploataciji od osnovnog značaja sigurnost cele konstrukcije. Danas zaslužuju pažnju nastojanja da se čitava konstrukcija posmatra sa stanovišta sigurnosti (metod konačnih elemenata i slično).

Rad na projektovanju obuhvata tretiranje konstrukcije sa određenim stepenom sigurnosti i minimumom koštanja. Ovde postoje sledeće faze:

1. određivanje projektnih opterećenja;
2. određivanje otpornosti konstrukcije;
3. određivanje kvantitativnih vrednosti sigurnosti.

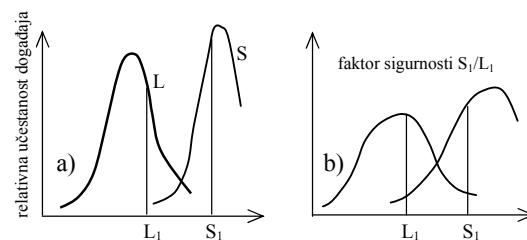
Zbog neadekvatnog poznavanja faze 1 i 2, faza 3 uključuje i izvesni traženi socijalni stepen sigurnosti. Projektno opterećenje je najslabiji deo projektovanja, pa se čine naponi da se što adekvatnije odrede intenziteti opterećenja, šeme opterećenja, učestalost događaja i trajanja.

3 TEHNIČKE METODE I SOCIJALNE POSLEDICE OŠTEĆENJA

Metodama određivanja sigurnosti sa tehničkog aspekta pokušava se da se izbegnu opterećenja koja bi prekoračila nosivost konstrukcije. Pokušaji da se odredi sigurnost za tipične krive (Sl.1 i Sl.2) mogu biti učinjeni podešavanjem:

1. da odnos S_1/L_1 , poznat pod imenom faktor sigurnosti, bude minimalan. Članom L_1 je predviđeno maksimalno opterećenje kakvo se može očekivati pod eksploatacionim uslovima, a S_1 je nosivost konstrukcije dobijena izborom promenljivih u proračunu,
2. da verovatnoća bude maksimalna,
3. da faktor sigurnosti vezan sa maksimalnom verovatnoćom oštećenja bude minimalan.

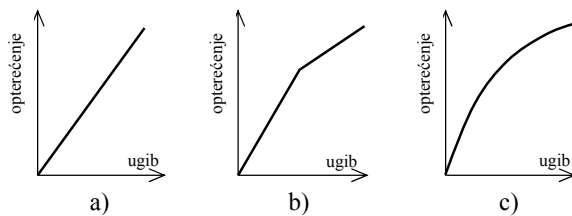
Podešavanje samog faktora sigurnosti ne definiše verovatnoću oštećenja (Sl.1). Na Sl.1a) su opterećenja i otpornost precizno određeni, te je verovatnoća oštećenja mala. Na Sl.1b) je obrnut slučaj. Sa istim faktorom sigurnosti uslov na Sl.1a) ima manju verovatnoću oštećenja nego na Sl.1b).



Slika 1 - Veličina opterećenja i sigurnosti

Vrednosti koje su specifične za funkcionalno oštećenje i lom variraju, a ovde je prihvaćen veći rizik kod funkcionalnog oštećenja nego kod loma.

Primena dodatne sigurnosti, veće od one koju zahtevaju tehnički razlozi, koja obezbeđuje od socijalnih posledica usled funkcionalnih oštećenja ili loma, određena je variranjem nekih vrednosti (odnos S_1/L_1 , verovatnoća, odnos S_1/L_1 i verovatnoća). Porast u stepenu sigurnosti možemo primeniti na celu konstrukciju ili na pojedine delove, ili samo kod određenih metoda rešavanja. A.L.L.Baker tvrdi da je nelogično imati različite stepene sigurnosti za lom čelika i betona u armiranom betonu, prema tome za jednu konstrukciju koristi se samo jedan stepen sigurnosti, i taj treba da bude konstantan za sve delove i celu konstrukciju. Takav stav je prihvatljiv sa inženjerskog stanovišta. Međutim, zbog socijalnih razloga mogu postojati različite varijacije u stepenu sigurnosti konstrukcije. U načelu, konstrukcija može imati materijale sa različitim dijagramima opterećenje-deformacija, kao što je prikazano na Sl.2. Na Sl.2a) je kruti materijal koji se ponaša po Hookeovom zakonu. Na Sl.2b) prikazan je žilavi materijal koji je kod tačke tečenja sa trajnom deformacijom i sa malim porastom opterećenja. Na Sl.2c) je žilavi materijal sa ograničenom linearnom karakteristikom odnosa opterećenje-ugib pokazuje porast ugiba pri porastu opterećenja.



Slika 2- Dijagrami ugib-opterećenje za različite materijale

Pri savijanju proste grede, rušenje usled zatezanja u armaturi događa se uz simptome popuštanja, dok je u betonu usled pritiska rušenje naglo. U tom slučaju ovi kritični elementi zahtevaju viši stepen sigurnosti nego drugi. U višespratnim zgradama rušenje jedne grede nije tako tragično kao rušenje stuba, pa je prema tome sa socijalnog stanovišta razumno da stub ima viši stepen sigurnosti od grede. Kao najracionalnije pokazuje se doslednost stava, a projektna otpornost, primenjena u konstrukciji mora biti takva da je procenat rezultata u opitima niži od odabrane projektne vrednosti, i da bude isti za sve materijale.

4 SMANJIVANJE FAKTORA SIGURNOSTI U OPTEREĆENJIMA RAZLIČITOG POREKLA

Tradicionalna metoda u primenjivanju stepena sigurnosti je metoda odnosa. Do XIX veka sastojala se sigurnost konstrukcija u uspešnom ponašanju konstrukcije u eksploataciji. Odnos poznat pod imenom faktor sigurnosti Y definisan je kao odnos nosivosti konstrukcije S_1 i projektnog opterećenja L_1 . U faktoru napona je S_1 vrednost maksimalnog napona u kritičnom preseku kod rušenja, a u faktoru opterećenja je L_1 opterećenje potrebno upravo da izazove rušenje. U faktoru napona je S_1 maksimalni napon izazvan projektnim opterećenjem u kritičnom preseku, dok je faktor opterećenja L_1 projektno opterećenje. Projektno opterećenje je uopšte najveće predviđeno opterećenje, tj. opterećenje u eksploataciji. Međutim, vrednost L_1 možemo odrediti u ma kom položaju na krivoj L na Sl.1. Otpornost S_1 je uopšte najniža očekivana prihvatljiva otpornost konstrukcije i možemo je odrediti u ma kom položaju na krivoj S Sl.1.

$$Y = \frac{S_1}{L_1} > 1 \text{ za sigurnost} \quad (1)$$

Ako L_1 pomnožimo nekim faktorom koji varira, saglasno poznavanju i celishodnosti podataka o opterećenju, a S_1 podelimo nekim faktorom j koji varira, onda je S_1/j otpornost potrebna da održi L_1 . Tada je

$$iL_1 = \frac{S_1}{j} \quad (2.a)$$

$$\frac{S_1}{L_1} = i, j \quad (2.b)$$

$$Y_1 = i, j \quad (2.c)$$

gde je Y tehnički faktor sigurnosti.

Socijalni faktor sigurnosti je zadovoljen povećanjem otpornosti S_1 pomoću nekog faktora k , pa je S_1/jk otpornost potrebna da održi ravnotežu iL . Tada je

$$Y_2 = ijk \quad (3)$$

gde je Y_2 konačni faktor sigurnosti. Vrednosti i, j, k su ≥ 1 za normalan izbor prihvatljivih oštećenja i otpornosti (na primer kod dejstva zemljotresa).

U jednačini (1) mogu se vrednosti za S_1 i L_1 varirati. Otpornost konstrukcije je zavisna od vremena. Za vreme njenog veka trajanja će zamor, korozija, puženje, trošenje i smanjenje kapaciteta opterećenja s vremenom smanjiti otpornost konstrukcije, dok će povećanje otpornosti materijala s vremenom povećati otpornost konstrukcije. To znači

da se za različite epizode u životu konstrukcije mogu odabrati različite vrednosti za S_i , što se retko čini za L_1 jer opterećenja potiču iz različitih izvora. Jedino korisno opterećenje na konstrukciji je pokretno opterećenje, ali i nepokretno opterećenje mora takođe čitavo vreme biti nošeno. Ovo se zajedno naziva eksploataciono opterećenje. Ni ostala opterećenja koja nisu korisna, treba da budu prihvaćena, kao zemljotres, vetar, sneg, elementarna poplava i deformacija tla, ili ljudskog porekla, kao razaranje bombama. Povremena opterećenja nemaju neki veliki uticaj na zamor konstrukcije, a trajna deformacija konstrukcije može se ograničiti ako možemo predvideti broj i intenzitet događaja tokom veka trajanja konstrukcije. Ako su $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ posebne verovatnoće za nastupanje nekih opterećenja, tada je verovatnoća P da će svi nastupiti istovremeno

$$P = P_1 P_2 P_3 \dots P_n \quad (4)$$

Smanjivanjem vrednosti Z prema vrsti koja daje najmanju štetu možemo se unapred obezbediti od rezultata različitih štetnih uticaja opterećenja.

$$Y_a (L_a + L_b) = S_1 \quad (5a)$$

$$Y_b (L_a + L_c) = S_1 \quad (5b)$$

gde je $Y_a > Y_b$ i L_a je manje štetno od L_c , a L_a je nepokretno opterećenje. Sa kombinacijom opterećenja iz više izvora je

$$Y_c (L_a + L_b + L_c + L_d) = S_1, \quad (6a)$$

$$Y_d (L_a + L_b + L_c + L_d) = S_1. \quad (6a)$$

Vrednost i utiče na Y na isti način. Tada je

$$Y_e L_a + Y_f L_b + Y_g L_c = S_1 \quad (7)$$

Ovde Y_e, Y_f i Y_g ne moraju biti iste, već su za svako opterećenje zavisne od i .

5 VREDNOSTI STEPENA SIGURNOSTI I FUNKCIONALNO OŠTEĆENJE

U odlučivanju o opštem stepenu sigurnosti možemo faktor sigurnosti posmatrati zajedno sa verovatnoćom rušenja, tj.

$$P_F = \int_0^{\infty} P_R(R) dR \quad (8)$$

gde je verovatnoća da se otpornost nalazi između $RY_L L_i$ i $\delta(RY_L L_i)$ jednaka $p = f(R)\delta R$, a P_R je prethodno dato. To se pokazuje kao opravdan put za dobijanje vrednosti sa adekvatno predviđenim podacima. Za ma koji prihvatljiv postupak određivanja sigurnosti bitno je imati adekvatne podatke o opterećenju i otpornosti konstrukcije, i ove

podatke tretirati statistički da bi se oni najkorisnije primenili. Uspešnost ma koje metode zavisi od raspoloživih podataka. Podaci treba da budu sređeni tako da je ma koja odluka o opterećenju ili otpornosti doneta na bazi odgovarajuće evidencije.

I kod faktora napona i kod faktora opterećenja mogu se primenjivati promene faktora sigurnosti, jer je svrha da se kod projektnih opterećenja održi elastični karakter konstrukcije (što pri seizmičkom proračunu nije slučaj). Uopšte za funkcionalno oštećenje treba da se koristi usvojeno razmatranje vezano za više metoda i lom. Otpornost vezana za funkcionalno oštećenje obično je opterećenje ili napon kod koga nastupa tečenje u čeliku. Kriterijum kod armiranog betona je opterećenje ili napon u armaturi vezano sa štetnim prslinama, ili pak neki usvojeni iznos neelastične deformacije. Kod konstrukcija sa nelinearnim odnosom napona i deformacije kriterijum je napon ili opterećenje koje izaziva neki usvojeni iznos neelastične deformacije, i u slučajevima gde su one usvojene racionalno, koriste se analize pomoću metode faktora opterećenja. Druga metoda za obezbeđivanje stepena sigurnosti od funkcionalnog oštećenja uključuje određivanje određenih granica za ugib, ubrzanje i druge karakteristike, a kada bi bile prekoračene, mogle bi da izazovu ograničenu upotrebljivost konstrukcije. Na primer da bi se sprečilo prskanje gipsa kod gipsanih plafona ograničava se ugib grede na 1/325 raspona.

6 VEK TRAJANJA KONSTRUKCIJE

Uticaj zamora, trošenja i korozije uslovljava konstrukciji određeni vek trajanja. Kod konstrukcija sa pokretnim opterećenjem i konstrukcija sa pulsirajućim opterećenjem nije teško proceniti pojam ograničenog veka trajanja. Kod konstrukcija sa pokretnim opterećenjem tendencija je da se kod projektovanja posmatra planirana upotreba i korisni vek trajanja. Kod statičkog rada konstrukcije postoji tendencija da se projektuje na monumentalnoj osnovi. Ranijih vekova bilo je to i opravdano, jer se svrsishodnost konstrukcije nije menjala od veka do veka. Danas, naročito zbog prevage opterećenja ljudima nad nepokretnim teretom, konstrukcije mogu u roku od deset godina postati neceleshodne. Ako je, međutim, konstrukcija bila projektovana na monumentalnoj osnovi, sa visokim stepenom sigurnosti, i prema tome skupa, tada je verovatno da će ona biti zadržana iako se pokaže da je neceleshodna pri upotrebi. Ako je predviđeno da konstrukcija postoji duži period vremena, tada će ona postati spomenik i

biće cenjena zbog svoje starosti. Prema tome, ako je koštanje ove nezamenljivosti dodato konstrukciji, može biti ekonomičnije usvojiti niži stepen sigurnosti, izgraditi jeftiniju konstrukciju i zameniti je kad postane necelishodna.

Pri projektovanju se obično obezbeđuje da stepen sigurnosti postoji sve do kraja upotrebnoeg veka-života konstrukcije. Ako je predviđeni vek trajanja poznat, tada se pri odabiranju dimenzija mogu sa sigurnošću prihvatiti kao poznati uticaji kvarenja, istrošenosti i zamora. Ako predviđeni vek trajanja nije poznat, onda se zbog neodređenog veka trajanja u uslovima jačeg trošenja moraju obezbediti jače-veće dimenzije, posebni detalji i trajni materijali. To je prihvatljivo kada se planiraju monumentalne ali ne i potpuno funkcionalne građevine. Ovi momenti ukazuju na potrebu donošenja odluke o predviđenom veku trajanja konstrukcije. To je moguće na nacionalnoj osnovi: na primer, ako se projektuje za ograničeno trajanje pri izboru stepena sigurnosti može da se primeni planirani vek trajanja kod konstrukcije mostova. Ako je, pak, potrebno da se ono produži, tada se može dati neko pogodno konstruktivno rešenje za dodatni posao koji je potreban da bi se obezbedio ovaj vanredni vek trajanja.

Često je odluka o planiranom veku trajanja nemoguća, te se projekat mora izvesti na monumentalnoj osnovi. Ako se propisano opterećenje poveća, to bi značilo poskupljenje konstrukcije i zamena postojećih mostova koji bi pali ispod standarda, kao i velike troškove za njihovo održavanje. S toga je preporučeno da je razumnije zadržati postojeća propisana opterećenja, a zakonom ograničiti težinu vozila. Ovakav argument možemo primeniti za gotovo sve tipove konstrukcija. U jednom slučaju je argument taj da se projektuje za neograničeno vreme i da se tada konstrukcija zamenjuje; u drugom slučaju projektuje se na monumentalnoj osnovi a ograničava se opterećenje. Problem možemo rešiti postojanjem optimalnih dimenzija koje znače najekonomičnije rešenje za zajednicu. Kod mostova se to postiže planiranjem puteva sa različitim kapacitetom opterećenja.

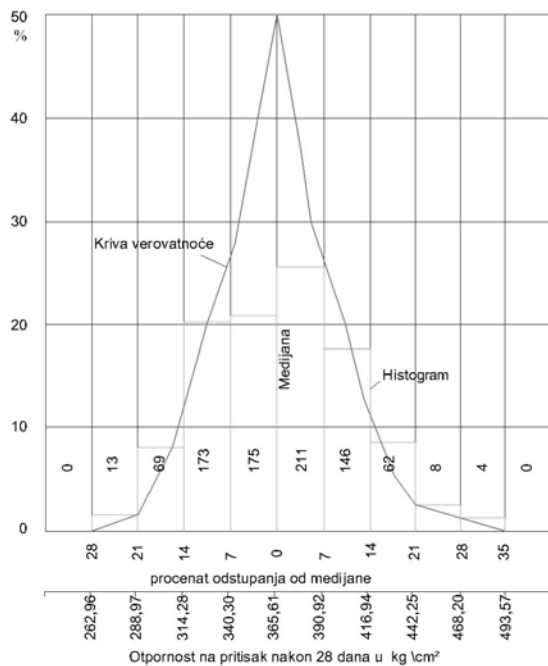
7 FAKTORI SIGURNOSTI I VEROVATNOĆA OŠTEĆENJA

Faktor sigurnosti i faktor upotrebljivosti mogu se posmatrati kao faktor opterećenja kojim množimo srednji računski "efekat opterećenja" da bi se izjednačio sa srednjom izračunatom otpornošću, koja u nekim slučajevima može odgovarati tako da bude ograničena relativno malom deformacijom koja

konstrukciju čini neupotrebljivom, dok u drugim slučajevima ona može da bude skoro tako velika kao i granična otpornost. Saglasno svakom od ovih slučajeva, kao i međuslučajevima, postoje granični naponi koji se ne smeju prekoračiti. Pretpostavljajući da su dopuštene pogodne interakcione formule primenljive na slučajeve kao što je savijanje kombinovano s aksijalnim naprezanjem, može se proračun i analiza izvesti saglasno sa pojmom granične otpornosti. U drugom slučaju mora se račun sprovesti s obzirom na deformacije koje mogu konstrukciju učiniti neupotrebljivom.

Da bismo u stadijumu proračuna mogli oceniti otpornost konstrukcije, potrebno je da se imaju statistički podaci o vezi postojeće otpornosti, donjoj tački tečenja i otpornosti na zamor materijala sličnog onom koji će biti korišćen. Ovi podaci će se sastojati pretežno od rezultata velikog broja ispitivanja i treba da budu u takvom obliku da se za svaki primenjeni materijal mogu odrediti i pripremiti sledeće veličine i grafikoni: medijana i srednja otpornost, koeficijent varijacija, najniže i najviše vrednosti pri ispitivanju, histogrami i kumulativni nomogrami učestalosti koji prikazuju statističku raspodelu rezultata ispitivanja. Na primer na Sl.3. prikazani su takvi podaci za beton i armirani beton. Ordinate histograma, crtane kao stepenice svetlijim linijama prikazuju relativnu učestanost rezultata ispitivanja koja nastupaju unutar širine stepenice označenih apscisama na njihovim osnovama, kao neko verovatno odstupanje saglasno Gauss-Laplace-ovim zakonom normalne distribucije, dok su grafikoni u funkciji procenta.

Otpornost f_c' betona prikazana na Sl.3. koja je korišćena u proračunu konstrukcija gde se primenjivao beton. Samo 10% rezultata ispitivanja je bilo ispod poslednje crte i takva kontrola se može karakterisati kao dobra.



Slika 3 - Histogram i kriva verovatnoće otpornosti betona na pritisak u uslovima dobre kontrole

Iako je učinjen veliki napredak na ovom polju, potrebno je još da se radi na određivanju faktora sigurnosti i odgovarajućih veličina na naučnoj i ekonomskoj osnovi jer se neprekidno pronalaze novi materijali za koje je potrebno dati adekvatne odgovore.

8 ZAKLJUČAK

Na osnovu rečenog mogu se graditi konstrukcije sa različitim stepenom sigurnosti, a usvojeni stepen sigurnosti u mnogome zavisi od finansijskih sredstava. Sa porastom sigurnosti konstrukcije raste i cena koštanja zbog obezbeđivanja većih dimenzija ili jačeg materijala. Apsolutnu ili stopostotnu sigurnost konstrukcije, tj. stopostotni stepen sigurnosti nije moguće obezbediti jer nam nisu svi parametri poznati. Na primer nijednu građevinsku konstrukciju nije moguće obezbediti sa potpunom sigurnošću zato što se opterećenje, tj. oslobađanje seizmičke energije događa na velikoj dubini u zemlji pa je nepoznato opterećenje na koje treba proračunati konstrukciju. Inženjerske konstrukcije otkazuju usled loma ili usled funkcionalnih nedostataka. Tendencija pri projektovanju je da se što tačnije odredi opterećenje na koje se konstrukcija dimenzioniše, kao i karakteristike materijala od kojih je izgrađena. Konstrukcija se projektuje sa određenim stepenom

sigurnosti i minimalnom cenom koštanja. Vrednosti za lom i funkcionalno oštećenje variraju i često je veći rizik od funkcionalnog oštećenja, zbog ljudskih žrtava, pa se dodatna sigurnost obezbeđuje iz tih razloga. U višespratnim zgradama rušenje grede nije tako opasno kao rušenje stuba, to bi bilo logično da stub ima veći stepen sigurnosti. Odnos poznat pod imenom faktor sigurnosti Y definisan je odnosom nosivosti konstrukcije S prema vrednosti maksimalnog napona L u kritičnom preseku ($Y > 1$). Ovaj koeficijent može biti tehnički i funkcionalni, tj. prihvatljiv s aspekta sa kog se posmatra i mora da zadovolji pri eksploatacionom opterećenju. I kod faktora napona i kod faktora opterećenja mogu se primeniti različiti faktori sigurnosti, ali ne smeju da budu na račun sigurnosti i bezbednosti ljudi. I kod nelinearnog rada konstrukcije mora biti obezbeđena sigurnost konstrukcije.

Uticao zamora, trošenja i korizije uslovljavaju konstrukciji određeni vek trajanja. Treba biti usaglašen eksploatacioni vek trajanja i koeficijent sigurnosti konstrukcije, kao i cena koštanja iste. Dakle, ekonomičnost, trajanje i sigurnost svake konstrukcije moraju biti obezbeđeni u optimalnoj meri. Često puta vek trajanja konstrukcije kao i drugi parametri nisu dovoljno tačno definisani što dovodi do nepouzdanog proračuna. Iz tih razloga faktor sigurnosti i faktor upotrebljivosti mogu se posmatrati sa više aspekata a proračun sprovoditi sa najznačajnijih aspekata. Zbog toga je često potrebno vršiti eksperimentalna istraživanja, bilo na modelima ili na objektima u prirodnoj veličini da bi se dobili najpouzdaniji podaci za proračun i sigurnost konstrukcije.

Savremeno projektovane građevinske konstrukcije kako je to propisano i najnovijim evropskim standardima bazirano je na zadovoljenju sledeća četiri kriterijuma: čvrstoće, upotrebljivosti, stabilnosti i trajnosti. Bez istovremenog zadovoljenja sva četiri kriterijuma ne može se obezbediti propisana sigurnost i trajnost objekta. Na osnovu eksperimenata možemo tvrditi da sistem poseduje određeni koeficijent sigurnosti samo ako smo pri ispitivanju stvarno i dostigli propisani nivo opterećenja, odnosno stvarni koeficijent sigurnosti utvrđuje se na osnovu nivoa kritičnog opterećenja pri kom je nastupio gubitak stabilnosti.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je sprovedeno u okviru programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period

2011-2014, u oblasti Saobraćaj, urbanizam i građevinarstvo, projekat br. 36016, pod nazivom Eksperimentalno i teorijsko istraživanje linijskih i površinskih sistema sa polukrutim vezama sa aspekta teorije drugog reda i stabilnosti.

LITERATURA

- [1] *Obezbeđenje zgrada od seizmičkih razaranja*, S. Zdravković, V naučni skup Čovek i radna sredina, FZNR, Niš, 1986, str.17-26.
- [2] *Concepts of structural safety*, C. B. Brovn, proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol.86 N° 13, 1960.
- [3] *Seizmički rizik i mikrojejonizacija građevinske površine za objekat sportska dvorana u Pirotu*, S.Zdravkovic, D. Zlatkov, Geotehnički aspekti građevinarstva, III Naučno-stručno savetovanje, Zlatibor, 2009, str 377-382.
- [4] *Synopsis of first progress report of committee on factors of safety*, Oliver G. Julian, M. ASCE (Pros.paper 1316), Inc., Engineers, Boston, Mass. SAD, 1957.
- [5] *Proračun vitkih elemenata prema graničnoj nosivosti*, S. Zdravkovic, Savetovanje-Beton, komponente betona i granična stanja betonskih konstrukcija, Građevinski fakultet, Niš, 1989, str.260-272.
- [6] Tomičić-Torlaković M., Stefanović S., *Railway Noise and Vibration-Current European Logistation and Research and Measurements on Serbian Railway*, Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering, Vol 8, N°2, 2010., University of Nis, pp. 145-153.
- [7] Nikolić O., Nikolić V., *Principi videoekologije i njihova primena u praksi*, Nauka+Praksa Institut za građevinarstvo i arhitekturu Niš, br.13., 2010, Niš, str. 93-96.
- [8] Stefanović B., Stavretović N., *Biološka zaštita kosina puteva*, Zbornik Radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta, Niš, br. 25, 2010, str. 215-222.

