

PROBNO OPTEREĆENJE SA STANOVIŠTA NAŠIH I NEKIH STRANIH PROPISA

Nebojša Đuranović

Docent dr, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, 81.000 Podgorica, Cetinjski put

REZIME

Veličine statičkih probnih opterećenja kojima treba ispitivati konstrukcije u smislu dokazivanja njihovih karakteristika, funkcionalnosti ili pouzdanosti, kao i kriterijumi utvrđivanja kvaliteta konstrukcija dati su u našoj zemlji u različitim pravilnicima, standardima i uputstvima. Ovaj članak se bavi temom usklađenosti i opravdanosti nivoa probnih opterećenja i kvaliteta ispravnosti konstrukcija prema domaćim (JUS U.M1.047/1987) i Britanskim i Američkim propisa iz ove oblasti. Daje se osvrt na razlike i sličnosti i dolazi do zaključka da su strani standardi znatno strožiji od naših.

Ključne riječi: ispitivanje konstrukcija, probno opterećenje, kriterijumi ispravnosti, objekti visokogradnje.

STATIC PROOF LOADING AND QUALITY CRITERIAS IN DOMESTIC AND FOREIGN CODES

SUMMARY

The levels of static proof loads to which structures are to be exposed in order to determine their characteristics, function and reliability, as well as criteria for establishment of their quality, in our current legislation are given in number of codes and standards. This paper studies synchronisation and justification of the level of this loads and compares the quality criteria between domestic (JUS U.M1.047/1987) and American and British codes. An overview of domestic and foreign codes, together with similarities and differences between them is presented. The conclusion is that foreign codes are generally more requiring and strict then our own.

Keywords: quality criterias, proof load, structural testing, buildings.

UVOD

Veličine probnih opterećenja kojima treba ispitivati konstrukcije u smislu dokazivanja njihovih karakteristika, funkcionalnosti ili pouzdanosti date su u različitim pravilnicima, standardima i uputstvima. Po našim propisima probna opterećenja konstrukcija visokogradnje se zadaju u skladu sa standardom za "Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma" (JUS U.M1.047/1987)¹, dok se mostovi opterećuju u skladu sa standardom za "Ispitivanje mostova probnim opterećenjima" (JUS U.M1.046/1984)².

Prema JUS U.M1.047/1987 *probno statičko opterećenje W_{prob} mora biti jednako sumi ukupnog stalnog W_{stal} i pokretnog W_{pokr} opterećenja, i to njihovim vrijednostima prije množenja parcijalnim koeficijentima sigurnosti. Znači na samu konstrukciju treba nanijeti opterećenje kojima će se već postojeća opterećenja dopuniti do ovog neophodnog nivoa:*

$$W_{prob} = W_{stal} + W_{pokr}$$

Jedino kod konstrukcija sa mašinskim postrojenjima (preciznije rečeno kranovima) mora se obratiti pažnja i o *dopunskom uslovu o opterećenjima*. Tu probno statičko opterećenje mora biti veće od dozvoljene nosivosti kрана, i to:

za kranove do 20 t - za 25 %

za kranove iznad 20 do 50 t - za 15 %

za kranove iznad 50 t - za 10 %

To znači da se u određenim situacijama, i po našim standardima, konstrukciji zadaje više opterećenje od onog definisanog projektom.

Jasno je da se pri izboru mjesta nanošenja opterećenja mora odrediti najnepovoljniji položaj po projektu. *Ako to nije praktično izvodljivo mora se opterećenje postaviti tako da u presjecima izazove približno jednake unutrašnje sile kao da je opterećenje postavljeno u najnepovoljniji položaj po projektu.*

Po pomenutom standardu, probnim opterećenjem je utvrđeno da je konstrukcija ispravna ako su zadovoljeni i *kriterijumi ugiba* i *kriterijum prslina* (samo kod AB konstrukcija).

Pri tome postoje tri kriterijuma o veličini izmjerenih ugiba i sva tri moraju biti zadovoljena. To su kriterijum najvećih izmjerenih ugiba, kriterijum zaostalih ugiba i kriterijum ugiba sa stanovišta funkcionalnosti tj. estetike.

Po *PRVOM KRITERIJUMU* najveći izmjereni ugibi na mjestu najvećih uticaja $u_{pr, exp}$ treba da su manji ili jednaki računskim ugibima $u_{pr, rač}$ od probnog opterećenja.

$$u_{pr, expr} \leq u_{pr, rač}$$

Pri tom se u proračunu ugiba probna opterećenja tretiraju kao kratkotrajna, tj. kod AB konstrukcija zanemaruju se uticaji tečenja i skupljanja.

Po *DRUGOM KRITERIJUMU* kontrolišu se *zaostali ugibi* u_z . Oni se kontrolišu nakon najviše 16 sati od rasterećenja. Njihova vrijednost se upoređuje sa najvećim izmjerenim ugibima na posmatranom mjestu $u_{pr, expr}$. Granične vrijednosti zaostalih napona zavise od materijala od koga je konstrukcija napravljena. Pri tome imamo tri moguća područja veličina zaostalih napona:

za čelične i spregnute konstrukcije: $15 \% u_{pr, exp} \leq u_z \leq 40 \% u_{pr, exp}$

za predhodno napregnute konstrukcije: $20 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 50 \% u_{pr,exp}$

za armirano betonske konstrukcije: $25 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 50 \% u_{pr,exp}$

za konstrukcije od drveta: $30 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 60 \% u_{pr,exp}$

za konstrukcije od plastičnih materijala: $40 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 60 \% u_{pr,exp}$

Ako su zaostali ugibi veći od najvećih vrijednosti za odgovarajući materijal koje su date gore (npr. za AB konstrukcije to je $50\% u_{max}$), onda konstrukcija ne zadovoljava. Ako su vrijednosti zaostalih napona manje, tj ne ulaze u raspon dat gore, konstrukcija zadovoljava. Ako zaostali naponi padaju u područje dato gore probno opterećenje se mora ponoviti. Pri ponovljenom probnom opterećenju, da bi konstrukcija zadovoljila moraju se postići vrijednosti zaostalih ugiba niže od:

7,5 % $u_{pr,exp,2}$ - za čelične i spregnute konstrukcije,

10 % $u_{pr,exp,2}$ - za prednapregnute konstrukcije,

12,5 % $u_{pr,exp,2}$ - za armiranobetonske konstrukcije,

20 % $u_{pr,exp,2}$ - za konstrukcije od drveta.

Kod ponovljenog probnog opterećenja pod $u_{pr,exp,2}$ se podrazumijevaju vrijednosti izmjerene nakon drugog probnog opterećenja, mjerene od početnog položaja za to opterećenje (znači eventualno i od nivoa zaostalih ugiba od prvog probnog opterećenja, ako nije bilo daljnjeg smanjenja zaostalih ugiba od prvog probnog opterećenja).

TREĆI KRITERIJUM UGIBA za zadovoljenje kriterijuma kvaliteta konstrukcije po ugibima konstrukcije, je često subjektivne prirode. Po njemu se zahtijeva da se veličina izmjerenih ugiba može ocijeniti kao zadovoljavajuća ako ne utiče na funkcionalnost ili estetski izgled konstrukcije

KRITERIJUM PRSLINA se odnosi samo na AB konstrukcije i po njemu *širina najveće prsline*, a_{max} , na konstrukciji mora biti manja od one *najveće dozvoljene*, a_{doz} , po PBAB 87 (član 113).

$$a_{pr,exp} \leq a_{doz}$$

Svi pobrojani kriterijumi moraju biti zadovoljeni, tj. dovoljno je da samo jedan od navedenih kriterijuma nije zadovoljen pa da se za konstrukciju konstatuje da ne ispunjava kriterijume kvaliteta za tehnički ispravnu konstrukciju.

Duh i vrijednosti date u standardu za "Ispitivanje mostova probnim opterećenjima" su slične ili iste predhodno datim.

Veličine probnih opterećenja i kvaliteti ispravnosti konstrukcija - za konstrukcije od armiranog betona - date u propisima Američkog Instituta za beton ³ (ACI 318/M - 1992 Building Code Requirements for Reinforced Concrete) i po propisima Britanskog zavoda za standarde ⁴ - (BS8110), značajno se razlikuju od naše zakonske regulative iz ove oblasti.

ISPITIVANJE PROBNIM OPTEREĆENJEM PO BS 8110

Po ovom standardu probno opterećenje kao metod testiranja konstrukcija treba koristiti: kada uslovi o kvalitetu gradnje ukazuju na loš kvalitet upotrebljenog materijala; kada postoji sumnja u pogledu kvaliteta izrade konstrukcije (ugrađivanje, održavanje i t.sl.); kada postoje vidljivi nedostaci, posebno ako su primljećeni u kritičnim presjecima ili u

najosetljivijim elementima i kada je iz nekog razloga potrebna provjera kvaliteta konstrukcije ili proizvodnje prefabrikovanih elemenata.

Indikativno je da ovaj standard ne preporučuje obavezno nanošenje probnih opterećenja na konstrukciju u smislu utvrđivanja tehničke ispravnosti konstrukcije, sem u specijalnim slučajevima i u krajnjoj nuždi. Prije nego se pristupi probnom opterećenju potrebno je predhodno iscrpiti sve druge mogućnosti za utvrđivanje tehničke ispravnosti posmatranog elementa ili konstrukcije. U tom smislu čitalac se upućuje na BS 6089.

U principu testovi probnim opterećenjem, po ovim propisu se neće koristiti kada:

1. koristimo modelsko testiranje kao polazište za analizu i dimenzionisanje elemenata
2. koristimo testiranja u smislu daljnje analize i poboljšavanja prototipskih konstrukcija
3. želimo da provjerimo adekvatnost postojeće konstrukcije u smislu promjene projektnih opterećenja ili eventualnih oštećenja na konstrukciji.

U prve dvije situacije preporučuje se testiranje konstrukcije do loma, dok se za treću situaciju preporučuje analitička provjera na osnovu predhodno utvrđenog stanja materijala konstrukcije.

Izuzetak je kada se želi uporediti ponašanje posmatrane konstrukcije sa istom takvom dimenzionisanom po standardu BS 8110.

Pri testiranju konstrukcije opterećenjem kontrolišu se ili granično stanje nosivosti ili granično stanje upotrebljivosti.

U pojedinim situacijama konstrukcija se može opteretiti i opterećenjima do nivoa graničnog stanja nosivosti, ali je uobičajeno da se ide do graničnog stanja upotrebljivosti, to jest do nivo deformacija i prsline koje su sračunate za projektno opterećenje odnosno do nivoa graničnih uslova graničnog stanja upotrebljivosti.

Ukupno opterećenje W_{prob} kojim se testira konstrukcija *ne smije biti manje* od zbira stalnog opterećenja W_{stal} i mjerodavnog povremenog opterećenja W_{povr} .

$$W_{prob} \geq W_{stal} + W_{povr}$$

Međutim, po ovom standardu, preporučuje se da se koristi opterećenje koje predstavlja zbir stalnog opterećenja i opterećenja koje je 25 % veće od povremenog opterećenja ili opterećenja koje je za 12,5 % veće od zbira stalnog i povremenog projektnog opterećenja. Pri tome se uzima veća vrijednost od ove dvije.

$$W_{prob} = \text{veće od} \begin{array}{l} \text{a. } (W_{stal} + 1,25 W_{povr}) \\ \text{b. } 1.125 (W_{stal} + W_{povr}) \end{array}$$

Probna opterećenja treba nanositi postepeno i u fazama. Ukupno probno opterećenje treba nanijeti najmanje dva puta sa vremenskim razmakom od najmanje 1 sat između nanošenja opterećenja.

Nakon nanošenja opterećenja sa mjerenjem deformacija treba sačekati najmanje 5 minuta u cilju njihove stabilizacije.

Ponekad treba opterećenje nanijeti i po treći put i tako ga ostaviti 24 časa.

Osnovni pristup pri procjeni tehničke ispravnosti konstrukcije ili elemenata po ovom standardu, je postupak upoređivanja izmjerenih parametara ponašanja testirane konstrukcije sa predhodno urađenim proračunom iste konstrukcije. Pri tome se mora poći od stvarnih karakteristika gotove konstrukcije, a ne sa stanovišta projektnih veličina (znači koriste se stvarne vrijednosti kvaliteta materijala itd).

Kriterijumi tehničke ispravnosti po ovom standardu su:

a. Pri prvom nanošenju probnog opterećenja najveći ugibi i pukotine (u_{gr}) bi trebali da budu približno jednaki onima iz predhodno urađenog statičkog proračuna u_{rac} . Interesantno je da se ne kaže eksplicitno da oni treba da budu manji ili jednaki, kao kod naih standarda.

b. Kada konstrukciji, pri prvom nanošenju probnog opterećenja, zadamo "značajne ugibe", tada se pri drugom krugu opterećivanja probnim opterećenjem očekuje da procenat zaostalih deformacija (ugiba) $u_{z,exp,2}$ u odnosu na najveće izmjerene deformacije iz tog kruga, ne bi trebao da bude veći nego kod prvog ciklusa nanošenja probnog opterećenja $u_{z,exp,1}$:

$$u_{z,exp,2} (\%) \leq u_{z,exp,1} (\%)$$

Pri tome te zaostale deformacije u_z ne bi trebale da budu veće od 25% za armirani beton, niti veće od 15% - 25% najvećih izmjerenih ugiba $u_{max,exp}$ kod predhodno napregnutih konstrukcija.

armirani beton:
$$u_{z,exp} \leq 0,25 u_{max,exp}$$

predhodno napregnuti beton:
$$u_{z,exp} \leq 0,15 - 0,25 u_{max,exp}$$

Pojam *značajnih ugiba* u standardu nije eksplicitno objašnjen ali se vjerovatno misli na značajne ugibe u poređenju sa graničnim ugibima zadatim u BS 8110. Na takvo tumačenje upućuje i objašnjenje dato u referenci ⁵ gdje se komentarišu odredbe ovog pravilnika. Tu se kaže da se kao *značajni ugibi* mogu uzeti svi ugibi u većih od:

$$u \geq \frac{40 \cdot l^2}{d}$$

gdje je l efektivni raspon konstrukcije (razmak nultih tačaka) - koji se daje u metrima, a d je ukupna visina (debljina) elementa - koja se daje u milimetrima.

Interesantno je da su, na ovaj način definisane vrijednosti "značajnog ugiba", veoma niske. Ako, na primjer, testiramo kontinualnu gredu efektivnog raspona polja $l = 0,7 L = 6 m$ i debljine $d = 500 mm$ tada se svaki izmjereni ugib koji ima vrijednost veću od :

$$u \geq \frac{40 \cdot l^2}{d} = \frac{40 \cdot 6^2}{500} = 2,9 mm$$

može smatrati *značajnim ugibom*.

Značajno je primijetiti da vrijednost "značajnog ugiba" zavisi od debljine i od raspona nosača. Pri tome "vitkiji" nosači (manje d) dostižu nivo "značajnih ugiba" pri znatno višim vrijednostima ugiba nego grede sa većim d .

ISPITIVANJE PROBNIM OPTEREĆENJEM PO ACI 318

Slično BS 8110 i ACI 318 tretira ispitivanje konstrukcija. Kod njega je razlika da se probno opterećenje već u prvom krugu mora držati na konstrukciji puna 24 časa. Veličina probnog opterećenja W_{prob} je data kao:

$$W_{prob} = 0,85 \times (1,4 \times W_{stal} + 1,7 \times W_{povr})$$

gdje W_{stal} predstavlja stalno, a W_{povr} povremeno projektno opterećenje.

Ako na konstrukciji još nije bilo nanižeto puno - projektom predviđeno - stalno opterećenje, potrebno je najmanje 48 časova prije testiranja nanižeti tu razliku između postojećeg i projektom predviđenog stalnog opterećenja.

Nakon analitičkih proba i upoređenja može se zaključiti da su ovi kriterijumi čak za oko 15 -20 % strožiji nego oni kod BS 8110.

Najveći izmjereni ugibi $u_{max,exp}$ od probnog opterećenja po ovim propisima ne smiju biti veći od:

$$u_{max,exp} \leq u_{gran} = \frac{l^2}{20.000 \cdot d}$$

gdje su l - efektivna dužina nosača i d - ukupna debljina. Ako je ovaj limit prekoračen neophodno je izvršiti provjeru zaostalih ugiba.

Pri prvom krugu opterećivanja probnim opterećenjem standard traži da zaostale deformacije (ugibi) $u_{z,exp,1}$ u odnosu na najveće izmjerene deformacije iz tog kruga $u_{max,exp,1}$ ne bi trebale da budu veće od 25% za armirani beton, niti veće od 20% kod predhodno napregnutih konstrukcija. Ako ovaj uslov nije ispunjen, armiranobetonske konstrukcije se mogu naknadno testirati posle 72 časa provedena u rasterećenom stanju i pri tome zaostali ugibi $u_{z,exp,2}$ moraju biti $u_{z,exp,2} \leq 0,20 u_{max,exp,2}$. Kod predhodno napregnutih konstrukcija ovaj dopunski kriterijum ne postoji.

ZAKLJUČAK

Pomenuti strani propisi su znatno stroži nego naši standardi. I pored toga, u stranoj literaturi se kaže da se u praksi osjeća da su pomenuti strani propisi preblagi u smislu veličine probnog opterećenja (a sa stanovišta dugotrajnih deformacija) pe se obično citiraju preporuke Britanskog udruženja građevinskih konstruktera (The institution of Structural Engineers) koja preporučuju da probna opterećenja treba da budu još većeg nivoa.

I pored toga u literaturi ⁵ se kaže da se u praksi osjeća da su BS 8110 preblagi u smislu veličine probnog opterećenja (a sa stanovišta dugotrajnih deformacija) i citiraju se preporuke Britanskog udruženja građevinskih konstruktera (*The Institution of Structural Engineers*) koja preporučuju da probna opterećenja budu 25% veća od zbira stalnog i povremenog opterećenja:

$$W_{prob} \geq 1.25 (W_{stal} + W_{povr})$$

Ovdje se ide tako daleko da ima sugestija da bi probno opterećenje trebalo da ide do:

$$W_{prob} \geq 1.50 (W_{stal} + W_{povr})$$

LITERATURA

¹ Jugoslovenski zavod za standardizaciju, Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma, JUS U.M1.047/1987, Beograd, 1987.

² Jugoslovenski zavod za standardizaciju, Ispitivanje mostova probnim opterećenjima, JUS U.M1.046/1984, Beograd, 1984.

³ Američki Institut za beton, *ACI 318/M, Building Code Requirements for Reinforced Concrete*, Detroit, USA, izdanje 1989, str. 279 -282.

⁴ Britanski zavoda za standarde, BS8110 - Structural use of concrete, London, 1987. Dio 2. Poglavlje 9: Procjena kvaliteta i testiranje konstrukcija i elemenata u toku i grajenja.

⁵ J. H. Bungey, The testing of concrete in structures, Blackie and Son Ltd, London, str. 114 - 115.