

## KVALITET BETONSKIH KONSTRUKCIJA U BIH

## QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES IN BIH

Emir Hodžić, dipl.inž.grad.  
Rudarski institut Tuzla  
Tuzla

### REZIME

*Betonske konstrukcije tokom svog vijeka trajanja zahtijevaju nekoliko nivoa kontrole kvaliteta. Te nivoe možemo podijeliti u: kontrolu kvaliteta sastojaka materijala, kontrolu kvaliteta proizvodnje, kontrolu kvaliteta izvođenja konstrukcije i kvalitet održavanja konstrukcije. Prikazana metoda određivanja koeficijenta sigurnosti za materijal, konkretno beton, predložen od strane BAS EN 1992-1-1:2015. Koeficijent sigurnost za materijal, po svom načinu određivanja, je veoma zavistan od kontrole kvaliteta sastojaka materijala i kontrole kvaliteta proizvodnje, te predstavlja svojevrsnu potvrdu prethodne dvije kontrole kvaliteta. BAS EN 1992-1-1:2015 predlaže globalni koeficijent sigurnosti za beton  $\gamma_c$  a u radu se razmatra opravdanost prihvatanja globalnog koeficijenta sigurnosti.*

**Ključne riječi:** beton, kvalitet, pouzdanost, pritisna čvrstoća

### ABSTRACT

*During their lifetime, concrete structures require several levels of quality control. These levels may be divided as: quality control of constituents, quality control of production, quality control of execution and quality control for maintenance. Method for determination of safety factor for material, specially for concrete, suggested in BAS EN 1992-1-1:2015 is showed. By its method of determining, safety factor is very dependent on the quality control of constituents and quality control of production, and represent some kind of confirmation for quality control of previous controls, aforementioned. BAS EN 1992-1-1:2015 proposes global safety factor for concrete  $\gamma_c$ , which is discusses for the justification of acceptance.*

**Keywords:** concrete, quality, reliability, compressive strength

### 1. UVOD

Beton je u osnovi kompozitni materijal sastavljen od agregata, vode i cementa. Miješanjem ovih sastojaka u određenom omjeru, tj. prema određenim pravilima struke, dobijamo beton. Osnovna karakteristika betona kao građevinskog materijala je njegova pritisna čvrstoća. Prema tome, očigledno je da pritisna čvrstoća ovisi o kvalitetu materijala koji ulaze u sastav betona. Betonske konstrukcije se grade za proračunski vijek trajanja i do 100 godina, pri čemu konstrukcije treba da izdrže veliki broj statičkih, kvazi-statičkih i dinamičkih opterećenja. Da bi se udovoljilo zahtjevanoj trajnosti, pored zahtjevanih karakteristika samog materijala, potrebno je osigurati i kvalitetnu proizvodnju, izgradnju i održavanje konstrukcija. Znači, kvalitet je nezaobilazan zahtjev za „dobru“ konstrukciju. Niz evropskih propisa, kroz svoje paragrafe, određuju zahtijevane nivoe kvalitete, počevši od osnovnih sastavnih materijala za beton, preko spravljanja samog betona, projektovanja konstrukcije, ugradnje materijala, načina izvođenja, pa sve do potrebnog održavanja konstrukcije nakon izgradnje.

Jedna od zahtjeva za kvalitet betona je pritisna čvrstoća pri starosti od 28 dana, što ulazi u statički proračun i dimenzioniranje konstrukcije putem globalnog koeficijenta sigurnosti  $\gamma_c$ . Globalni koeficijent sigurnosti, označen kao  $\gamma_c$ , ( $\gamma_M$  u BAS EN 1990), se sastoji od niza statistički ovisnih parametara, koji u ovom trenutku nisu u potpunosti dostupni u BiH, te su u skladu sa relevantnom literaturom preuzeti kao uobičajene vrijednosti. Ispitivanja su rađena u laboratoriji koja je akreditovana od strane BATA Instituta, te se pretpostavlja da su sva ispitivanja, način uzimanja uzoraka i slično, u skladu sa akreditacijom, te da je urađeno u skladu sa relevantnim EN propisima.

Za potrebe proračuna su određena četiri proizvođača betona sa prostora Bosne i Hercegovine, čiji su betoni ušli u statističku obradu. Akcenat je dat na pritisnoj čvrstoći, čime se želi pokazati da usvajanje predloženog globalnog koeficijenta sigurnosti za beton iz BAS EN 1992-1-1 ima opravdanost obzirom na kvalitet betona koji se ugrađuje u BiH.

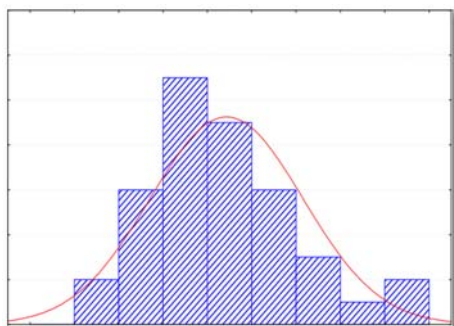
## 2. UZORCI ZA OBRADU

Za proračun su uzeti podaci o ispitivanjima za četiri proizvođača sa prostora Bosne i Hercegovine, koji proizvode betone klase C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C40/50. Podaci ispitivanja su klasifikovana prema klasama betona.

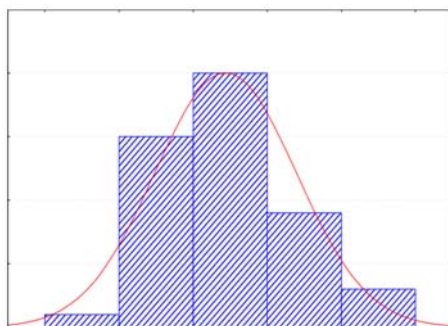
Tabela 1. Podaci o ispitivanju klasa betona

Klasa betona	br. uzoraka (n)	srednja vrijednost ( $\mu_x$ ) MPa	standardna devijacija ( $\sigma_x$ ) MPa	koeficijent varijacije ( $V_x$ )
C 16/20	40	26,9	3,45	0,128
C 20/25	48	32,19	4,78	0,149
C 25/30	623	38,9	4,49	0,115
C 30/37	62	49,02	6,06	0,124
C 40/50	28	61,05	4,77	0,078

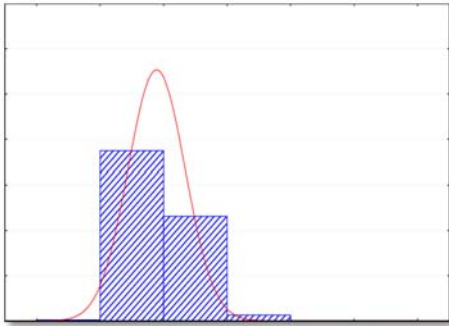
Na slikama 1 do 5 su prikazane funkcije kumulativne gustoće raspodjele za pretpostavljenu normalnu raspodjelu, po klasama betona.



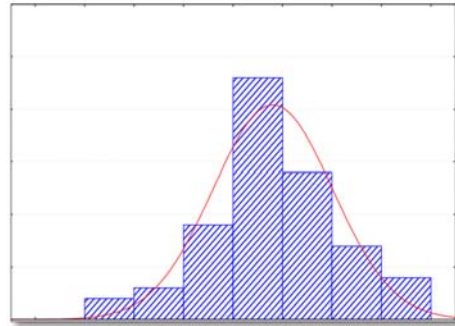
Slika 1. Normalna raspodjela za C16/20



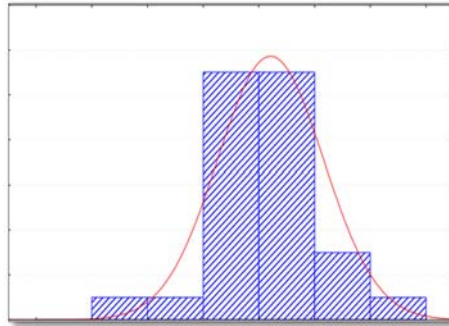
Slika 2. Normalna raspodjela za C20/25



Slika 3. Normalna raspodjela za C25/30



Slika 4. Normalna raspodjela za C30/37



Slika 5. Normalna raspodjela za C40/50

### 3. KARAKTERISTIČNA I PRORAČUNSKA ČVRSTOĆA NA PRITISAK

Svojstva materijala ili proizvoda se trebaju prikazati pomoću karakterističnih vrijednosti [1]. Kada je donja vrijednost nekog svojstva materijala/proizvoda nepovoljna, onda se karakteristična vrijednost definiše kao 5% fraktilna vrijednost. Karakteristična ili 5% fraktilna vrijednost se računa prema izrazu:

$$X_k = m_x - k_n \cdot s_x \quad (1)$$

gdje je  $m_x$  srednja vrijednost ispitanih uzoraka a  $s_x$  standardna devijacija.

Koeficijent  $k_n$  se uzima iz tabele 1, a odabire se za red „ $V_x$  nepoznato“, gdje  $V_x$  nije poznat iz prethodnih saznanja nego se procijenjuje iz uzorka za ispitivanje.

Tabela 2. koeficijent  $k_n$  (preuzeto iz BAS EN 1990:2014)

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ poznato	2,31	2,10	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_x$ nepoznato	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Opšti oblik proračunske vrijednosti nekog svojstva materijala/proizvoda se može izraziti u obliku:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (2)$$

gdje je  $\eta$  srednja vrijednost koeficijenta konverzije, a  $\gamma_m$  je parcijalni koeficijent svojstva materijala. Koeficijentom konverzije se uzimaju u obzir uticaji zapremine, razmjere, vlage, temperature te drugi relevantni parametri, dok se parcijalnim koeficijentom za materijal uzimaju u obzir mogućnosti nepovoljnog odstupanja svojstva materijala od karakteristične vrijednosti kao i slučajni dio faktora konverzije.

Proračunska nosivost je data izrazom:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (3)$$

pri čemu je:

$\gamma_{Rd}$  parcijalni koeficijent kojim se obuhvataju nepouzdanosti modela nisovist i geometrijska odstupanja ukoliko nisu eksplicitno modelirana

$X_{d,i}$  proračunska vrijednost svojstva materijala  $i$

Obzirom da je dopušteno da u odgovarajućim slučajevima koeficijent konverzije  $\eta$  može da se uzme u implicitno u obzir unutar same karakteristične vrijednosti, ili da se uzme korištenjem koeficijenta  $\gamma_M$ , izraz (3) se može napisati i kao:

$$R_d = R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (4)$$

gdje je  $\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \cdot \gamma_{M,i}$

Bitno je napomenuti da  $\eta_i$  može biti uključen u koeficijent  $\gamma_{M,i}$ .

#### 4. KALIBRACIJA GLOBALNOG KOEFICIJENTA SIGURNOSTI ZA BETON

Za kalibraciju su odabrane ispitne pritiskne čvrstoće betona za klase C16/20, C20/25, C25/30, C30/37, C40/50. Dobiveni statistički parametri su prikazani u tabeli 2, te sračunata karakteristična vrijednost svojstva materijala.

Tabela 3. Statistički parametri za klase betona

	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 40/50
srednja vrijednost ( $\mu_x$ )	26,9	32,19	38,9	49,02	61,05
standardna devijacija ( $\sigma_x$ )	3,45	4,78	4,5	6,06	4,77
koeficijent varijacije ( $V_x$ )	0,128	0,148	0,115	0,124	0,078
karakteristična vrijednost ( $X_k$ )	21,25	24,32	31,56	39,05	53,24

Prema izrazu (4) se proračunska nosivost dobija na osnovu karakteristične vrijednosti podijeljene koeficijentom  $\gamma_M$ , uz faktor konverzije  $\eta_i = 1$ .

Određivanje parcijalnog koeficijenta za materijal se vrši na osnovu opšte jednačine (2) a prema izrazu [3]:

$$\gamma_m = \frac{R_k}{R_d} = \frac{\mu_x(1-k \cdot V_x)}{\mu_x(1-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_x)} = \frac{1-k \cdot V_x}{1-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_x} \quad (5)$$

U izraz (5) se uvode koeficijent osjetljivosti razmatranih parametara te indeks pouzdanosti u skladu sa zahtjevima [1,2] za klasu posljedica 2. Koeficijent osjetljivosti je zasnovan na pojednostavljenoj metodi nivoa II, dok je  $\beta$  ciljani indeks pouzdanosti ovisan o referentnom periodu i graničnom stanju.

Za koeficijent osjetljivosti  $\alpha_R = 0,8$  i ciljani indeks pouzdanosti [4] za referentni period od 50 godina i granično stanje nosivosti  $\beta = 3,8$ , parcijalni koeficijent sigurnosti za materijal je:

$$\gamma_m = \frac{1-k \cdot V_x}{1-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_x} = \frac{1-1,64 \cdot V_x}{1-3,04 \cdot V_x} \quad (6)$$

Nakon određivanja parcijalnog koeficijenta za materijal  $\gamma_m$ , slijedeći korak je određivanje koeficijenta  $\gamma_{Rd}$  kojim se obuhvataju nepouzdanosti modela nosivosti i geometrijska odstupanja. Prema [3,4] koeficijent  $\gamma_{Rd}$  se može razdvojiti kao  $\gamma_{Rd} = \gamma_{Rd,1} \cdot \gamma_{Rd,2}$ , gdje su  $\gamma_{Rd,1}$  i  $\gamma_{Rd,2}$  parcijalni koeficijenti kojima se uzima nepoznanica modela i geometrijska nepoznanica respektivno. Uobičajeno se uzima  $\gamma_{Rd,1} = \gamma_{Rd,2} = 1,05$  te je

$$\gamma_{Rd} = \gamma_{Rd,1} \cdot \gamma_{Rd,2} = 1,05 \cdot 1,05 = 1,10 \quad (7)$$

Sada je potpuno definisano određivanje globalnog koeficijenta sigurnosti za materijal (beton) preko izraza:

$$\gamma_M = \gamma_C = \gamma_m \cdot \gamma_{Rd} \quad (8)$$

## 5. ZAKLJUČAK

Rezultati kalibracije su prikazani u tabeli 4. Prikazane su karakteristična vrijednost čvrstoće za 5% fraktil, proračunska vrijednost čvrstoće, parcijalni koeficijent sigurnosti  $\gamma_m$  za ciljani indeks pouzdanosti  $\beta = 3,8$ , parcijalni koeficijent  $\gamma_{Rd}$  te dobivene vrijednosti globalnih koeficijenata sigurnosti za materijal, prema klasama betona.

Tabela 4. Rezultati ispitivanja i kalibracije

	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 40/50
Karakteristična vrijednost ( $X_k$ )	21,25	24,32	31,56	39,05	53,24
Proračunska vrijednost ( $X_d$ )	16,41	17,66	25,22	30,60	46,55
$\gamma_m$	1,3	1,4	1,2	1,3	1,1
$\gamma_{Rd}$	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
$\gamma_M$	1,42	1,51	1,37	1,41	1,26

Dobivene vrijednosti generalno odgovaraju predloženom globalnom koeficijentu sigurnosti za beton. Srednja vrijednost dobivenih koeficijenata je 1,394 što navodi na zaključak da su betoni većih čvrstoća od zahtjevanih vrijednosti, i da globalni koeficijent može biti manji. Odstupanja dobivenih globalnih koeficijenata od predloženog, se mogu opravdati vrstom cementa i agregata, kao i recepturama za beton, što može biti nastavak ovog istraživanja. Međutim, obzirom na nepoznanice vezane za određivanje  $\gamma_{Rd}$ , smatra se opravdanim uvođenje predloženog globalnog koeficijenta

$$\gamma_M = \gamma_C = 1,5.$$

## **6. LITARATURA**

- [1] BAS EN 1990: Eurokod 0 – Osnove projektovanja konstrukcija, BAS Institut, 2014.
- [2] Handbook 1: Basis of structural design – Guide to Interpretative documents for Essential Requirements, to EN 1990 and to application and use of Eurocodes, UK, 2004.
- [3] Handbook 2: Reliability backgrounds – Guide to the basis of structural reliability and risk engineering related to Eurocodes, supplemented by practical examples, UK, 2004.
- [4] Gulvanessian, H., Calgaro, A.J., Holicky, M.: Designers` guide to Eurocode: Basis of structural design EN 1990, Second edition, ICE Publishing, 2012.