

17. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ O KVALITETI „KVALITETA ČINI RAZLIKU“

RIZICI PRIHVAĆANJA I ODBACIVANJA U PROIZVODNJI BETONA

RISKS BY ACCEPTANCE AND REJECTION IN CONCRETE PRODUCTION

Izv. prof. dr. sc. Nina Štirmer
Marina Alagušić, mag. ing. aedif.
Prof. dr. sc. Ivana Banjad Pečur

Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za materijale
Fra Andrije Kačića Miošića 26, 10 000 Zagreb, Croatia

SAŽETAK (ABSTRACT)

Kontrola kvalitete u građevinarstvu podrazumijeva osiguranje usklađenosti karakteristika materijala, građevnih proizvoda i izvođenja radova sa zahtjevima koji su propisani tehničkim propisima, normama i relevantnim zakonima, sve s ciljem kako bi se osigurala svojstva i ponašanje predviđeno projektom. U industriji betona, primjenjuju se kriteriji sukladnosti definirani normom HRN EN 206 kako bi se provjerila zahtijevana svojstva betona, koja izravno utječu na sigurnost betonskih građevina.

U radu je kroz primjer prikazan sustav ocjene sukladnosti tlačne čvrstoće betona, razvijen na konceptu granične vrijednosti prosječne izlazne kvalitete (AOQL). Tlačna čvrstoća betona opisuje se pomoću karakteristične tlačne čvrstoće betona f_{ck} koja odgovara 5%-tnom fraktilu teorijske raspodjele čvrstoće promatranog razreda betona. Za pretpostavljenu funkciju distribucije tlačne čvrstoće betona i za dani kriterij sukladnosti, može se izračunati vjerojatnost prihvatanja serije betona. Uvijek postoji rizik da se beton prihvatljive kvalitete odbaci, tzv. proizvođačev rizik, te jednako tako postoji i rizik da se beton lošije kvalitete od zahtijevane prihvati, tzv. potrošačev rizik. Poželjno je da oba rizika budu minimizirana unutar granica sigurnosti i ekonomičnosti. Budući da razina kvalitete betona može značajno varirati, kvantifikaciju navedenih rizika moguće je grafički prikazati pomoću operativnih (OC) krivulja.

Ključne riječi: razred tlačne čvrstoće betona, kriterij sukladnosti, operativna krivulja

Key words: concrete compressive strength class, conformity criteria, operating characteristic curve

1. UVOD

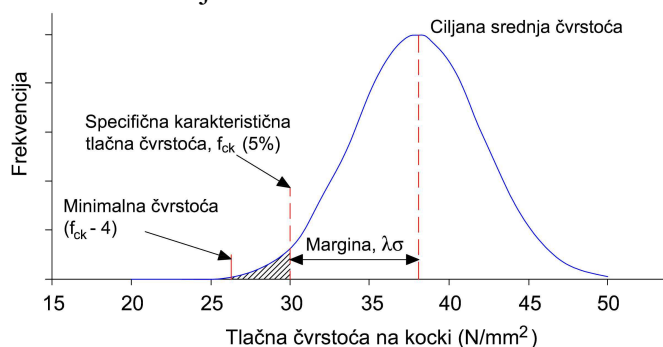
Građevinarstvo kao jedna od najstarijih tehničkih struka koja se bavi svim fazama cjelovitog postupka izvođenja građevina različitih namjena: planiranjem, projektiranjem, izgradnjom i nadzorom nad izgradnjom, proizvodnjom materijala te ispitivanjem materijala i konstrukcija, predstavlja široko područje ljudskog djelovanja čiji je presudan čimbenik kontrola i osiguranje kvalitete. Kontrola kvalitete u građevinarstvu podrazumijeva osiguranje usklađenosti karakteristika materijala, građevnih proizvoda i izvođenja radova sa zahtjevima koji su propisani tehničkim propisima i normama, kako bi se osigurala svojstva i ponašanje predviđeno projektom. Beton je najviše korišten građevinski materijal u svijetu, a samo u

Europi godišnje se proizvede preko 750 milijuna m^3 betona, što čini približno 4 t betona po glavi stanovnika¹. Time betonska industrija predstavlja značajnu komponentu građevinskog sektora, što se ogleda i kroz zapošljavanje više od 550.000,00 ljudi u EU². Za kontrolu kvalitete proizvodnje betona, primjenjuju se kriteriji sukladnosti definirani normom HRN EN 206³. Suvremena kontrola kvalitete betona zasniva se na konceptu granične vrijednosti prosječne izlazne kvalitete (*engl. Average Outgoing Quality Level – AOQL*) za promatrano svojstvo tlačne čvrstoće betona. Kvantifikaciju rizika koji se pojavljuju u ovakom konceptu kontrole kvalitete moguće je grafički predložiti pomoću operativne krivulje (*engl. Operating characteristic curve – OC*).

2. TLAČNA ČVRSTOĆA BETONA

Tlačna čvrstoća betona osnovno je mjerilo njegove kvalitete. Konstruktorima je važno znati kako će se element i/ili cijela konstrukcija ponašati pod predvidivim opterećenjem u uporabi, kako bi ih mogli pravilno oblikovati i dimenzionirati u skladu s postavljenim zahtjevima i važećom regulativom. Tehnolozi moraju znati kako će se beton ponašati pod opterećenjem kako bi mogli optimirati njegov sastav, način proizvodnje, ugradbu i njegu⁴. Tlačna čvrstoća betona opisuje se pomoću karakteristične tlačne čvrstoće betona f_{ck} . Ako se ispituje tlačna čvrstoća n uzoraka betona, rezultati ispitivanja će imati normalnu raspodjelu prikazanu na Slika 1 **Error! Reference source not found..** Označeno područje razdiobe od 5 % definirano je kao karakteristična tlačna čvrstoća betona f_{ck} . Drugim riječima, f_{ck} odgovara 5 %-tnom fraktilu teorijske raspodjele čvrstoće promatranog razreda betona. Dakle, f_{ck} je vrijednost čvrstoće ispod koje se očekuje da “pasti” 5 % populacije ispitanog betona.

Slika 1. Distribucija tlačne čvrstoće betona



Izvor: Roshavelov, T., "Basics of EN 206:2013", *TAIEX Workshop on Construction Products Regulation and Standards*, Skopje, 2014.

Tlačna čvrstoća betona određuje se u određenoj starosti, uobičajeno nakon 28 dana. Stoga, ako se nakon 28 dana ustanovi da beton ugrađen u konstrukciju ne zadovoljava projektiranu tlačnu čvrstoću, može bitno je narušena sigurnost same građevine, ali i ljudi koji bi trebali koristiti tu građevinu.

3. KRITERIJI SUKLADNOSTI TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA

Kriteriji sukladnosti tlačne čvrstoće betona definirani u normi HRN EN 206 razlikuju se ovisno je li riječ o *početnoj* ili *kontinuiranoj* proizvodnji betona (slika 2).

¹ Bjegović, D., Štirmer N., Serdar M., "Ecological Aspects of Concrete Production", 2nd Int. Conf. on Sust. construction materials and technologies, Ancona, Italija, pp. 1483-1492, 2010.

² Johnson, J., <http://www.theconcreteinitiative.eu/newsroom/press-releases/48-concrete-sector-launches-new-initiative-to-tackle-challenges-of-sustainable-construction>; The Concrete Initiative, 2014.

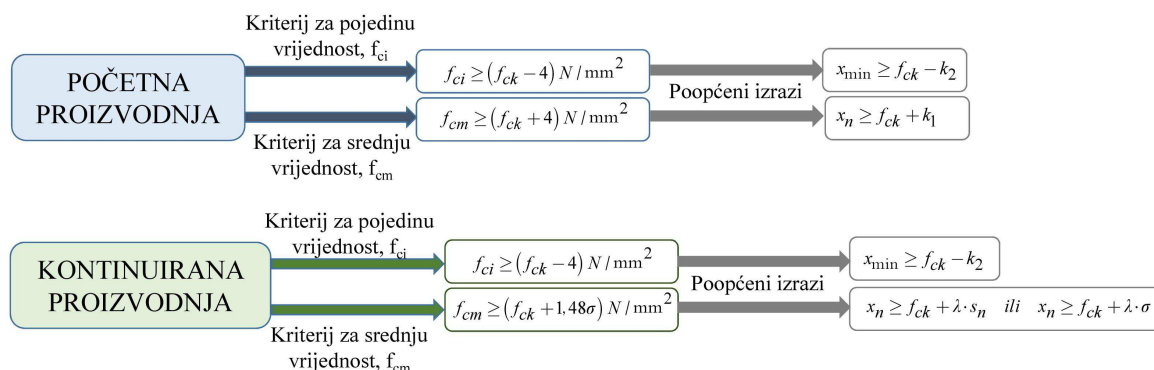
³ HRN EN 206 "Beton – Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206:2013)"

⁴ Bjegović, D.; Štirmer, N., "Teorija i tehnologija betona", Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015.

Pod *početnom proizvodnjom* podrazumijeva se proizvodnja sve dok nije dostupno najmanje 35 rezultata ispitivanja. *Kontinuirana proizvodnja* je postignuta kada je najmanje 35 rezultata ispitivanja zadobiveno tijekom perioda ne dužeg od 12 mjeseci.

Ako je proizvodnja pojedine mješavine betona prekinuta na više od 12 mjeseci, tada proizvođač mora prihvatiti kriterije, plan uzorkovanja i plan ispitivanja koji odgovaraju početnoj proizvodnji. Uzorci betona moraju se odabirati i uzimati slučajno.

Slika 2. Kriteriji sukladnosti za tlačnu čvrstoću betona



Izvor: HRN EN 206 i izvorno autorsko

U izrazima prikazanim na slici 2 x_n je srednja vrijednost tlačne čvrstoće uzorka, σ je poznata standardna devijacija čvrstoće populacije, s_n je standardna devijacija uzorka, x_{min} je najmanja vrijednost čvrstoće u uzorku a λ , k_1 , k_2 su parametri. U nastavku će se obrazložiti odabir vrijednosti λ , k_1 , k_2 definiranih u normi HRN EN 206.

3.1. Faktori k_1 , k_2

Vrijednost faktora k_1 , k_2 odabrana je kao 4. Naime, čvrstoća betona ispod vrijednosti f_{ck} ne znači podbačaj budući da je statistički očekivano i prihvaćeno da će 5 % rezultata biti ispod vrijednosti f_{ck} . Međutim, iz razloga sigurnosti, serija s čvrstoćama betona značajno ispod f_{ck} je isključena, iako zapravo čini dio očekivane populacije (5% ispod f_{ck}). Posljedično, norma HRN EN 206 definira zahtjev za minimalnu čvrstoću pojedinih rezultata (f_{ci}) kao $(f_{ck}-4)$, Slika 1. Svaka serija s rezultatima ispod te vrijednosti čvrstoće je nesukladna serija, odnosno mora se odbaciti⁵.

Valja naglasiti da kriterij sukladnosti $f_{ci} \geq (f_{ck}-4)$ vrijedi samo za karakteristične tlačne čvrstoće betona $\leq C 50/60$ (obični beton). Za razrede čvrstoće betona $\geq C55/67$ (beton velikih čvrstoća) vrijedi kriterij sukladnosti $f_{ci} \geq 0,9f_{ck}$.

3.2. Faktor λ

Faktor λ naziva se konstanta prihvatanja i za veličinu od 15 uzoraka (kontinuirana proizvodnja) u normi HRN EN 206 definirana je kao $\lambda_{n=15} = 1,48$. Oznaka λ_n u slučaju t-distribucije (Studentove distribucije) je t_n . Vrijednost $\lambda_{n=15} = 1,48$ preuzela je ulogu faktora Studentove distribucije iz prijašnjih normi. Vrijednost Studentovog t_n faktora ovisi o veličini uzorka i u svim je slučajevima iznosila najmanje $t_n = 1,645$, ali je u slučajevima malih uzoraka ta vrijednost bila značajno veća. U sadašnjem propisu definirana konstanta prihvatanja λ_n , ili u starijim propisima Studentov faktor t_n , pomnožen sa standardnim

⁵ Roshavelov, T., "Basics of EN 206:2013", TAIEX Workshop on Construction Products Regulation and Standards, Skopje, 2014.

devijacijama σ ili s_n predstavlja raspon (marginu) između srednje vrijednosti čvrstoće i karakteristične čvrstoće, što je prikazano na dijagramu funkcije distribucije čvrstoće na Slika 1. Pojedini znanstvenici smatraju da je takva promjena, odnosno zamjena Studentovog faktora s konstantom prihvatanja, zapravo pogodovanje proizvođačima betona jer se manjim faktorom dobiva blaži zahtjev sukladnosti te je u tom slučaju proizvođačima jednostavnije zadovoljiti takav uvjet⁶.

Do zamjene Studentovog faktora konstantom prihvatanja λ_n došlo je, jer se prihvatanje tlačne čvrstoće betona željelo osigurati na način koji je dio sustava kontrole kvalitete. U okviru tako promatranog prihvatanja čvrstoće betona, odnosno osiguranja njezine sukladnosti, karakteristična tlačna čvrstoća f_{ck} je promatrana kao najveći dopušteni (prihvaćeni) postotak proizvoda (uzorka betona) s nedostacima (čvrstoćom ispod dopuštene razine) p . Postotak vrijednosti čvrstoće ispod karakteristične čvrstoće iznosi $p = 5 \%$, te on predstavlja prihvatljivu razinu kvalitete (*engl. Acceptable Quality Level – AQL*). Trebalo je definirati vjerojatnost prihvatanja P_a betona s tako definiranom veličinom p karakteristične čvrstoće. Takav pristup predstavlja principe formiranja operativnih OC krivulja za definirane planove uzorkovanja betona. Temelj ovakvom pristupu definiranja prihvatanja sukladnosti tlačne čvrstoće betona dao je Taerwe. On je predložio da sustav kontrole kvalitete betona za sve vrijednosti p zadovoljava kriterij $p \cdot P_a(p) \leq 5 \%$, gdje $p \cdot P_a(p)$ predstavlja AOQL. Taerwe je kao zadovoljavajuću OC krivulju pretpostavio onu koja tangira "nesigurno" područje, ali ne ulazi u njega, što bi osiguralo dovoljnu sigurnost i ekonomičnost u provjeri sukladnosti betona. $AOQL = (p \cdot P_a)_{max} = 0,05$ je granica "nesigurnog" područja, a numeričkim proračunima je dobivena konstanta prihvatanja $\lambda_{n=15} = 1,48$ koja definira OC krivulju s vjerojatnošću prihvatanja $P_a(0,05) \approx 0,7$ koja optimalno tangira "nesigurno" područje⁷⁸.

3.3. Uvjet odabira parametara σ ili s_n

Kao što je prethodno navedeno, kontinuirana proizvodnja betona započinje u trenutku kada je dostupno najmanje 35 rezultata ispitivanja betona proizvedenih pod istim uvjetima, unutar perioda dulja od 3 mjeseca, ali ne duža od 12 mjeseci (do tog trenutka proizvodnja se naziva početnom proizvodnjom). Iz rezultata ispitivanja početne proizvodnje mora se izračunati standardna devijacija σ , koja daje dobru aproksimaciju teorijske standardne devijacije i koja se pod određenim okolnostima može uzeti u obzir tijekom ocjene rezultata ispitivanja kontinuiranje proizvodnje. Najmanja vrijednost σ standardne devijacije iznosi 3 N/mm^2 u slučaju običnog betona, odnosno 5 N/mm^2 u slučaju betona velikih čvrstoća.

Ako nije poznata standardna devijacija σ početne proizvodnje, za ocjenu sukladnosti rezultata kontinuirane proizvodnje može se koristiti faktor s_n . Za ocjenu rezultata kontinuirane proizvodnje potrebno je barem 15 rezultata ispitivanja te je potrebno proračunati standardnu devijaciju tih 15 rezultata ispitivanja. Standardna devijacija 15 uzoraka iz kontinuirane proizvodnje ne bi smjela značajno odstupati od vrijednosti standardne devijacije 35 uzoraka iz početne proizvodnje. Smatra se da odstupanje nije značajno ako vrijedi⁹:

⁶ Kausay, T., Simon, T.K., "Acceptance of concrete compressive strength", Concrete Structures (2007), Vol. 8, 122, 123, pp. 54-63, 2007.

⁷ Taerwe, L., Caspeele, R., "Conformity control of concrete: some basic aspects", 4th International Probabilistic Symposium, Berlin, pp. 57-70, 2006.

⁸ Kausay, T., Simon, T.K., "Acceptance of concrete compressive strength", Concrete Structures (2007), Vol. 8, 122, 123, pp. 54-63, 2007.

⁹ Kausay, T., Simon, T.K., "Acceptance of concrete compressive strength", Concrete Structures (2007), Vol. 8, 122, 123, pp. 54-63, 2007.

$$0,63 \cdot \sigma \leq s_{15} \leq 1,37 \cdot \sigma \quad (1)$$

4. OPERATIVNE KRIVULJE

Za pretpostavljenu funkciju distribucije tlačne čvrstoće betona i za dani kriterij sukladnosti, može se izračunati vjerojatnost prihvatanja serije betona, okarakterizirane vrijednošću θ . Ta se vjerojatnost naziva vjerojatnost prihvatanja i označava se kao P_a ili P_x . Funkcija $P_a(\theta)$ naziva se operativna krivulja OC krivulja za odabrani kriterij. OC krivulja za odabrani plan uzorkovanja kvantificira rizik proizvođača i rizik potrošača:

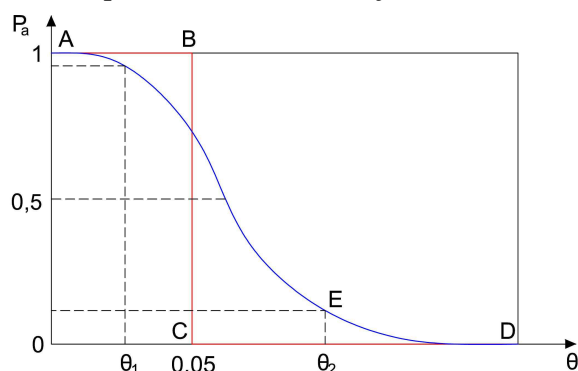
Proizvođačev rizik – dobre isporuke (isporuke koje sadržavaju postotak proizvoda s nedostacima koji je manji ili jednak AQL) mogu biti odbačene. Taj rizik odgovara α riziku i on se računa za postotak proizvoda s nedostacima koji je jednak AQL-u.

Potrošačev rizik – loše isporuke (isporuke znatno lošije kvalitete od zahtijevane) mogu biti prihvaćene. Taj rizik odgovara β riziku i on se računa za postotak proizvoda s nedostacima koji je jednak graničnoj razini kvalitete LQL-u (*engl. Limiting Quality Level*).

Plan uzorkovanja zadovoljava zahtjeve za ekstremne vrijednosti dobre i loše kvalitete, ali on to ne čini i za intermedijarne vrijednosti. Iz tog razloga se koriste OC krivulje. Krivulje su jedinstvene za svaku kombinaciju veličine uzorka n i broj prihvatanja c . Drugim riječima, operativne krivulje prikazuju vjerojatnost prihvatanja serija s varirajućim postotkom defektnih elemenata^{10, 11}. OC krivulja se može razviti određivanjem vjerojatnosti prihvatanja nekoliko vrijednosti ulazne kvalitete p . Vjerojatnost prihvatanja je vjerojatnost da je broj proizvoda s nedostacima u uzorku jednak ili manji od broja prihvatanja za plan uzorkovanja.

Karakterističan oblik OC krivulje za Slika 3. Tipični oblik OC krivulje za beton

beton prikazan je na Slika 3. Idealna OC krivulja bila bi linija ABCD, koja je opisana sa $P_a = 1$ za $\theta < 0,05$ i $P_a = 0$ za $\theta > 0,05$. Takva OC krivulja koja odgovara hipotetskom uzorku beskonačne veličine omogućava savršeno razlikovanje između dobrih i loših proizvoda. Radna OC krivulja predstavljena je krivuljom AED. Proizvodnja s $\theta_2 > 0,05$ još uvijek ima značajnu vjerojatnost prihvatanja ali pri $\theta_1 < 0,05$ postoji mogućnost da proizvodnja neće uvijek biti prihvaćena.



Izvor: Taerwe, L., Caspeele, R., "Conformity control of concrete: some basic aspects", *4th International Probabilistic Symposium*, Berlin, pp. 57-70, 2006.

Ukoliko je veličina uzorka n relativno velika, a broj nesukladnih (loših) jedinica p razmjerno mali, tada se za potrebe konstruiranja OC krivulje može pretpostaviti Poissonova distribucija:

¹⁰ Predavanja iz kolegija "Upravljanje kvalitetom", Zavod za materijale, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, rujan 2015.

¹¹ Juran, J.M., Gryna, F.M., "Planiranje i analiza kvalitete", "MATE" d.o.o., Zagreb, 1999.

$$P_x = \frac{n!}{x!(n-x)!} p^x \cdot q^{n-x} \quad \text{za } x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

gdje je P_x vjerojatnost prihvatanja ispitane serije, n je veličina uzorka, x predstavlja broj prihvatanja loših jedinica, p je postotak loših jedinica a q predstavlja postotak dobrih jedinica ($q=1-p$).

5. PRIMJER PRORAČUNA RIZIKA PRIHVAĆANJA I ODBACIVANJA U PROIZVODNJI BETONA

U nastavku će se provesti ocjena sukladnosti tlačne čvrstoće betona za projektirani razred tlačne čvrstoće betona C 30/37. Tlačna čvrstoća ispitana je na uzorcima oblika kocke brida 15 cm nakon 28 dana starosti, uzetima tijekom perioda proizvodnje betona u tvornici betona kraćem od 12 mjeseci. Sukladnost je potvrđena ako su zadovoljena oba kriterija za početnu proizvodnju sa Slika 2.. Rezultati tlačne čvrstoće dobiveni ispitivanjem 15 uzoraka prikazani su u Tablica 1. Za razred tlačne čvrstoće betona C 30/37, karakteristična tlačna čvrstoća f_{ck} ispitana na kocki iznosi 37 N/mm² te će se kriteriji sukladnosti provesti za tu vrijednost f_{ck} . Za slučaj početne proizvodnje kriteriji sukladnosti definirani prema HRN EN 206 zahtijevaju grupiranje po 3 rezultata ispitivanja i prema tome ispunjavanje oba kriterija sukladnosti za svaku grupu, Tablica 1.

Tablica 1. Primjer postupka ocjene sukladnosti ispitane serije betona

Br. uzorka	$f_{ci,28}$ (MPa)	f_{cm} (MPa)	Prihvatanje ili odbijanje (≥ 41 MPa)	$f_{ci,min}$	Prihvatanje ili odbijanje (≥ 33 MPa)	Ocjena grupe
1	41,62	43,30	Prihvatanje	41,62	Prihvatanje	Prihvatanje
2	43,09					
3	45,20					
4	36,50	37,89	Odbijanje	36,50	Prihvatanje	Odbijanje
5	39,17					
6	37,99					
7	44,22	42,91	Prihvatanje	41,02	Prihvatanje	Prihvatanje
8	43,50					
9	41,02					
10	40,55	42,51	Prihvatanje	40,55	Prihvatanje	Prihvatanje
11	42,67					
12	44,32					
13	42,90	43,02	Prihvatanje	41,27	Prihvatanje	Prihvatanje
14	41,27					
15	44,89					

Izvor: Izvorno autorsko

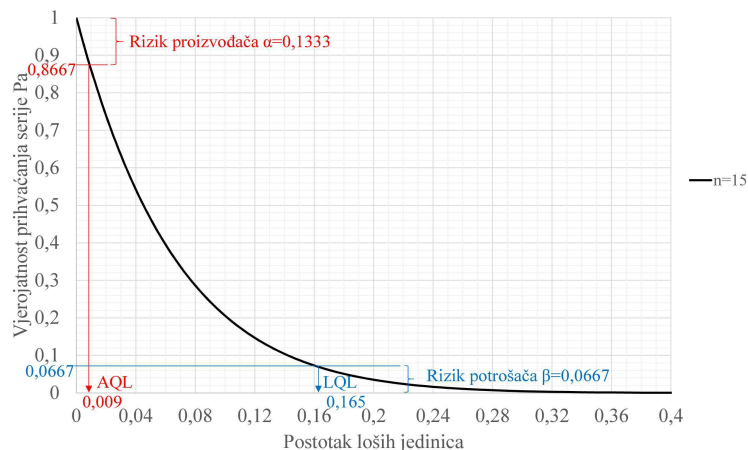
Kriterij sukladnosti za srednju vrijednost tlačnost čvrstoće grupe: $\geq f_{ck}+4 = 37+4 = 41$ MPa.

Kriterij sukladnosti za minimalnu vrijednost tlačne čvrstoće grupe: $\geq f_{ck}-4 = 37-4 = 33$ MPa

Iz Tablica 1. vidljivo je da je druga grupa rezultata (uzorci br. 4 – 6) odbačena, jer ne zadovoljava kriterij srednje vrijednosti tlačne čvrstoće grupe. Uzorci br. 5 (39,17 MPa) i br. 6 (37,99 MPa) čije su tlačne čvrstoće veće od karakteristične tlačne čvrstoće $f_{ck} = 37$ MPa

deklariranog razreda C 30/37, su odbačeni jer su tijekom uzorkovanja smješteni u grupu s uzorkom čija je tlačna čvrstoća podbacila - uzorak br. 4 (36,50 MPa) ima tlačnu čvrstoću ispod $f_{ck} = 37$ MPa deklariranog razreda C 30/37. Stoga u ovom slučaju, proizvođač betona ima rizik da mu dva dobra uzorka iz serije veličine 15 uzoraka budu odbijena od strane potrošača zajedno s lošim uzorkom. Time se u ovom slučaju proizvođačev rizik može kvantificirati s 13,33 %. Slična se analogija može primijeniti za kvantifikaciju potrošačevog rizika. U gornjem je slučaju jedan loš uzorak, br. 4 (36,50 MPa) mogao biti prihvaćen zajedno s dobrim uzorcima u seriji ukupne veličine 15 uzoraka. Na taj se način potrošačev rizik može kvantificirati sa 6,67 %.

Slika 4. OC krivulja za ispitanu tlačnu čvrstoću betona na 15 uzoraka



Izvor: Izvorno autorsko

Slika 4. prikazuje OC krivulju za promatrani beton za zadane parametre (n, x, p). Na krivulji su označeni proračunani rizik proizvođača α i njemu pripadajuća vrijednost AQL te proračunani rizik potrošača β i njemu pripadajuća vrijednost LQL. Dakle, izvjesni rizici proizvođača i potrošača postoje, iako su procedure ocjene sukladnosti tlačne čvrstoće betona propisane normom.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Niz tehničkih propisa i normi predstavljaju okvir za osiguranje kvalitete cjelokupne građevine u svim njezinim fazama: kvaliteta prethodnih ispitivanja lokacije, izvedbe projekata, proizvodnje i ugradnje građevinskih materijala i proizvoda, izvedbe, korištenja i održavanja te uklanjanja građevine.

Osiguranjem kvalitete proizvoda stvara se odnos povjerenja između proizvođača i potrošača. Odabirom i razradom plana uzorkovanja te izradom operativnih krivulja moguće je optimizirati rizik proizvođača i rizik potrošača ovisno o namjeni proizvoda i uvjetima koje mora zadovoljiti.

U radu je prikazan sustav ocjene sukladnosti tlačne čvrstoće betona, osnovnog svojstva betona, razvijen na temelju AOQL koncepta. AOQL koncept definira OC krivulje za beton na temelju kojih je moguće odrediti rizik proizvođača i rizik potrošača, što je prikazano kroz dani primjer u radu.

Abstract:

RISKS BY ACCEPTANCE AND REJECTION IN CONSTRUCTION SECTOR

Quality control in construction sector implies ensuring compliance characteristics of the materials, construction products and construction works with the requirements prescribed by standards, technical regulations and rules of the profession, all with the aim to ensure the characteristics and performance as required in design. The concrete industry uses conformity criteria defined by standard HRN EN 206 in order to verify compliance and to ensure the desired properties of concrete, which directly affect the safety of concrete structures. In this paper is through the example presented system for conformity assessment of concrete compressive strength, developed based on the concept of Average Outgoing Quality Limit (AOQL). The compressive strength of concrete is defined by the characteristic compressive strength of concrete f_{ck} corresponding to the 5% fractile of theoretical distribution of the observed concrete strength class. For the assumed distribution function of the concrete compressive strength and for a given conformity assessment criterion, the probability of accepting a series of concrete can be calculated. There is always a risk that the concrete of acceptable quality will be rejected, so-called manufacturer's risk, and likewise there is a risk that the concrete of significantly lower quality than the required one will be accepted, so-called the consumer's risk. The both risks should be minimized within the limits of safety and economy. Since the level of concrete quality can vary considerably, the quantification of the risks mentioned above, can be represented graphically by means of operating (OC) curves.

Key words: concrete compressive strength class, conformity criteria, operating characteristic curve

7. LITERATURA

- [1] Bjegović, D., Štirmer N., Serdar M., "Ecological Aspects of Concrete Production", 2nd Int. Conf. on Sust. construction materials and technologies, Ancona, Italija, pp. 1483-1492, 2010.
- [2] Johnson, J., <http://www.theconcreteinitiative.eu/newsroom/press-releases/48-concrete-sector-launches-new-initiative-to-tackle-challenges-of-sustainable-construction>; The Concrete Initiative, 2014.
- [3] HRN EN 206 "Beton – Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost (EN 206:2013)"
- [4] Bjegović, D.; Štirmer, N., "Teorija i tehnologija betona", Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, 2015.
- [5] Roshavelov, T., "Basics of EN 206:2013", TAIEX Workshop on Construction Products Regulation and Standards, Skopje, 2014.
- [6] Kausay, T., Simon, T.K., "Acceptance of concrete compressive strength", Concrete Structures (2007), Vol. 8, 122, 123, pp. 54-63, 2007.
- [7] Taerwe, L., Caspeele, R., "Conformity control of concrete: some basic aspects", 4th International Probabilistic Symposium, Berlin, pp. 57-70, 2006.
- [8] Predavanja iz kolegija "Upravljanje kvalitetom", Zavod za materijale, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, rujan 2015.
- [9] Juran, J.M., Gryna, F.M., "Planiranje i analiza kvalitete", "MATE" d.o.o., Zagreb, 1999.