

Statistička analiza rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava kontrolnih betonskih kocki

MARKO T. DRAGOJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

SINIŠA D. SAVATOVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

DRAGICA LJ. JEVTIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

DIMITRIJE M. ZAKIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

ALEKSANDAR R. SAVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

ALEKSANDAR V. RADEVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

MARINA M. AŠKRABIĆ, Univerzitet u Beogradu

Građevinski fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 666.972:519.23

DOI: 10.5937/tehnika1902191D

Cilj ovog istraživanja je prikupljanje, obrada i statistička analiza rezultata ispitivanja uzoraka betonskih kocki koji su ispitani u Laboratoriji za materijale Građevinskog fakulteta u Beogradu prema standardu SRPS ISO 4012:2000 u periodu od 2012. do 2017. godine. Za potrebe analize, preuzeti su podaci iz Izveštaja o ispitivanju kontrolnih betonskih kocki, prepoznate su i klasifikovane osnovne karakteristike očvrstlog betona. Izvršena je statistička analiza datuma betoniranja, starosti uzoraka, sastava betona, zapreminske mase, čvrstoće pri pritisku, zahtevane marke betona itd. Statistika je pokazala da su najčešće upotrebljavani cementi sledećih oznaka: CEM II A-M (V-L), CEM II A-M (S-L), CEM II A-S, a da najveće učešće imaju marke betona MB 30 sa 66,8% i MB 40 sa 14,3% udela.

Ključne reči: *statistička analiza, uzorak, betonska kocka, čvrstoća pri pritisku, zapreminska masa, marka betona*

1. UVOD

Kvalitetna statistička analiza bilo kog seta podataka podrazumeva dobro poznavanje populacije koja se posmatra. Najpre je neophodno jasno utvrditi element te populacije i videti koje karakteristike ga opisuju.

Nakon detaljnog pregleda raspoloživog materijala, odlučeno je da to bude betonska kocka kojoj su pridružene odgovarajuće karakteristike. Karakteristike koje su joj pridružene nisu samo tehničke prirode, a takođe nisu ni samo numeričkog tipa, tako da će više-

kriterijumska analiza biti jedan veoma kompleksan zadatak uz sagledavanje šire slike sa potencijalom i mogućnosti donošenja brojnih korisnih zaključaka.

Izvor seta podataka obrađenih u okviru ovog rada bili su raspoloživi izveštaji o kontroli kvaliteta uzoraka betonskih kocki koje je Laboratorija za materijale ispitala u prethodnih šest godina, tačnije od 2012. do 2017. godine. Podaci o rezultatima ispitivanja iz perioda od 2012. do 2014. su preuzeti u vidu Excel tabele i to sa nešto manjim brojem karakteristika. Podaci od 2015. do 2017. godine su preuzeti iz završnih verzija izveštaja i klasifikovani su u proširenu Excel tabelu obzirom da su bogatiji sa većim brojem karakteristika.

Iz izveštaja su uzeti podaci o: naručiocima ispitivanja, godini ispitivanja, šifri izveštaja, mesecu izdavanja izveštaja, šifri uzorka, datumu uzimanja uzorka betonske kocke sa gradilišta ili fabrike betona, datumu ispitivanja betonske kocke u laboratoriji, iz kojih je

Adresa autora: Marko Dragojević, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: markomionica@gmail.com

Rad primljen: 12.02.2019.

Rad prihvaćen: 06.03.2019.

određena starost uzorka u vreme ispitivanja, projektovanj marki i vrsti (oznaci) betona, masi kocke, zapreminskoj masi betona u očvrslom stanju, sili loma, čvrstoći betona pri pritisku (kocka ivice 15 i 20 cm), kao i čvrstoći pri pritisku preračunatoj na starost betona od 28 dana, vrsti cementa, proizvođaču cementa, klasi cementa, dodacima cementu, vrsti agregata, vrsti i procentu aditiva, količini cementa, količini vode, vodocementnom faktoru, količini agregata, količini prve, druge, treće i četvrte frakcije agregata, broju frakcija agregata, vrsti i količini filera.

Na ovaj način dobijena je tabela koja sadrži veliki broj karakteristika (kolona) uzorka betonskih kocki, gde svaka vrsta predstavlja tačno određenu kocku sa svojom jedinstvenom oznakom, u ovom slučaju rednim brojem. Ono što je svakako predstavljalo izazov je činjenica da prikupljanje i zapisivanje podataka o uzorcima nije vršeno u ovako pripremljenoj formi, te je veliki deo vrednosti karakteristika izgubljen.

Na ovim mestima javlja se oznaka „null“, što znači da vrednost ove karakteristike na tom mestu nije bila poznata. Najzad, dobijena je tabela koja sadrži 10.000 uzoraka betonskih kocki sa 36 karakteristika, za posmatrani period.

Osnovni cilj ovakvog istraživanja obično nije samo prikupljanje i predstavljanje podataka, već i donošenje određenih zaključaka o raspodeli određene karakteristike i njegovog uticaja na kvalitet betona. Takođe moguće je doneti i niz drugih zaključaka koji su vezani za poslovanje, intenzitet poslovanja tokom godine, obim posla, učešće pojedinih firmi na tržištu i sl.

Rezultati statističke analize biće predstavljeni na kraju rada u zaključku.

2. ANALIZA KARAKTERISTIKA UZORAKA BETONSKIH KOCKI

U ovom delu izvršena je analiza karakteristika uzoraka betonskih kocki i to za svaku karakteristiku posebno. Podaci su objedinjeni, poređani u odgovarajući poredak, izvršeno je njihovo prebrojavanje, izračunate su njihove apsolutne i relativne frekvencije i osnovne statistike. Ovi podaci predstavljeni su na odgovarajući način, kako bi se što jasnije uočila njihova raspodela i druga obeležja od interesa za posmatranu pojavu.

Kao što je već ranije rečeno, podaci nisu kompletni za posmatrani period i kako nominalne vrednosti, tako i procentualna učešća (kao i druge vrednosti) treba uzeti sa izvesnom dozom rezerve i, što je najvažnije, zaključke donositi veoma pažljivo.

U narednim poglavljima biće opisane najvažnije činjenice proistekle iz analize podataka, a samo od-

ređene, zbog ograničenog obima rada, će biti prikazane grafički i tabelarno.

2.1. *Naručioci ispitivanja*

Broj preduzeća za koja je Laboratorija za materijale izvršila kontrolu kvaliteta betona je 52. Statistika govori da svega 10-ak njih nosi udeo od čak nešto više od 85% broja kocki koje su ispitane od 2012. do 2017. godine. Među prva tri su preduzeća sa nešto više od 20%, 15% i 10% broja svih ispitanih uzoraka. Prvih 14 preduzeća na rang listi imaju udeo veći od 90%, dok ostalih 38 preduzeća imaju ukupni udeo nešto manji od 10%.

2.2. *Godina i meseci u kojima su izdati izveštaji*

Razmatrana je raspodela broja kocki po godinama. Najveće učešće po broju uzoraka ima 2012. godina, i to čak nešto više od 40%, zatim 2013, 2014, 2016. i 2017. godina približno po 10%, a godina sa najmanjim brojem uzoraka je 2015. godina i to svega nešto više od 5%. Kada analiziramo mesece u kojima su izdati izveštaji možemo primetiti jedan izraziti pik u oktobru, povećan intenzitet tokom jeseni, pad intenziteta tokom zime i leta i prosečan tokom prolećnih meseci.

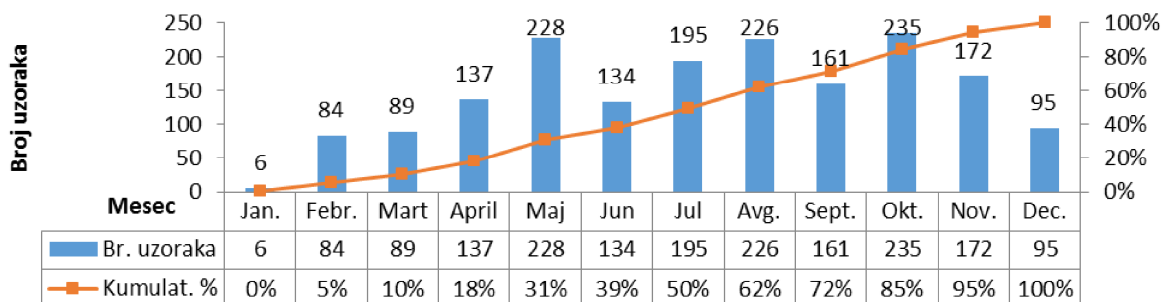
2.3 *Datum uzimanja uzoraka*

Datum uzimanja uzorka je pokazatelj graditeljske sezone i može nam dati sliku o intenzitetu betoniranja tokom godine. Analiziran je broj uzoraka po godinama za koje su poznati datumi uzimanja na terenu. Za uzorke od 2012. do 2014. godine nisu prikupljeni podaci, dok je u periodu od 2014. do 2016. godine najveći broj uzoraka ispitan 2016. godine. Prema tome, donesen je zaključak o graditeljskoj sezoni na osnovu uzoraka uzorkovanih 2016. godine.

Poznato je da intenzitet betonkih radova ima sezonski karakter. Tokom prelaznog perioda u toku godine kada su temperature umerene on je najveći, dok tokom vreljih letnjih i hladnih zimskih meseci opada. Brojni aditivi, materijali, obloge i tehnološki postupci doprinose sve većoj otpornosti „mladog“ betona na ekstremne temperaturne uticaje.

Naravno, tehničko-tehnološki aspekt ne igra uvek vodeću ulogu te se i dalje zapaža planiranje betonskih radova tokom perioda umerenih temperatura. Posmatrajući dobijeni grafik može se reći da je neočekivano mala razlika u broju uzoraka uzorkovanih u letnjim i zimskim mesecima.

Definitivno hladni meseci i dalje predstavljaju teže uslove, pa tako decembar, januar, februar i mart imaju nešto manji intenzitet betoniranja od ostalih meseci u godini, izuzev ekstremno vreljih junskih i julskih dana. Takođe ne treba zanemariti uticaj broja neradnih dana, u čemu vodeće mesto zauzima januar, što se na slici 1 jasno vidi.



Slika 1 - Broj uzetih uzoraka po mesecima (2016. godina)

2.4. Starost uzorka u vreme ispitivanja

Starost uzorka u vreme ispitivanja je parametar koji je dobijen kao razlika datuma ispitivanja uzorka u laboratoriji i datuma uzorkovanja na terenu. Prema odredbama Pravilnika BAB-87 marka betona se utvrđuje pri starosti od 28 dana na kockama ivice 20 cm. U slučajevima kada to nije moguće može se izvršiti korekcija čvrstoće u zavisnosti od starosti. U ovoj tački analizirana je starost pri kojoj se vrši ispitivanje u praksi. Broj uzoraka za koje su poznate starosti je 3.099. Minimalna starost pri kojoj je ispitivana čvrstoća je 1 dan, dok je najstariji uzorak bio star 373 dana, odnosno nešto više od godinu dana. Prosečna starost svih uzoraka u vreme ispitivanja je oko 45 dana. Najveći broj uzoraka, njih oko 60% ispitan je pri starostima do 28 dana, dok se skoro 90% uzoraka ispita u prva tri meseca.

2.5. Dimenzije i masa kocki

Izvršena je i analiza izmerenih masa kocki. Koršćene su tri različite dimenzije i to kocke ivica 10 cm, 15 cm i 20 cm. Može se zaključiti da je zanemarljivo udeo kocki ivice 10 cm, samo 1,1%, a da ubedljivo najveći udeo imaju kocke ivica 15 cm, od čak 86,9% dok kocke ivice 20 cm imaju udeo od 12,0%. Razlog za to je što se čvrstoća pri pritisku betona po standardu SRPS EN 12390-1:2018 može ispitati i na kockama ivice 15 cm, a uzorci ivice 20 cm su teški za manipulaciju pa se praktično izbacuju iz upotrebe. Prosečne izmerene mase kocki dimenzija 10, 15 i 20 cm su 2,35 kg, 7,89 kg i 18,75 kg, a procenjene standardne devijacije 0,017 kg (0,7%), 0,163 kg (2,1%) i 0,387 kg (2,1%), respektivno.

2.6. Zapremnska masa betona

Jedan od najbitnijih parametara kvaliteta betona je i zapremnska masa u očvrslom stanju.

Zapremnska masa je poznata za svih 10.000 uzoraka. Obzirom da se raspoložive vrednostima za različite vrste i marke betona daje se opšta slika kretanja zapremnske mase betona u očvrslom stanju. Kako u uzorku imamo određen procenat kocki veoma niskih i veoma visokih projektovanih marki betona izvršena je vinzorizacija, odnosno odbacivanje veoma visokih i

veoma niskih vrednosti za određeni procenat, a potom su određene statistike. U tabeli 1 mogu se videti statistike zapremnskih masa posmatranog uzorka:

Tabela 1. Zapremnska masa betona [kg/m³]

| STATISTIKE | Procenat odbacivanja (vinzorizacije) | | | |
|--------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 0% | 10% | 20% | 50% |
| Br. uzoraka | 10000 | 9000 | 8000 | 5000 |
| Min | 1300 | 2265 | 2290 | 2321 |
| Max | 2961 | 2415 | 2397 | 2376 |
| Xsr | 2347 | 2348 | 2349 | 2351 |
| St. devijacija | 50,20 | 33,72 | 27,75 | 15,88 |
| Koef. asimetrije | -3,00 | -0,30 | -0,23 | -0,13 |
| Koef. zaobljenosti | 57,20 | -0,63 | -0,92 | -1,15 |
| Prvi kvartil (Q1) | 2321 | 2324 | 2327 | 2338 |
| Drugi kvartil (Q2) | 2351 | 2351 | 2351 | 2351 |
| Treći kvartil (Q3) | 2376 | 2374 | 2372 | 2364 |

2.7. Vrsta i klasa cementa

Iz posmatranih podataka možemo zaključiti da se kod nas najviše koriste cementi tipa II, odnosno cementi sa dodatkom. Najupotrebljiviji su cementi oznaka CEM II A-M (V-L) i CEM II A-M (S-L), kao i cement CEM II A-S, sa ukupnim udelom od preko 80%. Uglavnom se koriste cementi klase 42,5 i to sa ubrzanim priraštajem čvrstoće, oznake (R).

Takođe možemo primetiti da primat na tržištu proizvodnje i prometa cementa imaju „Lafarge“ i „Titan“ sa zajedničkim udelom od oko 85%, pri čemu treba imati na umu da se zaključak donosi na osnovu uzoraka uzetih sa gradilišta u okolini Beograda i nešto manji broj iz Zlatiborskog okruga.

2.8. Količina cementa, količina vode i vodocementni faktor

Podaci o količini upotrebljenog cementa, vode i vodocementnog faktora su prikupljeni od nešto više od 2.500 uzoraka betonskih kocki.

Najčešće korišćena količina cementa je oko 330 [kg/m³] za betone nižih marki i od oko 400 [kg/m³] za betone viših marki.

Što se tiče količine vode može se zapaziti da je najveći broj uzoraka koji su spravljani sa količinom od 210 do 215 [kg/m³], čak njih preko 45%, ali su prisutne i druge vrednosti od 160 do 180 [kg/m³] i 190 do 200 [kg/m³].

Vodocementni faktor se kreće od 0,400 do 0,500 u 32,7% slučajeva, a od 0,600 do 0,650 u čak 45,7% slučajeva. Reč je o uzorcima spravljenim sa i bez aditiva – plastifikatora (superplastifikatora).

2.9. Vrsta i količina agregata

Rečni agregat, sa udelom od oko 60% ima nešto veći udeo u korišćenju od drobljenog agregata koji učestvuje sa oko 40%. U odnosu na protekli višedecenijski period učešće drobljenog agregata je u porastu, a takva tendencija se može očekivati i u budućnosti.

U tabeli 2 prikazane su statistike količine agregata nekoliko receptura betona za koje su poznati podaci. Što se tiče trofrakcijskog betona, može se reći da se količine prve frakcije kreće od 820 do 910, druge od 270 do 290 i treće od 750 do 810 [kg/m³], dok su prosečne vrednosti količina pojedinih frakcija, 861; 276; 776 [kg/m³], respektivno.

Ukupna količina agregata za trofrakcijski beton, kreće se od 1870 do 1990, dok je prosečna vrednost 1913 [kg/m³]. Prosečna vrednost ukupne količine agregata za četvorofrakcijski beton je nešto veća nego za trofrakcijski beton (tabela 2).

Tabela 2. Učešća pojedinih frakcija u ukupnoj količini agregata [kg/m³]

| STAT ISTIK E | I (0/4) mm | II (4/8) mm | III (8/16) mm | IV (16/31,5) mm | UKUP -NO |
|--------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|-------------|
| ČETVOROFRAKCIJSKI | | | | | |
| Min | 830 | 250 | 400 | 400 | 1920 |
| Max | 870 | 250 | 440 | 440 | 1960 |
| Xsr | 850 | 250 | 420 | 420 | 1940 |
| TROFRAKCIJSKI | | | | | |
| Min | 820 | 270 | 750 | | 1870 |
| Max | 910 | 290 | 810 | | 1990 |
| Xsr | 861 | 276 | 776 | | 1913 |

Dominantno mesto zauzimaju trofrakcijski (D=16 mm) betoni sa učešćem preko 80%, znatno manji udeo

imaju četvorofrakcijski (D=31.5 mm) betoni, dok su dvofrakcijski (D=8 mm) betoni parava retkost. Ovako veliki udeo trofrakcijskog agregata se može pripisati upotrebi pumpi za beton kao sredstvu unutrašnjeg transporta betona od miksera do oplate.

Za svega 2,4% uzoraka je poznato da je u recepturi korišćen filer. Uglavnom se radilo o SCC betonu u čijem sastavu je filer obavezan i ima dominantan uticaj na njegovu strukturu. Količina filera se kretala od 25 do 145 [kg/m³], dok je najveći broj od posmatranih uzoraka, njih preko 40%, sadržao količinu od 80 do 90 [kg/m³]. Statistike ovog parametra bi trebalo proveriti na većem uzorku, a posebno bi bilo interesantno ispitati u kolikom broju slučajeva se filer uopšte javlja u sastavu betona.

3. STATISTIKA OSTVARENIH ČVRSTOĆA BETONA PRI PRITISKU

Čvrstoća betona pri pritisku je osnovni parametar kvaliteta betona, na osnovu koga se mogu proceniti i drugi aspekti kvaliteta betona kao što su trajnost (otpornost na dejstvo mraza, mraza i soli, vodonepropustljivost), tvrdoća, habanje, itd. Dobija se kao odnos očitane maksimalne sile i površine poprečnog preseka uzorka. Prilikom analize, veoma bitno je porediti uzorke iste starosti, imajući u vidu činjenicu da se čvrstoća betona u toku vremena menja. Za potrebe poređenja čvrstoće betona treba svesti na istu starost.

Prilikom posmatranja projektovanih marki i vrsta betona zapažaju se različiti zahtevi u pogledu kvaliteta. Pojavljuju se marke betona od MB 10 do MB 60 projektovane po BAB-87 ili klase C 8/10 do C 50/60 projektovane po Evrokod-u, različitih otpornosti na dejstvo mraza i vodonepropustljivosti, spravljanih sa trofrakcijskim i četvorofrakcijskim agregatom, itd. Najveće učešće ima marka betona MB 30 od 66,8%, nešto manje MB 40 od 14,3%, a još manje MB 50 od 8,0%. Sve ostale marke imaju ukupno učešće od 10,9%.

U tabeli 3, prikazane su statistike čvrstoća pri pritisku uzoraka betonskih kocki koja je preračunata na starost betona od 28 dana uzoraka od 2012. do 2014. godine. Statistike čvrstoća pri pritisku su preračunate posebno za svaku marku betona i prikazane su u tabeli 3.

Prosečna vrednost čvrstoće pri pritisku marke betona MB 30 pri starosti od 28 dana je 42,5 [MPa]. Ako se posmatra prvi kvartil (Q1) može se zaključiti da 75% uzoraka marke MB 30 je imalo čvrstoću veću od 36,9 [MPa]. Prosečna vrednost svih ispitanih uzoraka marki od MB 15 do MB 60 od 2012. do 2014. godine iznosi 45,8 [MPa], dok je prosečno kvadratno odstupanje od srednje vrednosti 10,0 [MPa].

Tabela 3. Čvrstoća pri pritisku u [MPa] preračunata na starost betona od 28 dana uzoraka od 2012-2014. godine

| | Projektovana marka betona | | | | | | | | | | SVI UZORCI |
|--------------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|------------|
| | MB 15 | MB 20 | MB 25 | MB 30 | MB 35 | MB 40 | MB 45 | MB 50 | MB 55 | MB 60 | |
| | STATISTIKE | | | | | | | | | | |
| Br. uzoraka | 6 | 61 | 33 | 4777 | 157 | 1137 | 344 | 289 | 0 | 41 | 6845 |
| Min | 17,4 | 16,0 | 22,5 | 10,6 | 28,7 | 34,1 | 39,1 | 51,9 | | 60,8 | 10,6 |
| Max | 49,3 | 45,0 | 41,4 | 76,9 | 69,2 | 84,8 | 75,1 | 73,9 | | 78,1 | 84,8 |
| Raspon | 31,9 | 29,0 | 18,9 | 66,3 | 40,5 | 50,7 | 36,0 | 22,0 | | 17,3 | 74,2 |
| Xsr | 33,4 | 27,5 | 32,2 | 42,5 | 49,5 | 52,2 | 56,9 | 61,8 | | 67,4 | 45,8 |
| St. devijacija | 16,61 | 6,45 | 5,83 | 8,20 | 8,70 | 7,44 | 7,00 | 3,52 | | 4,0 | 10,0 |
| Koef. asimetrije | -0,007 | 0,983 | -0,242 | 0,356 | -0,137 | 0,616 | 0,039 | 0,448 | | 0,775 | 0,252 |
| Koef. zaobljenosti | -3,293 | 0,672 | -1,283 | 0,334 | -0,437 | 0,784 | -0,669 | 0,308 | | 0,896 | -0,183 |
| Prvi kvartil (Q1) | 18,1 | 23,1 | 26,3 | 36,9 | 43,5 | 46,8 | 51,5 | 59,1 | | 64,5 | 38,5 |
| Drugi kvartil (Q2) | 33,8 | 26,1 | 33,2 | 41,8 | 49,4 | 51,3 | 56,6 | 61,2 | | 67,6 | 44,9 |
| Treći kvartil (Q3) | 48,3 | 30,8 | 37,0 | 47,7 | 55,7 | 57,0 | 62,5 | 64,2 | | 69,0 | 52,4 |
| (Q3) – (Q1) | 30,2 | 7,7 | 10,7 | 10,8 | 12,2 | 10,2 | 11,0 | 5,1 | | 4,5 | 13,9 |

U tabelama 4 i 5, detaljnije je prikazana statistika projektovane marke betona MB 30 uzoraka od 2012. do 2014. godine.

Tabela . Statistike ostvarenih čvrstoća betona pri pritisku u [MPa] projektovane marke MB 30

| | | | | | | | |
|--------------------|-------|-----------|-----|------|-----------|------|------|
| Br. uzoraka | 4777 | Percentil | 5% | 30,8 | Percentil | 55% | 42,8 |
| Min | 10,6 | | 10% | 32,9 | | 60% | 43,9 |
| Max | 76,9 | | 15% | 34,2 | | 65% | 45,2 |
| Xsr | 42,5 | | 20% | 35,5 | | 70% | 46,3 |
| St. devijacija | 8,20 | | 25% | 36,9 | | 75% | 47,7 |
| Koef. asimetrije | 0,356 | | 30% | 38,0 | | 80% | 49,2 |
| Koef. zaobljenosti | 0,334 | | 35% | 38,8 | | 85% | 51,1 |
| Prvi kvartil (Q1) | 36,9 | | 40% | 39,7 | | 90% | 53,3 |
| Drugi kvartil (Q2) | 41,8 | | 45% | 40,8 | | 95% | 57,4 |
| Treći kvartil (Q3) | 47,7 | | 50% | 41,8 | | 100% | 76,9 |

Tabela 5. Raspodela ostvarenih čvrstoća betona pri pritisku f [MPa] projektovane marke MB 30

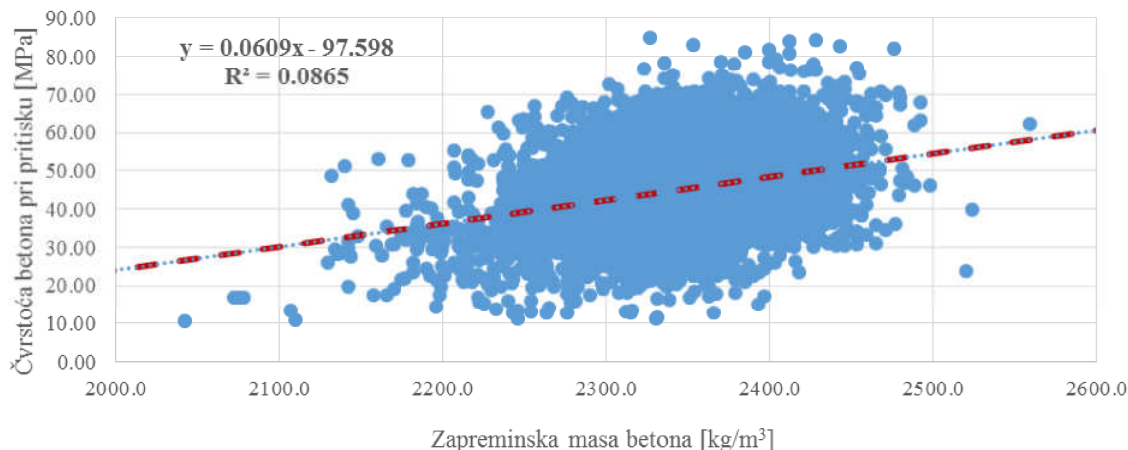
| f [MPa] | n _i | % | f [MPa] | n _i | % |
|---------|----------------|--------|---------|----------------|---------|
| < 15,0 | 3 | 0,06% | < 50,0 | 3955 | 82,79% |
| < 20,0 | 10 | 0,21% | < 55,0 | 4409 | 92,30% |
| < 25,0 | 59 | 1,24% | < 60,0 | 4645 | 97,24% |
| < 30,0 | 144 | 3,01% | < 65,0 | 4752 | 99,48% |
| < 35,0 | 843 | 17,65% | < 70,0 | 4770 | 99,85% |
| < 40,0 | 1947 | 40,76% | < 75,0 | 4775 | 99,96% |
| < 45,0 | 3078 | 64,43% | < 80,0 | 4777 | 100,00% |

4. ZAVISNOST ČVRSTOĆE BETONA PRI PRITISKU OD ZAPREMINSKE MASE

U velikom broju slučajeva vrednost zapreminske mase betona utiče na kvalitet fizičko-mehaničkih karakteristika betona, čvrstoće, otpornosti na dejstvo mraza, habanje, hemijske agense i slično.

Ovo proizilazi iz činjenice da su veće zapreminske mase rezultat ostvarivanja bolje kompaktnosti i strukture betona. Naravno, konačna vrednost zapreminske mase u mnogome zavisi i od vrste betona i

vrste i količine upotrebljenih komponenta, veziva, agregata, vode, filera, aditiva i slično. Na slici 2 prikazana je zavisnost čvrstoće betona od zapreminske mase za sve posmatrane betonske kocke (10000), različitih vrsta i klasa betona. Nakon linearne interpolacije rezultata može se zapaziti da postoji trend povećanja čvrstoće sa povećanjem zapreminske mase. Obzirom da je nagib prave mali, a rasipnje rezultata značajno, kvadrat koeficijenta korelacije (R^2) ima malu vrednost što je prikazano na slici 2.



Slika 2 - Zavisnost čvrstoće betona pri pritisku od zapreminske mase u očvrslom stanju

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana statistička analiza rezultata ispitivanja kvaliteta uzoraka betonskih kocki u Laboratoriji za materijale Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u periodu od 2012. do 2017. godine. Analizirani su podaci 10.000 uzoraka betonskih kocki koji su preuzeti iz izveštaja o ispitivanju. Na osnovu statističke analize doneti su sledeći zaključci:

- Od 52 preduzeća za koja su izvršena ispitivanja 20% njih nosi udeo više od 85% po broju ispitanih kocki,
- Najveći broj izveštaja izdat je u oktobru,
- Najmanji intenzitet betonskih radova je u vreme hladnih meseci u od decembra do marta i vrelim danima u junu i julu,
- Prosečna starost uzorka u vreme ispitivanja je 45 dana, a 60% njih je ispitano pri starostima do 28 dana,
- Kocke ivice 15 cm se upotrebljavaju u preko 80% slučajeva, prosečna masa iznosi 7,89 kg dok je procenjena standardna devijacija 0,163 kg ili 2,1%,
- Prosečna zapreminska masa svih uzoraka je 2347 [kg/m³], dok ona za vinzorizovani uzorak sa 10, 20 i 50% iznosi 2348, 2349 i 2351 [kg/m³], respektivno,

- Najupotrebljiviji cementi su CEM II A-M (V-L) i CEM II A-M (S-L), kao i cement CEM II A-S, sa ukupnim udelom od preko 80%, uglavnom klase 42,5 i oznake R, a primat za betone koji se ugrađuju na teritoriji Beograda i Zlatiborskog okruga imaju fabrike „Lafarge“ i „Titan“,
- Količina cementa se kreće od oko 330 [kg/m³] do oko 400 [kg/m³] za betone nižih i viših marki, respektivno. Količina vode je iznosila 210 do 215 [kg/m³] za čak 45% razmatranih uzoraka po ovom parametru. Vodocementni faktor se kreće od 0,4 do 0,5 u preko 30% slučajeva, a od 0,60 do 0,65 u nešto manje od 50% slučajeva,
- Rečni agregat ima učešće od 60% dok drobljeni ima 40%. Dominantno mesto zauzima trofrakcijski beton sa učešćem preko 80%. Prosečne ukupne količine agregata su iznosile 1.913 [kg/m³] za trofrakcijski i 1.940 [kg/m³] za četvorofrakcijski agregat,
- Najveće učešće ima marka betona MB 30 od 66,8%, nešto manje MB 40 od oko 14,3%, a još manje MB 50 od 8%. Sve ostale marke imaju ukupno učešće od 10,9%. Prosečna vrednost svih ispitanih uzoraka marki od MB 15 do MB 60 od 2012. do 2014. godine iznosi 45,8 [MPa], a prosečna vrednost čvrstoće pri pritisku marke betona MB 30 je 42,5 [MPa]

Generalno se može zaključiti da postoji trend povećanja čvrstoće sa povećanjem zapremine mase.

6. ZAHVALNICA

Istraživanje je pomoglo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom: „Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji“.

LITERATURA

- [1] *Izveštaji o ispitivanju kontrolnih betonskih kocki*, Institut za materijale i konstrukcije – Laboratorija za materijale, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2012. do 2017.
- [2] Jevtić D, *Odabrana poglavlja iz savremenih materijala u građevinarstvu*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, ISBN 978-86-7518-194-1, 2017.
- [3] Muravljev M, Jevtić D, *Građevinski materijali 2*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Akademski misao, Beograd, ISBN 978-86-7466-527-5, 2014.
- [4] Muravljev M, *Osnovi teorije i tehnologije betona*, Građevinska knjiga doo, Beograd, ISBN 978-86-395-0614-8, 2010.
- [5] Muravljev M, *Građevinski materijali*, Građevinska knjiga a.d., Beograd, ISBN 978-86-395-0512-7, 2007.
- [6] Shimizu Y, Hirosawa M. and Zhou J, *Statistical Analysis of Concrete Strength in Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan*, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.
- [7] Kilinc K, Ozan A, Tuncan M, Tuncan A, Arslan G, Arioz O. *Statistical distributions of in situ microcore concrete strength*.
- [8] Song P, Wu J, Hwang S, Sheu B, *Statistical analysis of impact strength and strength reliability of steel-polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete*, Construction and Building Materials 19 pp. 1–9, 2005.
- [9] Jevtić D, Zakić D, Savić A, Radević A, *Statistička analiza rezultata ispitivanja kvaliteta betona*, Građevinski materijali i konstrukcije, vol. 57, iss. 1, pp. 45-52, 2014.

SUMMARY

STATISTICAL ANALYSIS OF RESULTS OF TESTING OF CONCRETE CUBES

The aim of this paper is the collection, processing and statistical analysis of data from the results of testing concrete cube samples which are tested in the Laboratory for materials of the Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, in the period from 2012. to 2017. year. For the needs of the analysis, the data from the Report on testing of control concrete cubes were taken, the basic characteristics of hardened concrete are also classified. Statistical analysis of the date of concreting, age of samples, composition of concrete, volume mass, pressure strength, required concrete marks etc have been carried out. The statistics showed that the most commonly used cements were the following markings: CEM II A-M (V-L), CEM II A-M (S-L), CEM II A-S, with the highest share of concrete mark MB 30 with 66,8% and MB 40 with 14,3 % stake.

Key words: *statistical analysis, sample, concrete cube, compressive strength, volume mass, concrete mark*