

Društvo građevinskih konstruktora Srbije - 16. KONGRES

28-30. 09. 2022.
ARANĐELOVAC



ZBORNİK RADOVA SA NACIONALNOG KONGRESA

U SARADNJI SA



Република Србија
Министарство
просвете, науке и
технолошког развоја



Инжњерска
комора
Србије

POKROVITELJ

PLATINASTI SPONZORI



中國路桥
China Road & Bridge Corporation



PUT INŽENJERING

STRABAG
TEAMS WORK.

ŠIRBEGOVIĆ
INŽENJERING
Bila o biloj drugoj priliky i svaki put uvek sa vama



ZLATNI SPONZORI



delta
inženjering

DELTA
REAL ESTATE



MORAVACEM
A CBM COMPANY

M
MOSTOGRADNJA
ING

peikko

ProClub



CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624(082)(0.034.2)
69(082)(0.034.2)

ДРУШТВО грађевинских конструктора Србије (Београд). Национални конгрес (16 ; 2022 ; Аранђеловац)

Zbornik radova sa Nacionalnog kongresa DGKS ASES [Elektronski izvor] / Društvo građevinskih konstruktera Srbije, 16. Kongres, 28 - 30. 09. 2022., Aranđelovac ; [urednici Zlatko Marković, Ivan Ignjatović, Jelena Dobrić]. - Beograd : Univerzitet, Građevinski fakultet : Društvo građevinskih konstruktera Srbije, 2022 (Aranđelovac : Grafopak). - 1 USB fleš memorija ; 5 x 2 x 1 cm

Sistemska zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 250. - Bibliografija uz svaki rad. - Summaries.

ISBN 978-86-7518-226-9 (GF)

a) Грађевинарство -- Зборници

COBISS.SR-ID 74850313

Izdavač:	Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1
Suizdvač:	Društvo građevinskih konstruktera Srbije Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73
Urednici:	prof. dr Zlatko Marković v.prof. dr Ivan Ignjatović v.prof. dr Jelena Dobrić
Tehnička priprema:	doc. dr Nina Gluhović doc. dr Marija Todorović dr Isidora Jakovljević
Grafički dizajn:	Tijana Stevanović
Dizajn korica:	Luka Pavelka
Štampa:	Grafopak, Aranđelovac
Tiraž:	250 primeraka

Beograd, septembar 2022.

POVODOM TRIDESETOGODIŠNJE POSTOJANJE
A ZA NAROČITE ZASLUGE I USPEHE POSTIGNUTE
U RAZVIJANJU I UNAPREĐENJU GRAĐEVINSKOG
KONSTRUKTERSTVA I DOPRINOS UZDIZANJU
STRUČNIH KADROVA

ukazom broj 38 od 29. aprila 1983. godine

PRESEDNIŠTVO SFRJ

ODLIKOVALO JE

SAVEZ DRUŠTAVA GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA JUGOSLAVIJE

ORDENOM RADA SA SREBRNIM VENCEM

Organizacioni odbor 16. Kongresa:

prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, predsednik
Lazar MARKOVIĆ, potpredsednik,
v.prof. dr Ivan IGNJATOVIĆ, generalni sekretar
prof. dr Boško STEVANOVIĆ, sekretar
prof. dr Đorđe LADINOVIĆ, član Predsedništva
prof. dr Dragoslav STOJIC, član Predsedništva
v.prof. dr Danijel KUKARAS, član Predsedništva
v.prof. dr Branko MILOSAVLJEVIĆ, član Predsedništva
v.prof. dr Marija NEFOVSKA-DANILOVIĆ, član Predsedništva
v.prof. dr Selimir LELOVIĆ, član Predsedništva
v.prof. dr Jelena DOBRIĆ
v. prof. dr Milan SPREMIĆ
v.prof. dr Vladimir VUKOBRATOVIĆ
doc. dr Vedran CAREVIĆ
doc. dr Jelena DRAGAŠ
doc. dr Nina GLUHOVIĆ
doc. dr Marija TODOROVIC
doc. dr Đorđe JOVANOVIĆ
Dimitrije ALEKSIĆ, član Predsedništva
Milan GRČIĆ, član Predsedništva
Branko KNEŽEVIĆ, član Predsedništva
Miroslav MIHAJLOVIĆ, član Predsedništva
Đorđe PAVKOV, član Predsedništva
Darko POPOVIĆ, član Predsedništva
Duško TOMIĆ, član Predsedništva

Naučni odbor 16. Kongresa:

prof. dr Meri CVETKOVSKA (Severna Makedonija)
v.prof. dr Jelena DOBRIĆ (Srbija)
prof. dr Majkl FARDIS (Grčka)
prof. dr Miguel FERNANDEZ RUIZ (Španija)
prof. dr Radomir FOLIĆ (Srbija)
prof. dr Nenad IVANIŠEVIĆ (Srbija)
v.prof. dr Ivan IGNJATOVIĆ (Srbija)
v.prof. dr Vojkan JOVIČIĆ (Slovenija)
prof. dr Miloš KNEŽEVIĆ (Crna Gora)
prof. dr Đorđe LAĐINOVIĆ (Srbija)
v.prof. dr Selimir LELOVIĆ (Srbija)
doc. dr Jože LOPATIČ (Slovenija)
prof. dr Duško LUČIĆ (Crna Gora)
prof. dr Snežana MARINKOVIĆ (Srbija)
doc. Dr Miroslav MARJANOVIĆ (Srbija)
prof. dr Zlatko MARKOVIĆ (Srbija)
prof. dr Goran MARKOVSKI (Severna Makedonija)
v.prof. dr Branko MILOSAVLJEVIĆ (Srbija)
v.prof. dr Primož MOŽE (Slovenija)
v.prof. dr Marija NEFOVSKA-DANILOVIĆ (Srbija)
prof. dr Vlastimir RADONJANIN (Srbija)
prof. dr Marina RAKOČEVIĆ (Crna Gora)
v.prof. dr Andrija RAŠETA (Srbija)
prof. dr Boško STEVANOVIĆ (Srbija)
prof. dr Dragoslav STOJIĆ (Srbija)
prof. dr Nina ŠTIRMER (Hrvatska)
doc. dr Trajana TANKOVA (Portugal)
prof. dr Milan VELJKOVIĆ (Holandija)
v.prof. dr Zlatko ZAFIROVSKI (Severna Makedonija).

Lazar Živković¹, Marina Mijalković², Bojan Milošević³, Biljana Matejević Nikolić⁴

KOEFICIJENTI ZA PRERAČUNAVANJE ČVRSTOĆE PRI PRITISKU SAMOUGRAĐUJUĆEG BETONA

Rezime:

U ovom radu prikazan je postupak određivanja koeficijenata za preračunavanje čvrstoće pri pritisku samougrađujućeg (SCC) betona. Prema Evrokodu 2 klasu betona primarno definišu dve karakteristične vrednosti čvrstoće na pritisak određene na cilindru prečnika 150 mm i visine 300 mm i kocke stranice 150 mm. Odnos tih dveju vrednosti definiše koeficijent za preračunavanje čvrstoće pri pritisku. Zbog različitih pojedinih karakteristika SCC betona u odnosu na konvencionalni, ti odnosi su drugačiji. Predstavljena je funkcija kojom se može odrediti odnos između standardnih opitnih tela za sve klase samougrađujućeg betona.

Ključne reči: samougrađujući beton, čvrstoća pri pritisku, kocka, cilindar

CONVERSION FACTORS FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF SELF COMPACTING CONCRETE

Summary:

This paper presents the procedure for determining the factors for converting the compressive strength of Self Compacting Concrete (SCC). According to Eurocode 2, concrete classes primarily define two characteristic values of compressive strength determined on a cylinder with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm and a cube side of 150 mm. The ratio of these two values defines the factor for converting the compressive strength. Due to the different characteristics of SCC compared to conventional ones, these relationships are different. Relationship function between standard cylinders and cubes for all classes of SCC are presented.

Key words: self compacting concrete, compressive strength, cube, cylinder

¹ PhD student, University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Serbia, lazar.zivkovic@gaf.ni.ac.rs

² Prof., PhD, University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Serbia, marina.mijalkovic@gaf.ni.ac.rs

³ Ass.Prof., PhD, University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering, milosevic.b@mfkv.ac.rs

⁴ Ass.Prof., PhD, University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture, biljana.matejevic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Samougrađujući beton (Self Compacting Concrete - SCC) je vrsta betona kojoj prilikom ugradnje nije potrebno vibriranje. Ovaj beton bez problema zalazi u sve uglove oplata, čak i u prisustvu gusto vezane armature. To je beton visoke obradivosti, koji slobodno teče, kojeg karakteriše visoka sposobnost rasprostiranja. Upotrebom samougrađujućeg betona znatno je poboljšan proces projektovanja i izgradnje kvalitetnih savremenih građevinskih objekata [1]. Takođe, kao prednosti njegove upotrebe može se navesti daleko jednostavnija izrada tankozidnih nosača, veća brzina izgradnje, smanjenje troškova izgradnje itd.

Prvi prototip SCC betona je napravljen u Japanu 1988. godine i nazvan je „beton visokih performansi” (High Performance Concrete - HPC) [2]. Prilikom projektovanja mešavine postoje stroga pravila. Beton se mora razlivati samo pod dejstvom sopstvene težine, da ispuni svaku šupljinu oplata ma kog oblika, da prođe kroz gusto postavljenu armature, da bude homogena strukture i bez tendencije krupnog agregata da segregira. Konzistencija SCC betona je veća od najviše klase konzistencije prema standardu EN 206-1 [3] za obične betone.

Pravilan izbora agregata ima značajan uticaj na karakteristike samougrađujućeg betona kako u svežem, tako i u očvrslom stanju. Potreba da se reciklirani građevinski otpad koristi kao agregat je posledica rasta troškova za deponovanje istog, kao i nedostatka prirodnog agregata (naročito rečnog), uz naravno veću brigu o životnoj sredini. [4].

Reciklaža je veoma bitan faktor ka daljem unapređivanju građevinske industrije. Trenutno se u svetu tradicionalnim načinom građenja emituje 2,8 milijardi tona ugljen-dioksida. U cilju smanjenja emisije CO₂ u građevinskoj industriji se sve više javlja potreba za upotrebom recikliranih materijala. U Nemačkoj se godišnje reciklira 68 miliona tona građevinskog otpada, dok se u Holandiji 90% otpada koristi prilikom izgradnje novih objekata [5].

Predmet istraživanja ovog rada biće definisanje odnosa čvrstoće pri pritisku betona, dobijenih na osnovu ispitivanja čvrstoće betona na kocki 150mm i cilindru ø150x300mm. Razlog za to je što je najveći broj istraživanja sproveden na ovim etalonima, kao i njihovo definisanje od strane Evrokoda 2, koji će uskoro biti jedina primenljiva regulativa pri projektovanju konstrukcija u Srbiji, kao i sve češća upotreba SCC betona.

2. ČVRSTOĆA PRI PRITISKU BETONA

Čvrstoća pri pritisku utvrđuje se na epruvetama očvrsllog betona koje su izložene jednoaksijalnom dejstvu sile pritiska u skladu sa standardima. Standardom SRPS ISO 4012:2000:1997 [6] je propisano da se za ispitivanje čvrstoće pri pritisku mogu koristiti epruvete oblika kocke, cilindra i prizme. U ovom radu biće analizirana čvrstoća pri pritisku na kockama ivice 150mm i cilindrima 150x300mm. Etaloni se izlažu dejstvu sile pritiska (F_p) pomoću odgovarajućih hidrauličkih presa sa prirastom napona od $0,6 \pm 0,4$ MPa/s.

Čvrstoća pri pritisku (f_{pb}) se izračunava prema:

$$f_{pb} = \frac{F_p}{A} \quad (1)$$

gde je:

A površina na koju deluje sila pritiska.

Čvrstoća pri pritisku SCC betona obično ima minorno veću vrednost u poređenju sa konvencionalnim betonom, spravljenim sa istim vodocementnim faktorom. Razlog za to je jača veza između agregata i očvrstle paste. Čvrstoća pri pritisku SCC betona se obično kreće u granicama 40 – 80 MPa (posle 28 dana) i 55 – 100 MPa (posle 90 dana) [2]. Modul elastičnosti najčešće je između 30 i 36 GPa. U suštini postoji mala razlika između svojstava očvrstlog samougrađujućeg i vibriranog betona slične mešavine i istog vodocementnog faktora. Veće vrednosti čvrstoće pri pritisku i poboljšanje karakteristika kao što je prijanjanje za armaturu, povezane su sa boljom mikrostrukturom SCC-a u poređenju sa konvencionalnim betonom.

3. VEZA ČVRSTOĆE PRI PRITISKU RAZLIČITIH ETALONA

3.1. KOEFICIJENTI ZA PRERAČUNAVANJE ČVRSTOĆE PRI PRITISKU UTVRĐENE NA ETALONIMA DRUGAČIJEG OBLIKA I DIMENZIJA VIBRIRANOG BETONA

Preporučeni i najustaljeniji etalon koji se koristi u praksi je kocka ivice 150mm. Prema ranije važećem pravilniku BAB '87 čvrstoću betona pri pritisku treba ispitivati na kocki ivice 200mm. Prema Evrokodu 2 klasu primarno definišu dve karakteristične vrednosti čvrstoće na pritisak određene na standardnim opitnim telima, tj. cilindru prečnika 150mm i visine 300mm (prvi broj) i kocke stranice 150mm (drugi broj) [7].

Tabela 1 - Odnos čvrstoće pri pritisku kocke stranice 150mm i cilindra 150x300mm

Klase čvrstoće betona	Minimalna čvrstoća na pritisak određena na cilindru $f_{ck,cyl}$ [MPa]	Minimalna čvrstoća na pritisak određena na kocki $f_{ck,cube}$ [MPa]	Odnos čvrstoće pri pritisku $f_{ck,cyl} / f_{ck,cube}$	Odnos prema jednačini	Greška [%]
C 8/10	8	10	0,80	0,80	0
C 12/15	12	15	0,80	0,80	0
C 16/20	16	20	0,80	0,80	0
C 20/25	20	25	0,80	0,80	0
C 25/30	25	30	0,83	0,80	-3,6
C 30/37	30	37	0,81	0,81	0
C 35/45	35	45	0,78	0,81	+3,8
C 40/50	40	50	0,80	0,81	+1,2
C 45/55	45	55	0,82	0,81	-1,2
C 50/60	50	60	0,83	0,81	-2,4
C 55/67	55	67	0,82	0,82	0
C 60/75	60	75	0,80	0,82	+2,5
C 70/85	70	85	0,82	0,82	0
C 80/95	80	95	0,84	0,82	-2,4
C 90/105	90	105	0,86	0,83	-3,5
C 100/115	100	115	0,87	0,83	-4,6

Uobičajeno je ispitivanje na epruvetama pri starosti od 28 dana. U Tabeli 1 prikazani su odnosi čvrstoće pri pritisku na kocki ivice 150mm i cilindru $\varnothing 150 \times 300$ mm za sve klase betona prema Evrokodu [3,8]. Odnos prema jednačini se odnosi na funkciju zavisnosti sa Slike 1 ($y = 0.0003x + 0.7954$).

Na osnovu Tabele 1, može se zaključiti da je odnos čvrstoće pri pritisku ispitivane na etalonu cilindra prema etalonu kocke:

$$\frac{\sum \chi}{n} = \frac{0,80 + 0,80 + 0,80 + 0,80 + 0,83 + 0,81 + 0,78 + 0,80}{16} + \frac{0,82 + 0,83 + 0,82 + 0,80 + 0,82 + 0,84 + 0,86 + 0,87}{16} \quad (2)$$

$$\frac{\sum \chi}{n} = 0,82$$

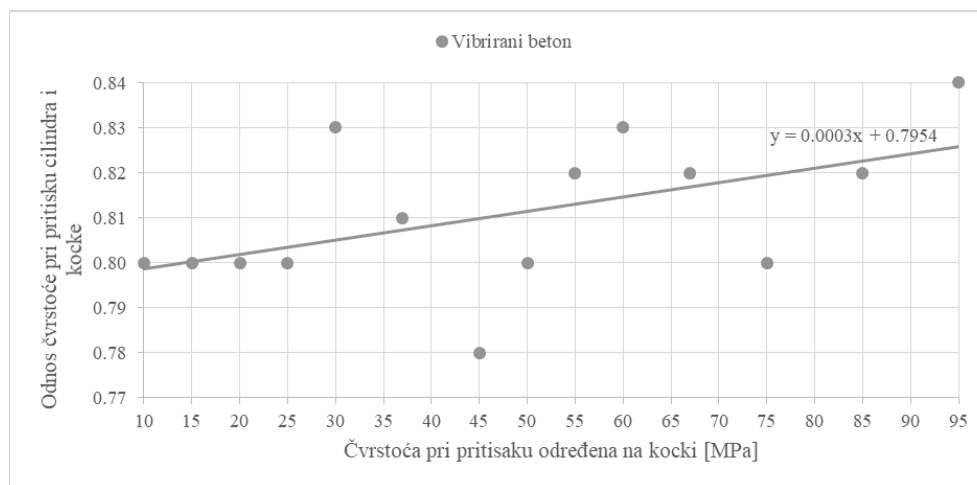
gde je:

χ odnos čvrstoća pri pritisku, prema [9],

n broj predmetnih uzoraka.

Tabela 2 – Koeficijenti za preračunavanje čvrstoće u odnosu na kocku stranice 150mm

Oblik ispitivane epruvete	Dimenzije ispitivane epruvete [mm]	Odnos čvrstoće pri pritisku, [1]	Odnos čvrstoće pri pritisku, [3,8]
Kocka	150	1,0	1,0
Cilindar	150x300	0,80	0,82

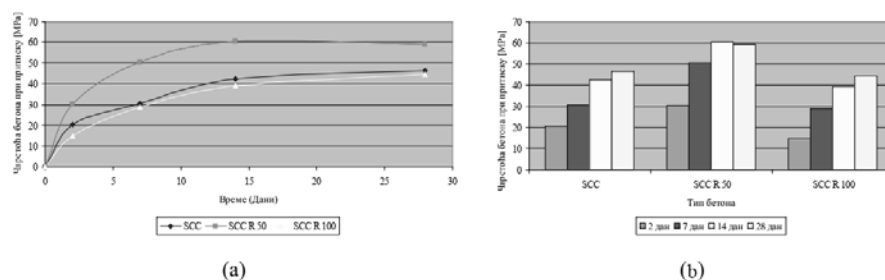


Slika 1 – Odnos između čvrstoća pri pritisku etalona cilindra i kocke vibriranog betona

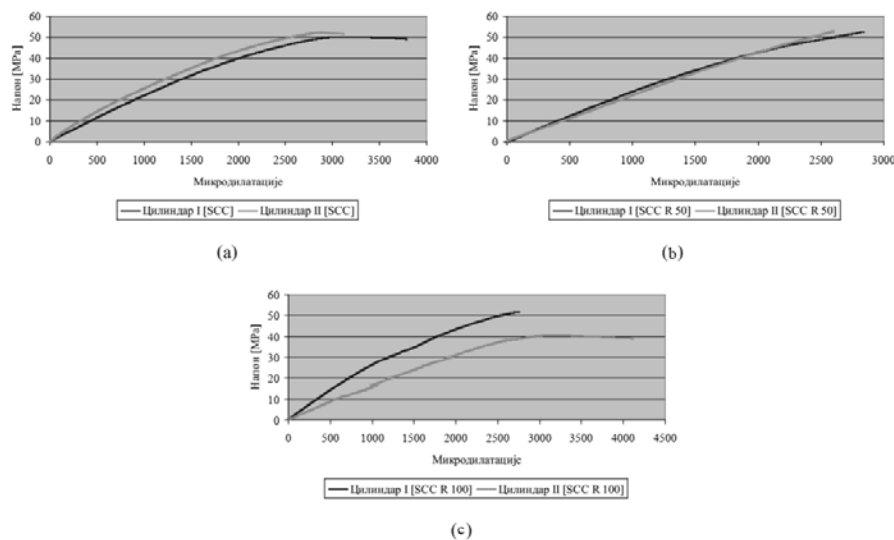
3.2. KOEFICIJENTI ZA PRERAČUNAVANJE ČVRSTOĆE PRI PRITISKU UTVRĐENE NA ETALONIMA DRUGAČIJEG OBLIKA I DIMENZIJA SAMOUGRAĐUJUĆEG BETONA

Čvrstoća pri pritisku na kocki ivice 150mm koja je eksperimentalno određena u [10] iznosila je posle 28 dana 46,55 MPa za etalon⁵, 59,05 MPa za smešu sa dodatkom recikliranog agregata u iznosu 50% od ukupne količine agregata i 44,50 MPa za smešu sa 100% recikliranim agregatom.

Čvrstoća pri pritisku određena na cilindrima $\varnothing 150 \times 300$ mm iznosila je 48,60 MPa za etalon, 62,50 MPa za SCC R50 i 46,50 MPa za SCC R100.



Slika 2 – Grafički prikaz čvrstoće betona pri pritisku: (a) u funkciji vremena; (b) u zavisnosti od vrste betona, prema [10]



Slika 3 – Dijagrami napon–dilatacija pri jednoosijalnom pritisku: (a) SCC; (b) SCC R 50; (c) SCC R 100, prema [10]

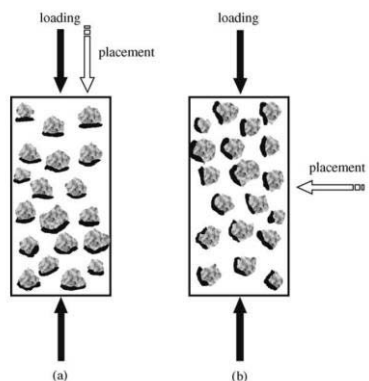
U radu [11] prikazani su rezultati ispitivanja 30 uzoraka betona na kockama ivica 100 i 150mm i 30 uzoraka betona na cilindrima $\varnothing 100 \times 200$ i $\varnothing 150 \times 300$ mm. Ispitivani elementi bili su

⁵ Standardan uzorak betona prema standardu SRPS ISO 4012:2000:1997 [6]

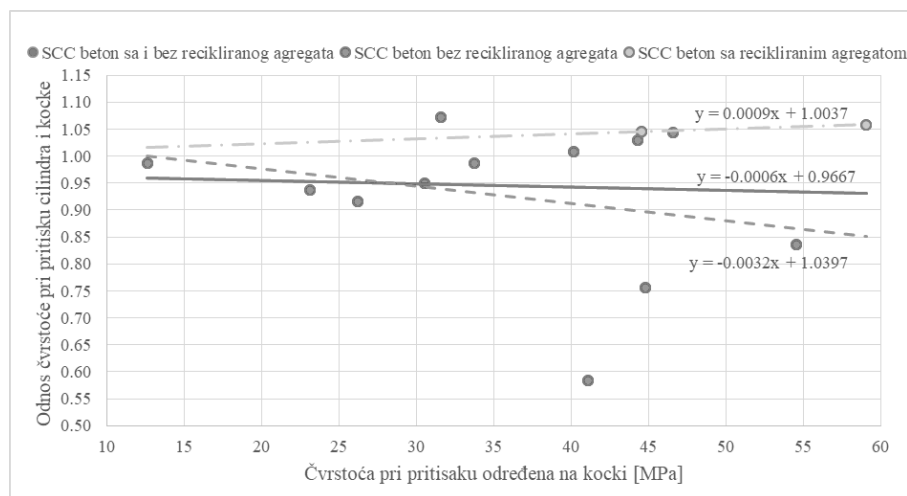
sa i bez ojačanja. Rezultati ispitivanja na različitim etalonima bez ojačanja prikazani su u Tabeli 3.

Prema rezultatima ispitivanja u [12] srednje vrednosti čvrstoće pri pritisku betona na kocki 150mm iznosile su 44,3, 31,6 i 26,2 MPa, kada je sila pritiska paralelna sa pravcem ugrađivanja betona (Slika 3(a)). Kada je sila upravna pravcu ugrađivanja srednja vrednost čvrstoće je bila veća, tačnije 54,5, 44,8 i 41,1 MPa (Slika 3(b)). U praksi se inače na ovaj način obavljaju ispitivanja kocki, jer strana koja ostaje na površini ne može biti idealno glatka, pa u tom slučaju dolazi do lokalne koncentracije napona. Čvrstoća se na cilindru naravno ispitivala pri dejstvu sile koja je paralelna pravcu oslanjanja. Srednje vrednosti čvrstoće koje su dobijene bile su 45,6, 33,9 i 24,0 MPa.

Domone [15] je na osnovu „sličnih” betona, odnosno na osnovu istog vodocementnog faktora definisao odnose između cilindra i kocke (Slika 6).



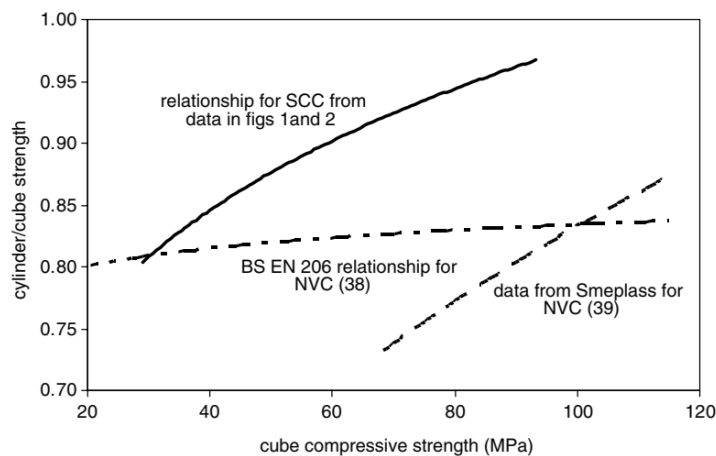
Slika 4 – Ilustracija pravca opterećenja i oslanjanja, (a) paralelan i (b) upravan, [13]



Slika 5 – Odnos između čvrstoća pri pritisku cilindra i kocke od SCC betona

Tabela 3 – Koeficijenti za preračunavanje čvrstoće pri pritisku na osnovu eksperimentalnih istraživanja više autora

Literatura	Čvrtoća pri pritisku na cilindru $f_{ck,cyl}$ [MPa]	Čvrtoća pri pritisku na kocki stranice 150mm $f_{ck,cube}$ [MPa]	Odnos čvrstoće pri pritisku $f_{ck,cyl} / f_{ck,cube}$	Odnos prema funkciji ⁶	Odnos prema funkciji ⁷	Greška [%]
[11]	12,43	12,60	0,99	1,00	0,96	+1,0 (-3,0)
[11]	21,68	23,14	0,94	0,97	0,95	+3,2 (+1,1)
[12]	24,00	26,20	0,92	0,96	0,95	+4,3 (+3,3)
[14]	24,00	41,10	0,58	0,91	0,94	+56,9(+62,1)
[11]	28,93	30,49	0,95	0,94	0,95	-1,1 (0)
[11]	33,24	33,70	0,99	0,93	0,95	-6,1 (-4,0)
[12]	33,90	31,60	1,07	0,94	0,95	-12,1 (-11,2)
[14]	33,90	44,80	0,76	0,90	0,94	+18,4(+23,7)
[11]	40,51	40,17	1,01	0,91	0,94	-9,9 (-6,9)
[12]	45,60	44,30	1,03	0,90	0,94	-12,6 (-8,7)
[14]	45,60	54,50	0,84	0,87	0,93	+3,6 (+10,7)
[10] ⁸	46,50	44,50	1,04	0,90	0,94	-13,5 (-9,6)
[10]	48,60	46,55	1,04	0,89	0,94	-14,4 (-9,6)
[10] ⁹	62,50	59,05	1,06	0,85	0,93	-19,8 (-12,3)



Slika 6 – Definicije odnosa cilindra i kocke SCC i vibriranog betona, prema [15]

⁶ Funkcija zavisnosti na Slici 5 za beton sa nerekicliiranim agregatom ($y = -0.0032x + 1.0397$)

⁷ Funkcija zavisnosti na Slici 5 za beton sa nerekicliiranim i recikliiranim agregatom ($y = -0.0006x + 0.9667$)

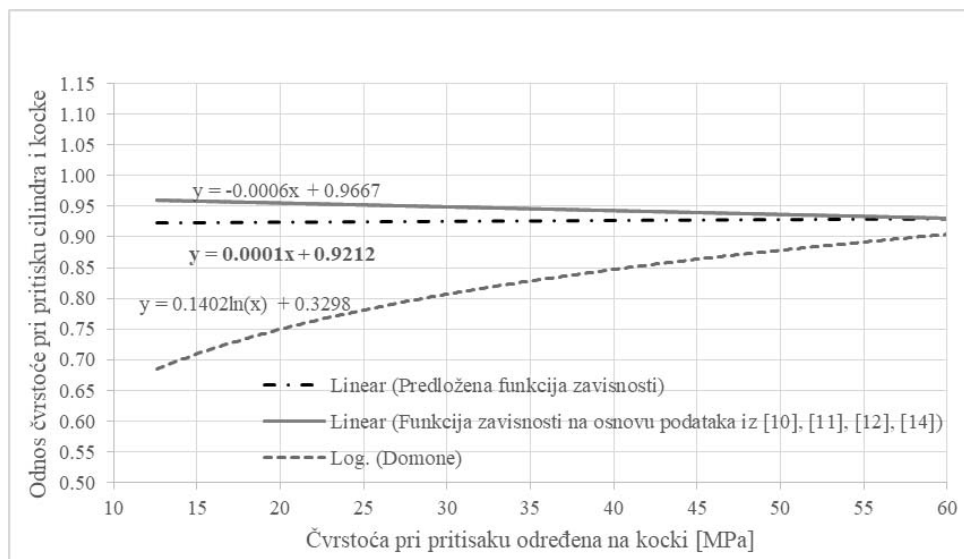
⁸ Smeša betona sa 100% recikliiranim agregatom.

⁹ Smeša betona sa dodatkom 50% recikliiranoag agregata u odnosu na ukupnu količinu agregata.

4. ZAKLJUČAK

Iz priloženog u Tabeli 1 se može zaključiti da funkcija zavisnosti za određivanje odnosa između čvrstoća betona merenih na etalonima kocke i cilindra ima dovoljnu tačnost, sa greškom manjom od 5%.

U sprovedenim istraživanjima više autora korišćene su različite komponente, pre svega agregata. Različiti agregati su upotrebljeni, odnosno različite smeše betona su korišćene i pri istom istraživanju. Stoga nije bilo moguće preciznije dati predlog krive za određivanje odnosa čvrstoća između različitih ispitivanih tela. S obzirom da je ideja da se da jedinstven koeficijent i jednačina za odnos čvrstoća za SCC beton, ta nehomogenost ide u prilog tome. Dakle, reč je o istoj smeši betona koji je ispitivan na različitim uzorcima. Beton kao kompozitni materijal je teško unificirati i za svaku kombinaciju odnosa i vrste upotrebljenih materijala istražiti odnose u čvrstoći. Takođe, to bi otežavalo primenu u praksi. U Evrokodu [8], za vibrirani beton su prikazani rezultati čvrstoća dobijenih na cilindru i na kocki, iz kojih se lako može naći odnos, ali takođe nije navedeno o kakvim komponentama betona je reč.



Slika 7 – Predložena funkcija zavisnosti odnosa čvrstoća pri pritisku između kocke i cilindra

Kombinacijom ova dva rešenja (Slika 7), tj. krive koju je predložio Domone i krive koja je istražena u ovom radu, prevazilazi se nedostatak u [15] što se tiče nedostatka eksperimentalnih istraživanja i dopunjuje postojeća baza podataka istraživanja u ovom radu. Na taj način predložena funkcija zavisnosti za određivanje odnosa čvrstoće pri pritisku između uzoraka kocke ivice 150mm i cilindra $\varnothing 150 \times 300$ mm bi bila:

$$y = 0,0001 \cdot x + 0,9212 \quad (3)$$

Sa Slike 7 se uočava da se funkcija zavisnosti odnosa čvrstoće pri pritisku u manjoj meri razlikuje u odnosu na funkciju zavisnosti kod konvencionalnog betona. Kod vibriranog betona

ona ima značajniji prirast pri povećanju klase betona, dok je kod SCC betona taj prirast manji, ali je sam koeficijent odnosa za oko 12% veći.

LITERATURA

- [1] Živković S. Samozbijujući beton - svojstva i tehnologija, Građevinski kalendar, 2007, 234-304.
- [2] Grdić Z. Tehnologija betona, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš, 2011.
- [3] EN 206-1. CEN, Brussels, 2000.
- [4] Marinković S, Radonjanin V, Malešev M, Ignjatović I. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete, Waste Management, 30, 2010, 2255-2264.
- [5] <https://www.theblm.com/video/how-to-build-in-2030>
- [6] SRPS ISO 4012:2000:1997 Beton, Određivanje čvrstoće pri pritisku. Institut za standardizaciju Srbije.
- [7] Perišić Ž, Pecić N, Stojanović N. Nove evropske norme za projektovanje – Evrokod 2 za proračun betonskih konstrukcija – sveska 2, IKS, Beograd, 2008.
- [8] SRPS EN 1992-1-1. Evrokod 2 – Projektovanje betonskih konstrukcija – Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, ISS, 2015.
- [9] Hermite R. L. Idées actuelles sur la technologie du béton, Bull RILEM, 1954.
- [10] Milošević B. Eksperimentalno–teorijska analiza graničnih stanja linijskih nosača od samougrađujućeg betona sa recikliranim agregatom, Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, 2016.
- [11] Aslani F. Effects of specimen size and shape on compressive and tensile strengths of selfcompacting concrete with or without fibres, Magazine of Concrete Research, 65 (15), 2013, 914-929.
- [12] Nikib I. M, Dehestani M, Beygi M. H. A, Rezvani M. Effects of cube size and placement direction on compressive strength of self-consolidating concrete, Construction and Building Materials, 59, 2014, 144-150.
- [13] Yi S. T, Yang E. I, Choi J. C. Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete, Nuclear Engineering and Design, 236, 2006, 115-127.
- [14] Dehestani M, Nikbin I. M, Asadollahi S. Effects of specimen shape and size on the compressive strength of self-consolidating concrete (SCC), Construction and Building Materials, 66, 2014, 685-691.
- [15] Domone P. L. A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete, Cement & Concrete Composites, 29, 2007, 1-12.
- [16] Milošević B, Petrović Ž, Mijalković M, Ranković S. Mechanical characteristics of Self-Compacting Concrete made with coarse aggregate obtained from concrete prefabricated elements recycling, Romanian Journal of Materials, 46 (2), 2016, 167-174.

- [17] Guo Z, Jiang T, Zhang J, Kong X, Chen C, Lehman D. Mechanical and durability properties of sustainable self-compacting concrete with recycled concrete aggregate and fly ash, slag and silica fume, *Construction and Building Materials*, 231, 2020, 1-11.
- [18] Nagaratnam B, Mannan M, Rahman M, Mirasa A, Richardson A, Nabinejad O. Strength and microstructural characteristics of palm oil fuel ash and fly ash as binary and ternary blends in Self-Compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 202, 2019, 103-120.