

PREGLED METODA ZA PROJEKTOVANJE SASTAVA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA

A REVIEW OF THE METHODS FOR PROPORTIONING SELF-COMPACTING CONCRETE

Doc. dr. sc. Adnan Mujkanović, prof. dr. sc. Ilhan Bušatlić, prof. dr. sc. Marina
Jovanović, Dženana Bećirhodžić, dipl. ing.
Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale
Zenica, BiH

Ključne riječi: samozbijajući beton, metode, projektovanje sastava, UCL, CBI

REZIME

Za proizvodnju samozbijajućeg betona za određenu primjenu, sa željenom kombinacijom svojstava u svježem i očvrslom stanju, neophodno je kombinovanje sastavnih materijala u optimalnim omjerima. Projektovanje sastava samozbijajućeg betona mora se početi definisanjem potrebnih svojstava. Za neku određenu primjenu može se proizvesti mješavina samozbijajućeg betona počevši sa mješavinom na temelju prethodnog iskustva, a zatim nastaviti sa opsežnim eksperimentalnim pokušajima i prilagođavanjima. Međutim, mnogo je efikasnije koristiti neku od razvijenih brojnih metoda različitog stepena kompleksnosti zasnovanih na različitim principima ili kontrolnim parametrima. U ovom radu je dat pregled, kao i analiza najviše korištenih metoda za projektovanje sastava samozbijajućeg betona.

Key words: self-compacting concrete, methods, mixture proportioning, UCL, CBI

ABSTRACT

For the production of self-compacting concrete for a specific application, with desired properties in fresh and hardened state, it is necessary to combine the constituent materials in the optimum proportions. The proportioning of self-compacting concrete has to start with defining the required properties. For a particular application, a self-compacting concrete mixture can be produced starting with the mixture based on the previous experience, then followed by the extensive experimental work and adjustments. However, it is much more efficient to use some of the numerous methods developed with various degrees of complexity and based on different principles or control parameters. This paper provides a review, as well as the analysis of the most widely used methods for proportioning self-compacting concrete.

1. UVOD

Samozbijajući beton (eng. Self-Compacting Concrete, SCC) je beton koji ima sposobnost tečenja po utjecajem vlastite težine i u potpunosti popunjava oplatu zaobilazeći armaturu, te zadržava horizontalnu površinu bez potrebe za zbijanjem upotrebom vibracijskih uređaja [1]. Ovaj beton ima odličnu obradljivost, kao i otpornost na segregaciju, a zadržava i stabilan sastav tokom transporta i ugradnje, kao i nakon ugradnje. Dakle, svježja mješavina

samozbijajućeg betona mora biti dovoljno tečljiva, ali u isto vrijeme i kohezivna, kako bi se omogućila dovoljna obradljivost bez pojave segregacije. Samozbijajući beton je pogodan za teške konstrukcije i složene kalupe, te sve druge primjene koje zahtijevaju visoku kvalitetu i završnu obradu.

Problem trajnosti betonskih konstrukcija bio je osnovni razlog početka intenzivnih istraživanja na planu dobijanja samozbijajućih betona. Naime, ovaj problem bio je u vrhu interesa japanskih istraživača u oblasti građevinarstva. Tako je 1986. godine, projektni tim sa Univerziteta u Tokiju, na čijem čelu je bio H. Okamura, predložio koncept samozbijajućeg betona, dok je već 1988. godine, K. Ozawa razvio prototip ovog betona [2].

Mnoge su prednosti samozbijajućeg betona u odnosu na konvencionalne betone. To su:

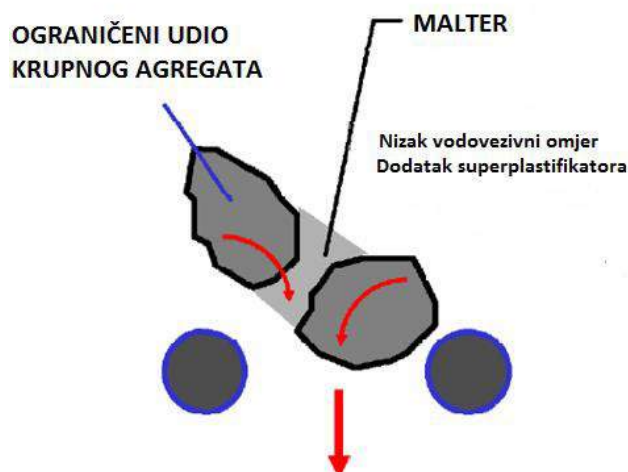
- *Samougradljivost* - U građevinarskoj praksi, poželjne su betonske mješavine koje se lako ugrađuju, te je zbog toga ovaj beton izuzetno pogodan, jer je, kako i sam naziv kaže – samougrađujući.
- *Eliminisanje vibriranja* - Vibriranje ima štetni utjecaj na strukturu betona, a za samozbijajući beton uopće nije potrebno. Time se poboljšava i kvalitet betona.
- *Smanjenje buke* - Značajan izvor buke tokom ugradnje betona je zbijanje betona. Kako za samozbijajući beton nije potrebno zbijanje, taj izvor buke se eliminiše.
- *Minimalna završna obrada* - Ovaj beton ima glatku površinu, i stoga zahtijeva minimalnu završnu obradu.
- *Skraćenje vremena izgradnje* - Upotrebom samozbijajućeg betona smanjuje se obim poslova koji su potrebni za ugradnju, izravnavanje i završnu obradu, pa se time skraćuje i vrijeme izgradnje.
- *Poboljšanje radnih uslova* - Radni uvjeti građevinskih radnika su među najstresnijim radnim okolinama, a primjenom samozbijajućeg betona, poboljšavaju se radni uslovi, smanjuju problemi sa zdravljem i sigurnošću.
- *Ekonomičnost* - Samozbijajući beton se sam izravnava, i ne samo da se olakšava ugradnja, nego se smanjuje i vrijeme ugradnje, a time se povećava ekonomičnost.
- *Ekološka prihvatljivost* - Samozbijajući beton često koristi mnoge materijale koji su alternativa cementu, a smanjenjem učešća cementa, smanjuje se i emisija CO₂ i drugih gasova, pa je, stoga, samozbijajući beton i ekološki prihvatljiv.

2. PROJEKTOVANJE SASTAVA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA

Samozbijajući beton se od konvencionalnog betona razlikuje po specifičnom svojstvu koje se naziva samozbijanje. Ovaj beton zahtijeva kombinaciju tri različita ključna svojstva: sposobnosti popunjavanja, sposobnosti prolaženja, i otpornosti na segregaciju. Sposobnost popunjavanja je sposobnost svježeg betona da teče pod utjecajem vlastite težine i u potpunosti popunjava oplatu. Sposobnost prolaženja je sposobnost prolaska kroz zatvorene ili sužene prostore, uske otvore i između armature. Otpornost na segregaciju je sposobnost svježeg betona da zadrži uniformnu raspodjelu sastavnih materijala tokom transporta, ugradnje i zbijanja.

Osnovni kriteriji za postizanje ključnih svojstava samozbijajućeg betona su (slika 1):

- nizak vodopraškasti omjer sa visokim dozama superplastifikatora kako bi se postigla visoka fluidnost;
- dovoljan sadržaj paste za popunjavanje praznina u skeletu agregata do te mjere da je svaka čestica okružena slojem odgovarajućim slojem paste, na taj način smanjujući učestalost kontakta i sudare čestica agregata tokom tečenja;
- dovoljno nizak sadržaj grubog agregata kako bi se izbjeglo blokiranje kada beton prolazi kroz uske prostore [1,3].



Slika 1. Mehanizam za postizanje samozbijanja [3]

Projektovanje sastava samozbijajućeg betona je kombinovanje sastavnih materijala u optimalnim omjerima kako bi se dobio beton željenih svojstava u svježem i očvrsлом stanju. Projektovanje sastava samozbijajućeg betona mora se početi definisanjem potrebnih svojstava. Ne postoji jedinstvena mješavina datih materijala koja će dati beton sa skupom određenih svojstava u svježem i očvrsлом stanju. Kod samozbijajućeg betona ključno je dobiti zadovoljavajuća svojstva samozbijanja, dok se u početku manje pažnje posvećuje svojstvima očvrslog betona. Kriteriji samozbijanja upravljaju sadržajem grubog agregata, sadržajem paste, vodopraškastim omjerom, i doziranjem superplastifikatora.

3. METODE PROJEKTOVANJA SASTAVA SAMOZBIJAJUĆEG BETONA

Za projektovanje sastava samozbijajućeg betona razvijene su brojne metode, različitog stepena kompleksnosti, a zasnovane su na različitim principima ili kontrolnim parametrima. U ovom radu, metode projektovanja samozbijajućeg betona klasificirane su prema principima projektovanja u pet kategorija:

- 1) empirijske metode projektovanja,
- 2) metode projektovanja prema čvrstoći na pritisak,
- 3) metode najgušćeg pakovanja agregata,
- 4) metode projektovanja prema statističkom faktorskom modelu i
- 5) metode projektovanja prema reologiji paste [2].

Procedure metoda, kao i njihove prednosti i nedostaci su predstavljeni i upoređeni u nastavku.

3.1. Empirijske metode projektovanja

Empirijske metode projektovanja sastava samozbijajućeg betona temelje se na empirijskim podacima koji uključuju sadržaj finog i grubog agregata, sadržaj vode i cementnih materijala, kao i doziranje superplastifikatora kako bi se odredio početni sastav mješavine. Najbolja procjena sastava mješavine se dobije kroz nekoliko probnih mješavina i optimiziranje [2].

Jedna od empirijskih metoda projektovanja sastava je Opća metoda. Opća metoda je jedna od prvih metoda projektovanja sastava samozbijajućeg betona. To je relativno jednostavna metoda projektovanja sastava, nastala na temelju opsežnih istraživanja provedenih na Univerzitetu u Tokiju, a razvili su je Okamura i Ozawa. Opća metoda je razvijena za

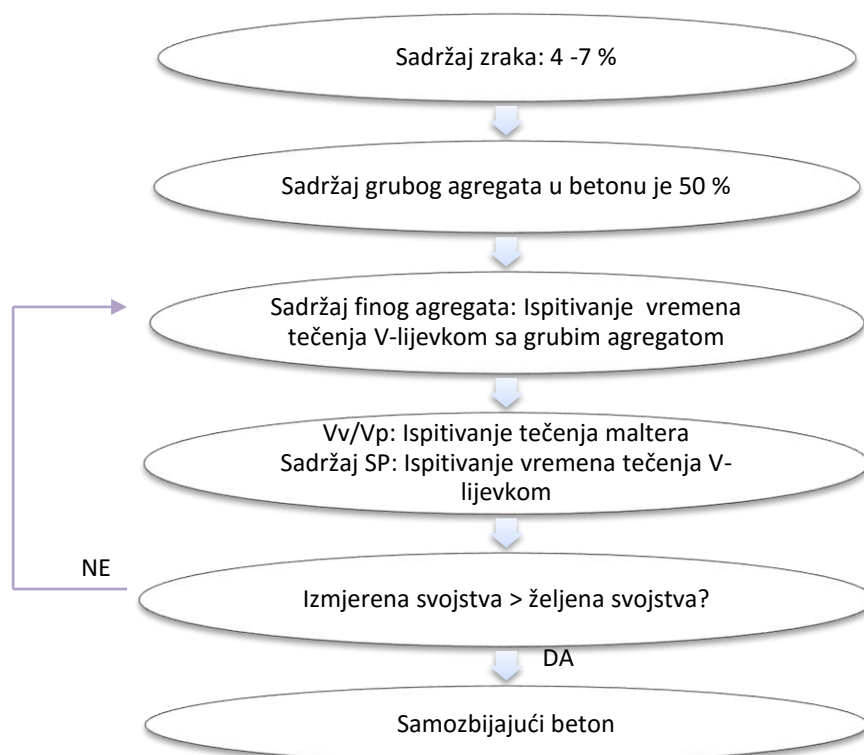
praškasti tip mješavina sa ograničenim rasponom materijala, uključujući krupni agregat veličine 5 – 20 mm, fini agregat maksimalne veličine do 5 mm, cement niske toplote hidratacije i sa velikim sadržajem belita.

Osnovni principi projektovanja prema ovoj metodi su:

- Sadržaj krupnog agregata u betonu je 50 %.
- Sadržaj finog agregata je 40 % volumena maltera. Za ove svrhe, čestice veće od 0,09 mm se smatraju agregatom, dok se čestice manje od 0,09 mm smatraju prahom.
- Vodopraškasti omjer i količina superplastifikatora se određuju ispitivanjima prvo na pasti, a zatim na malteru. Ova ispitivanja se provode na manjim verzijama uređaja za ispitivanje rasprostiranja slijeganjem (slump-flow) i V-lijevka koji se koriste za ispitivanje svojstava betona, ali se mjerenja provode na isti način.
- Za rezultirajući beton, kao adekvatno rasprostiranje slijeganjem (slump-flow) uzima se vrijednost od 650 mm, te se prema tome prilagođava udio superplastifikatora [1,2,22].

Mnoge druge, modificirane metode, nastale su na temelju ove metode. Ova metoda je vrlo jednostavna, ali nema nikakvih parametara koji opisuju svojstva agregata. Kako bi se dobila veća obradljivost i umjerena viskoznost, potreban je veći sadržaj superplastifikatora, što rezultuje i većim troškovima. Iako je bazirana na iskustvu, ova metoda je jednostavna metoda projektovanja sastava samozbijajućeg betona.

Edamatsu je predložio metodu koja predstavlja poboljšanje Opće metode projektovanja sastava. Na slici 2. prikazana je procedura ove metode projektovanja sastava.



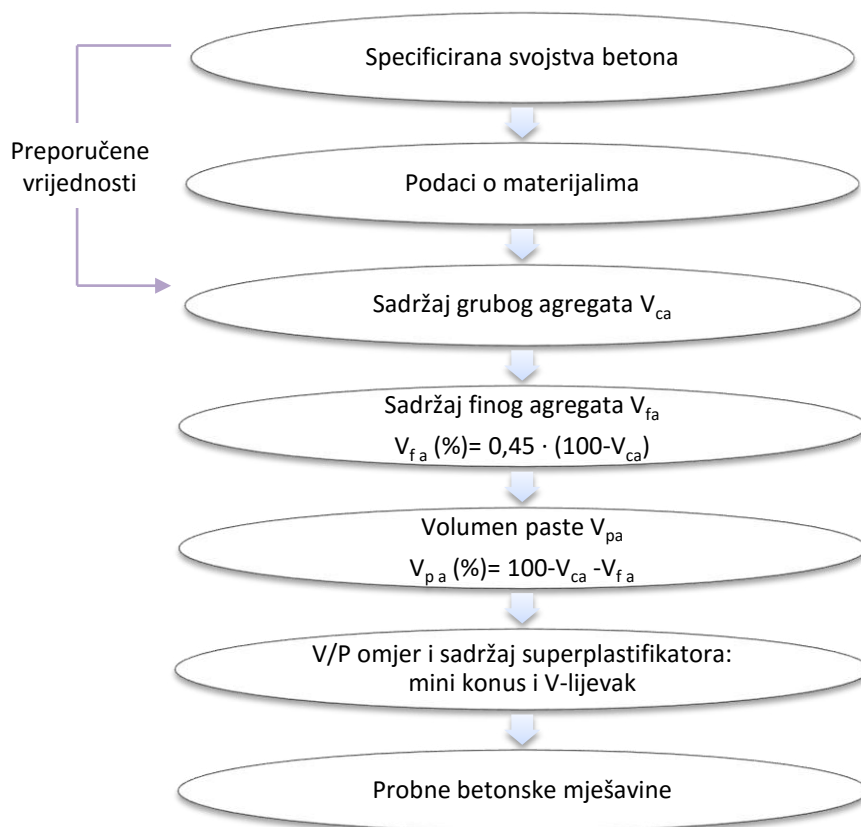
Slika 2. Procedura metode projektovanja prema Edamatsu-i [2]

Kako se Opća metoda temelji na pretpostavkama da je Portland-cement umjerene toplote hidratacije ili Portland-cement sa velikim sadržajem belita jedini izvor praškastih materijala, i da su volumeni grubog i finog agregata ograničeni, bilo je potrebno razviti metode koje će koristiti različite praškaste materijale i agregate. Tako je Edamatsu, nakon istraživanja

interakcija između grubog agregata i čestica svježeg maltera, razvio metodu fiksirajući omjer finog agregata, volumni vodopraškasti omjer i sadržaj superplastifikatora. Očigledna prednost ove metode, u poređenju sa Općom metodom, je da se može primijeniti za praškaste materijale i agregate različitih kvaliteta. Ipak, potrebna su dalja ispitivanja kako bi se okarakterisala svojstva sirovinskih materijala, uključujući i kompatibilnost između njih [2,4,22].

Domone je predložio metodu projektovanja sastava samozbijajućeg betona pod nazivom UCL metoda [1,2,5]. UCL metoda je metoda projektovanja sastava mješavine samozbijajućeg betona razvijena na University College London. UCL metoda uključuje procjenjivanje omjera komponenata mješavine za dati skup potrebnih svojstava, a nakon toga ispitivanje svojstava mješavine, i ukoliko je potrebno, prilagođavanje i poboljšavanje sastava mješavine. Važna karakteristika prvog dijela procesa je ispitivanje konzistencije na uzorcima maltera pomoću mini konusa i V-lijevka, kako bi se utvrdio vodopraškasti omjer, kao i sadržaj aditiva u cilju postizanja optimalnih svojstava [1,5,22]. Na slici 3. prikazana je procedura ove metode.

Značajna prednost empirijskih metoda projektovanja sastava jeste njihova jednostavnost. Međutim, ove metode zahtijevaju opsežna laboratorijska istraživanja kako bi se dobio beton željenih svojstava. Pored toga, promjene u sirovinskim materijalima zahtijevaju dodatna ispitivanja i prilagođavanja.



Slika 3. Procedura UCL metode projektovanja sastava [2]

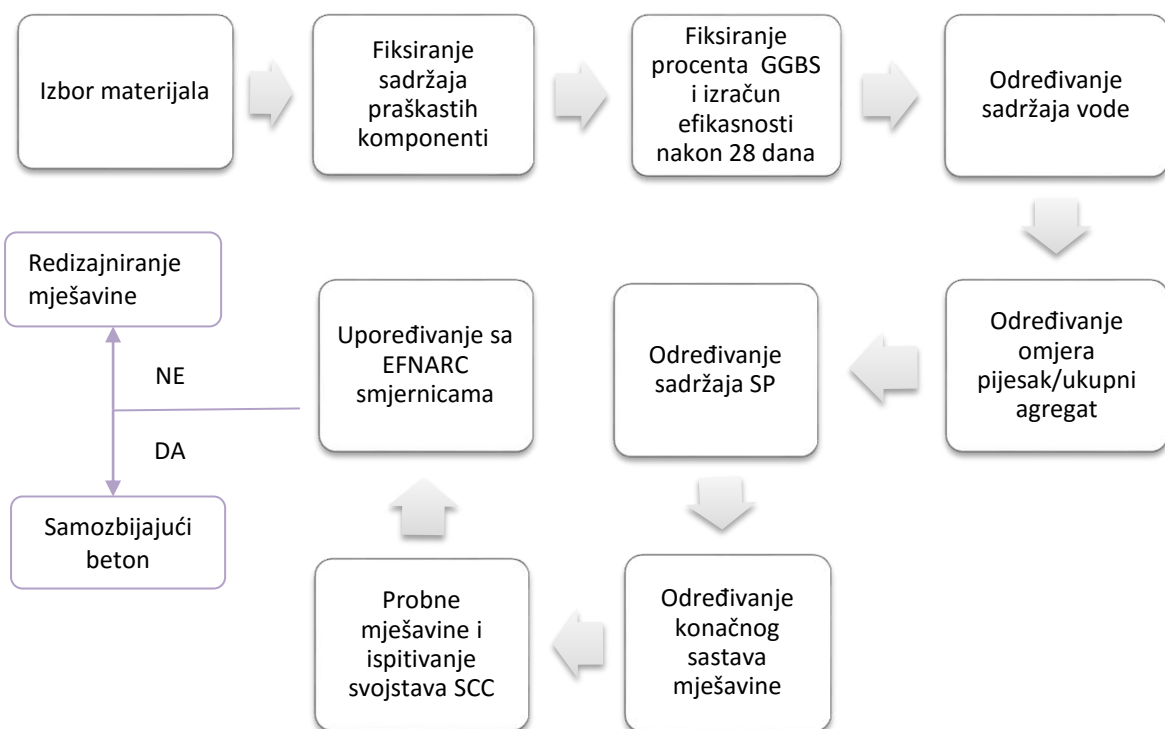
3.2. Metode projektovanja prema čvrstoći na pritisak

Za razliku od ostalih metoda projektovanja sastava, kod kojih je ponašanje samozbijajućeg betona u svježem stanju od primarnog značaja, kod ovih metoda su zahtjevi za čvrstoću od

primarnog značaja. Metode projektovanja prema čvrstoći na pritisak određuju sadržaj cementa, vode, mineralnih dodataka i agregata na osnovu željene (potrebne) čvrstoće.

Ghazi i Jadiri su predložili vrlo jednostavnu metodu projektovanja sastava samozbijajućeg betona prema čvrstoći na pritisak. Prethodne metode nisu uzimale u obzir granulometrijski sastav agregata, pa su bile potrebne brojne probne mješavine i prilagođavanja kako bi se dobila željena kombinacija svojstava u svježem i očvrslom stanju. Ova metoda je bazirana na ACI 211.1 metodi projektovanja sastava konvencionalog betona i EFNARC metodi projektovanja sastava samozbijajućeg betona. Prema predloženoj metodi, sadržaj grubog agregata zavisi od maksimalne veličine agregata i modula finoće finog agregata. Sadržaj vode se određuje takođe na osnovu maksimalne veličine agregata i čvrstoće betona. Vodocementni i vodopraškasti omjeri se određuju na osnovu čvrstoće betona. Ovom metodom, raspon čvrstoće je proširen sa 15 – 45 MPa na 15 – 75 MPa, čime ona pokriva i normalne, a i samozbijajuće betone visoke čvrstoće [6,21].

Dinakar, Sethy i Sahoo su predložili metodu projektovanja samozbijajućeg betona sa granulisanom visokopećnom troskom (GGBS) kao dodatkom koristeći faktor efikasnosti (k). Mljevena granulisana visokopećna troska je velika prednost za potrebe savremenog građevinarstva zbog svoje pucolanske aktivnosti jer betoni sa troskom mogu biti betoni visoke kvalitete, ukoliko se pravilno projektuju. Faktor efikasnosti (k) se definiše kao udio pucolanskog materijala poput elektrofilterskog pepela ili troske koji se može smatrati ekvivalentnim Portland-cementu. Predložena metoda se sastoji od pet koraka, a procedure ove metode je prikazana na slici 4. Korištenjem ove metode i utvrđenih vrijednosti faktora efikasnosti za granulisanu visokopećnu trosku može se dobiti samozbijajući beton sa čvrstoćama u opsegu od 30 – 100 MPa zamjenom sa 20 – 80 % granulisane visokopećne troske [2,7].



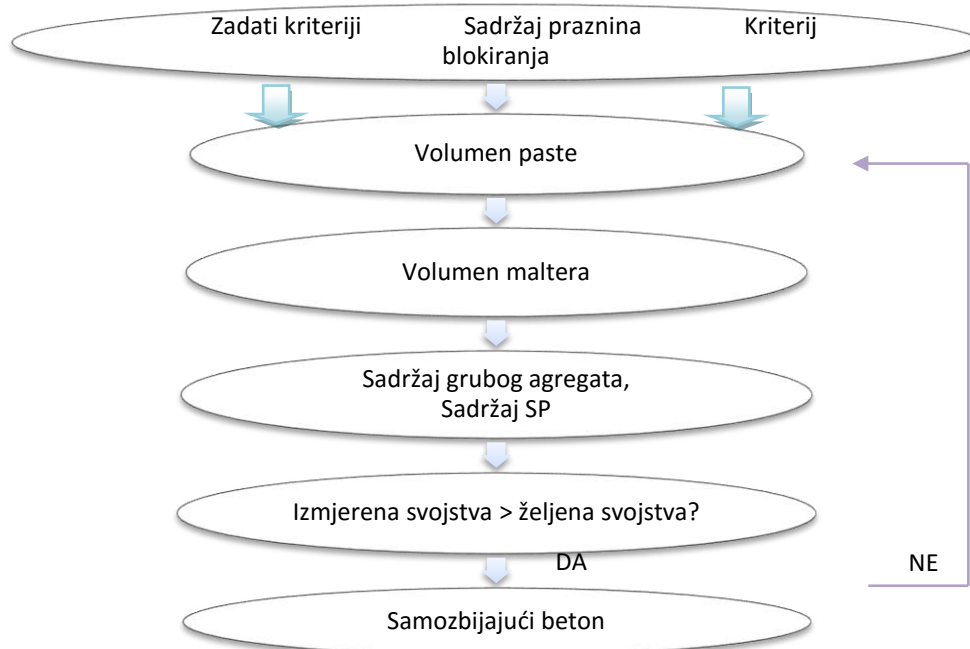
Slika 4. Procedura metode projektovanja sastava samozbijajućeg betona sa GGBS [2]

Metode projektovanja prema čvrstoći na pritisak su metode sa preciznom procedurom za dobivanje određenih količina konstituenata, čime se smanjuju potreba za opsežnim laboratorijskim ispitivanjima. Osim toga, dodatna prednost ovih metoda je što uzimaju u obzir granulometrijski sastav agregata i doprinos pucolanskih materijala. Ipak, njihov nedostatak je što zahtijevaju prilagođavanje svih komponenti kako bi se dobio beton optimalnih svojstava.

3.3. Metode najgušćeg pakovanja agregata

Metode najgušćeg pakovanja agregata su metode projektovanja sastava samozbijajućeg betona prema kojima se omjer komponenata mješavine određuje tako da se dobije najmanje praznina između agregata na osnovu modela pakovanja, a zatim se pastom popune praznine između agregata [2].

Petersson, Billberg i Van su predložili metodu projektovanja sastava samozbijajućeg betona nazvanu CBI metoda [1,2,8,22]. Na slici 5. prikazana je procedura CBI metode. Prema ovoj metodi, dvije su glavne faze: (1) izbor maksimalnog sadržaja agregata, a time i minimalnog sadržaja paste, na osnovu kriterija blokiranja kako bi se osigurala dovoljna sposobnost prolaženja; i (2) određivanje potrebnog sastava paste kako bi se dobile adekvatne osobine očvrslog betona, kao i dovoljna fluidnost svježeg betona [1]. CBI metoda smatra beton kao čvrstu fazu agregata u tečnoj fazi – pasti formiranoj od praha, vode i dodataka mješavini. Pasta popunjava praznine u matriksu agregata i na taj način osigurava sloj oko svake čestice agregata. Osnovne prednosti ove metode su što uzima u obzir granulometriju kombinovanog agregata, primjenljiva je za bilo koju veličinu krupnog i sitnog agregata i uzima u obzir uvjete ugradnje uključujući i odnos veličine agregata prema minimalnom prostoru (prazninama) kroz koji beton treba proći. Ipak, ova metoda, iako je veoma poznata i važna, ipak nije lako primjenjiva [1,8,9,22].



Slika 5. Procedura CBI metode projektovanja sastava samozbijajućeg betona [2]

Su, Hsui i Chai su predložili metodu projektovanja sastava samozbijajućeg betona korištenjem faktora pakovanja (PF) [10,11]. Faktor pakovanja (PF) agregata se definiše kao

omjer mase agregata u zbijenom stanju i mase agregata u rastresitom stanju. Cilj predložene metode je popuniti pastom šupljine među zrnima agregata koji je u nasutom stanju. Potrebno je odabrati materijale, izvršiti proračun, provesti odgovarajuća ispitivanja i, ukoliko su potrebna, dodatna prilagođavanja. Faktor pakovanja utječe na sadržaj krupnog i sitnog agregata u betonu, i što je veći faktor pakovanja, veći je sadržaj grubog i sitnog agregata, a manji sadržaj veziva. Jako je važno odrediti optimalnu vrijednost faktora pakovanja kako bi se postigla željena svojstva samozbijajućeg betona, ali u isto vrijeme voditi računa i o ekonomičnosti. Iako je ovo jednostavna metoda i zahtijeva manju količinu veziva, njen izvjesni nedostatak je što nije preciziran optimalan odnos između agregata i kako odrediti faktor pakovanja [10,11].

3.4. Metode projektovanja prema statističkom faktorskom modelu

Metode projektovanja prema statističkom faktorskom modelu koriste se za modeliranje utjecaja različitih ključnih parametara na obradljivost svježe mješavine i čvrstoću očvrstlog betona. Za svaki parametar se utvrđuje neki razuman raspon, a omjer komponenata mješavine se računa prema projektovanju sastava konvencionalnog betona.

Khayat, Ghezal i Hadriche su predložili statistički faktorski model odabirom pet ključnih parametara za projektovanje samozbijajućeg betona. Pet ključnih parametara čine: sadržaj cementnih materijala, vodopraškasti omjer, koncentracije superplastifikatora i modifikatora viskoziteta i volumen grubog agregata. Modeli vrijede za mješavine sa v/c omjerom 0,37 – 0,50, 360 – 600 kg/m³ veziva, 240 – 400 l/m³ grubog agregata, 0,05 – 0,2 % modifikatora viskoziteta (po masi vode) i 0,3 – 1,1 % superplastifikatora (po masi veziva). Uspostavljeni statistički odnosi između ključnih parametara mogu se koristiti i za optimizaciju mješavine, ali i za kontrolu kvaliteta [12,13].

Sonebi je koristio statistički faktorski model kako bi projektovao samozbijajući beton srednje čvrstoće sa elektrofilterskim pepelom. Modeli vrijede za mješavine sa v/p omjerom 0,38 – 0,72, 60 – 216 kg/m³ cementa, 183 – 317 kg/m³ elektrofilterskog pepela, 0 – 1 % superplastifikatora (po masi praškastih materijala). U svom eksperimentu, faktorski model je koristio kako bi matematički izrazio utjecaj ključnih parametara (sadržaj cementa i elektrofilterskog pepela, v/p omjer i doziranje superplastifikatora) na sposobnost popunjavanja, sposobnost prolaženja, otpornost na segregaciju i čvrstoću na pritisak [14].

Metode projektovanja prema statističkom faktorskom modelu uveliko olakšavaju optimiziranje date mješavine betona smanjujući broj probnih serija, ali su ipak potrebna opsežna laboratorijska ispitivanja kako bi se uspostavili statistički odnosi.

3.5. Metode projektovanja prema reologiji paste

Saak, Jennings i Shah su razvili metodu projektovanja sastava samozbijajućeg betona prema reologiji cementne paste. Prema ovoj metodi reologija cementne paste diktira otpornost na segregaciju i obradljivost svježeg betona. Uveden je koncept zone samo-tečenja kojoj se izbjegava segregacija, a ipak se zadržava visoka obradljivost betona. Za određivanje zone samo-tečenja koristi se U-cijev. Primjenjivost ove metode se ispituje sistematskim mijenjanjem reologije cementne paste [15].

Bui, Akkaya i Shah su proširili koncept metode koju je Saak predložio. I ovaj model zasniva se na reološkim kriterijima cementne paste koji uključuju optimalan odnos tečenje-viskoznost kako bi se postigla svojstva samozbijanja sa zadovoljavajućom otpornošću na segregaciju i obradljivošću. Prema ovom modelu uključen je utjecaj volumnog udjela agregata i paste, raspodjele veličine čestica agregata i odnosa fini/grubi agregat [16]. Procedura ove metode prikazana je na slici 6. Metode projektovanja prema reologiji paste smanjuju potrebu za laboratorijskim radom i materijalima, te pružaju osnovu za kontrolu kvaliteta i dalji razvoj novih mineralnih i hemijskih dodataka.



Slika 6. Procedura metode projektovanja sastava prema reologiji paste [2]

4. ZAKLJUČCI

Ključni segment proizvodnje samozbijajućeg betona je projektovanje sastava, odnosno kombinovanje sastavnih materijala u optimalnim omjerima kako bi se dobila željena kombinacija svojstava svježeg i očvrstlog betona za određenu primjenu. Kako bi se ispunili specificirani zahtjevi potrebno je odabrati odgovarajuću metodu projektovanja sastava jer ne postoji jedinstvena metoda koja će dati beton sa skupom određenih svojstava u svježem i očvrstlom stanju. Do sada je razvijen veliki broj metoda projektovanja sastava samozbijajućeg betona koje se međusobno znatno razlikuju prema stepenu složenosti, ciljanom svojstvu betona, te po obimu laboratorijskih ispitivanja koja je potrebno provesti. U ovom radu data je klasifikacija metoda projektovanja sastava samozbijajućeg betona po kojoj se razlikuju: empirijske metode, metode projektovanja prema čvrstoći na pritisak, metode najgušćeg pakovanja agregata, metode projektovanja prema statističkom faktorskom modelu i metode projektovanja prema reologiji paste. Empirijske metode projektovanja sastava su vrlo jednostavne metode, ali ove metode zahtijevaju opsežna laboratorijska istraživanja kako bi se dobio beton željenih svojstava. Metode projektovanja prema čvrstoći na pritisak su metode sa jasnom procedurom za dobivanje određenih količina konstituenata, čime se smanjuju potreba za opsežnim laboratorijskim ispitivanjima. Uzimaju u obzir granulometrijski sastav agregata i doprinos pucolanskih materijala, ali ipak zahtijevaju prilagođavanje svih komponenti kako bi se dobio beton optimalnih svojstava. Metode najgušćeg pakovanja agregata su jednostavne metode projektovanja koje razmatraju odnose između paste i agregata, te zahtijevaju manju količinu veziva, ali samozbijajući betoni proizvedeni prema ovim metodama često segregiraju. Metode projektovanja prema statističkom faktorskom modelu uveliko olakšavaju optimiziranje date mješavine betona smanjujući broj probnih serija, ali su ipak potrebna opsežna laboratorijska ispitivanja kako bi se uspostavili statistički odnosi. Metode projektovanja prema reologiji paste smanjuju potrebu za laboratorijskim radom i

materijalima, te pružaju osnovu za kontrolu kvaliteta i dalji razvoj novih mineralnih i hemijskih dodataka.

Zahvalnica

Autori zahvaljuju Ministarstvu obrazovanja i nauke FBiH na finansijskoj podršci.

Rezultati istraživanja prikazani u radu dio su projekta „Primjena elektrofilterskog pepela u proizvodnji samozbijajućeg betona“.

5. REFERENCE

- [1] De Schutter G., J. M. Bartos P., Domone P., Gibbs J.: Self-Compacting Concrete, Whittles Publishing, Dunbeath, 2008.,
- [2] Shi C., Wu Z., Lv K., Wu L.: A review on mixture design methods for self-compacting concrete, ELSEVIER Construction and Building Materials 84 (2015) 387-398,
- [3] Alagušić M., Lavriv F.: Eksperimentalno određivanje reoloških svojstava samozbijajućeg betona, Građevinski fakultet, Zagreb, 2010.,
- [4] Edamatsu, Y., et al.: A mix design method for self-compacting concrete based on mortar flow and funnel tests, International RILEM symposium on self-compacting concrete, RILEM Publications SARL, 2003.,
- [5] Domone, P.: Proportioning of self-compacting concrete – The UCL method, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, University College London, London, 2009.,
- [6] Ghazi F. K., Al Jadiri R. S.: New method for proportioning self-consolidating concrete based on compressive strength requirements, ACI Materials Journal, pp. 490-497 (2010).,
- [7] Dinakar P., Sethy K. P., Sahoo U. C.: Design of self-compacting concrete with ground granulated blast furnace slag, Materials & Design 2013; 43:161-169.,
- [8] Petersson O., Billberg P., Van B. K.: A model for self-compacting concrete, Proceedings of Production Methods and Workability of Concrete, 1996, E & FN Span, London, p. 483-492.,
- [9] Štirmer N., Banjad Pečur I.: Projektiranje sastava samozbijajućeg betona, GRAĐEVINAR 61 (2009) 4, 321-329.,
- [10] Su N., Hsu K., Chai H.: A simple mix design method for self-compacting concrete, Cement and Concrete Research, 2001; 31(12): 1799-807.,
- [11] Su N., Miao B.: A new method of the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, Cement and Concrete Research, 2003; 25(2): 215-22.,
- [12] Khayat K. H., Ghezal A., Hadriche M. S.: Factorial design model for proportioning self-consolidating concrete, Materials and Structures 1999; 32 (9): 679-86.,
- [13] Khayat K. H., Ghezal A., Hadriche M. S.: Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete, Materials and Structures 2000; 33 (5): 338-44.,
- [14] Sonebi, M.: Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans, Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 7, 2004, Pages 1199-1208,
- [15] Saak A.W., Jennings H. M., Shah S. P.: New methodology for designing self-compacting concrete, ACI Materials Journal 2001; 98 (6).,
- [16] Bui V. K., Akkaya Y., Shah S. P.: Rheological model for self-consolidating concrete, ACI Materials Journal 2002; 99 (6).,
- [17] Van Khanh B., Montgomery D.: Mixture proportioning method for self-compacting high performance concrete with minimum paste volume, International RILEM symposium on self-compacting concrete, 1999.,
- [18] <http://www.theconcreteportal.com>, februar 2016.,
- [19] Živković, S.: Samozbijajući beton – svojstva i tehnologija, Pregledni rad, Materijali i konstrukcije 46 (2003) 3-4, pp. 14-23.,
- [20] Vujica, M.: Samozbijajući ekološki održivi betoni, Građevinski fakultet, Zagreb, 2011.,
- [21] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use, EFNARC, Farnham, 2005.,
- [22] Liu, M.: Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete, Doctoral thesis, University College London, London, 2009.