

Primljen / Received: 6.11.2013.

Ispravljen / Corrected: 4.1.2014.

Prihvaćen / Accepted: 27.1.2014.

Dostupno online / Available online: 10.3.2014.

Utjecaj granulometrijskog sastava na svojstva procjednog betona

Autori:



Dr.sc. **Silvija Mrakovčić**, mag.ing.aedif.
Sveučilište u Rijeci
Građevinski fakultet
silivija.mrakovic@uniri.hr



Nina Čeh, mag.ing.aedif.
Sveučilište u Rijeci
Građevinski fakultet
nina.ceh@uniri.hr



Vedrana Jugovac, mag.ing.aedif.
Sveučilište u Rijeci
Građevinski fakultet
vedranajugovac@gmail.com

Prethodno priopćenje

Silvija Mrakovčić, Nina Čeh, Vedrana Jugovac

Utjecaj granulometrijskog sastava na svojstva procjednog betona

U radu su eksperimentalno određena svojstva svježeg i očvrstnalog procjednog betona. Analizirana je zavisnost tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće savijanjem te koeficijenta protočnosti o granulometrijskom sastavu agregata. Budući da ne postoji propisani način određivanja protjecanja vode kroz procjedni beton, ispitivanje je provedeno sukladno poznatim metodama, ali s pomoću samostalno izrađenih pomagala. Na uzorcima s diskontinuiranom granulometrijskom krivuljom, gdje udio frakcije pijeska 0-2 mm u sastavu mješavina nije prelazio 15 %, dobiveni su optimalni rezultati čvrstoće i protočnosti.

Ključne riječi:

procjedni beton, čvrstoća, granulometrijski sastav, koeficijent protočnosti

Preliminary note

Silvija Mrakovčić, Nina Čeh, Vedrana Jugovac

Effect of aggregate grading on pervious concrete properties

Fresh and hardened pervious concrete properties are experimentally determined in the paper. The correlation between the compressive strength, flexural tensile strength, flow coefficient, and aggregate grading is analysed. As there is no approved method for determining the flow of water through pervious concrete, the testing was conducted in accordance with the already known methods, but using own apparatus. Optimum strength and flow capacity results were obtained on gap graded samples with the 0-2 mm sand content of less than 15 %.

Key words:

pervious concrete, strength, aggregate grading, flow coefficient

Vorherige Mitteilung

Silvija Mrakovčić, Nina Čeh, Vedrana Jugovac

Einfluss der Kornzusammensetzung auf die Eigenschaften durchlässigen Betons

In dieser Arbeit sind Eigenschaften frischen und gehärteten durchlässigen Betons durch experimentelle Versuche ermittelt worden. Der Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Durchflusskoeffizient und Gesteinskörnung ist analysiert worden. Da kein bestimmtes Verfahren zur Ermittlung des Wasserflusses durch durchlässigen Beton vorgeschrieben ist, sind in den Versuchen bekannte Vorgehensweisen mittels der eigenen Ausrüstung angewandt worden. Optimale Resultate in Bezug auf Festigkeit und Durchlässigkeit sind an Proben mit diskontinuierlichen Sieblinien erzielt worden, die einen 0-2 mm Sandkorngehalt unter 15 % nachweisen.

Schlüsselwörter:

durchlässiger Beton, Festigkeit, Gesteinskörnung, Durchflusskoeffizient

1. Uvod

Beton koji, u odnosu na obične betone, sadrži znatno veću količinu pora čime je povećana brzina tečenja vode kroz njegovu strukturu, u engleskom se govornom području naziva "pervious concrete", a u ovome je radu usvojen pojam procjedni beton. Udio međusobno povezanih pora veličine 2 do 8 mm, iznosi od 15 do 35 % volumena očvrstnalog betona [1], a postiže se izradom jednofrakcijskog betona ili posebnim granulometrijskim sastavom agregata gdje se u granulometrijskoj krivulji javlja praznina, odnosno nedostaje neka od središnjih frakcija. Preporučene veličine zrna agregata, za ovakve betone, u rasponu su od 9,5 do 19 mm [2], dakle, u potpunosti se izostavlja sitni agregat ili se dodaje u manjem postotku. Uslijed takve strukture, procjedni betoni spravljeni bez aditiva imaju relativno malu tlačnu čvrstoću, od 2,8 do 28 MPa [2, 3, 4]. Da ne bi došlo do zapunjavanja pora cementnom pastom, njezina se količina regulira nižim vodovodivnim omjerom, koji je obično u rasponu od 0,26 do 0,5 [5, 6, 7]. Zbog relativno male čvrstoće a velike propusnosti, procjedni su betoni pogodni za izradu slabije opterećenih betonskih prometnih površina, nogostupa i parkirališta, i to u područjima gdje su česte obilne padaline. Procjedni betoni omogućuju brzo otjecanje vode s prometnih površina bez potrebe za izgradnjom kompliciranijih sustava odvodnje. Također, prolaskom kroz beton voda prodire do korijenja drveća što pogoduje ozelenjavanju u urbanim sredinama čime se sprječava stvaranje toplinskih otoka. Svrha proučavanja procjednih betona je u postizanju prihvatljive protočnosti uz prihvatljivu tlačnu i vlačnu čvrstoću savijanjem. U radu je analiziran utjecaj granulometrije i veličine zrna agregata

Tablica 2. Sastav drobljenog vapnenca [9]

Naziv stijene ili minerala	Udio mineraloško - petrografskih sastojaka po frakcijama [%]				
	0,5-1	2-4	4-8	8-16	16-32
Vapnenac		100,00	100,00	100,00	100,00
Vapnenac (mikrit)	75,80				
Vapnenac (mikrit sa sparitom)	13,23				
Vapnenac (sparit)	10,97				

Tablica 3. Karakteristična svojstva drobljenog vapnenca [10]

Fizikalno - mehanička svojstva	Norma	Postignuta vrijednost
Otpornost na habanje	HRN EN 1097-1:2004	$M_{DE} = 14$
Otpornost na drobljenje	HRN EN 1097-2:2004	$LA_{(10-14)} = 26$ $LA_{(8-16)} = 28$
Otpornost na abraziju	HRN EN 1097-8:2009	$AAV = 9,33$
Otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje	HRN EN 1367-1:2008	$F = 0,2 \%$
Postojanje u vodi topivih soli klorida		0,003 % (0-4)
Postojanje lakih zagađenja		nije evidentirano (0-4)
Postojanje humusa		nije evidentirano (0-4)
Gustoća osušenih zrna agregata	HRN EN 933-6:2004	$\rho_{rd} = 2,67 \text{ g/cm}^3$

na poroznost, propusnost te tlačnu i vlačnu čvrstoću savijanjem procjednih betona. Na osnovi rezultata laboratorijskih ispitivanja optimaliziran je sastav mješavina s ciljem postizanja zadovoljavajućih svojstava važnih za ovu vrstu betona.

2. Komponente sastava procjednog betona vlastite recepture

2.1. Cement

Pri izradi mješavina procjednog betona korišten je portland cement CEM I 42,5R, čisti portland cement opće namjene razreda tlačne čvrstoće 42,5 s brzim ranim očvršćivanjem. Mješavine su spravljane s 300 kilograma cementa za kubni metar betona. Karakteristična svojstva upotrijebljenog cementa prikazana su u tablici 1.

Tablica 1. Karakteristična svojstva cementa [8]

Svojstvo	Postignuta vrijednost	Zahtjev norme
Gustoća	3,25 kg/m ³	
Gubitak žarenjem	2,0 ± 0,5 %	≤ 5,0
Netopivi ostatak	0,25 ± 0,05 %	≤ 5,0
SO ₃	3,2 ± 0,3 %	≤ 4,0
Kloridi	0,02 ± 0,01 %	≤ 0,1
Vrijeme vezanja (početak) pri temperaturi 20°C	125 ± 35 min	≥ 60
Rana čvrstoća (2 dana)	29 ± 2 MPa	≥ 20
Normirana čvrstoća	54 ± 2 MPa	≥ 42,5; ≤ 62,5

2.2. Agregat

Upotrijebljeni drobljeni vapnenac proizveden je u kamenolomu Garica na otoku Krku, a njegov sastav i svojstva prikazani su u tablicama 2. i 3. Pri izradi mješavina korištene su, ovisno o projektu sastava, neke od frakcija 0-4, 4-8, 8-16, 11-16 i 16-22, tako da se granulometrijske krivulje za pojedine mješavine međusobno razlikuju.

2.3. Voda

Prilikom pripravljanja mješavina procjdnog betona upotrijebljena je pitka voda iz vodovoda, pa nisu bila potrebna dodatna ispitivanja kvalitete. Vodocementni omjer, ovisno o mješavini, bio je od 0,3 za uzorke bez sitnog agregata do 0,35 za uzorke s dodatkom pijeska.

3. Izrada mješavina procjdnog betona

U eksperimentalnom su dijelu pripremljene 22 mješavine procjdnog betona, od kojih 14 u prvoj fazi, a nakon dobivanja podataka o tlačnoj čvrstoći i propusnosti, još 4 mješavine u drugoj fazi te 4 mješavine u trećoj fazi. Sastav mješavina prikazan je u tablici 4.

Mješavine betona izrađene su u Laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Prvi pripremljeni uzorak vibriran je prilikom ugradnje 15 s da bi se pokazalo kako mješavine procjdnih betona nisu pogodne za vibriranje jer dolazi do segregacije većeg dijela cementne paste na dno kalupa (slika 1.a). Takav bi način ugradnje negativno utjecao na procjedna svojstva ovih betona. Iz tog su razloga mješavine procjdnog betona ugrađivane u kalupe u slojevima, jednoliko raspoređenim nabijanjem čeličnom šipkom pazeći da šipka ne udara prejako u dno kalupa prilikom ugrađivanja prvog sloja te da ne ulazi dublje u prethodni sloj prilikom ugradnje ostalih slojeva. Svaki je sloj, visine 1/3 kalupa, nabijan s 25 udaraca. Pri takvom načinu ugradnje nije dolazilo do segregacije cementne paste (slika 1. b). Od svake su mješavine N1 do N14, sukladno normi [11], izrađene po 3 kocke dimenzija

Tablica 4. Sastav mješavina procjdnog betona

Oznaka mješavine	v / c	Pore* [%]	Krupni agregat frakcija [mm] / udio [%]	Pijesak frakcija [mm] / udio [%]
N1	0,3	20	16-32 / 100	/
N2	0,3	20	4-8 / 100	/
N3	0,3	20	8-16 / 100	/
N4	0,3	20	4-8 / 50 16-32 / 50	/
N5	0,35	20	8-16 / 90	0-4 / 10
N6	0,35	20	8-16 / 80	0-4 / 20
N7	0,35	20	8-16 / 70	0-4 / 30
N8	0,35	20	4-8 / 40 8-16 / 40	0-4 / 20
N9	0,3	20	4-8 / 50 16-22 / 50	/
N10	0,35	20	4-8 / 40 16-22 / 40	0-4 / 20
N11	0,3	20	11-16 / 100	/
N12	0,35	20	11-16 / 90	0-4 / 10
N13	0,35	20	11-16 / 80	0-4 / 20
N14	0,35	20	4-8 / 40 16-22 / 40	0-4 / 20
P1	0,35	20	8-16 / 90	0-4 / 10
P2	0,3	20	4-8 / 50 16-22 / 50	
P3	0,35	20	4-8 / 45 16-22 / 45	0-4 / 10
P4	0,35	20	4-8 / 40 16-22 / 45	0-4 / 15
V1	0,35	20	4-8 / 45 16-22 / 45	0-4 / 10
V2	0,35	20	11-16 / 90	0-2 / 10
V3	0,35	20	4-8 / 45 16-22 / 45	0-2 / 10
V4	0,35	20	4-8 / 40 16-22 / 45	0-2 / 15

* pretpostavljeno prilikom projektiranja sastava, nije eksperimentalno provjereno



Slika 1. Izrada uzoraka: a) vibrirani uzorak betonske kocke; b) nevibrirani uzorci betonskih prizmi; c) uzorci za ispitivanje protočnosti

150x150x150 mm za ispitivanje protočnosti na kojima je kasnije ispitana tlačna čvrstoća. Za mješavine P1 do P4 i V1 do V4 izrađene su po 3 kocke za ispitivanje tlačne čvrstoće i 3 prizme dimenzija 100x100x400 mm za ispitivanje vlačne čvrstoće na savijanje te po 3 valjka u plastičnim cijevima promjera 110 mm i visine 250 mm za ispitivanje protočnosti (slika 1.c). Njegovanje uzoraka sukladno normi [11] trajalo je 28 dana, od čega su prva 24 sata čuvani u kalupima, na zraku, pri temperaturi od 21°C nakon čega su raskalupljeni i njegovani ostatak vremena u vodi temperature 20±2°C. Uzorci u plastičnim cijevima nisu raskalupljeni, čuvani su u vodi 28 dana radi potpune saturacije uzoraka prilikom ispitivanja protočnosti.

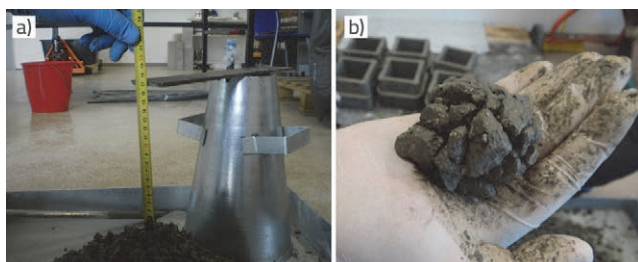
4. Eksperimentalna ispitivanja svojstava procjdnog betona

U laboratoriju za materijale Građevinskog fakulteta u Rijeci provedena su ispitivanja konzistencije, poroznosti svježeg betona, protočnosti te vlačne čvrstoće na savijanje prema [12]. Ispitivanja tlačne čvrstoće uzoraka, prema [13], provedena su u laboratoriju tvrtke Goran graditeljstvo d.o.o. na Kukuljanovu.

4.1. Ispitivanje konzistencije

Konzistencija se kod klasičnih betona najčešće ispituje jednom od metoda prema [14-17]. Ispitivanje konzistencije procjdnih betona takvim standardnim metodama daje nerealne rezultate (slika 2.a) što navodi na zaključak da konzistenciju treba ispitati metodom koja je namijenjena posebno procjdnim betonima i koja uzima u obzir njegova specifična svojstva. Prema [2], ispitivanje konzistencije procjdnog betona može se provesti na dva načina, metodom nazvanom obrnuti slump [18] ili metodom oblikovanja grudice svježeg betona rukom [19].

Prilikom ispitivanja konzistencije svježih mješavina procjdnog betona odabrana je metoda oblikovanja grudice. Manja količina mješavine zahvaćena je rukom i oblikovana je kuglica koja se promatra na raširenom dlanu. Ako kuglica zadržava svoj oblik, ne odvajaju se zrna i ne izdvaja se cementno mlijeko, mješavina ima zadovoljavajuću konzistenciju. Sve su ispitane mješavine pokazale zadovoljavajuću konzistenciju (slika 2.b).



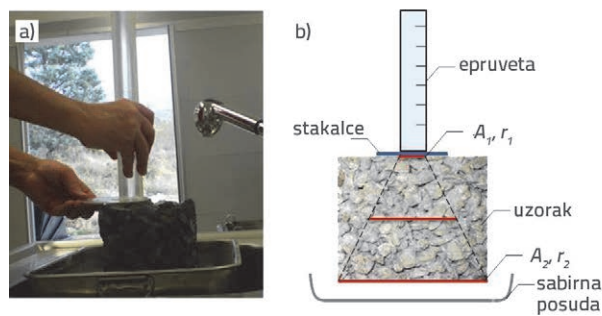
Slika 2. Ispitivanje konzistencije procjdnog betona: a) slijeganjem; b) metodom grudice

4.2. Određivanje koeficijenta protočnosti

Hidraulička provodljivost procjdnih betona izravno je povezana s poroznošću betona i veličinom pora. Ispitivanja [20] pokazala su da očvrtnuli procjdni beton treba sadržavati najmanje 15 % pora kako bi se postiglo značajnije procjeđivanje vode kroz njegovu matricu. Prema [3], procjdni betoni s 20 do 30 % pora pokazuju zadovoljavajuća svojstva, pa je prilikom projektiranja sastava mješavina odabran udio od 20 % pora u volumenu betona. Koeficijent propusnosti za procjedne betone iznosi od 0.2 do više od 1.2 cm/s [19], no zasad ne postoji propisani način ispitivanja protjecanja vode kroz procjdni beton.

4.2.1. Određivanje koeficijenta protočnosti metodom padajuće razine stupca vode

Koeficijent protočnosti za prvih 14 mješavina procjdnog betona određivan je metodom padajuće razine stupca vode kao što je rađeno u [21], samostalno osmišljenim načinom provođenja pokusa (slika 3.). Uzorci oblika kocke, koji su držani u vodi do 28 dana starosti, bili su u potpunosti saturirani vodom u trenutku ispitivanja da bi se anulirao otpor koji zrak u porama pruža tečenju vode. Na sredinu gornje površine uzorka postavljena je staklena pločica te na nju baždarena menzura bez dna koja je punjena vodom do razine 300 mm. Nakon punjenja stakalce je naglo izmaknuto uz istodobno pokretanje mjernog sata. Mjereno je vrijeme potrebno da sva voda isteče iz epruvete.



Slika 3. Određivanje koeficijenta protočnosti za prvih 14 mješavina: a) provođenje pokusa; b) shematski prikaz pokusa

Kako bi se u obzir mogla uzeti efektivna površina protjecanja vode kroz uzorak, izvedeno je nekoliko pokusnih ispitivanja, pri kojima je primijećeno da voda ne istječe kroz bočne stranice uzoraka kocki, no istječe kroz gotovo cijelu donju površinu uzorka. Na temelju navedenih opažanja aproksimirana je efektivna površina protjecanja prema izrazima:

$$r_{\text{eff}} = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (1)$$

$$A_{\text{eff}} = r_{\text{eff}}^2 \cdot \pi \quad (2)$$

gdje su:

- r_{eff} – efektivni ili srednji polumjer,
- r_1 – polumjer poprečnog presjeka epruvete,
- r_2 – polumjer upisane kružnice kvadratne baze uzorka kocke,
- A_{eff} – efektivna površina protjecanja.

Koeficijent protočnosti izračunan je prema izrazu:

$$k_p = \frac{V}{A_{\text{eff}} \cdot (t_2 - t_1)} \quad (3)$$

gdje je:

- k_p – koficijent protočnosti metodom padajuće razine stupca vode [cm/s],
- t_1 – vrijeme početka eksperimenta [s],
- t_2 – vrijeme kraja eksperimenta [s],
- V – količina vode sakupljena u vremenu Δt [cm³].

4.2.2. Određivanje koeficijenta protočnosti metodom stalne razine stupca vode

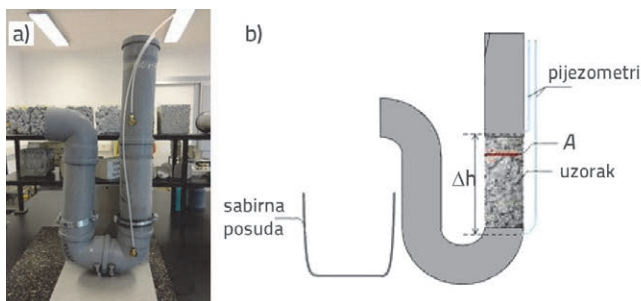
Koeficijent protočnosti za mješavine P1-P4 i V1-V4 određivan je na valjcima opisanima u 2.4 metodom stalne razine stupca vode koju su koristili u radu [6]. Metoda je pogodna za materijale kojima je koeficijent protočnosti $k > 10^{-4}$ cm/s, a zasniva se na Darcyjevom zakonu te se koeficijent protočnosti računa prema izrazu

$$k_s = \frac{L}{\Delta h} \cdot \frac{V}{A \cdot (t_2 - t_1)} \quad (4)$$

gdje je:

- k_s – koficijent protočnosti [cm/s],
- L – visina uzorka [cm],
- Δh – hidraulička razlika razina vode [cm],
- t_1 – vrijeme početka eksperimenta [s],
- t_2 – vrijeme kraja eksperimenta [s],
- V – količina vode sakupljena u vremenu $t_2 - t_1$ [cm³],
- A – procjedna površina [cm²].

Ispitivanje je provedeno na uzorcima P1 - P4 i V1 - V4. Izrađen je vlastiti sklop za ispitivanje koji je prikazan na slici 4.



Slika 4. Određivanje koeficijenta protočnosti za prvih 14 mješavina:
a) sklop za provođenje pokusa; b) shematski prikaz pokusa

4.3. Ispitivanje tlačne čvrstoće

Tlačna je čvrstoća ispitana na uzorcima oblika kocke dimenzija 150x150x150 mm prema [13]. Ispitivanje je uzoraka kocki provedeno nakon 28 dana od datuma spravljanja betona na uzorcima kojima nisu prethodno brušene stranice te pretpostavljamo da zbog toga nije dobivena najveća moguća vrijednost tlačne čvrstoće. Kod procjdnog je betona postupak brušenja površina preko kojih se nanosi opterećenje vrlo bitan. Zbog veličine i količine pora, veća je vjerojatnost da površina nije ravna i da se opterećenje neće prenositi preko cijele površine, već preko izbočenog zrna ili nekoliko zrna agregata. Uslijed pomaka zrna agregata, preša evidentira lom uzorka. Na taj način je moguće dobiti tlačnu čvrstoću procjdnog betona, koja je manja od stvarne tlačne čvrstoće.

4.4. Ispitivanje vlačne čvrstoće

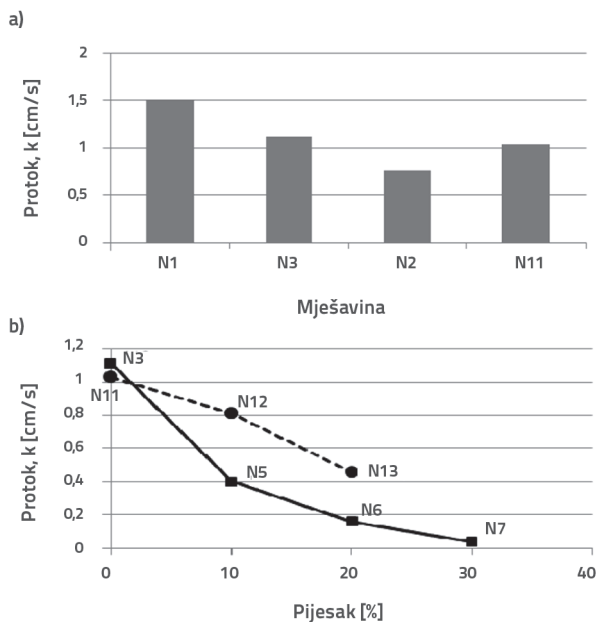
Vlačna je čvrstoća ispitana savijanjem na uzorcima oblika prizme dimenzija 100x100x400 mm prema [22]. Ispitivanje uzoraka prizmi provedeno je nakon 28 dana od datuma spravljanja betona.

5. Analiza rezultata ispitivanja

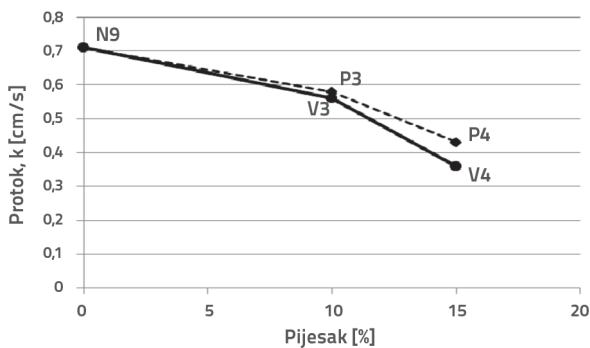
Provedena su laboratorijska ispitivanja na uzorcima svježeg i očvrstnalog betona. Konzistencija svježeg betona ispitana je na svim mješavinama i svi su uzorci pokazali zadovoljavajuću konzistenciju.

Hidraulička je protočnost ispitana na dva načina: na uzorcima N1 do N14 primjenom metode promjenjive razine stupca tekućine (slika 5.) dok je na ostalim uzorcima ispitana metodom stalne razine stupca tekućine (slika 6.). Rezultati dobiveni drugom metodom uzeti su kao mjerodavni budući da je voda tekla pod stalnim tlakom stupca tekućine te uvijek jednakom površinom poprečnog presjeka uzorka. Kod mješavina jednofrakcijskih procjdnih betona veću su protočnost imali betoni veće nazivne frakcije, među njima oni s manjim udjelom pijeska te veće razlike između promjera najvećeg i najmanjeg zrna (slika 5.). Betonima od dvije frakcije, ali s izostankom središnje frakcije (4-8 i 16-22), hidraulička je protočnost također opadala s dodatkom većeg postotka pijeska ili sa smanjivanjem najvećeg zrna pijeska (slika 6.). Mješavine kojima je dodano više od 15 % pijeska nisu davale zadovoljavajuće rezultate hidrauličke protočnosti predviđene prema [19].

Tlačna je čvrstoća ispitana na svim uzorcima prema normi [13]. Kod jednofrakcijskih procjdnih betona veću su tlačnu čvrstoću imali betoni manje nazivne frakcije (slika 7.a). Kod svih je betona potvrđeno, očekivano, da betoni s većim postotkom pijeska postižu veće čvrstoće (slika 7.b). Vlačna je čvrstoća ispitana na uzorcima mješavina P1 do P4 i V1 do V4. Na slici 8. prikazani su rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće na uzorcima dvofrakcijskog procjdnog betona (4-8 i 16-22) s različitim udjelom dodanog pijeska granulacije 0-4.



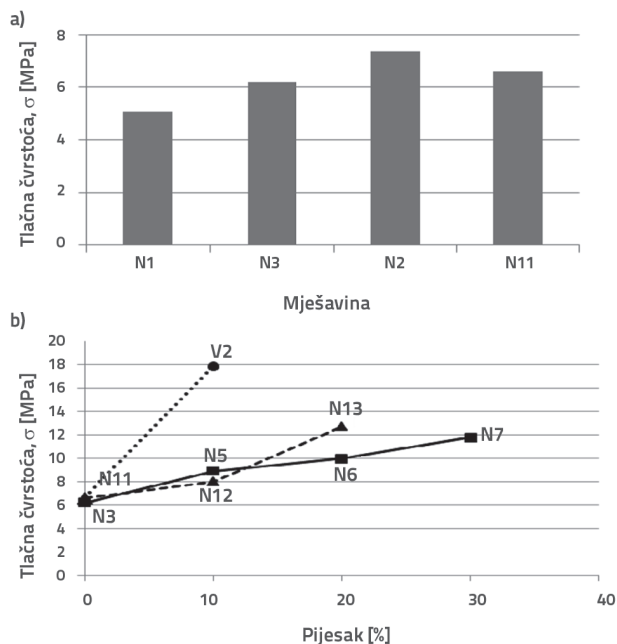
Slika 5. Jednofrakcijski betoni: a) dijagram zavisnosti protoka o frakciji; b) dijagram zavisnosti protoka o udjelu pijeska u procjednom betonu



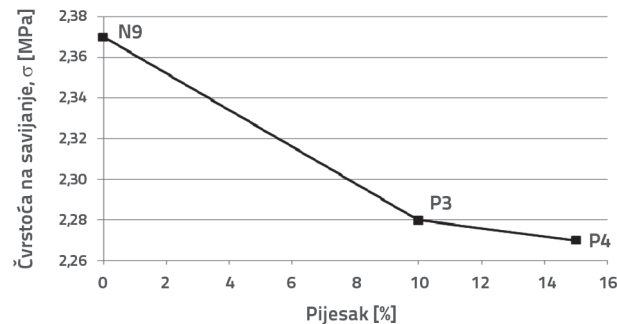
Slika 6. Dijagram ovisnosti protoka o udjelu pijeska u dvofrakcijskom

6. Zaključak

Procjedni subetoni pogodni za izgradnju slabije opterećenih prometnih površina s kojih omogućuju odvodnju kišnice bez potrebe za gradnjom složenih odvodnih sustava. Različitom granulometrijskom sastavom agregata za procjedni beton utječe se na vrijednosti koeficijenta protočnosti te tlačne čvrstoće. Veća se protočnost postiže izostankom sitnog agregata, uporabom jednofrakcijskih betona, odnosno dvofrakcijskih s izostankom središnje frakcije. Tlačna se čvrstoća povećava dodatkom pijeska, ali do 15 % jer veći udio pijeska značajno smanjuje procjedna svojstva ovih betona. Najveću tlačnu čvrstoću od 17,90 MPa imali su uzorci jednofrakcijskog procjednog betona s agregatom 11-16 mm i dodatkom 10 % pijeska granulacije 0-2. Najveća hidraulička protočnost od 2,19 cm/s postignuta je jednofrakcijskim procjedinim



Slika 7. Jednofrakcijski betoni: a) dijagram ovisnosti tlačne čvrstoće o frakciji; b) dijagram ovisnosti tlačne čvrstoće o udjelu pijeska u procjednom betonu



Slika 8. Dijagram ovisnosti vlačne čvrstoće savijanjem o udjelu pijeska u dvofrakcijskom procjednom betonu

betonom s agregatom 8-16 mm i dodatkom 10 % pijeska granulacije 0-2. Najveće zrno agregata koje je pogodno za jednofrakcijske ili dvofrakcijske procjedne betone jest ono od 22 mm. Na temelju ispitivanja konzistencije svježih betonskih mješavina vidljivo je da se konzistencija takvih betona ne može određivati metodom slijeganja. Pogodnom se pokazala metoda oblikovanja grudice betona prema [19]. Određivanje koeficijenta protočnosti provedeno je na dva načina: metodom padajuće razine stupca vode i metodom stalne razine stupca vode na potpuno saturiranim uzorcima što je prikladnija metoda jer nema promjene tlaka stupca tekućine. Rezultati ovog istraživanja poslužit će kao podloga za daljnje analize svojstava procjedinih betona. Provest će se dodatna optimalizacija svojstava procjedinih betona. Analizirat će se mogućnost primjene aditiva te recikliranih betonskih agregata.

LITERATURA

- [1] Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2011.
- [2] Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2010.
- [3] Huang, B., Wu, H., Shu, X. & Burdette, E.G.: Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 24, pp. 818-823, 2010, doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025
- [4] Deo, O. & Neithalath, N.: Compressive behaviour of pervious concretes and quantification of the influence of random pore structure features, *Material Science and Engineering*, 528, pp. 402-412, 2010, doi:10.1016/j.msea.2010.09.024
- [5] Bhutta, M.A.R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M.W., Tahir, M.M., Mirza, J.: Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate), *Construction and building materials*, 47, pp. 1243-1248, 2013.
- [6] Kuo, W-T., Liu, C-C, Su, D-S: Use of washed municipal solid waste incinerator bottom ash in pervious concrete, *Cement & Concrete Composites*, 37, pp. 328-335, 2013.
- [7] Chindapasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N., Yuasa, Y.: Cement paste characteristics and porous concrete properties, *Construction and Building Materials*, 22, pp. 894-901, 2008, doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.12.007
- [8] Katalog rasutih cemenata <http://www.cemex.hr>, 01.02.2013.
- [9] Izvještaj o ispitivanju broj 61051-50-2418/12, Dokumentacija GP Krk d.d., 26.10.2012.
- [10] Izvještaj o ispitivanju broj 61053-20-2862/12, Dokumentacija GP Krk d.d., 29.11.2012.
- [11] HRN EN 12390-2 Ispitivanje očvrslunoga betona - 2. dio: Izrada i njega ispitnih uzoraka za ispitivanje čvrstoća (EN 12390-2:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [12] HRN EN 12390-5 Ispitivanje očvrslunoga betona - 5. dio: Čvrstoća ispitnih uzoraka na savijanje (EN 12390-5:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [13] HRN EN 12390-3 Ispitivanje očvrslunoga betona - 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka (EN 12390-3:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [14] HRN EN 12350-2 Ispitivanje svježeg betona - 2. dio: Ispitivanje slijeganjem (EN 12350-2:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [15] HRN EN 12350-3 Ispitivanje svježeg betona - 3. dio: Vebe ispitivanje (EN 12350-3:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [16] HRN EN 12350-4 Ispitivanje svježeg betona - 4. dio: Stupanj zbijenosti (EN 12350-4:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [17] HRN EN 12350-5 Ispitivanje svježeg betona - 5. dio: Ispitivanje rasprostriranjem (EN 12350-5:2009), Hrvatski zavod za norme, 2009.
- [18] Kevern, J.T., Schaefer, V.R., Wang, K.: Predicting Performance of Pervious Concrete using Fresh Unit Weight, *Proceedings of the 2009 NRMCA Concrete Technology Forum: Focus on Performance Prediction*, Cincinnati, 2009.
- [19] Tennis, P.D., Leming, M.L., Akers, D.J.: *Pervious Concrete Pavements*, Portland Cement Association, Skokie, 2004.
- [20] Meininger, R.C.: No-Fines Pervious Concrete for Paving, *Concrete International*, V, 10, pp. 20-27, 1988.
- [21] Yang, J., Jiang, G.: Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, *Cement and Concrete Research*, 33, pp. 381-386, 2003.
- [22] HRN EN 12390-5 Ispitivanje očvrslunoga betona - 3. dio: Čvrstoća ispitnih uzoraka na savijanje