

Primljen / Received: 8.8.2015.

Ispravljen / Corrected: 16.1.2016.

Prihvaćen / Accepted: 24.2.2016.

Dostupno online / Available online: 10.7.2016.

Analiza svojstava procjedinog betona

Autori:



Mr.sc. **Rama Mahalingam**, dipl.ing.građ.
Državno tehničko sveučilište
Građevinski fakultet
Tamil Nadu, Indija
ramamahal@gmail.com



Izv.prof.dr.sc. **Shanthi Vaithiyalingam Mahalingam**
Državno tehničko sveučilište
Građevinski fakultet
Tamil Nadu, Indija
drvmsanthi@gmail.com

Stručni rad

Rama Mahalingam, Shanthi Vaithiyalingam Mahalingam

Analiza svojstava procjedinog betona

U radu se analiziraju svojstva procjedinog betona poput tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće cijepanjem, vlačne čvrstoće savijanjem, poroznosti i propusnosti, i to za dvije frakcije agregata i za različite udjele agregata i cementa. Iako se pokazalo da se s višim udjelom cementa postižu bolji rezultati u pogledu čvrstoće, na taj se način dobivaju niže vrijednosti poroznosti i propusnosti. Ocjenjuje se i odnos između poroznosti, propusnosti i tlačne čvrstoće procjedinog betona za različite veličine agregata i različite udjele cementa. Rezultati ispitivanja pokazuju da se može postići mješavina procjedinog betona koja ima prihvatljive vrijednosti propusnosti i čvrstoće.

Ključne riječi:

procjedni beton, porni beton, poroznost, propusnost

Professional paper

Rama Mahalingam, Shanthi Vaithiyalingam Mahalingam

Analysis of pervious concrete properties

Various properties of pervious concrete, such as the compressive strength, split tensile strength, flexural strength, porosity and permeability, are studied in this paper for two aggregate gradations with different aggregate to cement ratios. Although the higher cement content exhibited better results for strength properties, the porosity and permeability results were lower. This study also aims to evaluate the balance between the porosity, permeability and compressive strength of pervious concrete for different aggregate size and cement content values. The test results show that it is possible to produce a pervious concrete mixture with acceptable permeability and strength values.

Key words:

pervious concrete, porous concrete, porosity, permeability

Fachbericht

Rama Mahalingam, Shanthi Vaithiyalingam Mahalingam

Analyse der Eigenschaften von Sickerbeton

In dieser Arbeit werden Eigenschaften von Sickerbeton, insbesondere die Druckfestigkeit, die Spaltzugfestigkeit, die Biegezugfestigkeit, die Porosität und die Durchlässigkeit, für zwei Fraktionen von Gesteinskörnungen und zwei verschiedene Zementanteile analysiert. Obwohl sich gezeigt hat, dass bei höheren Zementanteilen bessere Reultate bezüglich der Festigkeit erzielt werden, zeigen sich dementsprechend tiefere Werte der Porosität und der Durchlässigkeit. Ebenso wird das Verhältnis zwischen Porosität, Durchlässigkeit und Druckfestigkeit von Sickerbeton für verschiedene Gesteinskörnungen und Zementanteile beurteilt. Die Resultate der Untersuchungen zeigen, dass eine Sickerbetonmischung mit akzeptablen Eigenschaften erzielt werden kann.

Schlüsselwörter:

Sickerbeton, Gasbeton, Porosität, Durchlässigkeit

1. Uvod

U današnje se vrijeme bilježi sve veći nedostatak prirodnih resursa zbog nagle urbanizacije i razvoja infrastrukturnih sadržaja. Zbog dinamičnog razvoja indijskih gradova, prostor u njima u velikoj je mjeri zauzet zgradama i nepropusnim betonskim kolnicima. Kiša ne dopire do podzemlja jer betonski kolnici ne propuštaju ni vodu ni zrak. Inženjeri zbog toga razvijaju razne strategije kako bi zaštitili i obnovili prirodni ekosustav našeg planeta. Jedna od tih strategija je i primjena procjdnog betona, a radi se o posebnoj vrsti betona koju karakterizira visoka razina propusnosti i poroznosti. Procjedni beton je mješavina cementa, ujednačene frakcije krupnozrnatog agregata, sitnozrnatog agregata u maloj količini ili bez njega, vode te po mogućnosti aditiva. Od odgovarajuće količine vode i cementnog materijala formira se kašasti materijal (pasta) kojim se ovijaju zrna agregata, ali prostor između pojedinih zrna ostaje prazan. Ako se količina sitnozrnatog agregata jako smanji ili se takav materijal u potpunosti izostavi, u betonu se stvaraju velike i kontinuirane šupljine. Osnovni zadatak je pronos većih količina vode kroz pore betona u podzemne slojeve. Procjedni beton poznat je i kao beton bez sitnih frakcija, porni beton ili propusni beton. Kolnici od procjdnog betona stekli su popularnost kao djelotvoran način za upravljanje olujnim padalinama, kao materijal koji omogućuje smanjivanje količine vode koja se izlijeva u okoliš te kao prikladan način za smanjenje koncentracije zagađujućih supstancija. Zbog svoje sposobnosti glede propuštanja oborinskih voda, koristi se za parkirališne prostore, zone s niskim prometnim opterećenjem, pločnike i druge površine, a također i za neke druge prostore slične namjene. Procjedni se beton može koristiti i kao beton za izvođenje zidnih konstrukcija kada se treba smanjiti težina konstrukcije ili pak postići bolja toplinska izolacija, zatim kao površinski sloj za parkirališta, teniske terene, odgovarajuće prostore u zooškim vrtovima, pregrade u konjušnicama itd., te kao podna obloga u staklenicima kako bi se izbjeglo nakupljanje vode [1-3].

Danas se procjedni beton sve više upotrebljava zbog svojih svojstava koja su u skladu s načelima održivosti [4]. Taj se beton smatra ekološki prihvatljivim zato što umanjuje buku koja nastaje tijekom kontakta između pneumatika i kolnika, ublažava efekt vrućeg otoka u urbanim sredinama, smanjuje prskanje vode na cestama, umanjuje proklizavanje vozila, pridonosi povećanju razine podzemnih voda, smanjuje otjecanje oborinskih voda, ograničava prodor zagađivala u podzemnu vodu i štiti prirodne ekosustave [5]. Unatoč spomenutim pogodnostima, primjena procjdnog betona u hladnim klimatskim uvjetima ipak je ograničena i to zbog njegove niske tlačne čvrstoće, mogućnosti začepjenja, izraženijeg krunjenja i slabe otpornosti na zamrzavanje i odmrzavanje. U usporedbi s uobičajenim vrstama betona, svojstva procjdnog betona neosporno upućuju na njegovu održivost [7]. Neke od važnijih značajki procjdnog betona su niža jedinična težina i otpornost na skupljanje pri sušenju, izraženija propusnost, bolja termoizolacijska svojstva, niža tlačna, vlačna i čvrstoća prijanjanja, manji pritisak na oplatu tijekom ugradnje, dulje vrijeme njege prije skidanja oplate,

izostanak kapilarnog privlačenja, te ekonomičnost materijala. Kod visokog stupnja poroznosti, vodopropusnost se toga betona povećava, ali se smanjuje tlačna čvrstoća jer nema sitnozrnatog agregata [8]. Zato je izuzetno važno odrediti optimalnu razinu poroznosti kako bi se postigla potrebna svojstva čvrstoće i propusnosti.

Cilj je ovog rada istraživanje mehaničkih i hidrauličkih svojstava primjenom različitih parametara. Parametri koji se mijenjaju su veličina i količina krupnozrnatog agregata, pri čemu količina cementa i vode ostaje ista. Utjecaj tih parametara na mehanička svojstva kao što su tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem i vlačna čvrstoća savijanjem, te na hidraulička svojstva kao što su poroznost i propusnost, ispitan je u skladu s odgovarajućim ASTM normama. Pritom je težište na odnosu između različitih svojstava.

2. Materijali

Čvrstoća procjdnog betona ovisi o količini cementa, vodocementnom faktoru, stupnju zbijenosti i frakciji agregata. Kako bi se postigla zadana ugradljivost procjdnog betona s uglatim agregatom, treba se obično predvidjeti više paste nego kod procjdnog betona koji u sebi sadrži obli agregat ujednačene veličine. Međutim, procjedni beton s uglatim agregatom ima veću vlačnu čvrstoću od betona proizvedenog s oblim agregatom, što je ustanovljeno uspoređivanjem uzoraka procjdnog betona iste gustoće i poroznosti. Uglatim agregatom dobiva se bolja pasta za povezivanje agregata. Stoga je kao krupnozrnati agregat odabran granit lokalnog podrijetla. U ovom su istraživanju korištene dvije frakcije: agregat koji prolazi kroz sito promjera 9,5 mm i koji se zadržava na situ promjera 4,75 mm, te agregat koji prolazi kroz sito promjera 12,5 mm i koji se zadržava na situ promjera 9,5 mm. U izradi uzoraka korišten je običan portlandski cement klase 53. Za miješanje betona i njegu uzoraka korištena je pitka voda dostupna u laboratoriju, s pH-vrijednošću od najmanje 6, koja je u skladu sa zahtjevima 456-2000. U okviru projektiranja mješavine obavljena su osnovna ispitivanja cementa, vode i krupnozrnatog agregata, a dobiveni parametri uključeni su u recepturu mješavine.

2.1. Svojstva materijala dobivena tijekom ispitivanja

Svojstva materijala dobivena tijekom ispitivanja prikazana su u tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Rezultati za krupnozrnati agregat

Opis	Rezultat	
	9,5 mm – 4,75 mm	12,5 mm – 9,5 mm
Specifična gustoća	2,87	2,68
Nasipna gustoća [kg/m ³]	1600	1538
Vodoupojnost [%]	1	1

Tablica 2. Rezultati za cement

Opis	Rezultat
Specifična gustoća	3,15
Finoća (dobivena suhim prosijavanjem, IS 4031-part 1,1996)	8 %
Standardna postojanost	31 %
Vrijeme početka vezivanja	35 minuta
Vrijeme završetka vezivanja	570 minuta
Nasipna gustoća	1411 kg/m ³

2.2. Sastav mješavine

Da bi se na što ekonomičniji način postigao beton odgovarajuće čvrstoće, poroznosti i propusnosti, važno je odabrati odgovarajuće sastojke betona te odrediti njihove međusobne odnose. Svojstva materijala od kojih se sastoji procjedni beton ovise kako o samim materijalima tako i o postupku ugradnje. Da bi se postigla odgovarajuća debljina ovoja oko agregata, nasumce je variran udio krupnozrnatog agregata [9] i to na bazi sastava betona bez sitnozrnate frakcije. Na standardan je način projektirano deset mješavina, kao što je to prikazano u tablici 3. Treba napomenuti da kratica A3C1S1 označava uzorak s tri dijela agregata i jednim dijelom cementa, dok S1 znači da se radi o agregatu čija zrna prolaze kroz sito veličine 9,5 mm, a zadržavaju se na situ veličine 4,75 mm. Oznaka S2 znači da se radi o agregatu čija zrna prolaze kroz sito veličine 12,5 mm, a zadržavaju se na situ veličine 9,5 mm. Suviše vlažna ili suviše nabijena mješavina ne iskazuje svojstva procjedbog betona niti svojstvo prodiranja. Za svih deset skupina mješavina prihvaćeno je da vodocementni faktor iznosi 0,33 [10, 11].

2.3. Pripremanje uzorka

Procjedni beton priprema se miješanjem vode, cementa i krupnozrnatog agregata. Za potrebe ispitivanja pripremljeno

je ukupno 120 kockastih uzoraka, 30 valjkastih uzoraka i 30 prizmatičnih uzoraka. Miješanje je obavljeno u miješalici za beton. Najprije se krupnozrnati agregat pomiješa s jednom trećinom vode za miješanje. Zatim se dodaje cement i pomiješa s krupnozrnatim agregatom, nakon čega se u miješalicu doda preostala voda te se miješanje nastavlja sve do postizanja homogene smjese. Smjesom se zatim pune kalupi, a smjesa u kalupima se zbija pomoću ručnog nabijača. Tijekom zbivanja se za svaki sloj ravnomjerno nanosi dvadeset i pet udaraca po površini betona. Svi se uzorci vade iz kalupa nakon 24 sata i njeguju u vodi od trenutka skidanja kalupa pa sve do ispitivanja. Svi uzorci procjedbog betona pripremljeni su u skladu s uputama iz norme ASTM C192 [12] "Standardni postupak za izradu i njegu betonskih uzoraka za laboratorijska ispitivanja".

3. Metode ispitivanja

Tlačna čvrstoća

Tlačna čvrstoća je izuzetno važan parametar za donošenje odluke o kvaliteti i o karakteristikama betona. Tlačna čvrstoća je ispitana prema normi ASTM C 39 [13]. Za svaku mješavinu su pripremljeni i ispitani uzorci dimenzija 150 mm x 150 mm x 150 mm. Vrijednost tlačne čvrstoće iskazana je kao prosjek od tri ispitivanja na kockastim uzorcima.

Vlačna čvrstoća cijepanjem

Vlačna čvrstoća cijepanjem ispitana je na valjkastim uzorcima promjera 150 mm i visine 300 mm nakon 28 dana njege prema normi ASTM C496 [14].

Vlačna čvrstoća savijanjem

Vlačna čvrstoća pri savijanju ispitana je na prizmatičnom uzorku dimenzija 150 mm x 150 mm x 700 mm prema normi ASTM C78/C496 [15].

Poroznost

Poroznost je odnos između obujma šupljina i ukupnog obujma uzorka. Ukupna poroznost [16-18] izmjerena je metodom

Tablica 3. Sastav mješavine

Mješavina	Veličina agregata	Omjer agregata i cementa	Cement [kg/m ³]	Krupnozrnati agregat [kg/m ³]
A3C1S1	9,5 mm – 4,75 mm	3:1	330	1178
A4C1S1		4:1	263	1251
A5C1S1		5:1	219	1300
A6C1S1		6:1	187	1334
A7C1S1		7:1	163	1360
A3C1S2	12,5 mm – 9,5 mm	3:1	321	1237
A4C1S2		4:1	255	1311
A5C1S2		5:1	212	1360
A6C1S2		6:1	181	1395
A7C1S2		7:1	158	1421

pomaka vode na bazi Arhimedovog zakona uzgona, prema kojem je sila uzgona jednaka težini istisnutog fluida. Ukupna poroznost uključuje otvorene i zatvorene pore i može se izmjeriti pomoću uređaja za mjerenje uzgona. Kako bi se izmjerila vrijednost poroznosti, treba biti poznata suha masa, uronjena masa i ukupan obujam:

$$p = \left[1 - \left(\frac{W_1 - W_2}{\rho_w V} \right) \right] \times 100\% \quad (1)$$

gdje je:

p - ukupna poroznost procjdnog betona [%]

W_1 - masa uzorka procjdnog betona sušenog 24 sata na zraku [kg]

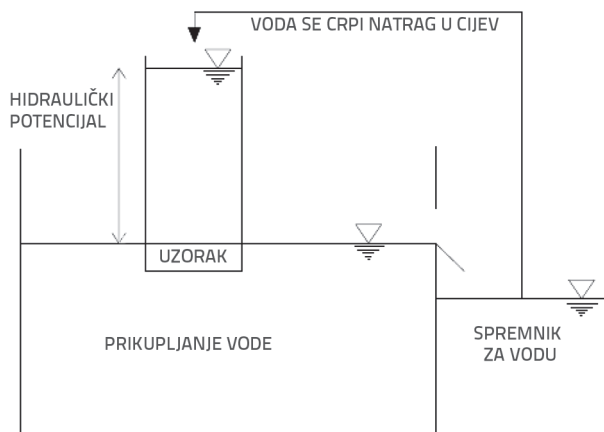
W_2 - masa uzorka procjdnog betona uronjenog u vodu [kg]

V - obujam uzorka procjdnog betona [mm³]

ρ_w - gustoća vode [kg/mm³].

Propusnost

Slijed ispitivanja projektiran je na bazi metode propusnosti pri stalnom potencijalu [19-21], a ispitivanje propusnosti provedeno je kako je prikazano na slici 1.



Slika 1. Ispitivanje propusnosti

Tablica 4. Svojstva procjdnog betona

Mješavina	Tlačna čvrstoća [N/mm ²]		Vlačna čvrstoća cijepanjem [N/mm ²]	Vlačna čvrstoća savijanjem [N/mm ²]	Poroznost [%]	Propusnost [mm/s]
	7 dana	28 dana				
A3C1S1	11,38	15,87	1,70	3,21	20,95	8,60
A4C1S1	8,36	12,28	1,53	2,86	22,08	11,64
A5C1S1	5,73	8,56	1,40	2,62	23,47	14,13
A6C1S1	4,81	6,46	1,29	2,22	24,43	15,08
A7C1S1	3,78	5,94	1,17	1,93	26,19	16,67
A3C1S2	11,08	13,73	1,66	2,96	21,50	13,09
A4C1S2	8,19	10,07	1,47	2,81	22,54	15,75
A5C1S2	5,56	6,89	1,32	2,37	24,43	17,39
A6C1S2	4,65	5,64	1,23	2,02	25,27	18,45
A7C1S2	3,70	5,05	1,15	1,88	28,16	19,80

Jedna od najvažnijih značajki procjdnog betona je činjenica da omogućava prolazak vode kroz matricu. Brzina prolaska kroz procjdni beton izravno je povezana s količinom zračnih šupljina. Cijev od polivinil-klorida (PVC-a) postavlja se na uzorak procjdnog betona i propisno se brtvi uz površinu uzorka da bi se izbjeglo procurivanje. Ispitivanje propusnosti provodi se kada je količina vode koja ulazi u uzorak kroz PVC cijev dostatna za održavanje zadanog konstantnog potencijala vode u ulaznoj cijevi. Brzina protoka vode može se kontrolirati pomoću ventila. Brzina prolaska vode može se odrediti mjerenjem obujma vode prikupljene u posudi tijekom određenoga vremena pri zadanom stupcu vode. Koeficijent propusnosti k mm/s može se izraziti kao

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (2)$$

gdje je:

k - propusnost [mm/s]

Q - ukupan obujam vode [mm³]

L - duljina uzorka [mm]

A - površina poprečnog presjeka uzorka [mm²]

h - visina stupca vode [mm]

t - vrijeme [s].

4. Rezultati i rasprava

Djelovanje tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće cijepanjem, vlačne čvrstoće savijanjem, poroznosti i propusnosti na uzorke ispitano je za dvije veličine agregata, a rezultati su iskazani u tablici 4. i na slikama od 2. do 12.

4.1. Tlačna čvrstoća

Tlačna čvrstoća procjdnog betona varira nakon sedam dana od 11 N/mm² do 4 N/mm² za obje veličine agregata, tj. za raspon od 9,5 mm do 4,75 mm (S1) i za raspon od 12,5 mm do 9,5 mm (S2), a za različiti omjer agregata i cementa od 3:1 do 7:1. Tlačna čvrstoća nakon 28 dana varira od 16 N/mm²

do 6 N/mm² za agregat S1, tj. od 14 N/mm² do 5 N/mm² za agregat S2, za različiti omjer agregata i cementa od 3:1 do 7:1. Razlika tlačne čvrstoće između dva agregata varira od 3 % nakon sedam dana do 16 % nakon 28 dana, kao što se može vidjeti na slikama 2. i 3. Prosječno povećanje tlačne čvrstoće u vremenu od 7 do 28 dana iznosi 20 % za agregat S1 i 31 % za agregat S2. Do loma najčešće dolazi na kontaktu između cementa i agregata, što dovodi do niže prosječne tlačne čvrstoće.

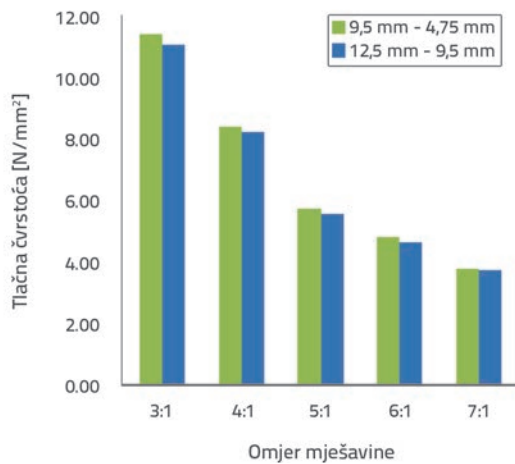
Kontaktna prijelazna zona (eng. *Interfacial Transition Zone* - ITZ) između cementne paste i agregata kritičan je faktor koji u velikoj mjeri utječe na svojstva betona. Do sloma procjdnog betona dolazi na kontaktu između cementne paste i agregata. ITZ uglavnom ovisi o raspodjeli cementne paste oko agregata, a ona nije ravnomjerna već varira od točke do točke na svakom zrnu agregata. Veći udio cementa i manja zrna agregata dovode do manjeg intenziteta u ITZ u usporedbi s većim zrnima, čemu je razlog visoka razina poroznosti kod krupnijeg agregata.

4.2. Vlačna čvrstoća cijepanjem

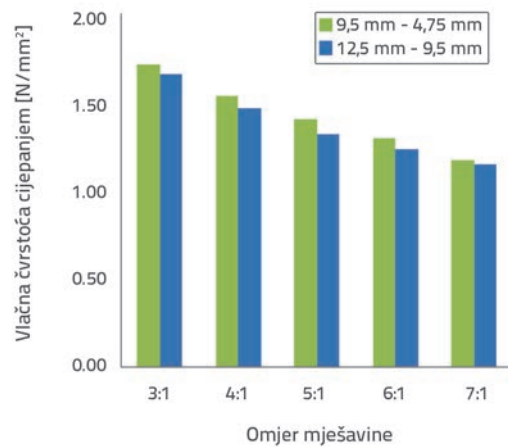
Vlačna čvrstoća cijepanjem varira od 1,70 N/mm² do 1,17 N/mm² za agregat tipa S1 te od 1,66 N/mm² do 1,15 N/mm² za agregat tipa S2, s različitim omjerom cementa i agregata od 3:1 do 7:1. Vlačna čvrstoća cijepanjem slijedi isti trend za tipove agregata S1 i S2. Razlika u vlačnoj čvrstoći cijepanjem između dvije različite veličine agregata iznosi 4 %, kao što se vidi na slici 4.

4.3. Vlačna čvrstoća savijanjem

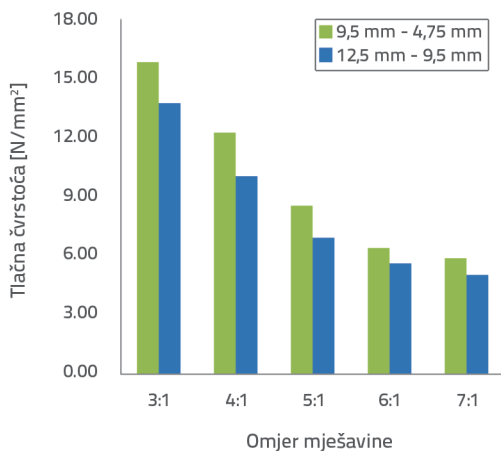
Vlačna čvrstoća savijanjem varira od 3,21 N/mm² do 1,93 N/mm² za agregat tipa S1 te od 2,96 N/mm² do 1,88 N/mm² za agregat tipa S2, s različitim omjerom cementa i agregata od 3:1 do 7:1. Prosječna razlika u vlačnoj čvrstoći savijanjem između dvije različite veličine agregata iznosi 6 %, kao što se to vidi na slici 5.



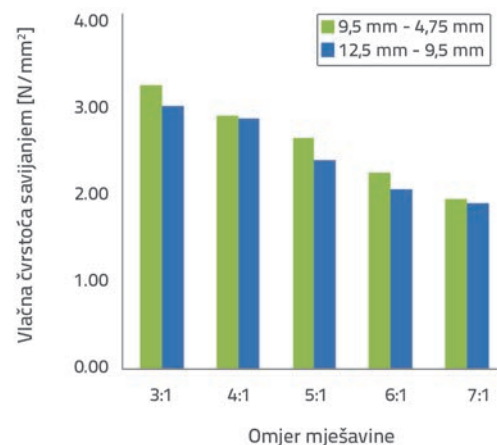
Slika 2. Tlačna čvrstoća nakon 7 dana



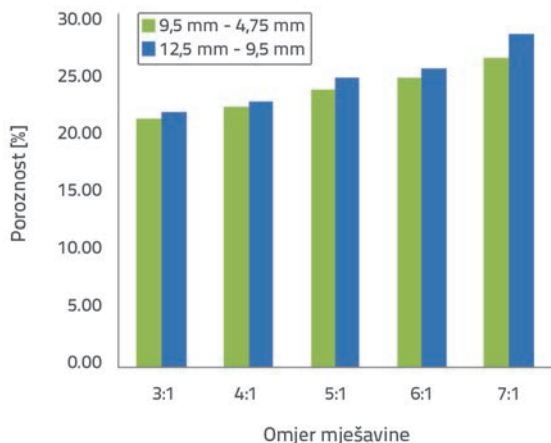
Slika 4. Vlačna čvrstoća cijepanjem



Slika 3. Tlačna čvrstoća nakon 28 dana



Slika 5. Vlačna čvrstoća savijanjem



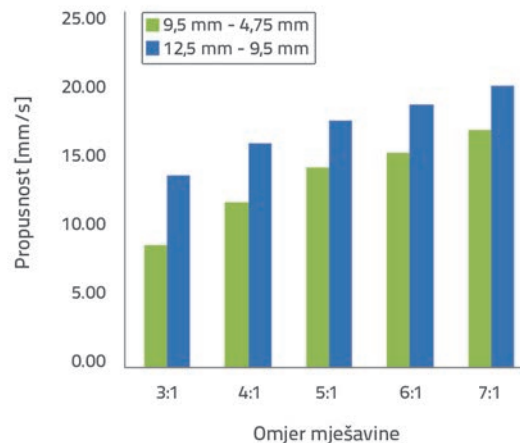
Slika 6. Poroznost

4.4. Poroznost

Poroznost varira od 20,95 % do 26,19 % za agregat tipa S1 te od 21,50 % do 28,26 % za agregat tipa S2, s različitim omjerom cementa i agregata od 3:1 do 7:1, kao što se to vidi na slici 6. Može se vidjeti da poroznost varira od 21 % do 29 % u većini mješavina, što je u skladu s prihvatljivim rasponom od 15 % do 30 % koji je općenito usvojen za procjedni beton [22, 23].

4.5. Propusnost

Vrijednosti propusnosti svih mješavina prikazane su u tablici 4. Propusnost varira od 8,60 mm/s do 16,67 mm/s za agregat tipa S1 te od 13,09 mm/s do 19,80 mm/s za agregat tipa S2, s različitim omjerom cementa i agregata od 3:1 do 7:1, kao što se to vidi na slici 7. Propusnost uglavnom ovisi o veličini međusobno spojenih pora. Mješavina procjednog betona sa sitnozrnatim agregatom odlikuje se nižom propusnošću u odnosu na mješavinu s krupnozrnatim agregatom. Vrijednost propusnosti varira od 8 do 20 mm/s, što znači da se procjedni beton može koristiti kao drenažni sloj kolničkih konstrukcija [24, 25].

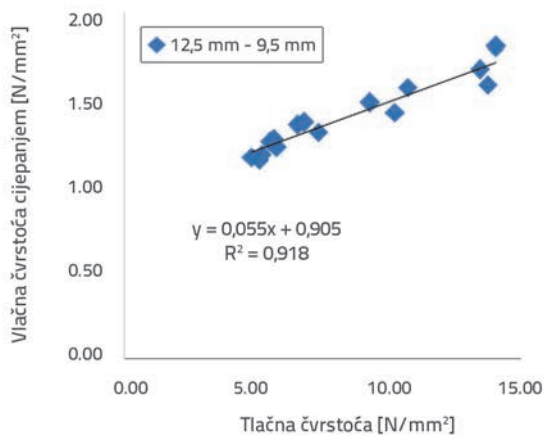
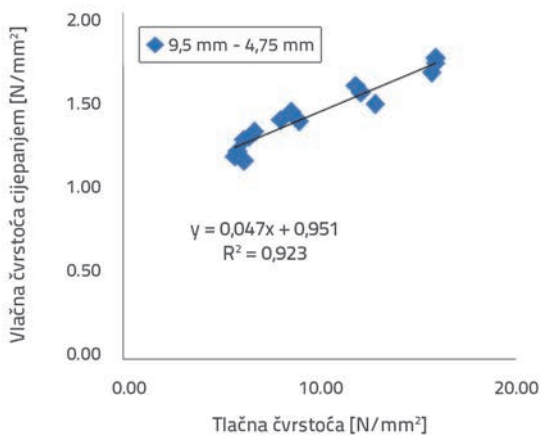


Slika 7. Propusnost

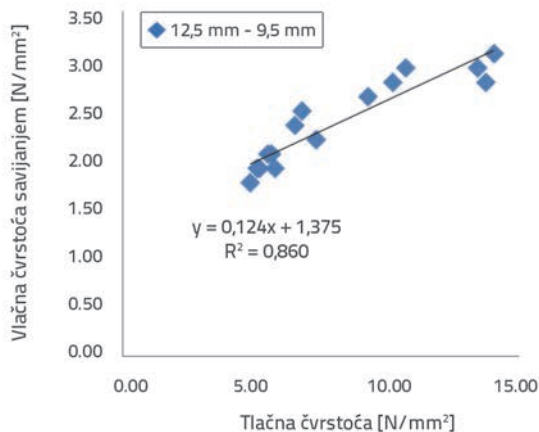
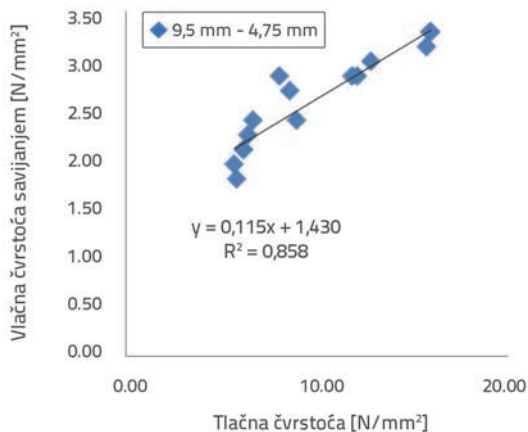
4.6. Odnos između pojedinih svojstava procjednog betona

Odnos između tlačne čvrstoće i vlačne čvrstoće cijepanjem, te između tlačne čvrstoće i vlačne čvrstoće savijanjem, prikazan je na slikama 8. i 9.

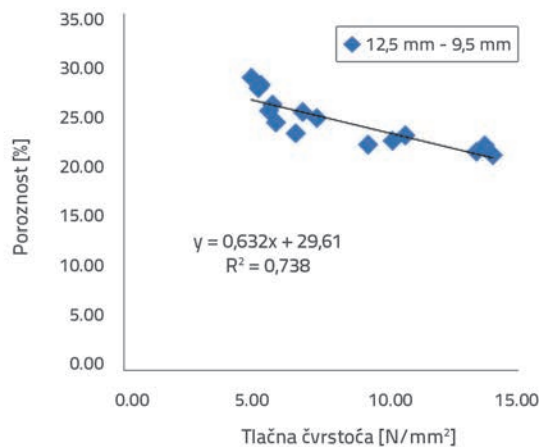
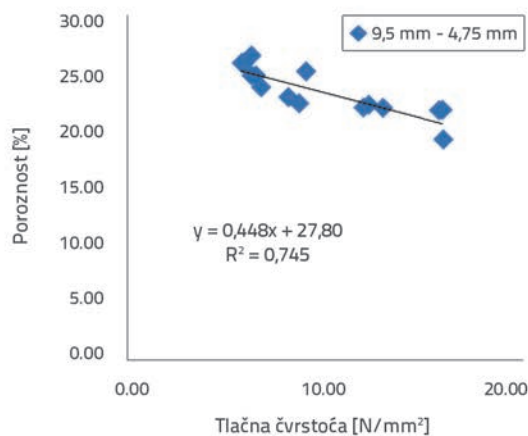
Dobiveni odnos pokazuje dobru podudarnost između tlačne čvrstoće i vlačne čvrstoće savijanjem. Rezultati ispitivanja pokazuju da se čvrstoća smanjuje usporedo s povećanjem količine agregata. Procjedni beton visoke poroznosti odlikuje se niskom tlačnom čvrstoćom i visokom propusnošću, kao što se to vodi na slikama 10. i 11. Odnos između čvrstoće i poroznosti, te između poroznosti i propusnosti, u ovom je radu određen za procjedni beton na način prikazan na slici 12. Na temelju odnosa između tlačne čvrstoće, poroznosti i propusnosti dobivena je optimalna tlačna čvrstoća od 12 N/mm², uz propusnost od 12 mm/s za agregat tipa S1 pri odnosu između agregata i cementa od 4:1. Optimalna tlačna čvrstoća od 10 N/mm² dobivena je za agregat tipa S2 uz poroznost od 23 % i propusnost od 16 mm/s pri odnosu između agregata i cementa od 4:1.



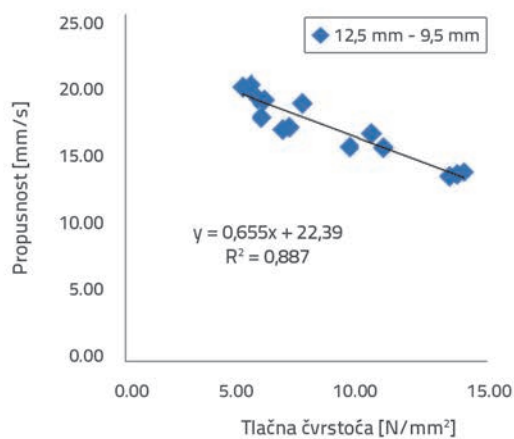
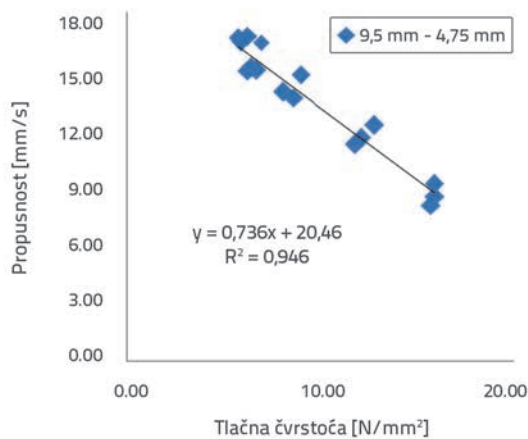
Slika 8. Odnos između tlačne čvrstoće i vlačne čvrstoće cijepanjem



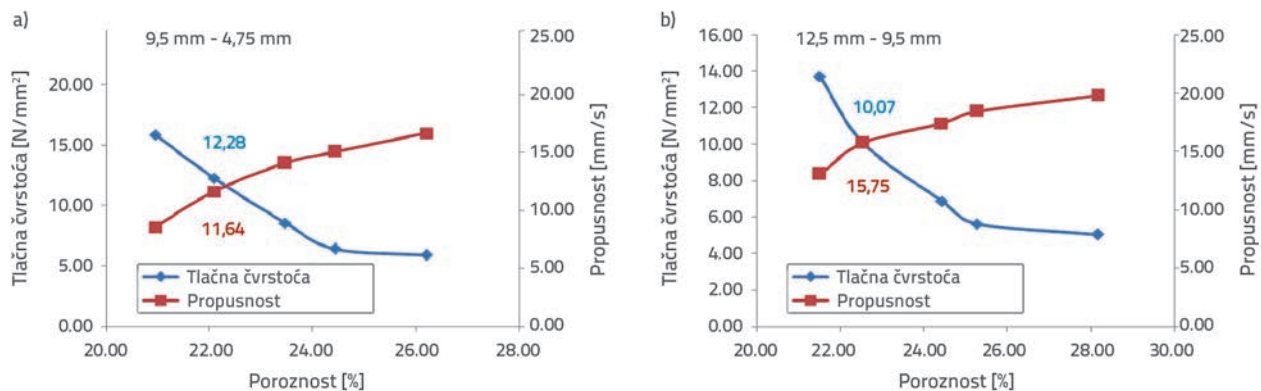
Slika 9. Odnos između tlačne čvrstoće i vlačne čvrstoće savijanjem



Slika 10. Odnos između tlačne čvrstoće i poroznosti



Slika 11. Odnos između tlačne čvrstoće i propusnosti



Slika 12. Odnos između poroznosti, tlačne čvrstoće i propusnosti

5. Zaključak

U ovom se radu analiziraju čvrstoća i hidraulička svojstva procjednog betona, pri čemu se koriste dvije veličine agregata i različita količina agregata, bez sitnozrnatog agregata i dodataka. Obavljena su eksperimentalna istraživanja kako bi se odredila tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem, vlačna čvrstoća savijanjem, poroznost i propusnost. Ispitano je deset različitih mješavina procjednog betona. Vrijednosti tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće cijepanjem i vlačne čvrstoće savijanjem mijenjaju se ovisno o količini i veličini agregata.

Tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem i vlačna čvrstoća savijanjem varira, prva od 5 N/mm² do 16 N/mm², druga od 1,15 N/mm² do 1,7 N/mm², i treća od 1,88 N/mm² do 3,21 N/mm², za dvije veličine agregata i za različite mješavine. Utvrđeno je da

poroznost varira od 20,95 % do 28,26 %, dok propusnost varira od 8,60 mm/s do 19,80 mm/s.

Povećanje poroznosti dovodi do povećanja propusnosti i do smanjenja tlačne čvrstoće. Optimalan odnos između agregata i cementa od 4:1 dobiven je za tipove agregata S1 i S2. Iz krivulja dobivenih za ovaj odabrani odnos od 4:1, optimalni rezultat agregata S1 dobiven je pri poroznosti od 22 %, tlačnoj čvrstoći od 12 N/mm² i propusnosti od 12 mm/s. S druge strane, optimalni rezultat za agregat S2 dobiven je pri poroznosti od 23 %, tlačnoj čvrstoći od 10 N/mm² i propusnosti od 16 mm/s. Na osnovi eksperimentalnih rezultata može se zaključiti da je upotreba procjednog betona primjereno i održivo rješenje na raznim projektima upravljanja oborinskim vodama, prije svega u slučajevima kada je pronos vode od bitnog značenja tj. kada čvrstoća nije najvažnija.

LITERATURA

- [1] Nader, G., Shivaji, D.: Development of no-fines concrete pavement applications, *Journal of Transportation Engineering*, 121(1995) 3, pp. 283-288, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1995\)121:3\(283\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1995)121:3(283))
- [2] ACI 552R-08: Report on pervious concrete, *American concrete institute*, 2008.
- [3] Jing, Y., Jiang, G.: Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, *Cement and Concrete Research*, 33 (2003) 3, pp. 381-386, [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00966-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00966-3)
- [4] Obla, K.: Pervious concrete for sustainable development, in Proc. *1st Int. Conf. on Recent Advances in Concrete Technology*, Washington DC, 2007.
- [5] Xian, S., Huang, B., Qiao Dong, H.W., Burdette, E.G.: Performance comparison of laboratory and field produced pervious concrete mixtures, *Construction and Building Materials*, 25(2011) 8, pp. 3187-3192
- [6] Suozzo, M., Dewoolkar, M.M.: Evaluation of Strength and Hydraulic Testing Methods of Pervious Concrete, *ACI Materials Journal*, 111(2014) 1, pp. 23-34
- [7] Putman, B.J., Neptune, A.I.: Comparison of test specimen preparation techniques for pervious concrete pavements, *Construction and Building Materials*, 25(2011) 8, pp. 3480-3485, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.039>
- [8] Beeldens, A., Van Gemert, D., Caestecker, C.: Pervious concrete-Laboratory versus Filed experience, *Porous concrete-Laboratory versus Filed experience*, 2004.
- [9] Schaefer, V.R., Wang, K., Suleiman, M.T., Kevern, J.T.: Mix design development for pervious concrete in cold weather climates, *Center for Transportation Research and Education*, Iowa State University, Ames, 2006.
- [10] Lian, C., Zhuge, Y.: Optimum mix design of enhanced permeable concrete—an experimental investigation, *Construction and Building Materials*, 24(2010) 12, pp. 2664-2671, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.057>
- [11] Lian, C., Zhuge, Y., Beecham, S.: The relationship between porosity and strength for porous concrete, *Construction and Building Materials*, 25(2011) 11, pp. 4294-4298, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.05.005>
- [12] ASTM Standard C192: Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory concrete, cylinders, laboratory, prisms, strength testing. West Conshohocken, PA *ASTM International*, 2012.

- [13] ASTM Standard C39: Standard test method for compressive strength of concrete specimens, 2014.
- [14] ASTM Standard C496: Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, 2011.
- [15] ASTM Standard C78: Standard test method for flexural strength of concrete: ASTM International, 2002.
- [16] Park, S.-B., Tia, M.: An experimental study on the water-purification properties of porous concrete, *Cement and Concrete Research*, 34(2004) 2, pp.177-184, [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00223-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00223-0)
- [17] Kuo, Wen-Ten, Chih-Chien Liu, De-Sin Su.: Use of washed municipal solid waste incinerator bottom ash in pervious concrete, *Cement and Concrete Composites*, 37 (2013), pp. 328-335, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.01.001>
- [18] Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., Netinger, I.: Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 78 (2015), pp. 69-76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073>
- [19] Mrakovčić, S., Čeh, N., Jugovac, V.: Effect of aggregate grading on pervious concrete properties, *Građevinar*, 66 (2014) 2, pp.107-113, <http://dx.doi.org/10.14256/JCE.977.2013>
- [20] Cheng, A., Hsu, H.M., Chao, S.J., Lin, K.L.: Experimental study on properties of pervious concrete made with recycled aggregate, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4(2011) 2, pp. 104-110
- [21] Huang, B., Mohammad, N.L., Raghavendra, A., Abadie, C.: Fundamentals of Permeability in Asphalt Mixtures, *The Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologist*, 1999.
- [22] Neithalath, N., Bentz, D. P., Sumanasooriya, M. S.: Advances in pore structure characterization and performance prediction of pervious concretes, *Concr Int*, 32(2010) 5, pp. 35-40
- [23] Tennis, P.D., Leming, M.L., Akers, D.J.: Porous Concrete Pavements, *EB302 Portland Cement Association Skokie Illinois and National Ready Mixed Concrete Association*, Maryland, Silver Spring, 2004.
- [24] Wang, W.: Study of pervious concrete strength, *Sci Technol Build Mater China*, 6(1997) 3, pp. 25-28
- [25] 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(2010) 5, pp. 818-823, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025>