

Primjena poroznog betona u kolničkim konstrukcijama

Felja, Melani; Ćosić, Krunoslav; Netinger, Ivanka

Source / Izvornik: **E-GFOS, 2013, 4, 68 - 75**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

<https://doi.org/10.13167/2013.7.7>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:133:202557>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



PRIMJENA POROZNOG BETONA U KOLNIČKIM KONSTRUKCIJAMA

Melani Felja

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, student

Krunoslav Ćosić

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, mag.ing.aedif.

Ivanka Netinger

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, docent

Sažetak: U radu je dan pregled svojstava poroznog betona te prikazane prednosti njegove uporabe u kolničkim konstrukcijama. Pripremljene su dvije mješavine poroznog betona i mješavina referentnog betona, uobičajeno korištena za izradu betonskih kolničkih konstrukcija, te uspoređena njihova svojstva: konzistencija, tlačna i vlačna čvrstoća, poroznost i gustoća, dinamički modul elastičnosti te propusnost. Procijenjena je i mogućnost njihove primjene u betonskim kolničkim konstrukcijama, sukladno uvjetima propisanim u Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama. Mješavina s malim udjelom cementa i dodatkom superplastifikatora nije udovoljila najmanje zahtijevanoj poroznosti i propusnosti za porozne betone. Nasuprot tome, mješavina s većim udjelom cementa i bez dodatka superplastifikatora ocijenjena je kao porozna, no ne posjeduje tlačnu čvrstoću potrebnu za kolničke konstrukcije. Stoga, potrebno je daljnja istraživanja usmjeriti ka poboljšanju tlačne čvrstoće mješavina.

Ključne riječi: porozni beton, betonski kolnici, tlačna/vlačna čvrstoća, poroznost, gustoća, dinamički modul elastičnosti, propusnost

APPLICATION OF PERVIOUS CONCRETE IN ROAD CONSTRUCTION

Abstract: This paper presents an overview of the properties of porous concrete, and the advantages of its use in pavement structures. Two mixtures of pervious concrete and a reference concrete mixture commonly used for concrete pavements are prepared and their properties compared: consistency, compressive and flexural strength, porosity and density, dynamic modulus of elasticity, as well as permeability. The possibility of their application in concrete pavements is estimated in accordance with the requirements given in General technical conditions for roadworks. Mixture with a small amount of cement and addition of superplasticizer did not meet minimum porosity and permeability required for pervious concrete. In contrast, a mixture with a higher amount of cement and without the addition of superplasticizer was evaluated as pervious one, but does not have a compressive strength required for road construction. Therefore, it is necessary to direct further research towards improving the compressive strength of mixtures of pervious concrete.

Key words: pervious concrete, concrete pavements, compression/flexural strength, porosity, density, dynamic modulus of elasticity, permeability

1 Uvod

Razvoj betonskih kolnika započeo je još u doba starih Rimljana [1]. Kolničke konstrukcije toga razdoblja činio je sloj usitnjenog kamenog materijala vezanog prirodnim hidrauličnim vezivom (vulkanski pepeo iz mjesta Pozzuoli kod Napulja) [2]. Izgradnjom prvog cementnog makadama 1888. godine, u Wroclawu započinje moderno doba izgradnje betonskih kolnika [3]. Ipak, prvi klasični betonski kolnik izgrađen je nešto kasnije, 1891. godine u Bellefontaineu, SAD, primjenom samo skromnih zanatskih tehnologija [4]. Prvi strojno izvedeni kolnici pojavljuju se pak u Njemačkoj 1930. godine [5]. U Hrvatskoj se početak izgradnje betonskih kolnika bilježi prije Prvog svjetskog rata i neposredno nakon Drugog svjetskog rata, nakon čega se s izgradnjom betonskih kolnika na hrvatskim cestama potpuno prestalo [1]. Danas se betonski kolnici kod nas izvode samo na posebnim mjestima, poput naplatnih postaja na autocestama ili benzinskih crpki. Iako kod nas nisu zastupljeni u velikoj mjeri, betonski kolnici nalaze svoju široku primjenu u razvijenim zemljama, uglavnom u SAD-u te zemljama Europe (Austrija, Njemačka, Belgija, Češka i dr.) [1]. Tako je npr. u Češkoj Republici oko 50% autocesta izgrađeno od betona [3]. Prednosti betonskih u odnosu na asfaltna kolnike su višestruke. Krutost i čvrstoća betona utječu na distribuciju opterećenja preko relativno široke površine, tako da je opterećenje na posteljicu malo pa su i slojevi ispod betonske ploče manjih dimenzija u usporedbi sa slojevima asfaltnih kolničkih konstrukcija. Povoljna fizičko-mehanička svojstva uzrokuju i manje potrebe za održavanjem, popravcima i rekonstrukcijom betonskih kolnika u odnosu na asfaltna kolnike. Naime, kod betonskih kolnika nema deformacija u obliku kolotraga nastalih kretanjem vozila budući da kruta kolnička konstrukcija smanjuje deformiranje kolnika, što u konačnici utječe i na smanjenje potrošnje goriva kod vozila [6]. Manje deformacije kod takvog kolnika znače i smanjenu mogućnost zadržavanja vode na kolniku koja bi mogla utjecati na upravljački sustav vozila, što znatno pridonosi sigurnosti i udobnosti prometa, a naposljet

betonu kreće se u granicama 7-10% ukupne mase agregata, količina cementa za kubni metar betona 270-415 kg/m³ [17], a vodocementni faktor 0,2-0,45 [17].

U ovome radu procijenit će se mogućnost uporabe poroznog betona u kolničkim konstrukcijama, pri čemu su osnovni zahtjevi koji se postavljaju za beton kolničkih konstrukcija s obzirom na predviđeno prometno opterećenje, prikazani tablicom 1.

Tablica 1 - Najmanja 28-dnevna karakteristična čvrstoća betona, sukladno OTU za radove na cestama

Predviđeno prometno opterećenje	Zahtijevani razred tlačne čvrstoće (N/mm ²)	Zahtijevana vlačna čvrstoća savijanjem (N/mm ²)
Vrlo teško	35/45	5,0
Teško	30/37	4,5
Ostalo	25/30	4,0

Pri projektiranju sastava betonskih mješavina poroznog betona vodit će se računa o cijeni takvog betona te pokušati dobiti beton zadovoljavajuće kvalitete, bez uporabe dodataka koji dodatno poskupljuju proizvodnju betona.

2 Eksperimentalno istraživanje

2.1 Projekt sastava betonskih mješavina

Pri izradi betonskih mješavina korišten je dolomit frakcioniran u frakcije 0-4 mm, 4-8 mm te 8-16 mm granulometrijskih razreda G_F 85 (frakcija 0-4 mm), G_C 85/20 (frakcija 4-8 mm) i G_C 90/15 (frakcija 8-16 mm), te pijesak granulometrijskog razreda G_F 85 (frakcija 0-2 mm) podrijetlom iz rijeke Drave. Gustoća dolomita iznosila je 2,75 kg/dm³, a pijeska 2,65 kg/dm³. U svim mješavinama korišten je cement CEM II/A-M (S-V) 42,5N, gustoće 3,0 kg/dm³. Superplastifikator koji je korišten u mješavinama je na bazi karboksilnih eter polimera s dugim bočnim lancima. Referentna mješavina betona (M1) je uobičajena mješavina koja se koristi za izradu betonskih kolnika, a sadržava sve tri frakcije agregata (omjer 0-4/4-8/8-16 je bio 40:30:30), 350 kg cementa u kubnom metru betona te 1% superplastifikatora zbog

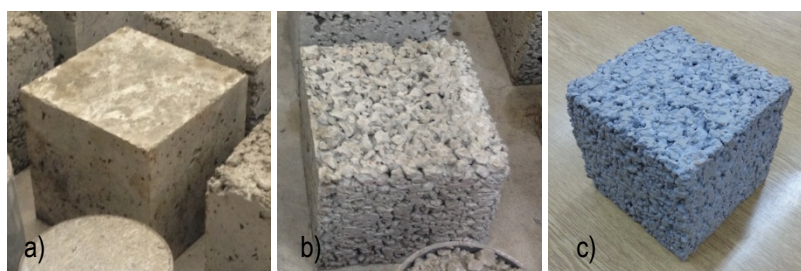
2.2 Izrada uzoraka za ispitivanje svojstava betona

Na svježem betonu ispitana je konzistencija betona slijeganjem, sukladno normi HRN EN 12350-2:2009 [18]. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 3.

Tablica 3 - Rezultati ispitivanja konzistencije betona slijeganjem

Mješavina	Konzistencija po metodi slijeganja (cm)
M1	0,0
M2	1,5
M3	1,0

Za potrebe ispitivanja tlačne čvrstoće izrađene su 3 kocke brida 15 cm (slika 1), za ispitivanje vlačne čvrstoće savijanjem i dinamičkog modula elastičnosti izrađene su 3 prizme dimenzija 10/10/40 cm, za ispitivanje gustoće očvrsloga betona 4 kocke brida 15cm, te za ispitivanje propusnosti valjci promjera 10 cm i visine 10 cm. Uzorci za ispitivanje propusnosti izrađeni su ugradnjom svježeg betona u nepropusnu plastičnu cijev kojoj je namjera osigurati protjecanje/propusnost vode isključivo u smjeru izvodnice valjka. Unutrašnje stijenke cijevi su prije ispitivanja, odnosno ugradnje, izribane žičanom četkom kako bi se ostvarilo što bolje prijanjanje betona i stijenke cijevi.



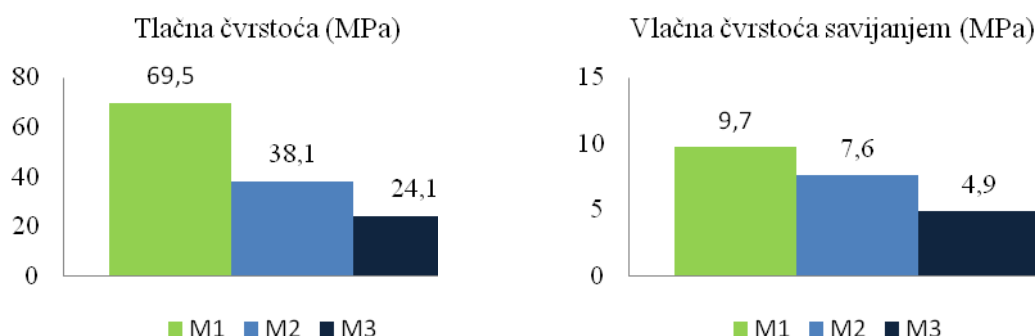
Slika 1 - Uzorci (kocke) očvrsloga poroznog betona: a) M1; b) M2; c) M3

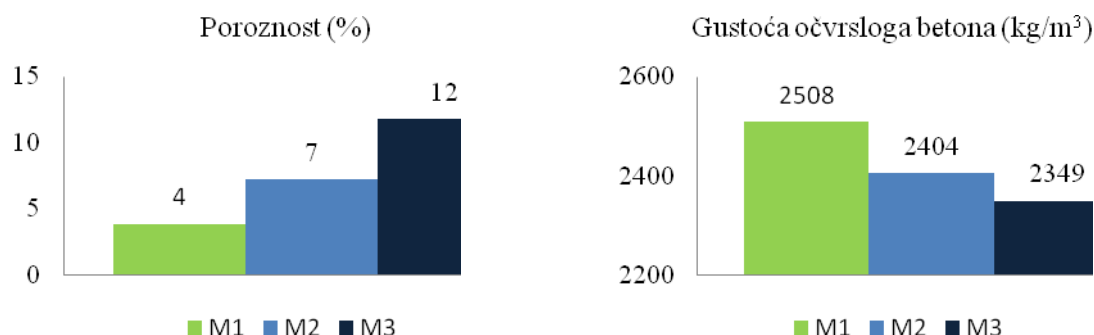
Nakon jednog dana starosti, uzorci betona su izvađeni iz kalupa (s izuzetkom uzoraka za mjerenje propusnosti) te potopljeni pod vodu gdje su ostavljeni do 28. dana starosti. Po 28. danu starosti, na uzorcima su ispitana sljedeća svojstva očvrslog betona: tlačna čvrstoća sukladno normi HRN EN 1239

Tablica 4 - Rezultati ispitivanja očvrsloga betona

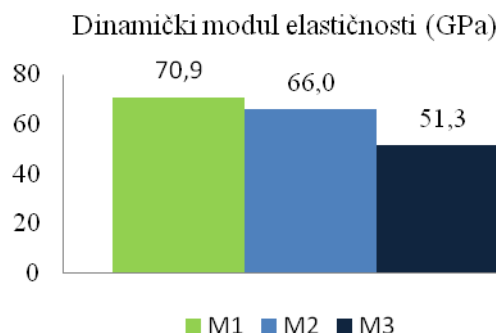
Mješavina/Svojstva očvrsllog betona	M1	M2	M3
Tlačna čvrstoća (MPa)	69,5	38,1	24,1
Vlačna čvrstoća savijanjem (MPa)	9,7	7,6	4,9
Gustoća očvrsllog betona (kg/m ³)	2508	2404	2349
Poroznost (%)	4	7	12
Brzina prolaza ultrazvučnog impulsa (m/s)	5357	5394	4688
Dinamički modul elastičnosti (GPa)	70,9	66,0	51,3

Rezultati ispitivanja (tablica 4, slika 2) pokazuju da mješavina poroznog betona M2 ima za 45,2% manju tlačnu čvrstoću nego referentni beton (mješavina M1). U odnosu na mješavinu poroznog betona M3, mješavina M2 ima veću tlačnu čvrstoću (za 36,7%), što je za očekivati s obzirom da se povećanjem poroznosti smanjuje čvrstoća betona. Dobivene vrijednosti tlačnih čvrstoća mješavine M3 su u skladu s [24]. Vlačna čvrstoća savijanjem poroznog betona pokazuje sličnu tendenciju kao i tlačna čvrstoća (tablica 4, slika 2), što je u skladu s [25]. Međutim, dobivene vrijednosti vlačne čvrstoće savijanjem poroznog betona su nešto veće nego što to navodi ACI (American Concrete Institute) u tehničkim informacijama za porozni beton [24]. U odnosu na mješavinu poroznog betona M2, mješavina poroznog betona M3 ima 35,5% manju vlačnu čvrstoću, dok je vlačna čvrstoća mješavine M2 za 21,6% manja nego kod referentnog betona, što je nešto manje smanjenje nego kod tlačne čvrstoće. Svojim vlačnim čvrstoćama porozni beton M3 udovoljava uvjetima za ugradnju u kolničke konstrukcije izložene teškom prometnom opterećenju, a porozni beton M2 vrlo teškom prometnom opterećenju. Svojom tlačnom čvrstoćom porozni beton M2 udovoljava uvjetima za ugradnju u kolničke konstrukcije izložene teškom prometnom opterećenju, dok porozni beton M3 uopće ne udovoljava uvjetima.



**Slika 3 - Rezultati ispitivanja očvrsloga betona: poroznost i gustoća**

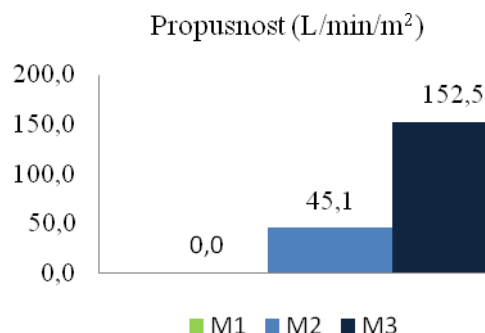
Dinamički modul elastičnosti (tablica 4, slika 4) mješavine poroznog betona M3 iznosi 51,3 GPa, što je za 27,6% manje nego kod referentnog betona (M1) i za 22,3% manje nego kod mješavine poroznog betona M2.

**Slika 4 - Rezultati ispitivanja očvrsloga betona: dinamički modul elastičnosti**

Propusnost je ispitana na valjcima njegovanim pod vodom 28 dana, nakon čega je izmjereno vrijeme prolaska 1 litre vode kroz uzorke te izračunata propusnost izražena u L/min/m² (tablica 4, slika 5). Uspoređujući mješavinu poroznog betona M3 u odnosu na mješavinu poroznog betona M2, vidljivo je da postoji jasna veza između poroznosti i propusnosti. Povećanjem poroznosti za 39,0%, dolazi do povećanja propusnosti za 70,4%, odnosno propusnost mješavine poroznog betona iznosi 152,5 L/min/m² (slika 5), što je u skladu s donjom granicom propusnosti poroznog betona prema [26].

Tablica 5 - Rezultati ispitivanja propusnosti

M



Slika 5 - Rezultati ispitivanja propusnosti

S obzirom na zahtjeve postavljene u literaturi na poroznost i propusnost poroznog betona, mješavina M2 je isključena iz kategorije poroznih betona. Stoga će autori rada svoja daljnja istraživanja usmjeriti na poboljšanje tlačne čvrstoće mješavine M3 te na izradu dodatnih mješavina. Sukladno [14], tlačnu čvrstoću je moguće povećati dodatkom lateksa ili uporabom agregata manjeg maksimalnog nominalnog zrna, budući da se time povećava dodirna površina između zrna agregata. S obzirom na činjenicu da će dodatak lateksa dodatno povisiti cijenu betona, u daljnjim će se istraživanjima pokušati povećati udio zrna 4-8 mm i/ili udio cementa radi postizanja zahtijevane tlačne čvrstoće poroznog betona [27].

3 Zaključak

U radu je dan pregled svojstava poroznog betona te prikazane prednosti njegove uporabe u kolničkim konstrukcijama. Poštujući pravila projektiranja sastava porozne betonske mješavine navedena u literaturi, spravljeni su dvije mješavine poroznog betona i mješavina referentnog betona, uobičajeno korištena za izradu betonskih kolničkih konstrukcija te uspoređena njihova svojstva u očvrslom stanju; tlačna i vlačna čvrstoća, poroznost i gustoća, dinamički modul elastičnosti te propusnost. Također, procijenjena je i mogućnost njihove primjene u betonskim kolničkim konstrukcijama, sukladno uvjetima propisanim u Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama. Mješavina s manjim udjelom cementa i dodatkom superplastifikatora nije udovoljila najmanje zahtijevanoj poroznosti i propusnosti za porozne betone. Mješavina s većim udjelom cementa i bez dodatka superplastifikatora ocijenjena je na temelju udjela pora i propusnosti kao porozni beton, no svojom tlačnom čvrstoćom nije udovoljila zahtjevima Općih tehničkih uvjeta za radove na cestama. Stoga će autori rada svoja daljnja istraživanja usmjeriti ka poboljšanju tlačne čvrstoće betona povećanjem udjela frakcije 4-8 mm i/ili udjela cementa. Ispitivanja provedena u radu su preliminarne te će daljnja istraživanja biti usmjerena na veći broj mješavina variranjima u udjelu frakcija 4 – 8



- [5] Stefan Höller, Concrete Pavement Design and Construction in Germany – State of the Art, http://congresodevalidad.org.ar/conferencias-especiales/seminario_icpa/holler.pdf
- [6] American Concrete Pavement Association: Green Highways: Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements - concrete pavement research and technology special report, 2007., <http://www.pavements4life.com/QDs/SR385P.pdf>
- [7] Putman, B. J., Neptune, A. I.: Comparison of test specimen preparation techniques for pervious concrete pavements, *Construction and Building Materials*, 25 (2011), pp. 3480-3485.
- [8] Tennis, P. D., Leming, M. L., Akers, D.J.: Pervious concrete pavements, Technical report, EB302.02. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland (2004), pp. 14
- [9] Schaefer, V. R., Wang, K., Suleiman, M. T., Kevern, J.: Mix design development for pervious concrete in cold climates, Technical report, National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State Univ., Ames, Iowa (2006), pp. 2
- [10] Goede, W. G.: Pervious concrete: Investigation into structural performance and evaluation of the applicability of existing thickness design methods, Washington State University, Department of Civil and Environmental Engineering (2009), pp. 6, 40, dostupno na: http://www.dissertations.wsu.edu/Thesis/Fall2009/w_goede_112409.pdf, pregledano 29.11.2013.
- [11] Yang, J., Jiang, G.: Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, *Cement and Concrete Research*, 33 (2003), pp. 381-386
- [12] Blažok, D.: Propusni beton za kolnike, *Tehnički glasnik*, 4 (2010), str. 15-18, hrcak.srce.hr/file/127819
- [13] Ghafoori, N., Dutta, S.: Development of no-fines concrete pavement applications, *Journal of Transportation Engineering*, 121-3 (1995), pp. 283-288.
- [14] 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), pp. 818-823
- [15] Kim, H. K., Lee, H. K.: Acoustic absorption modeling of porous concrete considering the gradation and shape of aggregates and void ratio, *Journal of Sound and Vibration*, 329 (2010), pp. 866-879
- [16] Kevern, J. T., Schaefer, V. R., Wang, K., Suleiman, M. T.: Pervious concrete mixture proportions for improved freeze-thaw durability, *Journal of ASTM International*, 5-2 (2008), pp. 1-12
- [17] Grace Construction products, Pervious concrete mix proportioning - Technical bulletin TB – 0111, 2006., <http://www.na.graceconstruction.com>
- [18] HRN EN 12350-2:2009 Ispitivanje svježega betona - 2. dio: Ispitivanje slijeganjem
- [19] HRN EN 12390-3:2009 Ispitivanje očvrslonoga betona - 3. dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka