

Primljen / Received: 18.6.2020.

Ispravljen / Corrected: 14.12.2020.

Prihvaćen / Accepted: 20.1.2021.

Dostupno online / Available online: 10.11.2021.

Pregled čimbenika koji utječu na svojstva poroznog betona

Autori:



Bright Singh Seeni, dipl.ing.građ.
Sveučilište Anna, Tirunelveli, Indija
Državni tehnički fakultet
Odjel za građevinarstvo
s.brightsingh.sbs@gmail.com

Autor za korespondenciju



Doc.dr.sc. **Murugan Madasamy**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Anna, Tirunelveli, Indija
Državni tehnički fakultet
Odjel za građevinarstvo
murugan@gcetly.ac.in

Pregledni rad

Bright Singh Seeni, Murugan Madasamy

Pregled čimbenika koji utječu na svojstva poroznog betona

Porozni (propusni) beton je ekološki prihvatljivo rješenje u odnosu na nepropusnosti konvencionalnih betona. Porozni beton najčešće se sastoji od mješavine cementa, krupnijeg agregata i vode. Djelomičnim ili potpunim uklanjanjem sitnog agregata dobiva se porozna struktura koja zatim utječe na svojstva poroznog betona. Cilj je ovog rada opisati glavne čimbenike koji utječu na mješavine poroznog betona, odnosno zbijenost, omjer agregata i cementnog materijala (ACR), udio pijeska, omjer vode i cementnog materijala (v/cm), veličina krupnog agregata i udio šupljina ili poroznost. Također, u radu se raspravlja i o učincima različitih dodataka, zamjenskih materijala i vlakana u mješavinama. Rezultati pokazuju da porozni beton djeluje kao učinkovit medij u promicanju održivosti urbanih sredina zbog svojih višestrukih koristi.

Ključne riječi:

porozni beton, poroznost, krupniji agregat, veličina agregata, vlakna, zbijanje

Subject review

Bright Singh Seeni, Murugan Madasamy

A review of factors influencing performance of pervious concrete

Pervious concrete is an environment friendly solution for eliminating imperviousness-related drawbacks of conventional concrete. Pervious concrete mixes are predominantly composed of cement, coarse aggregate, and water. The partial or complete elimination of fine aggregate results in porous structure, which influences performance of pervious concrete. This article is aimed at reviewing major factors involved in the design of pervious concrete mixes, namely the compaction, aggregate to cementitious material ratio (ACR), sand fraction, water to cementitious material ratio (w/cm), size of coarse aggregate, and void ratio or porosity. The effects of various admixtures, replacement materials, and fibres, are also discussed. The results indicate that pervious concrete acts as an effective medium in promoting the sustainability of urban environments due to its multi-aspectual benefits.

Key words:

pervious concrete, porosity, coarse aggregate, size of aggregates, fibres, compaction

1. Uvod

Konvencionalni beton, koji se također naziva rigidni beton, ima veću tlačnu čvrstoću i čvrstoću na savijanje, no sprječava prodiranje oborinskih voda u dublje slojeve tla ispod betona. Posljedice toga predstavljaju ozbiljan problem za obnovu podzemnih voda, očuvanje vode i upravljanje otjecanjem vode pogotovo u urbanim sredinama. Porozni beton ili propusni beton uklanja prethodno navedene negativne posljedice konvencionalnih vrsta betona uvođenjem međusobno povezanih praznina koje omogućuju veću razinu otjecanja vode s površina od razine padalina. Spomenute praznine prožete su čitavom strukturom poroznog betona zbog namjernog izostavljanja sitnog agregata u potpunosti ili djelomično radi postizanja međupovezanosti sustava praznina. Porozni beton poznat je i pod drugim nazivima: beton bez sitnog agregata, propusni beton i beton s pojačanom propusnošću [1]. Općenito, struktura poroznog betona prije svega se sastoji od cementa, vode i krupnijeg agregata, stoga je poznat i kao beton bez sitnog agregata. Cementna pasta trebala bi biti dostatna da prekrije površinu agregata i da poveže agregat. Poroznost betona obično je između 11 i 35 % [2] s propusnošću od 0,2 do 3 cm/s [3]. Međutim, to doprinosi smanjenju gustoće u rasponu od 1600 kg/m³ do 2000 kg/m³ [4] i tlačne čvrstoće od 1,8 do 28 MPa [5, 6].

Porozni beton može se koristiti u izgradnji propusnih kolnika ili nogostupa, parkirališta i može se upotrebljavati za proizvodnju rubnjaka [7], kao gornji sloj u nekim sustavima pločnika [1], aerodromima [8], kao osnovni kolnik kod velikog prometnog opterećenja, na teniskim terenima [6], podovima bazena, nasipima, štalama za životinje, kamenim zaštitnim konstrukcijama [9] itd. Luck i dr. [10] ustanovili su da se porozni beton može učinkovito upotrebljavati za razdvajanje krutih i tekućih tvari u poljoprivredi. Lund i dr. [11] dokazali su da se porozni beton može upotrebljavati kao stabilizirajući materijal između habajućeg sloja i podstrukture mosta. Nadalje, Muthiayan i Thirumalai [12] potvrdili su da tlačna čvrstoća poroznog betona ispunjava zahtjeve suhog krupnozrnog betona (DLC) koji se uglavnom upotrebljava kao podbaza i baza za fleksibilne i rigidne pločnike. Erozija plaža može se spriječiti upotrebom poroznog betona zajedno s geosintetikom [13].

U usporedbi s konvencionalnim betonom, kapacitet pohranjivanja topline bit će manji kod pločnika od poroznog betona, a stopa hlađenja bit će viša, zbog čega će temperatura tla koje se nalazi ispod biti znatno manja [14]. Porozni beton služi kao filtrirajuće sredstvo za tekućine prije nego što penetrira na površinu tla te tako sprječava prodiranje zagađivača u tlo. Nadalje, problemi koji se odnose na razmjenu topline i vlage s atmosferom u urbanoj sredini u tlu ispod betona, mogu se ublažiti upotrebom poroznog betona. Na taj se način smanjuju toplinski otoci u urbanim sredinama i smanjuje se urbano pohranjivanje topline [15]. Osim toga, u nekim slučajevima, može se odrediti smanjivanje ili uklanjanje skupih sustava navodnjavanja i otjecanja. Međutim, može doći do začepjenja praznina u poroznom betonu sedimentima bilja i tla zbog čega

je potrebno redovito održavanje kako bi se dugotrajno održao sustav propusnosti.

Najvažniji elementi kojima se bavi ovaj rad odnose se na proučavanje sljedećeg:

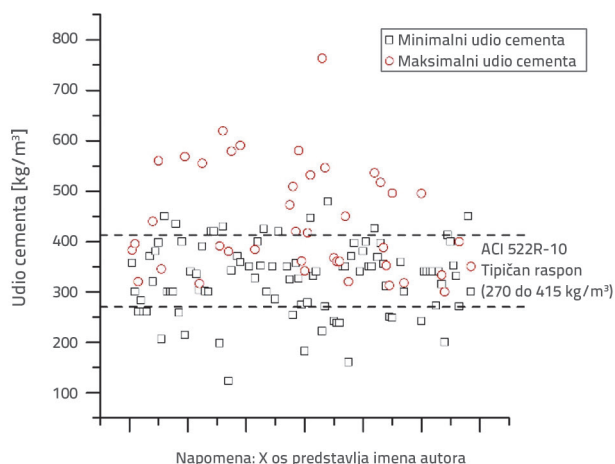
- utjecaj parametra mješavine, odnosno omjer agregata i cementnog materijala (ACR), udio cementa, omjer vode i cementnog materijala (v/cm), poroznost ili udio šupljina i udio pijeska
- učinak značajki materijala koji se stavlja u mješavinu, pogotovo veličina krupnog agregata
- učinak aditiva, zamjenskih materijala i vlakana u proporcijama mješavine.

2. Svojstva mješavine

2.1. Omjer agregata i cementnog materijala (ACR)

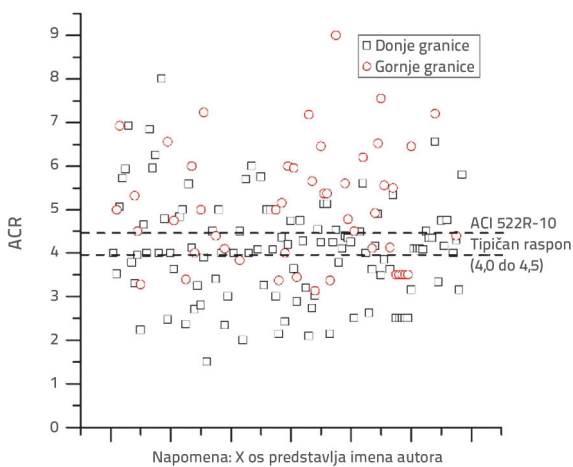
Na izvedbu poroznog betona znatno utječe omjer agregata i cementa jer krupniji agregat zauzima većinu betonskog kostura kojem je potrebno dovoljno vezivnog materijala bez sitnog agregata. Krupniji agregat čini 85 % volumenskog udjela mješavine za porozni beton visoke učinkovitosti (eng. *high performance pervious concrete* - HPPC) [15].

Tipičan raspon udjela cementnog materijala prema ACI 522R-10 [6] jest između 270 i 415 kg/m³ (slika 1.). Nekoliko je znanstvenika upotrijebilo udio s mnogo i malo cementa u odnosu na iznad navedene vrijednosti kako bi razumjeli njihov učinak. Međutim, upotreba većeg udjela cementa rezultira većom tlačnom čvrstoćom [13, 16]. U slučaju mješavina s niskim udjelom cementa, dolazi do nedostatka u cementnoj pasti koji se očituju pucanjem veza između agregata, dok kod mješavina s visokim udjelom cementa dolazi do sloma uz sâm agregat [13]. Povećanjem udjela cementa povećava se debljina premaza cementne paste na površini agregata [17]. Debljina premaza cementne paste na agregatu ima iznimno bitnu ulogu u opisu hidroloških i strukturnih značajki poroznog betona [18]. Xie i dr. [19] pokušali su proučavati učinke sučeljka paste na površini agregata koji ne bi naškodilo minimalnim vrijednostima poroznosti.



Slika 1. Udio cementa u mješavini za porozni beton

Općenito gledano, vrijednosti ACR-a poroznog betona u rasponu su od 4 do 6 u odnosu na masu [20]. Mješavine za porozni beton s vrijednosti ACR-a iznad 4,5, odnosno ispod 4,5 mogle bi se smatrati mješavinama s malom količinom paste, odnosno s većom količinom paste [5]. Wang i dr. [21] preporučuju vrijednost ACR-a između 4,17 i 5 kako bi se postigla bolja tlačna čvrstoća. ACR mijenja vrijednost tlačne čvrstoće poroznog betona određivanjem udjela šupljina [22]. Povećanjem ACR-a, tlačna čvrstoća poroznog materijala smanjuje se zbog redukcije udjela cementnog materijala koji pranja na površini agregata, kao i povećanja veličina pora [23]. Vrijednosti ACR-a doprinose približno 50 % propusnosti betona. Smanjenje ACR-a rezultirat će smanjenjem intergranularnih šupljina zbog veće otpornosti prema komprimiranju koja je uzrokovana manjom količinom agregata [24]. To je u skladu s nalazima koje navode Emiko i dr. [25] i Mohammed i dr. [26] prema kojima niže vrijednosti ACR-a rezultiraju povećanom tlačnom čvrstoćom, dok se veće vrijednosti ACR-a očituju se poboljšanjem vrijednosti propusnosti. Volumen cementne paste trebao bi se odabrati na temelju debljine sučeljka koji se može dobiti na površini agregata. Tanji sučeljak može uzrokovati nedovoljnu čvrstoću spoja, a deblji sučeljak može otežati međusobnu povezanost pora i rezultirati nakupinama na dnu betona [27]. Veći ACR u mješavini očituje se manjim opterećenjem na beton, što upućuje na rano nastupanje problema u sustavu pločnika [28]. Slika 2. prikazuje vrijednosti ACR-a prema različitim znanstvenicima.



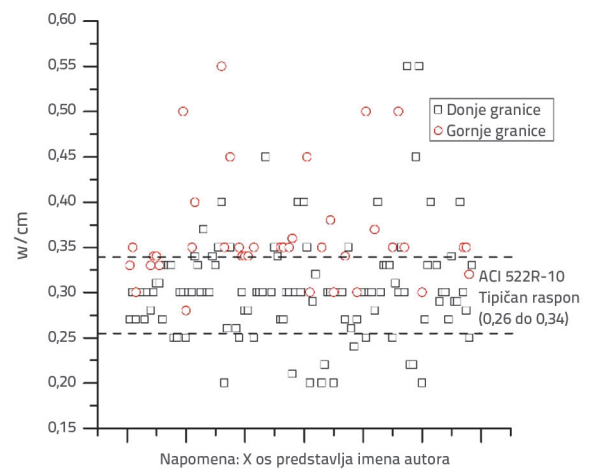
Slika 2. Omjer agregata i cementnog materijala (ACR) u mješavini za porozni beton

2.2. Omjer vode i cementnog materijala (v/cm)

Porozni beton s ujednačeno rasprostranjenom ili, drugim riječima, konzistentnom cementnom pastom preko čitavog uzorka ključan je za postizanje optimalne izvedbe. Konzistentnost cementne paste ovisi prije svega o omjeru vode i cementa i dodataka u smjesi, zajedno s vrstom i količinom

vezivnog sredstva [29]. Viši v/cm omjer utječe na obradivost koja se može dobiti i pri niskom v/cm omjeru upotrebom superplastifikatora [7].

Omjer vode i cementnog materijala (v/cm) za porozni beton općenito varira između 0,27 do 0,43 [20, 30] kao što je vidljivo iz slike 3. Nguyen i dr. [31] predlažu 0,34 do 0,40 za omjer v/cm u slučaju mješavina bez dodataka u smjesi. Odsutnost sitnog agregata rezultira smanjenjem kontaktne površine, zbog čega je potrebno manje vode za povezivanje agregata. Međutim, upotrebom aditiva, poput plastifikatora ili ostalih tvari koje utječu na obradivost, moguće je dodatno smanjiti potrebu za vodom kako bi se postiglo učinkovito povezivanje površine agregata s cementnom pastom. Veći v/cm može dovesti do izdvajanja vode te premještanjem cementnog materijala zajedno s vodom koje povlači gravitacija prema dnu mješavine, što u konačnici uzrokuje nejednaku rasprostranjenost šupljina [32]. Omjer v/cm koji je veći od 0,38 zadržava cementnu pastu u tekućem stanju koja se taloži zbog gravitacije [31]. Značajke poroznosti i propusnosti poroznog betona smanjuju se povećanjem v/cm [33].

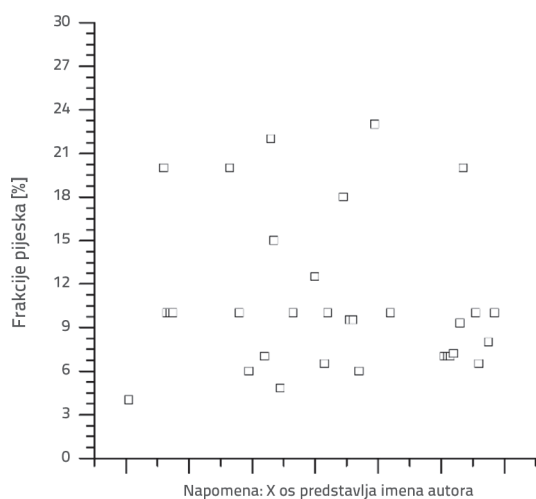


Slika 3. Raspon v/cm u mješavini za porozni beton

Omjer v/cm koji je manji od 0,25 očituje se grubom mješavinom zbog veće otpornosti prema kompaktnosti [24], što rezultira slabijom vezom između agregata i cementne paste [34]. Lim i dr. [16] opisuje mješavinu s manjim v/cm kao suhu i krhku. Stoga je ključno postići optimalnu količinu vode kako bi se izbjegla segregacija i izdvajanje vode. Mnogi su znanstvenici upotrebljavali razna sredstva/dodatke kao što su superplastifikatori [35-37], sredstva za modifikaciju viskoznosti [3], dodatke za smanjenje vode [20], dodatke za modifikaciju reologije [5], usporivači vezivanja [6], aeranti [38], itd. kako bi se osigurala dovoljna obradivost bez povećanja v/cm preko optimalne razine. Upotrebom superplastifikatora na bazi polimera u načelu se poboljšavaju mehanička svojstva poroznog betona [16]. U usporedbi s poroznošću i veličinom agregata, učinak v/cm je minimalan i beznačajan [32].

2.3. Udio pijeska

Nguyen i dr. [31] predlažu upotrebu 7 % pijeska u odnosu na težinu krupnijeg agregata za dobivanje ravnoteže između svojstava propusnosti, mehaničke čvrstoće i svojstva trajnosti. Povećanje proporcije sitnog agregata znatno povećava mehanička svojstva poroznog betona [1, 39, 40]. Volumen cementne paste kojim se pokriva agregatna površina povećava se zbog većeg udjela pijeska [41]. Korištenjem sitnog agregata, njegova sposobnost upijanja vode utječe na postupak hidratacije te posljedično i na mehaničku čvrstoću [42]. Izvedba mješavina s visokim omjerom v/cm znatno se poboljšala upotrebom pijeska u usporedbi s mješavinama s niskim omjerom v/cm jer upijanje vode u pijesak može smanjiti hidrataciju cementa u potonjem slučaju [41].



Slika 4. Razmjer pijeska u mješavini za porozni beton

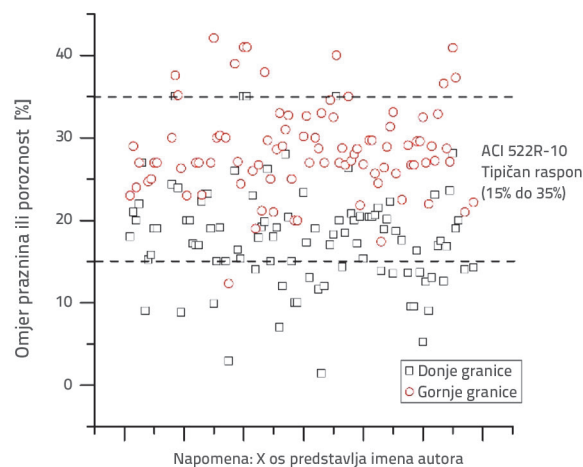
Odsutnost sitnog agregata doprinosi omjeru šupljina i propusnosti betona [1, 40, 42]. Međutim, mala količina sitnog agregata u poroznom betonu u načelu poboljšava svojstva trajnosti i čvrstoću [20]. Slično su zamijetili i Muthaiyan i Thirumalai [12], kao i Magesvari i Narasimha [43] u svim rasponima zbog poboljšanja međupovršinske povezanosti. Slika 4. prikazuje udio pijeska koji su razni znanstvenici uključili u mješavinu za porozni beton. Čvrstoća na savijanje i vlačna čvrstoća cijepanjem poroznog betona također su pojačane povećanjem udjela pijeska [43]. Povećanje razmjera pijeska s 15 % na 20 % uzrokuje povećanje tlačne čvrstoće poroznog betona za 43 %, čvrstoće na savijanje za 46 % i vlačne čvrstoće cijepanjem za 64 % [1]. Gubitak mase uzoraka nad kojima je proveden Cantabrov test za abraziju znatno je smanjen povećanjem udjela pijeska [41].

2.4. Poroznost ili omjer šupljina

Poroznost je temeljna značajka poroznog betona zbog propusnosti vode. Liu i dr. [44] navode ključnu ulogu poroznosti u opisu svojstava poroznog betona. Međutim, poroznost ne

stvara prednost za mehaničke značajke betona i stoga se može smatrati najslabijim dijelom strukture poroznog betona [45]. Isto tako, tijekom istraživanja međuodnosa poroznosti i čvrstoće poroznog betona, Lian i dr. [46] pišu o prazninama kao defektima koje se šire kao frakture unutar uzorka. Poroznost poroznog betona ponajviše je pod utjecajem veličine agregata, oblika agregata i same prirode agregata [47]. Gradacija agregata također smanjuje poroznost zbog bolje popunjenosti praznina [29]. Li i dr. [48] identificirali su rasprostranjenost veličine čestica i kompaktnost kao najutjecajnije čimbenike u odnosu na poroznost. Udio šupljina u donjem dijelu uzorka u pravilu je nešto manji od 10 % u odnosu na gornji i srednji dio zbog visokog udjela paste i visokog toka paste pod vibracijama koje potpomaže gravitacija [49]. Kapacitet upijanja vezivnog materijala također rezultira razlikom u vrijednostima poroznosti [18].

Porozni beton ima tri vrste pora, a to su: zatvorene pore, otvorene pore i povezane pore [27]. Zhong i Wille [50] definiraju učinkovitu poroznost i potpunu poroznost kao omjer volumena povezanih pora i omjer potpunog volumena pora (zbroj povezanih i izoliranih pora) u odnosu na ukupan volumen uzorka za oba slučaja. Propuštanje vode počinje kroz otvorene pore koje su povezane s vanjskim okolišem [48]. Povezane pore imaju ključnu ulogu na utjecaj poroznosti i značajke odvoda vode [27, 48], a otvorene pore utječu na čvrstoću poroznog betona [48]. Liu i dr. [44] ustanovili su da se ukupna poroznost sastoji od 10 % do 20 % zatvorenih pora i 80 % do 90 % učinkovitih ili povezanih pora.



Slika 5. Poroznost ili udio šupljina upotrijebljen u prethodnim istraživanjima

Smanjenje veličine agregata smanjuje i poroznost betona [9, 30, 42]. Povećanjem udjela sitnog agregata, ukupne šupljine poroznog betona u načelu se smanjuju. Upotrebom superplastifikatora i ostalih sredstava utječe se na obradivost betona zbog promjene u ukupnom udjelu šupljina. Neovisno o veličini agregata, upotreba agregata jednake veličine rezultira uskim rasponom poroznosti u usporedbi s gradiranim agregatom [29]. Upotrebom miješanog agregata, odnosno

agregata različitih veličina, izazvat će se smanjena poroznost zbog učinka punila agregata manjih veličina u prazninama agregata većih veličina [22]. Povećanjem v/cm postupno se smanjuju otvorene i povezane pore zbog popunjavanja pora [48]. Povećanjem volumena paste povećava se učinak punila pastom što utječe na poroznost za određeni omjer v/cm [48]. Poroznost betona smanjuje se povećanjem debljine cementne paste koja prijanja na površinu agregata [17].

Povećanjem vrijednosti ACR-a, poroznost poroznog betona također se povećava [51]. Lokalizirana poroznost u blizini loma na površini utječe na izdržljivost i čvrstoću na savijanje više nego na ukupnu poroznost [28]. Dodavanje pucolanskog materijala pojačat će matricu betona tako što će smanjiti vrijednost poroznosti [52]. Povećanje udjela šupljina u mješavini za porozni beton rezultirat će većim gubitkom težine [12]. Potrebno je napomenuti kako povećanje u samoj poroznosti ima iznimno mali učinak na veličinu pora, no utječe na broj otvorenih i povezanih pora [53].

Otkriveno je da industrijski otpad sadrži veću poroznost u usporedbi s recikliranim agregatom zbog heterogenosti

recikliranih agregata [52]. Deo i Neithalath [5] pokušali su proračunom analizirati mješavinu poroznog betona kako bi dobili željenu poroznost upotrebom različitog udjela cementne paste. Smanjenjem veličine upotrijebljenog agregata, ustanovilo se da se smanjuje udio povezanih pora [54]. Povećanjem udjela povezanih pora pada broj ciklusa otpornosti na mraz, a s povećanjem broja ciklusa smrzavanja i odmrzavanja, ubrzava se stopa gubitka mase [27, 32]. Promatranjem krivulje napreznja i deformacija otkriva se krhka priroda niske poroznosti poroznog betona koja je u skladu s konvencionalnim betonom [5]. Yao i dr. [27] preporuča upotrebu 15 % poroznosti za porozni beton kad se upotrebljava kao gruba baza pod ekstremnim uvjetima kao što su razlike u srednjoj temperaturi koje su više od prosječne i u iznimno teškim prometnim uvjetima. Šupljine prisutne u poroznom sustavu betona učinkovito upijaju zvukove [55]. Ng i dr. [7] preporučuju da udio šupljina poroznog betona bude između 15 % i 25 % kao prihvatljiv kriterij za osiguranje kvalitete betona. Slika 5. pokazuje raspon poroznosti koju su upotrebljavali prethodni znanstvenici, a tablica 1. daje pregled svojstava poroznog betona.

Tablica 1. Svojstva poroznog betona

Sl. br.	Literatura i opis	ACR	Frakcije pijeska [%]	Cement [kg/m ³]	v/cm	e/n [%]	k [mm/s]	Velicina agregata [mm]	f _c [MPa]	f _r [MPa]	f _t [MPa]	Gustoća [kg/m ³]
1	[9] - HPPC	3,52-5,00	-	300-395	0,30-0,35	18-23 ^e	2-20	13-20 5-13 2,5-5	16-25	3,5-5,0	-	1620-1740
	[9] - CPC	5,06-6,92	-	260-320	0,27-0,30	21-29 ^e	2,5-33	13-20 5-13 2,5-5	11-15	2,2-3,2	-	1620-1740
2	[3] - LSLD	6,92	-	260	0,27	27 ⁿ	8,6 ^c	10	9	-	0,98	1855
	[3] - HSHD	3,78	-	370	0,30	9 ⁿ	2,4	10	35	-	3,04	2228
3	[36] - SPC	3,30-5,32	-	320-440	0,28-0,33	15-25 ⁿ	-	4,75 9,5	35-47	4,2-6,1	-	-
	[36] - PPC	3,95-4,50	-	380	0,30-0,34	16-25 ⁿ	-	4,75 9,5	38-51	4,8-7,4	-	-
4	[23]	4,00	-	-	0,25-0,28	-	2,52-2,64	4,75-9,5 9,5-16 16-19	13-32	2,2-4,5	-	-
5	[37]	3,63-4,75	-	340	0,30	20-23 ⁿ	3,05-3,53	2,36-9,5	18-23	3,2-3,8	2,55-3,01	1900-2500
6	[45]	3,40-4,40	-	342-579	0,35-0,45	3-12 ⁿ	3,1-13,3 ^c	0,24-0,48 0,48-0,95	8-28	2,6-4,2	1,4-3,1	1990-2391
7	[29]	5,70	-	351	0,30	18-27 ⁿ	-	2-4 4-8	25-51	-	1,69-2,95	-
8	[49]	2,14-3,37	-	254-509	0,21-0,36	15-25 ^e	-	5-13	15-44	-	-	-
9	[56]	4,36-5,15	-	356-420	0,30	10-20 ⁿ	1,58-7,5 ^f	10 20	15-54	-	2,5-4,5	2036-2359
10	[52]	2,42-4,00	-	326-580	0,40	10-20 ⁿ	1,88-21,14 ^f	20	3-37	0,9-3,1	0,68-3,10	1625-1984

Tablica 1. Svojstva poroznog betona

Sl. br.	Literatura i opis	ACR	Frakcije pijeska [%]	Cement [kg/m ³]	v/cm	e/n [%]	k [mm/s]	Veličina agregata [mm]	f _c [MPa]	f _r [MPa]	f _t [MPa]	Gustoća [kg/m ³]
11	[55]	2,88-3,44	-	447-532	0,20-0,30	13-27 ⁿ	2,95-6,48 ^c	5-12 12-16	13-36	-	-	-
12	[48]	2,09-7,18	-	222-763	0,20-0,35	1-33 ⁿ	0-24 ^c	5-10	8-76	-	-	-
13	[46]	4,54-4,00	0 do 18 %	-	0,30-0,38	17-34 ⁿ	-	4,75-9,5 6,7-9,5 4,75-13,2	12-46	-	-	1734-2240
14	[47]	4,35-4,78	23 %	340	0,30	20-22 ^e	3,05-3,46	12,5-4,75	18-23	3,2-3,7	2,55-2,8	1870-2005
15	[15] – PR	4,49	-	350	0,30	20-30 ^e	8,9-16,6	4,75-9,5 9,5-19	9-79	1,3-12,9	1,3-12,8	-
	[15] – ER	4,49	-	350	0,30	20-30 ^e	8,9-16,6	4,75-9,5 9,5-19	9-61	1,3-12,3	1,3-12,2	-
16	[50] - UHSM	2,50-3,50	-	-	0,22	10-27 ⁿ	-	1,2-4,8	15-66	-	-	-
	[50] - HSM	2,50-3,50	-	-	0,45	16-30 ⁿ	-	1,2-4,8	9-23	-	-	-
	[50] - NSM	2,50-3,50	-	-	0,55	14-30 ⁿ	-	1,2-4,8	8-23	-	-	-
17	[16]	3,15-6,45	-	242-495	0,20-0,30	5-32 ⁿ	1,13-22,8	1,18-9,5 9,5-19	8-52	1,9-4,5	-	-
18	[58] - v/cm 0,27	4,10	7 %	340	0,27	12-27 ⁿ	1,08-2,8 ^f	2,36-19	13-25	2,2-4,3	1,7-3,2	-
	[58] - v/cm 0,33	4,10	7 %	340	0,33	9-22 ⁿ	0,8-2,4 ^f	2,36-19	13-29	2,2-4,9	1,8-3,3	-
	[58] - v/cm 0,40	4,10	7 %	340	0,40	13-29 ⁿ	2,6-4,8 ^f	2,36-19	12-24	2,1-4	1,6-3,2	-
19	[1]	4,35	0-20 %	315-333	0,30	13-37 ^e	2,4-8,8	4,75-9,5 9,5-16 16-25	10-33	1,0-5,0	0,34-3,52	1825-2338
20	[59]	5,80-6,84	10 %	300-350	0,33	14-22 ⁿ	-	0-4 4-8 8-16	20-27	2,8-4,9	-	2077-2435

Napomena: f_c – tlačna čvrstoća; f_r – čvrstoća na savijanje; f_t – vlačna čvrstoća cijepanjem; e – udio šupljina; n – poroznost; f – metoda mjerenja koeficijenta propusnosti manje propusnog tla; c – metoda mjerenja koeficijenta propusnosti propusnog tla; HPPC – porozni beton visoke učinkovitosti; CPC – konvencionalni porozni beton; ISLD – mješavina male čvrstoće/gustoće; HSHD – mješavina velike čvrstoće/gustoće; SPC – dodatci betonu porozni beton s mineralnim dodatcima betonu; PPC – polimerni porozni beton; PR – poliesterska smola; ER – epoksidna smola; NSM – matrica normalne čvrstoće; UHSM – matrica iznimno velike čvrstoće; HSM – matrica velike čvrstoće

3. Veličine agregata

Agregat s jednakom veličinom između 19 i 9,5 mm [6] obično je idealan za porozni beton jer povećava propusnost betona [20]. Međutim, tlačna i vlačna čvrstoća poroznog betona može se povećati upotrebom dviju različitih veličina agregata umjesto agregata jednake veličine [29]. Najveća veličina zrna agregata koju predlažu Yang i dr. [40] za nosivi sloj kolnika od poroznog betona iznosi 26,5 mm. Veličine agregata uključenih u prethodne studije prikazane su u tablici 1.

Razlike u veličini agregata ne utječu značajno na obradivost poroznog betona [9]. Poroznost agregata smanjuje se upotrebom

graduiranih agregata zbog veće gustoće pakiranja zrna, što dovodi do smanjene propusnosti. Ujednačena granulometrija agregata znatno utječe na propusnost poroznog betona [60]. Ujednačenom granulometrijom agregata beton ne postaje gušći zbog manjeg raspona veličina agregata, što dovodi do stvaranja veće količine šupljina. Primjenom agregata različitih veličina smanjuje se količina šupljina zbog efektivnog pakiranja šupljina prisutnih između većih zrna agregata. Primjenom agregata veličine od 9,5 do 19 mm [20] dovoljno se povećavaju šupljine, a veličina od 2,36 do 9,5 mm znatno povećat će čvrstoću [2, 61]. Yang i dr. [40] opisuju da uključivanje krupnijeg agregata veličine 4,75 do 9,5 mm poboljšava približno za 20 % parametre čvrstoće

odgovarajućom propusnošću. Manja zrna agregata negativno utječu na poroznost ispunjavanjem pora, no koriste povećanju jedinične mase betona. Prema prirodi agregata i načinu zbijanja, veličina praznina varira od 2 do 8 mm [6]. Pore većih dimenzija i veća poroznost mogu se postići upotrebom krupnijih agregata [16], a manja zrna agregata imaju pore manjih dimenzija [6]. Međutim, na veličinu pora utječe i granulometrija agregata i debljina agregatne paste, a uglavnom ne utječe veličina krupnijeg agregata [17].

Zbog prisutnosti većeg postotka manjeg zrna agregata u granulometriji dobije, se gušći beton [59]. Prema Grubesa i dr. [62], oštri rubovi zrna dijabaze omogućuju ravnomjerno kretanje vode kroz praznine i stoga se smatraju optimalnim agregatom za porozni beton. Krupniji agregati imaju veće unutarnje pore [53]. Upotreba sitnozrnatog dolomita dovodi do povećanja tlačne čvrstoće, a gruba dijabaza i čelična troska dovode do smanjenja tlačne čvrstoće [62]. Upotreba manjeg zrna agregata može dovesti do homogene mješavine, a primjena krupnijeg agregata do heterogene [22]. Na rasipanje energije u poroznom betonu značajno utječe broj, razmak, oblik i veličina pora. Veće pore povećavaju koncentraciju naprezanja sa smanjenom žilavosti [5] što uzrokuje visoku stopu širenja poremećaja [28]. Na otpornost prema zamrzavanju i odmrzavanju poroznog betona uvelike utječe veličina krupnih agregata [32]. Manje veličine agregata pomažu u poboljšanju trajnosti na zamrzavanje i odmrzavanje poroznog betona i drugih svojstava [32].

4. Metoda zbijanja betona i energija zbijanja

Način zbijanja značajno utječe na svojstva poroznog betona. Povećanje energije zbijanja utječe na volumetrijska svojstva betona povećanjem nasipne gustoće betona i smanjuje propusnost betona smanjenjem udjela šupljina [41]. Ručnim zbijanjem postiže se heterogena mješavina zbog diferencijalne zbijenosti agregata što dovodi do niske mehaničke čvrstoće. U usporedbi s ručnim zbijanjem, zbijanje pomoću udarnog čekića postiže se veća mehanička čvrstoća [29]. Međutim, Mulyono i Anisah [63] predlažu upotrebu energije manjeg učinka kako se agregati ne bi zdrobili tijekom zbijanja. Kevern i dr. [64] upotrebljavali su kružni zbijač, a Putman i Neptune [65] i Li i dr. [48] upotrebljavali zbijanje teškom mehanizacijom za simuliranje zbijanja u stvarnim uvjetima. Zbijanje primjenom metoda vibracija prikladnih za konvencionalni beton nije primjereno kod poroznog betona jer utječe na njihovu raspodjelu šupljina [62]. Povećanjem energije vibracija smanjuje se omjer šupljina [51]. Yang i dr. upotrijebili su vibrirajući stol 40 sekundi s opterećenjem od 5 kg na vrhu. Zhu i dr. [57] preporučuju vibracije od 8 do 12 sekundi za postizanje dobre ravnoteže između propusnosti i čvrstoće. Slično zbijanje površine vibracijama s pomoću vibracijske energije od 90 kNm/m² primjenjivali su Chindaprasirt i dr. [49].

Metoda zbijanja i energija zbijanja mogu negativno utjecati na povezivost pora zbog učinka na orijentaciju i pakiranje sastojaka betona i stoga je nužno ograničiti zbijenost [29].

Često se primjenjuju impulzivne metode zbijanja kao što je Proctorov čekić [17, 28, 67-69] ili Marshallov nabijač [41, 66] za zbijanje uzoraka poroznog betona u svrhu ispitivanja. Prilikom postavljanja kolnika, porozni se beton zbjia ručnim čeličnim valjcima s niskom energijom zbijanja [66]. Debljina cementne paste bit će minimalna kod nezbijenih uzoraka, a povećava se s povećanjem zbijenosti i tako cementna pasta stvara vezu između agregata [17]. Pojačanim zbijanjem dobiva se veća gustoća pakiranja zrna agregata čime se postiže reduciran broj i veličina pora [38]. Povećanje trajanja vibracija ili ponavljanje zbijanja značajno povećava tlačnu čvrstoću [57]. Kalibracija zbijanja u laboratoriju u odnosu na zbijanje na terenu nužna je kako bi se osigurala odgovarajuća trajnost [66].

5. Uloga dodataka/zamjenskih materijala i vlakana u poroznom betonu

5.1. Mineralni dodaci / zamjenski materijali

Poboljšanje gospodarenja otpadnim materijalima / industrijskim nusproizvodima može se postići njihovom upotrebom u građevinarstvu čime se smanjuje njihov štetni učinak na okoliš [1, 55]. Materijali kao što su leteći pepeo, metakaolin, silicijska prašina i mljevena granulirana zgura iz visokih peći također se smatraju dodatnim mineralnim dodatcima (SCM) uz cement koji se upotrebljava [18]. Primjenom aditiva postiže se visoka stopa razvoja čvrstoće u ranoj starosti zbog brzog vezanja agregata i paste [1]. Čvrstoća cementne matrice može se povećati upotrebom materijala s pucolanskim svojstvima kao što je nanosilicijska prašina koji proizvodi više C-S-H gela zbog učinka mikropunjenja kojim se postižu više vrijednosti čvrstoće [26]. Utjecaj različitih vrsta materijala uz postotak dodavanja ili zamjene na svojstva poroznog betona prikazan je u tablicama 2. i 3.

Zamjena agregata u poroznom betonu ispitana je pomoću materijala niske i visoke gustoće. Najčešće korišteni materijali niske gustoće su reciklirani ili otpadni materijali čime se utječe na učinkovito gospodarenje otpadom. Iako povećanje postotka recikliranog agregata negativno utječe na vrijednosti čvrstoće poroznog betona, može se upotrebljavati u postocima kojima se postižu potrebne standardne vrijednosti čvrstoće. Na taj način može se utjecati na gospodarstvo i poboljšati uporabljivost agregata [88]. Materijali koji imaju manje gustoće od konvencionalnih agregata utječu na smanjene vrijednosti parametara čvrstoće, no unutar prihvatljivih raspona. Ugradnjom agregata visoke gustoće kao što je bakrena troska postižu se veće tlačne čvrstoće uglavnom zbog njihovih većih mehaničkih svojstava i gušće prijelazne zone [37]. Uporabom materijala s pucolanskim svojstvima postiže se bolja cementna matrica te se poboljšavaju mehanička svojstva poroznog betona [73]. Ugradnjom otpadnih materijala u mješavinu poroznog betona postiže se bolja apsorpcija zvuka [55]. Vlačna čvrstoća poroznog betona cijepanjem može se značajno poboljšati primjenom letećeg pepela i silicijske prašine [1]. Primjenom letećeg pepela, granuliranih zgura visokih peći (GGBS) i metakaolina produljuju

se svojstva trajnosti poroznog betona povećanjem njegove otpornosti na sulfate i alkalno-silikatnu reakciju [13]. Tlačna čvrstoća razvija se brže u ranoj starosti betona koji sadrži

metakaolin, čime se postiže gušća mikrostruktura [76]. Wang i dr. [21] preporučuju upotrebu udjela od 20 % letećeg pepela za porozni beton visoke čvrstoće.

Tablica 2. Zamjena cementa mineralnim dodatcima (SCM)

Literatura	SCM	Raspon zamjene	Prednosti	Nedostatci
[13, 19, 30, 42, 52, 56, 70, 71]	Granulirane zgre visokih peći (GGBS)	0 to 70 %	<ul style="list-style-type: none"> – Smanjuje Albedo vrijednost – Povećava gustoću cementne matrice – Poboljšava tlačnu čvrstoću i svojstva trajnosti 	– Smanjuje poroznost
[1, 19, 23, 37, 42, 46, 61, 72, 73, 74, 75]	Silicijska prašina	0 do 25 %	<ul style="list-style-type: none"> – Poboljšava mikrostrukturu cementne paste – Poboljšava mehaničku čvrstoću – Poboljšana otpornost na zamor – Poboljšanje parametara trajnosti i čvrstoće – Značajno poboljšanje čvrstoće uz uporabu superplastifikatora – Pucolanska svojstva pomažu u dodatnom stvaranju C-S-H gela 	– Smanjuje propusnost
[1, 7, 11, 13, 14, 18, 21, 26, 36, 42, 51, 63, 68]	Leteći pepeo	0 do 75 %	<ul style="list-style-type: none"> – Poboljšava otpornost na zamor – Poboljšava otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje – Poboljšava vrijednosti mehaničke čvrstoće – Učinak mikropunjenja smanjuje poroznost i propusnost 	– Smanjuje tlačnu čvrstoću pri višim razinama zamjene
[13, 76]	Metakaolin	0 do 10 %	<ul style="list-style-type: none"> – Poboljšana cementna pasta – Bolja tlačna čvrstoća u ranijoj starosti – Veća otpornost na sulfatno djelovanje i abraziju 	
[77]	Pepeo od šećerne trske	0 do 25 %	– Poboljšava tlačnu čvrstoću zbog pucolanskog svojstva	
[58]	Pepeo od rižinih ljuski	0 do 12 %	<ul style="list-style-type: none"> – Pojačava čvrstoću cementne paste – Optimalni postotak – 8 % 	
[51]	Epoksidna smola i učvršćivači	0 do 40 %	– Povećava prijanjanje između sastojaka	
[72]	Lateks od stiren-butadien kaučuka	10 do 20 %	– Poboljšava unutarnju koheziju između sastojaka	
[29]	Mikrosilika	15 %	– Učinak silicijske prašine veći je kod sitnozrnatih agregata nego kod krupnijeg agregata	
[7]	Gumeni granulati	0 do 5 %		– Smanjuje poroznost i propusnost zbog popunjavanja praznina
[15]	Poliesterska smola	12 do 16 %	– Povećava mehanička svojstva i svojstva trajnosti	– Smanjuje vrijednosti propusnosti
[15]	Epoksidna smola	12 do 16 %	– Povećava mehanička svojstva i svojstva trajnosti	– Smanjuje vrijednosti propusnosti

Tablica 3. Materijali kao zamjena za krupniji agregat

Literatura	Materijal	Raspon zamjene	Prednosti	Nedostatci
[30, 52, 70, 71, 72, 73, 78, 79, 80, 81]	Reciklirani agregati	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Povećava poroznost i propusnost – Na čvrstoću cijepanja ne utječu reciklirani agregati 	<ul style="list-style-type: none"> – Reciklirani agregati utječu na čvrstoću zbog loših prijelaznih karakteristika i slabe povezanosti agregatne paste – Jedinična težina se smanjuje s recikliranim agregatima – Smanjuje čvrstoću zbog niske nasipne gustoće i otpornosti na abraziju
[72]	Gumeno vlakno	0, 5 do 3 %		<ul style="list-style-type: none"> – Manja čvrstoća vezanja između gumene i cementne paste smanjuje čvrstoću
[59, 62]	Čelična troska	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Povećava gustoću betona – Gustoća betona je veća od drugih agregata 	
[82]	Komadi gume	0 do 100 %		<ul style="list-style-type: none"> – Niža tlačna čvrstoća, vlačna čvrstoća cijepanjem i modul elastičnosti
[62]	Dolomit	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Povećava tlačnu čvrstoću 	
[62]	Dijabaz	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Optimalna vrsta materijala gledano s hidrološke strane 	
[35]	Vulkanski šljunak	0 do 100 %		<ul style="list-style-type: none"> – Smanjuje se modul elastičnosti
[83]	Palmino ulje u obliku klinkera	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Optimalni postotak zamjene je 25 % 	<ul style="list-style-type: none"> – Nije prikladno za izvođenje konstrukcija
[55]	Ljuske palminih sjemenki	0 do 75 %	<ul style="list-style-type: none"> – Bolja apsorpcija zvuka 	<ul style="list-style-type: none"> – Vrijednosti čvrstoće smanjuju se s povećanjem postotka zamjenskog materijala
[55]	Ljuske školjki	0 do 75 %		<ul style="list-style-type: none"> – Vrijednosti čvrstoće smanjuju se s povećanjem postotka zamjenskog materijala
[54, 84]	Pepeo s rešetke ložišta	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – U skladu sa zahtjevima poroznog betona – Veće vrijednosti poroznosti 	
[47]	Bakrena troska	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Optimalni udio bakrene troske je 60 % na temelju tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće cijepanjem i čvrstoće na savijanje 	
[85]	Drobljena školjka	0 do 60 %		<ul style="list-style-type: none"> – Manja mehanička čvrstoća – Slabija svojstva trajnosti
[86]	Kiseli plovuđac	0 do 50 %	<ul style="list-style-type: none"> – Povećana poroznost 	<ul style="list-style-type: none"> – Smanjena mehanička svojstva i gustoća
[71, 80]	Keramički otpad	100 %		<ul style="list-style-type: none"> – Tlačna čvrstoća smanjena za 60 %
[45, 80]	Troska	0 do 100 %	<ul style="list-style-type: none"> – Poboljšava mehanička svojstva više od uobičajenih agregata – Veća propusnost i tlačna čvrstoća od šljunka 	
[87]	Projektirana biomasa	0 do 25 %	<ul style="list-style-type: none"> – Optimalni postotak zamjene je 20 % 	

Tablica 4. Utjecaj vlakana na svojstva poroznog betona

Vrsta vlakna	Literatura	Duljina [mm]	Dia [mm]	Razmjeri [mm]	Napomene
Polipropilensko vlakno	[72]	12		0,1 do 0,2 %	Smanjena tlačna čvrstoća Poboljšava vlačnu čvrstoću cijepanjem i čvrstoća na savijanje
	[66]	19			Nema značajnog poboljšanja čvrstoće
	[66]	12			Smanjuje čvrstoću i krutost
	[66]	18			Povećanjem duljine vlakana poboljšavaju se mehanička svojstva
	[56]	18			Nema značajnog poboljšanja vlačne čvrstoće
	[91]	38,56		0,16 do 0,49 %	Poželjno je 56 mm i 0,16 %
	[92]				Poboljšana vlačna čvrstoća
	[93]	19			Nema utjecaja na horizontalne i vertikalne deformacije
	[75]			0,025 do 0,1 %	-
Kompozitni materijali ojačani ugljičnim vlaknima	[67]	11,6		0,27 do 0,4 %	Poboljšava čvrstoću na savijanje i vlačnu čvrstoću PC-a
	[67]			0 do 1,5 %	Značajno poboljšanje mehaničkih svojstava i svojstava trajnosti
	[90]	2 do 0,841		0 do 5 %	Nema značajnijeg poboljšanja tlačne čvrstoće, ali se povećava čvrstoća na savijanje i vlačnu čvrstoću cijepanjem Veća otpornost na abraziju i ostale utjecaje
Stakleno vlakno	[73]	12	0,1	0,05 do 0,2 %	Smanjuje tlačnu čvrstoću, ali poboljšava čvrstoću na savijanje i vlačnu čvrstoću cijepanjem
	[58]	12	0,1	0,2 %	Značajno poboljšava mehanička svojstva
Čelično vlakno	[58]	36	0,7	0,5 %	Bolja mehanička svojstva od staklenih vlakana
Vlakno od polifenilen sulfida	[58]	50 do 54	0,07	0,3 %	Dobra povezanost vlakana i agregata zbog veće fleksibilnosti
Celulozno vlakno	[94]			0,5 %	Poboljšava vlačnu čvrstoću i otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje

5.2. Vlakna

Vlakna se mogu ugraditi u porozni beton kako bi se poboljšala njegova mehanička svojstva i svojstva trajnosti [89]. Primjena metalnih vlakana na porozni beton ograničena je zbog izravnog dodira s vodom [89]. Ugradnjom polipropilenskih vlakana poboljšavaju se vlačna svojstva poroznog betona savijanjem i cijepanjem, slično kao kod konvencionalnog betona [72]. Međutim, utjecaj vlakana na tlačnu čvrstoću poroznog betona je zanemariv [67]. U nekim slučajevima dovodi do blagog smanjenja tlačne čvrstoće [73, 90]. Primjenom vlakana niske gustoće kao što su staklena vlakna smanjuje se gustoća poroznog betona [73]. Emiko i dr. [25] primijetili su da čelična vlakna poboljšavaju tlačnu čvrstoću više nego čvrstoću na savijanje.

Grupiranje sfernih vlakana treba izbjegavati primjenom drugih metoda miješanja osim rotirajuće miješalice s bubnjem [90]. Vlakna smanjuju količinu šupljina poroznog betona zatvaranjem tih šupljina [66]. Međutim, slaba kohezivnost i učinak pletenja vlakana dovode do povećanja udjela šupljina čime se povećava propusnost [73]. Na propusnost poroznog betona utječe postotak vlakana [91]. Utjecaj različitih vrsta vlakana različitih

veličina i proporcija na svojstva poroznog betona prikazan je u tablici 4.

Povećanje tlačne čvrstoće može se uočiti ugradnjom vlakana u porozni beton male poroznosti, a negativno utječe na tlačnu čvrstoću poroznog betona visoke poroznosti [56]. Uporabom vlakana poboljšavaju se svojstva trajnosti poroznog betona, odnosno pojačava se otpornost na abraziju te na zamrzavanje i odmrzavanje [91]. Vlakna djeluju kao most preko pukotina kojim se poboljšava čvrstoća nakon nastale pukotine, ograničavajući širenje pukotina [73]. Dodavanjem vlakana poboljšava se vršno opterećenje čime se postiže veća čvrstoća uzorka poroznog betona [90].

6. Zaključak

U radu su izneseni različiti čimbenici koji utječu na svojstva poroznog betona, a to su zbijanje, ACR, v/cm, udio pijeska, veličina agregata i poroznost. Važnost navedenih čimbenika naglašena je njihovim učinkom na svojstva poroznog betona. Osim toga, raspravlja se o upotrebi zamjenskih materijala i vlakana koji prikazuju neravnotežu u istraživanju vezano za

upotrebu drugih materijala osim onih o kojima se raspravljalo. Utjecaj različitih parametara uključenih u projektiranje mješavine poroznog betona i svojstava materijala detaljno je obrađen u navedenim odjeljcima. Porozni beton djeluje kao učinkovit medij u promicanju održivosti urbanih sredina zbog svojih višestrukih koristi. U ovom se radu naglašava upotreba prethodno prikazanih svojstava materijala i mješavine za postizanje ravnoteže između čvrstoće i propusnosti poroznog betona u skladu s lokalnim uvjetima. Važnost razmatranih parametara sažeta je kako slijedi:

- *Udio cementa*: Uzorak loma varira ovisno o udjelu cementa u cementnoj pasti. Primjena visokog udjela cementa poboljšava mehanička svojstva zbog povećanja debljine paste na površini agregata (sučeljak).
- *ACR*: Smanjenje vrijednosti ACR-a dovodi do poboljšanja mehaničkih svojstava zbog smanjene količine šupljina. Povećanje ACR-a povećava propusnost zbog međusobno povezanih šupljina.
- *v/cm*: Značajno utječe na svojstva u svježem stanju u usporedbi s očvrnutim svojstvima. Veće v/cm vrijednosti dovode do povećanog gravitacijskog toka cementne paste i utječu na propusnost. Preporučuje se primjena sredstava za poboljšanje obradivosti kako bi se postigla željena mehanička svojstva.
- *Udio pijeska*: Mehanička svojstva i svojstva trajnosti poroznog betona mogu se dobiti dodavanjem sitnih agregata, ali to utječe i na propusnost.
- *Poroznost ili udio šupljina*: Poroznost ima veći utjecaj na svojstva poroznog betona u odnosu na druge parametre. To uzrokuje procjeđivanje vode kroz beton, no djeluje i kao nedostatak s obzirom na mehanička svojstva poroznog betona.
- *Veličine agregata*: Za postizanje veće učinkovitosti procjeđivanja vode preporučuju se agregati jednake veličine. Granulometrijski agregati mogu se upotrebljavati i za poboljšanje mehaničkih svojstava, no imaju znatan utjecaj na svojstva procjeđivanja. U oba slučaja preporučuje se agregat veličine najviše 19 mm.
- *Metoda zbijanja*: preporučuje se zbijanje metodom udara. Ako se zbijanje izvodi vibracijskim metodama, potrebno je voditi brigu o trajanju vibracija.
- *Utjecaj dodataka / zamjenskih materijala*: Zamjenom cementa mineralnim dodatcima postiže se poboljšanje mehaničkih svojstava i svojstava trajnosti s pomoću njihovih pucolanskih svojstava. Reciklirani agregati / agregati niže gustoće smanjuju mehaničku čvrstoću, ali se mogu upotrebljavati za manje važne primjene. Industrijski nusproizvodi mogu se ugraditi u porozni beton koji osigurava rješenje za gospodarenje otpadom.
- *Utjecaj vlakana*: Vlakna imaju minimalan utjecaj na drenažna svojstva poroznog betona. Učinkovitost poboljšanja čvrstoće u odnosu na vlačnu i čvrstoću na savijanje općenito je veća u usporedbi s tlačnom čvrstoćom uz dodatak vlakana. Preporučuje se ugradnja vlakana u mješavinu poroznog betona koja se upotrebljava za postavljanje kolnika.

LITERATURA

- [1] El-Maaty, A.E.A.: Establishing a Balance between Mechanical and Durability Properties of Pervious Concrete Pavement, American Journal of Traffic and Transportation Engineering, 1 (2016) 2, pp. 13-25, <https://doi.org/10.11648/j.ajtte.20160102.11>
- [2] Crouch, L.K., Pitt, J., Hewitt, R.: Aggregate Effects on Pervious Portland Cement Concrete Static Modulus of Elasticity, Journal of Materials in Civil Engineering, 19 (2007), pp. 561-568, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:7\(561\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:7(561))
- [3] Brake, N.A., Allahdadi, H., Adam, F.: Flexural strength and fracture size effects of pervious concrete, Construction and Building Materials, 113 (2016), pp. 536-543, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.045>
- [4] Tennis, P.D., Leming, M.L., Akers, D.J.: Pervious Concrete Pavements, EB302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois and National Ready Mixed Concrete Association, SAD, 36 p, 2004.
- [5] Deo, O., Neithalath, N.: Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities, Construction and Building Materials, 25 (2011), pp. 4181-4189, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.055>
- [6] American Concrete Institute Committee, ACI 522R-10: Report on pervious concrete, Farmington Hills, MI, 2010
- [7] Ng, C.Y., Narong, A.R., Zaman, A.B.K., Mustaffa, Z., Mohammed, B.S., Ean, L.W.: Properties of Modified High Permeable Concrete with a Crumb Rubber, The Open Civil Engineering Journal, 13 (2019), pp. 82-91, <https://doi.org/10.2174/1874149501913010082>
- [8] Akand, L., Yang, M., Gao, Z.: Characterization of pervious concrete through image based micromechanical modelling, Construction and Building Materials, 114 (2016), pp. 547-555, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.005>
- [9] Bhutta, M.A.R., Tsuruta, K., Mirza, J.: Evaluation of high-performance porous concrete properties, Construction and Building Materials, 31 (2012), pp. 67-73, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.024>
- [10] Luck, J.D., Workman, S.R., Higgins, S.F., Coyne, M.S.: Properties of Pervious Concrete, Plant and Soil Sciences Faculty Publications, 49 (2006) 6, pp. 1807-1813, <https://doi.org/10.13031/2013.22301>
- [11] Lund, M.S.M., Hansen, K.K., Hertz, K.D.: Experimental Study of Properties of Pervious Concrete used for Bridge Superstructure, Proceedings of the 12th International Symposium on Concrete Roads, Denmark, pp. 1-11, 2014
- [12] Muthaiyan, U.M., Thirumalai, S.: Studies on the properties of pervious fly ash-cement concrete as a pavement material, Cogent Engineering, 4 (2017), <https://doi.org/10.1080/233111916.2017.1318802>

- [13] Ramkrishnan, R., Abilash, B., Trivedi, M., Varsha, P., Varun, P., Vishanth, S.: Effect of Mineral Admixtures on Pervious Concrete, *Materials Today: Proceedings*, 5 (2018), pp. 24014–24023
- [14] Kevern, J.T., Schaefer, V.R., Wang, K.: Temperature Behavior of Pervious Concrete Systems, *Transportation Research Record*, 2098 (2009), pp. 94–101, <https://doi.org/10.3141/2098-10>
- [15] Tabatabaeian, M., Khaloo, A., Khaloo, H.: An innovative high performance pervious concrete with polyester and epoxy resins., *Construction and Building Materials*, 228 (2019), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116820>
- [16] Lim, E., Tan, K.H., Fwa, T.F.: Effect of Mix Proportion on Strength and Permeability of Pervious Concrete for Use in Pavement, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10 (2013), pp. 1565 – 1575.
- [17] Torres, A., Hu, J., Ramos, A.: The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 95 (2015), pp. 850–859, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.187>
- [18] Peng, H., Yin, J., Song, W.: Mechanical and Hydraulic Behaviors of Eco-Friendly Pervious Concrete Incorporating Fly Ash and Blast Furnace Slag, *Appl. Sci.*, 8 (2018) 859, pp. 1–12, <https://doi.org/10.3390/app8060859>
- [19] Xie, X., Zhang, T., Yang, Y., Lin, Z., Wei, J., Yu, Q.: Maximum paste coating thickness without voids clogging of pervious concrete and its relationship to the rheological properties of cement paste, *Construction and Building Materials*, 168 (2018), pp. 732–746, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.128>
- [20] Sonebi, M., Bassuoni, M., Yahia, A.: Pervious Concrete: Mix Design, Properties and Applications, *RILEM Technical Letters*, 1 (2016), pp. 109–115, <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.24>
- [21] Wang, H., Li, H., Liang, X., Zhou, H., Xie, N., Dai, Z.: Investigation on the mechanical properties and environmental impacts of pervious concrete containing fly ash based on the cement-aggregate ratio, *Construction and Building Materials*, 202 (2019), pp. 387–395, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.044>
- [22] Raj, J.L., Chockalingam, T.: Strength and abrasion characteristics of pervious concrete., *Road Materials and Pavement Design*, (2019), pp. 1–18, <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1596828>
- [23] Liu, H., Liu, R., Yang, H., Ma, C., Zhou, H.: Experimental study on the performance of pervious concrete, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 113 (2018), pp. 1–7, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/113/1/012126>
- [24] Chandrappa, A.K., Biligiri, K.P.: Comprehensive investigation of permeability characteristics of pervious concrete: A hydrodynamic approach, *Construction and Building Materials*, 123 (2016), pp. 627–637, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.035>
- [25] Emiko, L., Hwee, T.K., Fang, F.T.: High-strength High-porosity Pervious Concrete Pavement *Advanced Materials Research*, 723 (2013), pp. 361–367, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.723.361>
- [26] Mohammed, B.S., Liew, M.S., Alaloul, W.S., Khed, V.C., Hoong, C.Y., Adamu, M.: Properties of Nano-Silica Modified Pervious Concrete, *Case Studies in Construction Materials*, 2010 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.03.009>
- [27] Yao, A., Ding, H., Zhang, X., Hu, Z., Hao, R., Yang, T.: Optimum Design and Performance of Porous Concrete for Heavy-Load Traffic Pavement in Cold and Heavy Rainfall Region of NE China, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, pp. 1–15, <https://doi.org/10.1155/2018/7082897>
- [28] Chandrappa, A.K., Biligiri, K.P.: Effect of pore structure on fatigue of pervious concrete, *Road Materials and Pavement Design*, (2018), <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1464500>
- [29] Agar-Ozbek, A.S., Weerheijm, J., Schlangen, E., Breugel, K.V.: Investigating porous concrete with improved strength: Testing at different scales, *Construction and Building Materials*, 41 (2013), pp. 480–490, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.040>
- [30] Sriravindrarah, R., Wang, N.D.H., Ervin, L.J.W.: Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 6 (2012) 4, pp. 239–246, <https://doi.org/10.1007/s40069-012-0024-x>
- [31] Nguyen, D.H., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L., Baraud, F.: A modified method for the design of pervious concrete mix, *Construction and Building Materials*, 73 (2014), pp. 271–282, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088>
- [32] Liu, H., Luo, G., Wei, H., Yu, H.: Strength, Permeability, and Freeze-Thaw Durability of Pervious Concrete with Different Aggregate Sizes, Porosities, and Water-Binder Ratios, *Applied Science*, 8 (2018), pp. 1–16, <https://doi.org/10.3390/app8081217>
- [33] Ghashghaei, H.T., Hassani, A.: Predicting the permeability of pervious concrete pavement using artificial neural networks modelling, *Scientific Research and Essays*, 10 (2015) 17, pp. 570–578, <https://doi.org/10.5897/SRE2015.6317>
- [34] Kovac, M., Sicakova, A.: Pervious Concrete as an Environmental Solution for Pavements: Focus on Key Properties, *Environments*, 5 (2018) 11, pp. 1–9, <https://doi.org/10.3390/environments5010011>
- [35] Hariyadi, Tamai, H.: Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate, *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, (2015), pp. 732–738, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.116>
- [36] Chen, Y., Wang, K., Wang, X., Zhou, W.: Strength, fracture and fatigue of pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 42 (2013), pp. 97–104, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.006>
- [37] Lori, A.R., Hassani, A., Sedghi, R.: Investigating the mechanical and hydraulic characteristics of pervious concrete containing copper slag as coarse aggregate, *Construction and Building Materials*, 197 (2019), pp. 130–142, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.230>
- [38] Ghafoori, N., Dutta, S.: Laboratory Investigation of Compacted No-Fines Concrete for Paving Materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 7 (1995), pp. 183–191.
- [39] Elizondo-Martinez, E.J., Andres-Valeri, V.C., Rodriguez-Hernandez, J., Castro-Fresno, D.: Proposal of a New Porous Concrete Dosage Methodology for Pavements, *Materials*, 12 (2019), pp. 1–16, <https://doi.org/10.3390/ma12193100>
- [40] Yang, Z., Ma, W., Shen, W., Zhou, M.: SThe aggregate gradation for the pervious concrete pervious road base material, *Wuhan Univ. Technol.-Mat. Sci. Edit.*, 23 (2008) 391, <https://doi.org/10.1007/s11595-007-3391-4>
- [41] Bonicelli, A., Giustozzi, F., Crispino, M.: Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 91 (2015), pp. 102–110, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.012>
- [42] Endawati, J.: Permeability and Porosity of Pervious Concrete Containing Blast Furnace Slag as a Part of Binder Materials and Aggregate, *Solid State Phenomena*, 266 (2017), pp. 272–277, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.266.272>

- [43] Magesvari, M.U., Narasimha, V.L.: Studies on Characterization of Pervious Concrete for Pavement Applications, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104 (2013), pp. 198–207, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.112>
- [44] Liu, H., Luo, G., Zhou, P., Wei, H., Li, W., Yu, D.: Flexural-Fatigue Properties of Sustainable Pervious Concrete Pavement Material Containing Ground Tire Rubber and Silica Fume, *Sustainability*, 11 (2019), pp. 1–16, <https://doi.org/10.3390/su11164467>
- [45] Yeih, W., Fu, T.C., Chang, J.J., Huang, R.: Properties of pervious concrete made with air-cooling electric arc furnace slag as aggregates, *Construction and Building Materials*, (2015), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.104>
- [46] Lian, C., Zhuge, Y., Beecham, S.: The relationship between porosity and strength for porous concrete, *Construction and Building Materials*, 25 (2011), pp. 4294–4298, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.05.005>
- [47] Lori, A.R., Bayat, A., Azimi, A.: Influence of the replacement of fine copper slag aggregate on physical properties and abrasion resistance of pervious concrete, *Road Materials and Pavement Design*, (2019), <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1648311>
- [48] Li, L.G., Feng, J.J., Zhu, J., Chu, S.H., Kwan, A.K.H.: Pervious concrete: Effects of porosity on permeability and strength, *Magazine of Concrete Research*, (2019), <https://doi.org/10.1680/jmacr.19.00194>
- [49] Chindaprasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N., Yuasa, Y.: Cement paste characteristics and porous concrete properties, *Construction and Building Materials*, 22 (2008), pp. 894–901, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.12.007>
- [50] Zhong, R., Wille, K.: Compression response of normal and high strength pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 109 (2016), pp. 177–187, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.051>
- [51] Al-sallami, Z.H.A., Marshdi, Q.S.R., Mukheef, R.A.: Effect of cement replacement by fly ash and epoxy on the properties of pervious concrete, *Asian Journal of Civil Engineering*, (2019), <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00183-5>
- [52] El-hassan, H., Kianmehr, P., Zouaoui, S.: Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag, *Construction and Building Materials*, 212 (2019), pp. 164–175, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.325>
- [53] Liu, R., Liu, H., Sha, F., Yang, H., Zhang, Q., Shi, S., Zheng, Z.: Investigation of the Porosity Distribution, Permeability, and Mechanical Performance of Pervious Concretes, *Processes*, 6 (2018) 78, pp. 1–14, <https://doi.org/10.3390/pr6070078>
- [54] Kuo, W., Liu, C., Su, D.: Use of washed municipal solid waste incinerator bottom ash in pervious concrete, *Cement & Concrete Composites*, 37 (2013), pp. 328–335, <https://doi.org/10.1016/j.cemcomcomp.2013.01.001>
- [55] Khankhaje, E., Salim, M.R., Mirza, J., Salmiati, Hussin, M.W., Khan, R., Rafieizonooz, M.: Properties of quiet pervious concrete containing oil palm kernel shell and cockleshell, *Applied Acoustics*, 122 (2017), pp. 113–120, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.02.014>
- [56] El-hassan, H., Kianmehr, P.: Sustainability assessment and physical characterization of pervious concrete pavement made with GGBS, *MATEC Web of Conferences*, 120 (2017), pp. 1–11, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712007001>
- [57] Zhu, Y. J., Xu, Y., Wu, Q., Shi, W., Wang, G.: Experimental Study on Physical and Mechanical Properties of C30 Permeable Concrete, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 490 (2019), <https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/3/032035>
- [58] Hesami, S., Ahmadi, S., Nematzadeh, M.: Effects of rice husk ash and fibre on mechanical properties of pervious concrete pavement, *Construction and Building Materials*, 53 (2014), pp. 680–691, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.070>
- [59] Cosic, 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, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073>
- [60] Yahia, A., Kabagire, D.: New approach to proportion pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 62 (2014), pp. 38–46, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.025>
- [61] Yang, J., Jiang, G.: Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, *Cement and Concrete Research*, 33 (2003), 381–386.
- [62] Grubeša, I.N., Barisic, I., Ducman, V., Korat, L.: Draining capability of single-sized pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 169 (2018), pp. 252–260, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.037>
- [63] Mulyono, T., Anisah.: Laboratory Experiment: Pervious Concrete for Permeable Pavement, *Focus in Compressive Strength and Permeability*, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 366 (2019), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/366/1/012019>
- [64] Kevern, J.T., Schaefer, V.R., Wang, K.: Evaluation of Pervious Concrete Workability Using Gyrotory Compaction, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (2009) 12, pp. 764–770, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2009\)21:12\(764\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:12(764))
- [65] 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, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.039>
- [66] Bonicelli, A., Giustozzi, F., Crispino, M., Borsa, M.: Evaluating the effect of reinforcing fibres on pervious concrete volumetric and mechanical properties according to different compaction energies, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19 (2014) 2, pp. 184–198, <https://doi.org/10.1080/19648189.2014.939308>
- [67] AlShareedah, O., Nassiri, S., Chen, Z., Englund, K., Li, H.: Field performance evaluation of pervious concrete pavement reinforced with novel discrete reinforcement, *Case Studies in Construction Materials*, (2019), <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00231>
- [68] Rangelov, M., Nassiri, S., Haselbach, L., Englund, K.: Using carbon fibre composites for reinforcing pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 126 (2016), pp. 875–885, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.035>
- [69] Costa, F.B.P., Lorenzi, A., Haselbach, L., Filho, L.C.P.S.: Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests, *IBRACON Structures and Materials Journal*, 11 (2018) 5, pp. 1151–1159, <https://doi.org/10.1590/S1983-41952018000500013>
- [70] Gaedicke, C., Torres, A., Huynh, K.C.T., Marines, A.: A method to correlate splitting tensile strength and compressive strength of pervious concrete cylinders and cores, *Construction and Building Materials*, 125 (2016), pp. 271–278, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.031>
- [71] Sandoval, G.F.B., Galobardes, I., Teixeira, R.S., Toralles, B.M.: Comparison between the Falling Head and The Constant Head Permeability Tests to assess the Permeability Coefficient of Sustainable Pervious Concretes, *Case Studies in Construction Materials*, (2017), <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.09.001>
- [72] Aliabdo, A.A., Elmoaty, M.A., Fawzy, A.M.: Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate, *Construction and Building Materials*, 193 (2018), pp. 105–127, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.182>

- [73] Ibrahim, H.A., Mahdi, M.B., Abbas, B.J.: Performance Evaluation of Fibre and Silica fume on Pervious Concrete Pavements Containing Waste Recycled Concrete Aggregate, *International Journal of Advancements in Technology*, 10 (2019) 2, pp. 1-9, <https://doi.org/10.24105/0976-4860.10.230>
- [74] Zhong, R., Wille, K.: Material design and characterization of high performance pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 98 (2015), pp. 51-60, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.027>
- [75] Supit, S.W.M., Pandei, R.W.: Effects of metakaolin on compressive strength and permeability properties of pervious cement concrete, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 81 (2019) 5, pp. 33-39, <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13485>
- [76] Tijani, M.A., Ajagbe, W.O., Ganiyu, A.A., Agbede, O.A.: Sustainable pervious concrete incorporating sorghum husk ash as cement replacement, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 640 (2019), <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012051>
- [77] Bhutta, M.A.R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M.W., Tahir, M.B.M.: Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate), *Construction and Building Materials*, 47 (2013), pp. 1243-1248, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.022>
- [78] Cheng, A., Hsu, H., Chao, S., Lin, K.: Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Made with Recycled Aggregate, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 4 (2011) 2, pp. 104-110
- [79] Sandoval, G.F.B., Galobardes, I., Schwantes-Cezario, N., Campos, A., Toralles, B.M.: Correlation between permeability and porosity for pervious concrete (PC), *DYNA*, 86 (2019) 209, pp. 151-159, <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.77613>
- [80] Yap, S.P., Chen, P.Z.C., Goh, Y., Ibrahim, H.A., Mo, K.H., Yuen, C.W.: Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates, *Journal of Cleaner Production*, (2018), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.205>
- [81] Gesoglu, M., Guneyisi, E., Khoshnaw, G., Ipek, S.: Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers, *Construction and Building Materials*, 63 (2014), pp. 206-213, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.046>
- [82] Ibrahim, H.A., Razak, H.A.: Effect of palm oil clinker incorporation on properties of pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 115 (2016), pp. 70-77, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.181>
- [83] Wu, M., Lin, C., Huang, W., Chen, J.: Characteristics of pervious concrete using incineration bottom ash in place of sandstone graded material, *Construction and Building Materials*, 111 (2016), pp. 618-624, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.146>
- [84] Nguyen, D.H., Boutouil, M., Sebaibi, N., Baraud, F., Leleyter, L.: Durability of pervious concrete using crushed seashells, *Construction and Building Materials*, 135 (2017), pp. 137-150, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.219>
- [85] Oz, H.O.: Properties of pervious concretes partially incorporating acidic pumice as coarse aggregate, *Construction and Building Materials*, 166 (2018), pp. 601-609, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.010>
- [86] Sharif, A.A.M., Shahidan, S., Koh, H.B., Kandash, A., Zuki, S.S.M.: Strength development of pervious concrete containing engineered biomass aggregate, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 271 (2017), <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012002>
- [87] Mandal, S., Mandal, B.: RDevelopment of Porous Concrete with Recycled Aggregate, *Proceedings of the 3rd GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures*, Egypt, (2020), https://doi.org/10.1007/978-3-030-34249-4_3
- [88] Ahmed, A.M., Hussein, A.H., Hammood, M.T.: Recycling of disposal Polypropylene Blister Tablets and Strapping ties as fibre reinforcement for Pervious concrete, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 584 (2019), pp. 1-9, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/584/1/012031>
- [89] Rodin, H., Rangelov, M., Nassiri, S., Englund, K.: Enhancing Mechanical Properties of Pervious Concrete Using Carbon Fibre Composite Reinforcement, *J. Mater. Civ. Eng.*, 30 (2018) 3.
- [90] Kevern, J.T., Biddle, D., Cao, Q. Effects of Macrosynthetic Fibres on Pervious Concrete Properties, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27 (2014) 9, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001213](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001213).
- [91] Mussado, J.L.A., Toralles, B.M., Sandoval, G.F.B.: Performance of pervious concrete reinforced with polypropylene fibres, *Mix Sustentável*, 3 (2017) 4, pp. 195-197.
- [92] Mora-Rucaho, J., Aguado, A., Astorga-Bustillos, F.R.: Characterization of pervious concrete exposed to high levels of evaporation, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 12 (2018), pp. 1-8, <https://doi.org/10.1007/s42947-019-0001-8>
- [93] Tang, C., Cheng, C., Tsai, C.: Mix Design and Mechanical Properties of High-Performance Pervious Concrete, *Materials*, 12 (2019) 2577, <https://doi.org/10.3390/ma12162577>
- [94] Amde, A.M., Rogge, S.: Development of High Quality Pervious Concrete Specifications for Maryland Conditions, MD-13-SP009B4F, (2013)