

EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE PROCESA SMANJENJA VODOPROPUSNOSTI POROZNE SREDINE U USLOVIMA VEŠTAČKE INFILTRACIJE

Milan JAKŠIĆ¹, Nenad JAČIMOVIĆ², Vladana RAJAKOVIĆ OGNJANOVIĆ²

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-geodesko-građevinski fakultet

²Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

REZIME

Smanjenje vodopropusnosti porozne sredine prouzrokovano je fizičkim, biološkim i hemijskim procesima koji u realnom okruženju (in situ) deluju istovremeno i u međusobnoj interakciji.

Dva uzastopna laboratorijska eksperimenta sa filtarskom kolonom (ponovljeni eksperiment), uz kontinualnu filtraciju vode iz Savskog jezera, u trajanju od po dva meseca, su provedena s ciljem praćenja smanjenja vodopropusnosti tokom vremena. Uzorak porozne sredine za ispunu filterske kolone uzet je sa postrojenja za napajanje izdani "Novoselija" u Banjoj Luci. U ponovljenom eksperimentu, izvršene su modifikacije eksperimentalne postavke uspostavljanjem konstantne deaeracije filtarske kolone i sprečavanjem razvoja algi u uzvodnom rezervoaru.

Pri ponovljenom eksperimentu, osim merenja filtracionih karakteristika, vršena su merenja odabranih hemijskih parametara uzoraka vode u influentu i efluentu filtarske kolone, radi praćenja oksido-redukcionih uslova i odgovornih procesa tokom trajanja eksperimenta. Mereni su sledeći parametri kvaliteta vode: rastvoreni kiseonik (O₂), temperatura, pH vrednost, električna provodljivost (EC), ukupne rastvorene čestice (TDS), oksido-redukcioni potencijal (ORP), rastvoreni organski ugljenik (DOC) i suspendovane čestice.

Podaci o prihvatanju članka

Primljen: 9.3.2023.

Ispravljen: 28.3.2023.

Prihvaćen: 10.4.2023.

Kontakt: milan.jaksic@aggf.unibl.org

Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da se trend promene brzine filtracije tokom vremena, može podeliti u 5 faza: 1) period uspostavljanja početne (maksimalne) brzine filtracije nametnute datim hidrauličkim gradijentom, 2) period stagnacije brzine filtracije na maksimalnom nivou, 3) period smanjenja brzine filtracije u aerobnim uslovima, 4) period stagnacije brzine filtracije uz prelaz iz aerobnih u anaerobne uslove, i 5) period ponovnog smanjenja brzine filtracije u anaerobnim uslovima.

Cljučne reči: vodopropusnost, kolmatacioni procesi

1. UVOD

Koeficijent filtracije porozne sredine neposredno uz kontaktnu površinu hidrotehničkih objekata (npr. dno infiltracionog bazena, prifiltarska zona bunarske konstrukcije, rečne obale, itd.) je veličina koja je promenljiva, što je posebno izraženo u slučaju infiltracionih bazena jer neposredno utiče na efikasnost sistema [1]. U kolmatacionom procesu se modifikuje struktura tankog površinskog sloja prirodnog tla na kontaktnoj površini voda - tlo, sa sukcesivnim (popratnim) formiranjem novog, opet tankog, sloja tla iznad površine prirodnog tla putem taloženja mineralnih i organskih čestica [2]. Ukupan sloj tla, koji se u profilu sastoji od donjeg sloja prirodnog tla modifikovane teksture i gornjeg sloja od istaloženih mineralnih i organskih čestica, se naziva kolmatacioni sloj. Kolmatacioni sloj ima značajno manju vodopropusnost od osnovnog poroznog materijala koji čine vodopropusni deo profila tla na određenom području.

Prema uzrocima koji dovode do kolmiranja tla postoje tri osnovna tipa kolmatacionog procesa: mehaničko, biološko, i hemijsko kolmiranje. Mehaničko kolmiranje predstavlja zadržavanje (filtriranje) mineralnih i organskih čestica iz vodenog rastvora koji se procjeđuje

kroz poroznu sredinu, a koje su prethodno bile u vodenom rastvoru u suspendovanom ili koloidnom obliku, unutar pornih prostora između zrna porozne sredine ili na površinama zrna porozne sredine.

Biološko kolmiranje predstavlja smanjenje pornih prostora oblaganjem zidova pora biofilmom, ili taloženjem bakterijskih ćelija u vidu agregata unutar pornih prostora, kao i formiranje bakterijskog pokrivača niske vodopropusnosti na površini porozne sredine koja je u kontaktu s vodom [3]. Hemijsko kolmiranje predstavlja izdvajanje mehurića gasova koji blokiraju porne prostore, ili promjenu disperzivnih osobina zadržanih depozita usled hemijskih parametara vode koja filtrira kroz poroznu sredinu [4].

Može se konstatovati da ne postoji univerzalni pristup kojim bi se na osnovu određenih pokazatelja odredio krajnji intezitet kolmacionog procesa (npr. izražen kao procenat smanjenja koeficijenta filtracije kolmiranog poroznog materijala u odnosu na koeficijent filtracije osnovnog/čistog materijala porozne sredine), kao što se se ne može utvrditi pouzdana zavisnost smanjenja koeficijenta filtracije tokom vremena. Složenost problema kolmacionog procesa proizlazi iz njegove zavisnosti od velikog broja parametara a koji su jedinstveni za svaku izdan sa sistemom za infiltraciju vode a kojeg čini skup klimatskih, hidrauličkih, hidrogeoloških i geomehaničkih faktora [5]. Milašinović i Jaćimović [6] su predložili metodu za određivanje filtracionih karakteristika kolmirajućeg rečnog dna na osnovu rezultata testa probnog crpljenja.

U okviru ovog rada obavljena su laboratorijska ispitivanja promena vodopropusnosti materijala porozne sredine ispod i na kontaktnoj površini voda - tlo u toku vremena, a koja se susreće kod sistema površinskog napajanja izdani u vidu infiltracionih bazena. Rad daje pregled obavljenih laboratorijskih eksperimenata koja su imala za cilj izučavanje procesa kolmiranja tla, gde je fokus bio na biološkoj komponenti kolmacionog procesa. Kvantifikacija procesa kolmiranja je sagledana u vidu smanjenja polazne veličine koeficijenta filtracije.

2. MATERIJALI I METODE

U okviru istraživanja sprovedena su dva tipa opita. Razlika u tipu eksperimenata je u kontinuitetu, odnosno, diskontinuitetu protoka vode kroz uzorke tla. Prvi tip eksperimenata predstavljaju šaržni reaktori kod kojih se određena zapremina sveže vode (influenta) trenutno (u jednom navratu) dovodi na površinu cilindra (reaktora),

do polovine ispunjenog uzorkom tla. Voda ostaje u reaktoru određeni period vremena (7 dana), a zatim se prazni i odmah puni istom zapreminom sveže vode (influenta). Ovi ciklusi punjenja i pražnjenja vodom cilindra s uzorkom tla se ponavljaju u jednakim intervalima (nedeljno), i tokom čitavog perioda trajanja eksperimenata sa šaržnim reaktorima (trajanje je iznosilo približno 2 meseca).

Drugi tip eksperimenata predstavlja filterska kolona sa kontinualnim protokom vode, odnosno sa kontinualnom filtracijom vode kroz uzorak tla. Ovaj tip eksperimenata, je klasičan Darsijev eksperiment sa konstantnim nivoom vode. Međutim, njegovo trajanje je znatno duže (približno 2 meseca kontinualne filtracije) u odnosu na eksperiment koji se standardno primenjuje za određivanje koeficijenta filtracije uzorka tla (Darsijev opit) u zasićenim uslovima.

Eksperimenti su izvršeni u laboratorijama Instituta za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo, na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

2.1 Materijali

Tlo za sve eksperimente je uzorkovano na izvorištu podzemne vode Novoselija, na mestu kolske silazne rampe u infiltraciono polje oznake IB2b. Uzorkovanje je izvršeno pravljenjem raskopa u desnom zaseku (obali) rampe, sa dubine od oko 1,0 m od površine terena. Materijal uzorka odgovara gornjem sloju porozne sredine (sloj 0÷1,3 m dubine) na lokalitetu izvorišta podzemne vode Novoselija. Ovaj materijal ima slabiju vodopropusnost od osnovnog materijala izdani, a prema vrsti pripada zaglinjenim peskovima i šljunkovima.

U eksperimentima sa šaržnim reaktorima, kao influent je korišćena demineralizovana voda obogaćena nutrijentima i Savska voda sa dodatkom nutrijenata. U eksperimentima sa filterskom kolonom isključivo je korišćena voda zahvaćena iz reke Save (bez dodatnih nutrijenata).

Za pripremu influenta za eksperimente sa šaržnim reaktorima korišćena su hemijska jedinjenja koji služe kao nutrijenti za razvoj bakterijske populacije (tabela 1). Vrste hemijskih jedinjenja i njihove koncentracije u vodi su preuzete iz literature [7]. Savskoj vodi nisu dodavana jedinjenja pod brojevima 5, 6 i 9. (Fe, NH₄ i Mn) jer je usvojeno da Savska vode prirodno sadrži ovako male koncentracije ovih jona.

Tabela 1. Hemijska jedinjenja (nutrijenti) kojima je obogaćena voda influenta kod eksperimenta sa šaržnim reaktorima

Red. Br.	Vrsta hem. jedinjenja	Koncentracija (mg/L)
1.	Na_2HPO_4	33,0
2.	$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	7,5
3.	K_2HPO_4	22,0
4.	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	140,0
5.	$FeCl_3$	0,031
6.	NH_4Cl	0,032
7.	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	40,75
8.	$NaNO_3$	17,823
9.	$MnCl_2$	0,00114
10.	$CH_3COONa \cdot 3H_2O$	82,0

2.2 Šaržni reaktor

Korišćeni šaržni reaktori su cilindri unutrašnjeg prečnika 11,3 cm i visine 9 cm. Cilindri su ispunjeni uzorkom tla do približno polovine visine, dok je prostor iznad bio ispunjen pripremljenim vodenim rastvorom. Reaktori su bili postavljeni na pokretno postolje uređaja za mešanje (Heidoph Rotamax 120), koji je bio podešen na brzinu od 30 okretaja u minuti. Dva korišćena reaktora su prikazana na slici 1.

Merenjem nakon ugradnje materijala u reaktore, ostvarene zapreminske mase u suvom stanju 2144 kg/m³, odnosno, 2044 kg/m³. Pre početka eksperimenta izmereni su početni koeficijenti filtracije podešavanjem reaktora i pretvaranjem istog u Darsijev aparat. Određivanje promene koeficijenta filtracije je vršeno nakon 14 i 42 dana od početka eksperimenta. Kod drugog eksperimenta sa šaržnim reaktorom, gde je primenjena Savska voda, merenja koeficijenta filtracije su vršena nakon 14, 34 i 62 dana od početka eksperimenta.

U toku eksperimenta mereni su osnovni hemijski pokazatelji influenta i efluenta: temperatura, rastvoreni

kiseonik, pH, oksido-redukциони potencijal, električna provodljivost i rastvoreni organski ugljenik. Kod eksperimenta sa Savskom vodom, dodatno su merene sve vrste rastvorenog azota, jedinjenja koja daju alkalitet vode (hidrogenkarbonati, karbonati i hidroksidi), katjoni, anjoni, kao i površinsko snimanje tla elektronskim mikroskopom (SEM analiza).



Slika 1. Eksperimentalna instalacija sa šaržnim reaktorima.

2.3 Filterska kolona

Eksperimenti sa filterskom kolonom su izvođeni kao Darsijev opit sa konstantnim nivoom. Cilindar kolone ispunjen uzorkom tla je prečnika 11,2cm i visine 9,8cm. Ostvarena zapreminska masa u suvom stanju ugrađenog uzorka je iznosila 2068 kg/m³. Eksperiment je izvođen uz kontinualno dodavanje Savske vode, pri čemu je uzvodni rezervoar bio zaštićen od svetlosti. Koeficijent filtracije i hemijske karakteristike influenta i efluenta su mereni generalno dva puta nedeljno. U tabeli 2 prikazane su hemijski parametri Savske vode koja je korišćena u toku eksperimenta.

Tabela 2. Hemijski parametri Savske vode korišćene u eksperimentu sa filterskom kolonom.

Datum uzorkovanja	Rastvoreni O ₂ (mg/l)	T (°C)	pH	EC (μS/cm)	TDS (mg/l)	ORP (mV)	TSS (mg/l)	DOC (mg/L)
12.06.	7,14	23,0	7,85	278,0	137,2	-42,8	45,2	-
05.07.	6,24	26,9	7,81	382,0	181,9	-41,3	5,3	8,4
23.07.	7,3	26,1	7,99	392,0	188,3	-51,6	7,2	-
07.08.	7,70	27,0	8,28	366,0	176,3	-68,6	12,0	4,2
15.08.	7,66	26,1	8,06	357,0	171,8	-55,6	7,0	5,1
26.08.	7,53	26,7	7,91	387,0	183,4	-76,2	10,0	4,6
06.09.	7,51	25,6	7,80	370,0	178,1	-51,4	12,0	2,8
13.09.	7,95	24,1	8,29	377,0	182,0	-63,0	3,0	1,7
24.09.	8,00	25,4	7,89	384,0	183,7	-12,6	15,0	-
Xsr.	7,45	25,7	7,99	365,89	175,86	-51,46	13,0	4,5
St.dev.	0,53	1,3	0,19	34,75	15,26	18,52	12,7	2,3
ΔX(α=0.05)	0,35	0,88	0,12	22,70	9,97	12,10	8,27	1,84

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Eksperiment sa šaržnim reaktorom

Promena izmerenih vrednosti koeficijenta filtracije u dva uzorka je prikazana u tabeli 3. Fotografija SEM analize površine peska u reaktoru Šarž-1 na kraju eksperimenta prikazana je na slici 2.

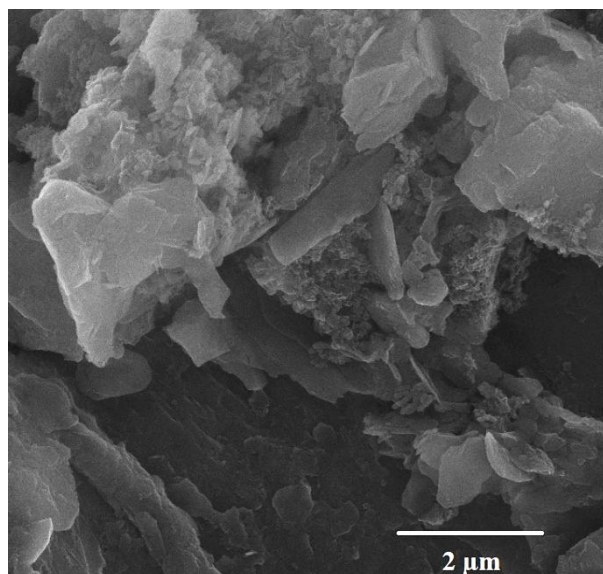
Tabela 3. Izmerene vrednosti koeficijenta filtracije u toku eksperimenta sa šaržnim reaktorom.

Vreme/uzorak	Šarž 1 (m/s)	Šarž 2 (m/s)
0	$1,75 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$
14 d	$1,27 \times 10^{-4}$	$1,61 \times 10^{-4}$
34 d	$5,37 \times 10^{-5}$	$8,00 \times 10^{-5}$
62 d	$3,11 \times 10^{-8}$	$9,91 \times 10^{-5}$

Na osnovu rezultata hemijskih analiza influenta i efluenta može se zaključiti da se u uzorcima ostvario razvoj bakterijske populacije. To se ogleda u DOC vrednostima, gde je konstatovano smanjenje koncentracije DOC-a u efluentima reaktora u odnosu na koncentraciju u influentu. Takođe, konstatovano je da je između 27. i 34. dana došlo do povećanja vrednosti DOC-a u efluentima reaktora u odnosu na njegovu koncentraciju u odgovarajućem influentu. Ovo sugeriše da se uginuće bakterijske populacije desilo u ovom periodu, kada se ista rastvara u vodi iznad ispune reaktora i uzrokuje povećanje merenih vrednosti DOC-a. Takođe, u reaktoru Šarž-2 je od 34. do 62. dana od početka eksperimenta došlo do blagog povećanja izmerenog koeficijenta filtracije, a što odgovara konstataciji o nestanku bakterijske populacije.

Pored toga, uočeni su sledeći uticaji bakterijske populacije na hemijski sastav vode efluenta u odnosu na vodu influenta:

- povećanje pH vrednosti,
- smanjenje koncentracije DOC i povećanje koncentracija HCO_3^- i CO_3^{2-} ,
- smanjenje koncentracija NH_4^+ , NO_3^- i NO_2^- ,
- smanjenje koncentracije rastvorenog kiseonika, i
- smanjenje vrednosti ORP.



Slika 2. Mikrofotografija biomase na površini uzorka iz reaktora Šarž-1

3.2 Eksperiment sa filterskom kolonom

U eksperimentu sa filterskom kolonom ispitivan je razvoj kolmacionog procesa tokom vremena. Iako je osnovni uticaj na kolmiranje ispune imao biološki tip kolmacionog procesa, fizički tip je takođe imao određeni, nešto manji, uticaj na rezultate. Sledeće dve karakteristike su određivale da fizički tip kolmacionog procesa ima nešto manju ulogu u kolmiranju ispune tokom eksperimenata sa filterskom kolonom:

- prosečna koncentracija suspendovanih čestica uzoraka vode iz Save je bila niska (13 mg/L).
- uzvodni rezervoar se ponašao kao taložnik, pri čemu je minimalno vreme pražnjenja iznosilo 24 časa, a najčešće 2-3 dana.

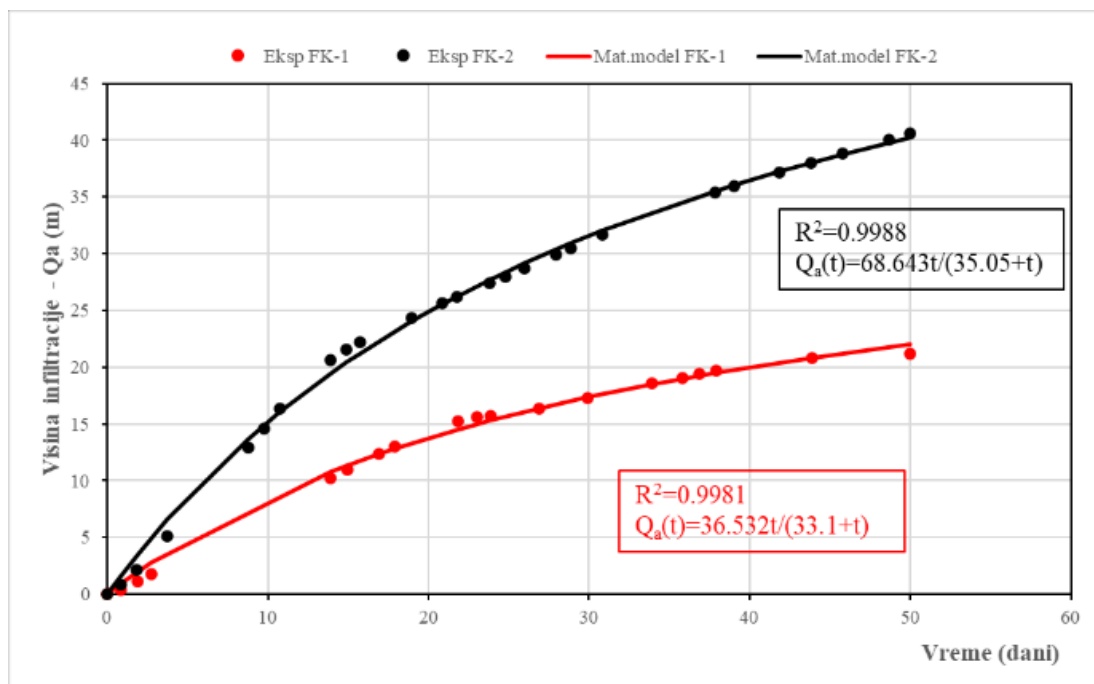
Ipak, uticaj fizičkog tipa kolmacije je bio aktivan iz razloga što su sitnije suspendovane čestice (koloidne čestice) ostajale u suspenziji, i bile su zadržavane od strane filterske ispune unutar kolone tokom trajanja eksperimenata.

Eksperiment sa filterskom kolonom je pogodan jer se prati promena brzine filtracije tokom vremena za konstantan nivo, na osnovu čega je moguće sračunati

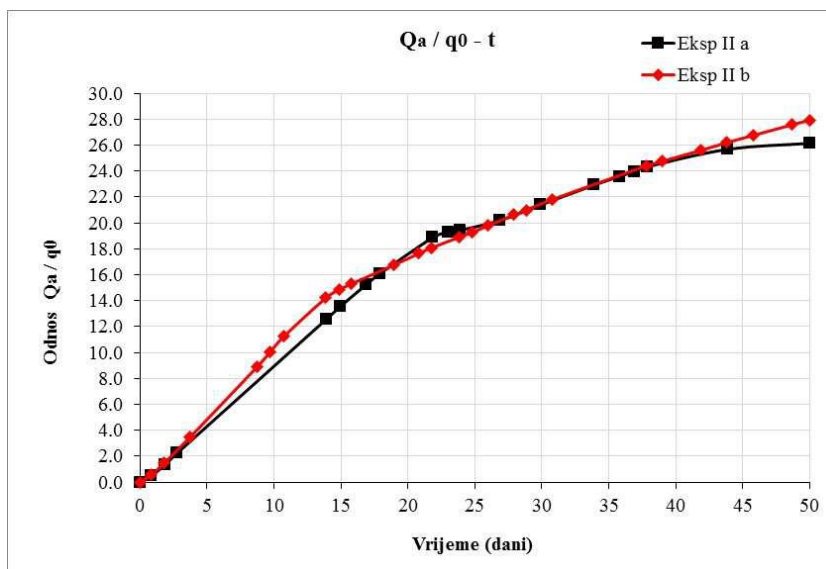
kumulativnu visinu infiltracije u toku vremena. Osmotrena promena visine infiltracije je prikazana na slici 3. Na slici se može uočiti pad intenziteta infiltracije u toku vremena, čiji je oblik sličan kod oba uzorka. Na istom dijagramu su dati i matematički modeli izvedeni iz analitičkog izraza u obliku [8]:

$$Q_a = \frac{Aq_0t}{(B+t)}$$

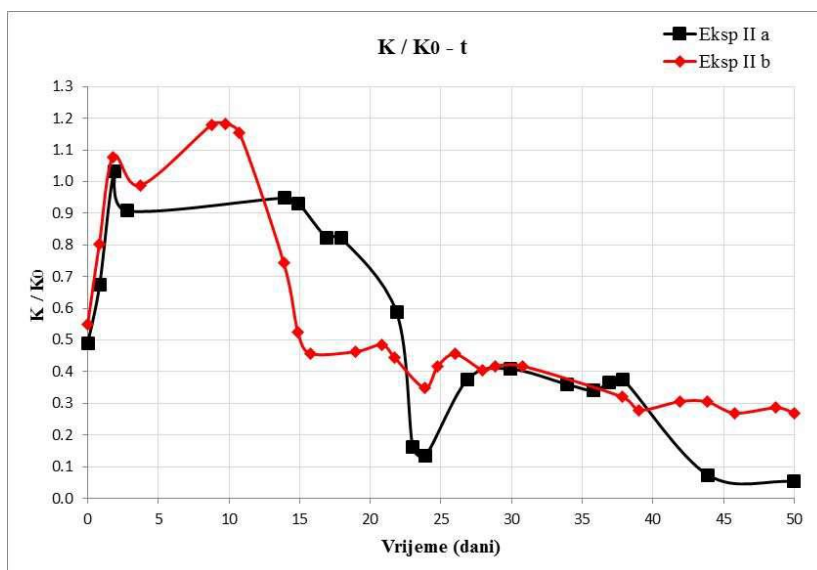
gde su: A i B kalibracione konstante koje se određuju iz funkcije $(Q_a/q_0 - t)$, q_0 početna vrednost brzine filtracije (na početku eksperimenta) i t vreme. Sličnost procesa smanjenja se može bolje videti na slici 4, gde je visina infiltracija ponderisana početnom vrednošću brzine infiltracije. Može se videti da analitički izraz u predloženom obliku sasvim zadovoljavajuće aproksimira dobijene eksperimentalne rezultate i predstavlja dobar osnov za njegovu generalnu primenu u matematičkim modelima. Dobijeni koeficijenti korelacije prelaze vrednost 0,998 za oba eksperimenta, ukoliko se konstante A i B odrede, umesto prema [8], minimiziranjem sume kvadratnih grešaka vrednosti Q_a izračunatih iz eksperimentalnih podataka za brzinu infiltracije v_i i vrednosti Q_a dobijenih predloženim analitičkim izrazom.



Slika 3. Promena kumulativne visine infiltracije u toku eksperimenta za dva uzorka.



Slika 4. Prikaz zavisnosti Q_a/q_0 za dva uzorka.

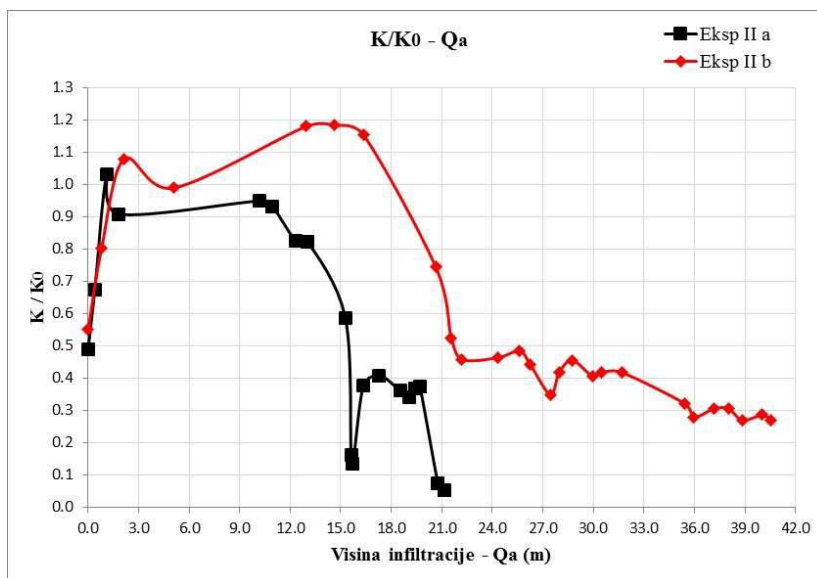


Slika 5. Promena koeficijenta filtracije u toku vremena u odnosu na početnu vrednost za dva eksperimenta.

Na slici 5 prikazana je relativna promena vrednosti koeficijenta filtracije u toku vremena, odnosno funkcija $K(t)/K_0$ za oba eksperimenta sa filterskom kolonom. Jasno se mogu uočiti gore opisane faze promene. Maksimalno smanjenje koeficijenta filtracije tokom prvog eksperimenta iznosi 95 %, a minimalan izmeren koeficijent filtracije je približno 19 puta manji od maksimalnog izmerenog koeficijenta filtracije, tj. manji je za red veličine ($K_{min} = 2,68 \times 10^{-6}$ m/s u odnosu $K_{max} = 5,15 \times 10^{-5}$ m/s). Slično, kod drugog ekperimenta minimalano izmeren koeficijent filtracije je 4,4

puta manji od maksimalno izmerenog koeficijenta filtracije ($K_{min} = 1,98 \times 10^{-5}$ m/s u odnosu na $K_{max} = 8,72 \times 10^{-5}$ m/s).

Sa praktičnog stanovišta, značajan je dijagram na slici 6, gde je prikazana zavisnost relativnog koeficijenta filtracije u odnosu na kumulativnu visinu infiltracije ($Q_a(t)$). Može se videti da je posle 15-18m infiltrirane vode dolazi do značajne promene koeficijenta filtracije u oba eksperimenta za date laboratorijske uslove, a da je dalji proces kolmiranja relativno stabilan.



Slika 6. Promena relativnog koeficijenta filtracije u toku vremena u odnosu na kumulativnu visinu infiltracije za dva eksperimenta.

5. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da bakterijska populacija u obliku gustih trodimenzionalnih nakupina (agregata) sastavljenih od spojenih bakterijskih ćelija, koje se stvaraju po površini uzorka peska i na ulazima u porne prostore, uzrokuje kolmiranje tla. Maksimalni zabeleženi intezitet smanjenja koeficijenta filtracije u eksperimentu sa šaržnim reaktorima iznosio je oko 70% nakon 34 dana trajanja eksperimenta. Kod prvog eksperimenta sa filterskom kolonom smanjenje koeficijenta filtracije iznosilo je 95% a kod ponovljenog 77%, nakon 50 dana trajanja oba eksperimenta. Promene hemijskih parametara vode usled dejstva bakterijske populacije odgovaraju promenama kod „zatvorenih sistema“ prema definiciji datoj od strane Champ i dr. [9].

LITERATURA

- [1] Sterret R. J.: Groundwater and Wells – Third edition, Johnson Screens, New Brighton, MN, 2007.
- [2] Grischek T., Bartak R.: Riverbed Clogging and Sustainability of Riverbank Filtration, Water, vol. 8, Issue 12, doi:10.3390/w8120604, 2017.
- [3] Baveye P., Vandevivere P., Hoyle B.L., et al.: Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials, Critical Reviews in Envir. Sci. and Techn., vol. 28, no. 2, pp. 123-91, 1998.
- [4] Mays D.C.: Using the Quirk-Schofield diagram to explain environmental colloid dispersion phenomena, J. of Nat. Res. & Life Sci. Ed., vol. 36, pp. 45-52, 2007.
- [5] Hutchison A., Milczarek M. and Banerjee M.: Clogging phenomena related to surface water recharge facilities, in Clogging issues associated with managed aquifer recharge methods, Ed. Martin R., Australia, 2013. pp. 95-106.
- [6] Milašinović M. , Jaćimović N. : Procena filtracionih karakteristika kolmirajućeg sloja rećnog dna na osnovu rezultata testa probnog crpljenja, Vodoprivreda, Vol. 49 (2017) No. 285-287 p. 161-166.
- [7] Wang F., van Halem D., Liu G. and Lekkerkerker-Teunissen K.: Effect of residual H₂O₂ from advanced oxidation processes on subsequent biological water treatment: A laboratory batch study, Chemosphere, vol. 185, doi:10.1016/j.chemosphere.2017.07.073, 2017.
- [8] Okubo T. and Matsumoto J.: Biological clogging of sand and changes of organic constituents during artificial recharge, Water Resources, vol. 17, no. 7, pp. 813-21, 1983.
- [9] Champ D.R., Gulens J. and Jackson R.E. : Oxidation-reduction sequences in ground water flow systems, Can. J. of Earth Sci., vol. 16, pp. 12-23, 1979.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PROCESS OF THE WATER PERMEABILITY DECREASE OF THE POROUS ENVIRONMENT IN THE ARTIFICIAL INFILTRATION CONDITIONS

by

Milan JAKŠIĆ¹, Nenad JAČIMOVIĆ², Vladana RAJAKOVIĆ OGNJANOVIĆ²

¹University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy

²University of Beograd, Faculty of Civil Engineering

Summary

The decrease in water permeability of the porous medium is caused by physical, biological and chemical processes that in the real environment (in situ) act simultaneously and in mutual interaction.

Two consecutive laboratory experiments with a filter column (repeated experiment), with continuous filtration of water from the Savsko lake, lasting two months each, were conducted with the aim of monitoring the reduction of water permeability over time. A sample of the porous medium for filling the filter column was taken from the drinking water treatment plant "Novoselija" in Banja Luka. In a repeated experiment, modifications were made to the experimental setup by establishing constant deaeration of the filter column and preventing the development of algae in the upstream tank.

During the repeated experiment, in addition to the measurement of filtration characteristics, measurements of selected chemical parameters of water samples in the

influent and effluent of the filter column were performed in order to monitor the redox conditions and responsible processes during the experiment. The following water quality parameters were measured: dissolved oxygen (O₂), temperature, pH value, electrical conductivity (EC), total dissolved particles (TDS), oxidation-reduction potential (ORP), dissolved organic carbon (DOC) and suspended particles.

Based on the obtained results, it was determined that the trend of the change in filtration velocity over time can be divided into 5 phases: 1) the period of establishing the initial (maximum) filtration velocity imposed by the given hydraulic gradient, 2) the period of stagnation at the maximum level, 3) the period of reduction filtration velocity in aerobic conditions, 4) a period of filtration velocity stagnation with the transition from aerobic to anaerobic conditions, and 5) a period of decreasing of filtration velocity in anaerobic conditions.

Key words: hydraulic permeability, colmation processes