



Aleksandar Đukić¹, Damjan Ivetić²
Ognjen Govedarica³, Branislav Babić⁴

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK25215D

UTICAJI PRILIVA ČISTIH VODA U KANALIZACIJU NA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Rezime: Priliv infiltracije i kišnih voda u kanalizaciju za upotrebljene vode u lokalnim uslovima nije moguće u potpunosti izbeći, ali ako je priliv ovih voda prevelik može doći do ozbiljnih posledica po funkcionisanje kanalizacije i postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda. U radu su predstavljeni uzroci i posledice priliva čistih voda u kanalizacioni sistem, sa naglaskom na njihov uticaj na funkcionisanje kanalizacije i efikasnost procesa prečišćavanja otpadnih voda. U uslovima ubrzane izgradnje kanalizacije i postrojenja za prečišćavanje, ukazano je na neophodnost da se ovoj problematici hitno i sistematski posveti odgovarajuća pažnja u Republici Srbiji.

Ključne reči: kanalizacija, infiltracija, kišne vode, prečišćavanje otpadnih voda

EFFECTS OF CLEAN WATER INFLOW IN SEWERAGE ON WASTEWATER TREATMENT

Abstract: The inflow of infiltration and rainwater into the foul sewers cannot be completely avoided, but if this inflow is excessive, it can lead to serious consequences for the operation of sewerage and municipal wastewater treatment plants. The paper presents the causes and consequences of clean water inflow into the sewage, with an emphasis on their impact on the sewer system performance and the efficiency of municipal wastewater treatment processes. In the context of accelerated construction of sewage systems and treatment plants, it is highlighted that urgent and systematic attention must be paid to this issue in the Republic of Serbia.

Key Words: Sewerage, infiltration, rainwater, wastewater treatment

1. Uvod

Otpadne vode se sakupljaju unutar objekata ili pojedinih površina internim sistemima kanalizacije i zatim se odvođe i izlivaju u ulične (javne) kanalizacione kolektore. Kanalizacioni

¹ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, djukic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-3548-989X

² Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, divetic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0001-7475-6108

³ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, ogovedarica@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4995-3932

⁴ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, babic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0003-1224-6297



kolektori mogu biti u obliku otvorenih ili zatvorenih kanala. Bez obzira da li se primenjuju otvoreni ili zatvoreni kanali, oni se uvek postavljaju u javnom zemljištu, bilo ispod saobraćajnica ili drugih javnih površina (trotoari, zelene površine i dr). Postoje dva osnovna tipa kanalizacionih mreža [1]:

- Opšti sistem kanalizacije - gde se jednom mrežom kanala sakupljaju i odvođe upotrebijene i atmosferske otpadne vode.
- Separacioni sistem kanalizacije - gde se jednom mrežom kanala sakupljaju i odvođe upotrebijene vode iz domaćinstava, ustanova i industrije, a drugom mrežom se sakupljaju i odvođe atmosferske otpadne vode.

Kanalizacioni sistemi se projektuju i izvode tako da zadovolje potrebe koje će se javiti nakon 15 do 30 godina nakon završetka izgradnje. Dužina ovog vremenskog perioda zavisi od raspoloživosti planske dokumentacije. Kanalizacioni sistemi su veoma nefleksibilni kada je u pitanju rekonstrukcija i proširenje kapaciteta tako da se uobičajeno planiraju i grade tako da zadovolje krajnje potrebe razmatranog slivnog područja.

Količine otpadnih voda zavise od broja stanovnika, njihovog standarda i navika tj. specifične potrošnje vode po stanovniku, razvijenosti industrije priključene na javnu kanalizaciju, da li je u pitanju opšti, separacioni ili kombinovani sistem kanalizacije, količine infiltriranih podzemnih voda u kanalizaciju i dr, kao i od geografskih uslova - veličine slivne površine sa koje otpadne vode mogu doći na uređaje za prečišćavanje [1].

2. Vrste i odlike „čistih“ voda koje dospevaju u kanalizaciju

Čiste vode koje se mogu pojaviti u kanalizaciji uključuju podzemne vode i kišni oticaj sa površine terena. U ovom radu će se razmatrati samo prilivi čistih voda u kanalizaciju upotrebljenih voda separacionih sistema kanalizacije.

2.1. Infiltracija

U kanale može dospeti i podzemna voda ako su kanali postavljeni ispod nivoa podzemne vode. Takođe, jedan deo voda koje se proceduju kroz zemljište može dospeti u kanalizacionu mrežu. Ispitivanja su pokazala da se u uslovima visokih podzemnih voda one u manjoj ili većoj meri neizbežno infiltriraju u kanale. Količina ovih infiltriranih voda zavisi od sastava zemljišta, nivoa podzemnih voda, kvaliteta i broja izvedenih spojeva između kanala i između kanala i revizionih silaza (šahтова). Glavni izvori infiltracije u kanalizaciju su pukotine i oštećenja kanalizacionih cevi usled starenja ili pomeranja tla, neispravni spojevi cevi sa šahтовима ili između cevi, oštećenja od korenja vegetacije, vodopropusnost zidova ili osnova šahтова, i drugo.

Odomaćena je praksa da se količine infiltriranih voda prikazuju u procentima od ukupne količine komunalnih i industrijskih otpadnih voda. Ovaj način prikazivanja količine infiltriranih voda je suštinski pogrešan jer ne uzima u obzir faktore koji zaista utiču na pojavu i veličinu infiltracije. Bolje je određivati količinu infiltrirane vode prema jedinici dužine kanalizacione mreže ili prema jedinici površine naselja koje se kanališe.

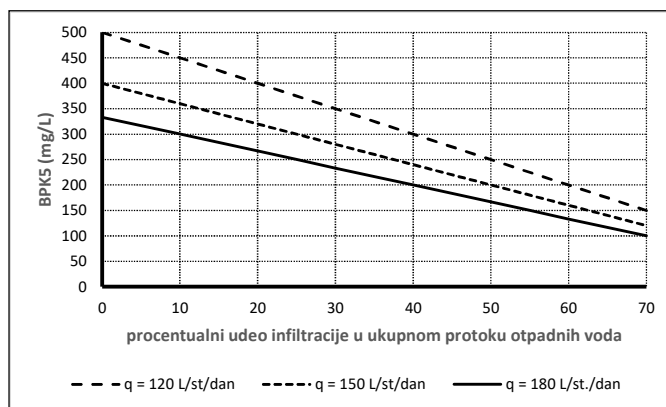
Ispitivanja pokazuju da su količine infiltriranih voda najčešće kreću od 30 do 160 m³/dan po kilometru mreže. U slučaju nekvalitetnog izvođenja mreže ili oštećenih kolektora, vrednost

infiltracije može biti i znatno veća. Često se računa sa $70 \text{ m}^3/\text{dan}$ po km mreže ako je polovina dužine kanala stalno ispod nivoa podzemne vode. Takođe, postoje preporuke da količine infiltriranih voda mogu biti u opsegu od 2,3 do $11,5 \text{ m}^3$ po hektaru kanalisane površine [1].

Promene količina infiltriranih voda zavise prvenstveno od promene nivoa podzemnih voda i veličine oštećenja kolektora i njihovih spojeva. Kako su promene nivoa podzemnih voda obično spore i blage u praktičnim proračunima se najčešće računa da je količina infiltriranih voda konstantna tokom vremena.

Kvalitet infiltriranih voda zavisi od lokalnih uslova i sastava zemljišta, ali najčešće su u pitanju relativno čiste vode sa niskim ili zanemarljivim saržajem zagađujućih materija. Međutim, istraživanja ukazuju da priliv infiltracije može trajno da poremeti sastav otpadne vode u odnosu na projektovane vrednosti [2].

U narednoj tabeli je prikazan uticaj udela infiltracije na koncentraciju petodnevne biohemijske potrošnje kiseonika (BPK_5) u ukupnom protoku vode u kanalizaciji za upotrebne vode. Pretpostavka je da se u kanalizaciji skupljaju samo otpadne vode od domaćinstava.



Slika 1. Zavisnost koncentracije BPK_5 (mg/L) u otpadnoj vodi u sanitarnoj kanalizaciji od udela infiltriranih voda (pretpostavljen unos $60 \text{ gBPK}_5/\text{dan}$ po stanovniku) za različite količine otpadnih voda po stanovniku

Figure 1. Dependence of BOD_5 concentrations in sanitary sewer wastewater on the share of infiltrated water (assuming $60 \text{ g BOD}_5/\text{day}$ per capita) for various wastewater volumes per capita

Navedene vrednosti su teorijske i mogu poslužiti samo kao orijentacija, dok se vrednosti udela infiltracije moraju preciznije određivati detaljnijim analizama, uključujući i terenska ispitivanja.

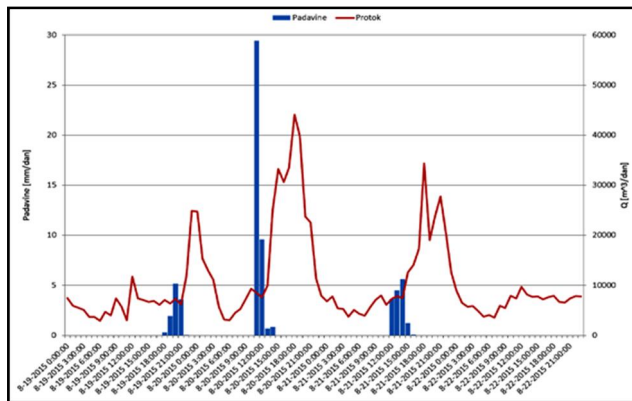
2.2. Dotok kišnih voda

Bez obzira što je kanalizacija za upotrebne vode planirana za odvođenje samo komunalnih otpadnih voda, tokom kiše jedan deo kišnice može ući u kanale za upotrebnu vodu. Ove količine nisu velike ako je kanalizacija izvedena kvalitetno i ako nisu na nju spojeni odvodi sa krova (olučnjaci) ili pojedini slivnici. U ovom slučaju kišnica može ući u kanale za

upotrebљene vode kroz poklopce revizionih silaza (šahtova) i to u najvećoj količini od 0,5 do 2 L/s po poklopcu šahta, ako se na tom delu ulice obrazuje tok vode dubine 2,5 cm, što ne bi trebalo često da se dešava jer su šahtovi kanalizacije obično postavljeni blizu osovine ulice na višim kotama od jedne ili obe ivice kolovoza. Ako su na kanalizaciju za upotrebљene vode prikljućeni pojedini olućnjaci, dvorišni odvodi ili ulični slivnici, onda kolićine kišnih voda za vreme kiše mogu biti znaćajne [1]. Takođe, priliv kišnih voda može nastati i slućajnim/namerim povezivanjem delova kišne kanalizacije na kanalizaciju za upotrebљenu vodu [1].

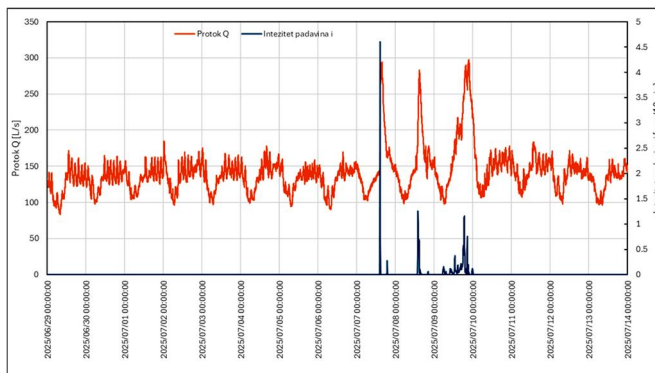
Nažalost postoji rasprostranjeno shvatanje da je prikljućenje pojedinih oluka na kanalizaciju za upotrebљene vode korisno za njeno ispiranje, što je pogrešno i kao što će se pokazati, može vrlo negativno uticati na prećišćavanje otpadnih voda.

Kvalitet kišnih voda varira u širokim granicama kako po vremenu tako i po prostoru. Najćešće je kvalitet kišnog oticaja najljiši na početku kišne epizode, i tokom kiše se brzo poboljšava kako kišni oticaj spira i odnosi naistoće sa površine terena. Zageđnja kišnog oticaja zavise od lokalnih uslova a najšešće su u pitanju suspendovane materije sa adsorbovanim zagađenjima (teški metali i dr.), soli (tokom zimskih meseci, ako se nanosi so na puteve), organska zagađenja, ugljovodonici i drugo [3], [4].



Slika 2. Merenja protoka otpadnih voda i kiša na ispustu otpadnih voda Obrenovca
Figure 2. Measurements of wastewater flow and rain at the Obrenovac wastewater outlet

Na slici 2 prikazani su rezultati merenja protoka u kanalizaciji za upotrebљene vode Obrenovca i visine pale kiše [5]. Zakljućeno je da prosećna specifićna kolićina otpadnih voda iznosi oko 260 L/st.dan, a da je specifićna infiltracija u opsegu od 37 do 50 m³/dan po km (0,42-0,58 L/s/km) postojeće kanalizacione mreže u Obrenovcu, ili do 0,06 L/s po hektaru (za procenjenu ukupnu površinu pod kanalizacijom oko 600 hektara), a da je uticaj kiše prilićno izražen: pri slabim padavinama (visina pale kiše 5 mm) protok na ispustu raste do 300 L/s, a pri jaćem pljusku (visina pale kiše oko 30 mm), protok na ispustu dostiže i preko 500 L/s, što je 7,5 puta više od prosećnog protoka otpadnih voda na ispustu. Ovako velike varijacije protoka u kratkom vremenu mogu uticati na poremećaje u radu budućeg postrojenja za prećišćavanje otpadnih voda.



Slika 3. Merenja protoka otpadnih voda i kiša na ispustu otpadnih voda 2025. godine
Figure 3. Wastewater flow and rainfall measurements at the wastewater outlet in year 2025

Na slici 3 prikazan je deo rezultata merenja protoka i padavina u sklopu merne kampanje koju je Građevinski fakultet Beograd sproveo tokom 2025. godine u kanalizaciji za upotrebljene vode jednog grada srednje veličine u Srbiji. Merenja su sprovedena na nekoliko ključnih lokacija unutar kanizacione mreže, dok su na slici 3 prikazani rezultati merenja samo na najnižvodnijem mernom mestu. Tokom merne kampanje su zabeležene tri kišne epizode 7, 8. i 9. jula, visina padavina 5,9 mm, 5,3 mm i 13,7 mm, respektivno. Uticaj kiše na maksimalne zabeležene protoke je bio skoro uniforman, gde su se u sva tri slučaja zabeležene maksimalne vrednosti protoka između 280 i 300 L/s. U odnosu na prosečne vrednosti protoka u suvim danima, pri zabeleženim kišnim epizodama protok je povećan oko 2,2 puta. Sa druge strane, kišni oticaj nakon najveće, treće, kišne epizode je značajno duže trajao u odnosu na prve dve epizode, što korespondira sa ukupnom zapreminom pale i otekle kiše. Preliminarna analiza rezultata ukazuje da sama kanizaciona mreža ima kapacitet da retenzira kišni oticaj, odnosno ublaži pik hidrograma kišnog oticaja.

3. Uticaji priliva čistih voda u kanalizaciju

3.1. Infiltracija

Infiltracija utiče na trajno povećanje hidrauličkih opterećenja kanalizacije, što kod sistema sa crpnim stanicama dovodi i do povećanja godišnjih troškova. Uticaji infiltracije na prečišćavanje otpadnih voda su složeni i višestruki:

a. Hidrauličko preopterećenje - podzemne vode koje ulaze u kanalizaciju povećavaju ukupni protok, posebno tokom vlažnih sezona ili uslova visokog nivoa podzemnih voda. Ovo povećava protok do postrojenja za prečišćavanje, što može:

- da snizi efikasnosti tretmana i aktiviranje obilaznog voda,
- dovesti do povećanog opterećenja pumpi, aeratora i druge opreme za prečišćavanje.

b. Razblaživanje otpadnih voda - infiltrirane vode su relativno čiste (nizak sadržaj organskih i suspendovanih materija, nutrijenata). Ovo smanjuje koncentraciju organske materije u otpadnoj vodi, čineći biološki tretman (kao što je aktivni mulj) manje efikasnim jer se



mikroorganizmi koji vrše prečišćavanje oslanjaju na određene nivoe organskog opterećenja da bi optimalno funkcionisali.

c. Povećani operativni troškovi - više vode znači više energije potrebne za pumpanje i aeraciju, kao i veću potrošnju hemikalija u tretmanu.

d. Uticaj na proizvodnju mulja - niže organsko opterećenje dovodi do manje produkcije biomase, što potencijalno narušava ravnotežu mikrobnih populacija u jedinicama za tretman.

3.2. Dotok kišnih voda

Veliki dotok kišnih voda u kanalizaciju za upotrebljene vode može, pored povećanja hidrauličkog opterećenja kanalizacije i operativnih troškova pumpanja otpadne vode dovesti do lokalnih plavljenja. Naime u slučaju kada kanalizacioni sistemi ne mogu da prihvate dodatnu količinu voda, sirova otpadna voda iz kanalizacije se izliva u podrum, površinu terena ili vodoprijemnike, što predstavlja ozbiljan rizik po životnu sredinu i javno zdravlje.

Uticaji na procese prečišćavanja, su višestruki:

a. Skokovi protoka - priliv kišnog oticaja izaziva iznenadna, kratkotrajna povećanja protoka tokom kišnih padavina. Ovi skokovi protoka mogu:

- prekoračiti hidraulični kapacitet postrojenja.
- ispirati istaložen mulj ili bakterije u bazenima postrojenja.
- izazvati udarno opterećenje ili poremećaje procesa u biološkim reaktorima.

b. Skraćenje hidrauličkog vremena zadržavanja - procesima tretmana, posebno biološkim, potrebno je vreme da se razgradi zagađenje, a povećan protok smanjuje ovo vreme, smanjujući efikasnost uklanjanja zagađenja.

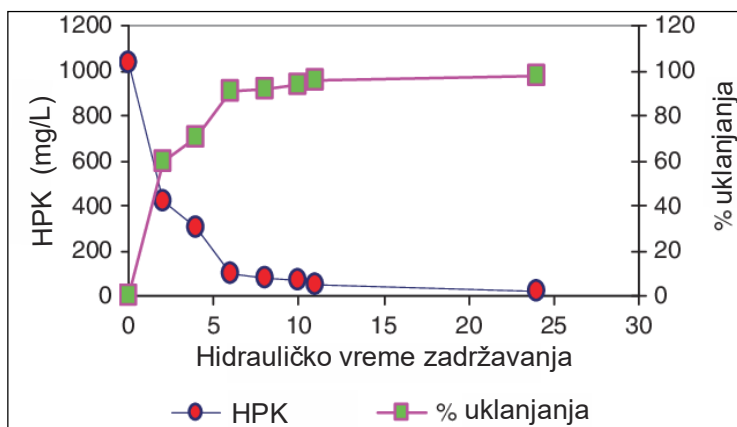
c. U slučaju dezinfekcije efluenta, veliki protoci mogu smanjiti efekat dezinfekcije.

3.3. Zbirni efekti

Zbirni efekti infiltracije i dotoka kišnih voda su:

- Povećan rizik od hidrauličkog preopterećenja kanalizacione mreže i lokalnih izlivanja kanalizacionog sadržaja.
- Povećano vreme rada crpnih stanica i troškovi pumpanja otpadne vode.
- Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda konstantno obrađuje veći protok nego što je projektovano.
- Performanse prečišćavanja mogu biti nestabilne, posebno tokom vlažnog vremena.
- Vek trajanja opreme je smanjen zbog stalne prekomerne upotrebe i opterećenja.
- Kvalitet efluenta može biti pogoršan, moguće je povremeno aktiviranje obilaznog voda (bajpasa).

Od ranije je poznato da postoji direktna zavisnost između vremena zadržavanja vode i mulja u biološkom reaktoru postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i efikasnosti uklanjanja organskog zagađenja iz otpadnih voda (iskazanog kao petodnevna biohemijska potrošnja kisenonika - BPK5 ili kao hemijska potrošnja kisenonika – HPK). Ova zavisnost se može izvesti iz kinetičkih jednačina bioloških procesa razgradnja u reaktorima (videti lit. [6]) i više puta je potvrđena merenjima u praksi, ako na primer u lit. [7] što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Uklanjanje HPK u zavisnosti od hidrauličkog vremena zadržavanja [7]

Figure 4. COD removal efficiency versus hydraulic retention time [7]

Metode za detekciju infiltracije i priliva kišnih voda obuhvataju kompleksne aktivnosti kao što su merenja protoka, traserska merenja, snimanje unutrašnjosti kolektora, matematičko modeliranje i drugo, i predmet su istraživanja i razvoja u svetu [8].

Aktivnosti na smanjenju infiltracije i dotoka kišnih voda obuhvataju obimne, dugotrajne i kompleksne aktivnosti kao što su: snimanje stanja, popravka i zamena elemenata (sanacija) kanalizacije, rekonstrukcija kanalizacije, prevezivanje oluka i slivnika na kišnu kanalizaciju, edukacija korisnika kanalizacije i drugo.

Kako je teško potpuno eliminisati uticaje priliva infiltracije i kišnih voda, mogu se u pojedinim slučajevima kao mera primeniti i retenzije na kanalizaciji, primenom nekih relevantnih preporuka za analizu i projektovanje. Jedan takav je nemački tehnički standard ATV A 117 koji se odnosi na projektovanje i rad retenzionih rezervoara u kanalizaciji. On pruža smernice za planiranje, dimenzionisanje i rad ovih retenzija koji se koriste u kanalizacionim sistemima i procesima prečišćavanja otpadnih voda.

4. Preliminarna ocena stanja u Srbiji

U gotovo svim kanalizacionim sistemima u Srbiji gde su izvršena merenja kvaliteta i protoka upotrebljenih otpadnih voda detektovana je razblažena otpadna voda, povećani priliv infiltracije, povremena ispuštanja industrijskih otpadnih voda van propisanog kvaliteta i drugi problemi. Ove pojave mogu značajno remetiti procese prečišćavanja otpadnih voda i povećati troškove kanalisanja i prečišćavanja, i sa izgradnjom kanalizacionih sistema i novih postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda ovi problemi postoju jasno vidljivi.

Trenutno je na kanalizaciju priključeno preko 60% stanovništva Srbije, ali evidentno zaostajanje u izgradnji kišne kanalizacije je dovelo u velikom broju naselja do priključenja kišnih voda na kanalizaciju za upotrebljene vode. Ako se ovome doda činjenica da se u skoro svim javnim kanalizacionim sistemima kod nas ne obavljaju redovna merenja protoka otpadnih voda, i da su podaci o stanju i karakteristikama sistema često nedovoljni i



neopouzdati, jasno je da se hitno mora započeti sa ovim aktivnostima. Ovo će zahtevati reformu ovog sektora, uz jačanje kapaciteta svih učesnika. Naročito je važno definisanje vlasničkog i upravljačkog statusa kišne kanalizacije u naseljima, koja je kod nas različito rešena u različitim jedinicama lokalne samouprave, ali svima je zajednička nejasna upravljačka struktura, nedovoljni izvori finansiranja rada i održavanja kišne kanalizacije i nedostatak strateškog planiranja povezanog sa urbanističkim uređenjem i razvojem naselja.

Važnu komponentu u ovom procesu treba da zauzme i edukacija korisnika kanalizacije o njenim pravilnom korišćenju, jer jedan deo uočenih problema u eksploataciji (prevezivanje oluka na kanalizaciju, odlaganje otpada u kanalizaciju i dr.) je posledica neadekvatnog ponašanja korisnika.

Zahvalnica

Istraživanja prikazana u ovom radu su podržana od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, broj ugovora 451-03-47/2025-01/200092

5. Literatura

- [1] Ljubisavljević D, Đukić A, Babić B, Kujundžić B. Tehnika kanalsanja naselja. *Vodovodni i kanalizacioni sistemi*. Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, pp.125-212, 2011.
- [2] Ryuichi Watanabe, Hidenori Harada, Hidenari Yasui, Tuan Van Le & Shigeo Fujii, Exfiltration and infiltration effect on sewage flow and quality: a case study of Hue, Vietnam, *Environmental Technology*, 42:11, 1747-1757, DOI: 10.1080/09593330.2019.1680739, 2021.
- [3] Djukić A, Lekić B, Rajaković-Ognjanović V, Naunovic Z, Prodanović D. Build-up and characterisation of pollutants on urban impervious surfaces. *Water Science and Technology*. 77 (8), pp.2123-2133. DOI: 10.2166/wst.2018.128, 2018
- [4] Djukić A, Lekić B, Rajaković-Ognjanović V, Veljović Đ, Vulić T, Djolić M, Naunović Z, Despotović J, Prodanović D. Further Insight into the Mechanism of Heavy Metals Partitioning in Stormwater Runoff. *Journal of Environmental Management*. (168), pp.104-110. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.11.035, 2016.
- [5] Babić M, Đukić A. Prečišćavanje otpadnih voda Obrenovca. Zbornik radova 47. *Konferencije o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda "VODA 2018"*, SDZV, 2018
- [6] Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th edition, McGraw Hill Inc, NY, USA, 2022.
- [7] Tawfik, Ahmed & El-Kamah, Hala. Treatment of fruit-juice industry wastewater in a two-stage anaerobic hybrid (AH) reactor system followed by a sequencing batch reactor (SBR). *Environmental technology*. 33. 429-36. DOI: 10.1080/09593330.2011.579178, 2012.
- [8] Zhichao Zhao, Hailong Yin, Zuxin Xu, Jian Peng, Ziwen Yu. Pin-pointing groundwater infiltration into urban sewers using chemical tracer in conjunction with physically based optimization model, *Water Research*, Volume 175, 115689, DOI:10.1016/j.watres.2020.115689, 2020.