

PRIMENA INFILTRACIJE I EKSFILTRACIJE U SISTEMIMA KIŠNE KANALIZACIJE

APPLICATION OF INFILTRATION AND EXFILTRATION IN RAIN SEWAGE SYSTEMS

ŽELJKA OSTOJIC¹

MILOŠ STANIĆ²

STRAHINJA NIKOLIĆ³

SANJA MARČETA⁴

NEMANJA RAK⁵

Stručni rad

DOI: 10.5937/VIK243390

Rezime: Primena eksfiltracije i infiltracije uz kombinovanje drenažnih cevi i rovova sa šljunkom sa elementima klasičnih sistema gradske kišne kanalizacije doprinosi smanjenju zapremine oticaja, poboljšanju njegovog kvaliteta i unapređenju životne sredine u uslovima urbanog okruženja. Ovakav pristup nije dovoljno zastupljen u projektantskoj praksi, a trenutno nema jasnih smernica koje bi olakšale širu primenu ovakvih rešenja u svakodnevnoj praksi. Izrada ovakvih smernica zahteva angažovanje velikog broja stručnjaka i to ne samo prostornih planera, urbanista, pejzažnih arhitekata i projekatana različitih struka, već i podršku nadležnih vodoprivrednih organizacija i ministarstava, s obzirom na veliki broj otvorenih pitanja. Problem se komplikuje u uslovima gradskog okruženja sa karakterističnom raznolikošću urbanih sadržaja i uslova formiranja oticaja. U radu su dati primeri mogućnosti kombinovanja infiltraciono-eksfiltracionih sistema sa sistema klasične kišne kanalizacije u gradskim uslovima.

Ključne reči: infiltracija, ekxfiltracija, upravljanje kišnim oticajem

¹ Željka Ostojić, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, zeljka.ostojic-61@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5492-8179

² Miloš Stanić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd mstanic@grf.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-3410-2393

³ Strahinja Nikolić, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, strahinja.nikolic-@hps.rs, ORCID: 0009-0003-3906-1601

⁴ Sanja Marčeta, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, sanja.marceta-@hps.rs, ORCID: 0009-0007-7129-1238

⁵ Nemanja Rak, Hidroprojekat saobraćaj, Vele Nigrinove 16a, Beograd, nemanja.rak@hps.rs, ORCID: 0009-0008-4196-8890

The application of exfiltration and infiltration with the combination of perforated pipes and gravel trenches with the classic city rain sewerage systems elements contributes in the runoff volume reduction, also in improving runoff quality and environment improving in the conditions of an urban environment. This approach is not sufficiently represented in design practice, and there are currently no clear guidelines that would facilitate the wider application of such solutions in everyday design practice. The development of such guidelines requires the engagement of a large number of experts, not only spatial planners, urban planners, landscape architects and designers of various professions, but also the support of competent water management organizations and ministries, given the large number of open issues. The problem is also more complicate in the conditions of urban environment with diversity of urban contents and various runoff development conditions.

The paper gives examples of the possibility of combining infiltration-exfiltration systems with classic rain sewerage systems in urban conditions.

Key Words: infiltration, exfiltration, rainwater runoff management

1. Uvod

Urbanizacija menja hidrološki ciklus povećavajući zapreminu površinske vode i vršni protok. U savremenim sistemima kišne kanalizacije se potencira što duže zadržavanje vode u urbanom slivu, primenom mera i elemenata koji oponašaju prirodno okruženje. U pogledu količina kišnih voda, savremeni pristup predviđa da maksimalni oticaj posle izgradnje sistema za odvođenje atmosferskih voda, ne bude veći od oticaja pre izgradnje sistema, a što se tiče kvaliteta vode postavljeni kriterijum je da kvalitet vode posle izgradnje sistema bude bolji od zatečenog.

Svaki sistem za kanalisane kišnih voda, bilo da je projektovan po klasičnom ili savremenom pristupu, sadrži podzemni deo (minor sistem) i nadzemni deo (major sistem), a može se posmatrati kroz osnovni, prošireni i kompleksni kanalizacioni sistem. Osnovnom sistemu pripadaju objekti koji primaju i odvode merodavne kišne vode propisanog povratnog perioda (2, 5 ili 10 godina), prošireni sistem čine i ulice, parkinzi, parkovi i otvoreni prostori sa ulogom da prihvate višak vode koji ne može da primi osnovni sistem, pa su u određenim slučajevima merodavni oticaji povratnog perioda od 25 do 100 godina (povratni periodi karakteristični za proračune plavljenja). Kompleksni kanalizacioni sistem, obuhvata sve prirodne i izgrađene terene u koje kišni oticaj dospeva po prevazilaženju kapaciteta proširenog sistema.

Ne postoji univerzalna tipologija elemenata savremenih kanalizacionih sistema koji koriste procese infiltracije i retenziranja posebno ili u kombinaciji sa ponovnom upotrebom atmosferske vode. Posledica je da elementi sa istom hidrološkom funkcijom imaju različite nazive u sistemu, u zavisnosti od primenjene tipologije.

WSUD (engl. Water Sensitive Urban Design) prepoznaje sledeće elemente kanalizacionog sistema: 1) ozelenjene plitke linijske ili površinske depresije, bez ili sa vodom (engl. swales); 2) ozelenjeni filterski tampon rovovi; 3) peščani filteri; 4)

bioretenzioni sistemi; 5) porozna popločanja; 6) infiltracioni kanali; 7) infiltracioni bazeni; 8) rezervoari za kišnicu; i 9) elementi pejzažne arhitekture.

SUDS (engl. Sustainable Urban Drainage Schemes), ima sledeću podelu elemenata sistema: 1) porozno popločanje (pešačkih komunikacija i drugih površina); 2) filterski pojasevi; 3) filterski i infiltracioni rovovi; 4) ozelenjene plitke linijske ili površinske depresije (sa ili bez vode); 5) retenzioni bazeni; 6) podzemni rezervoari za skladištenje kišnice; 7) močvare; i 8) male površine za stajaću vodu (engl. ponds).

2. Klasifikacija kriterijuma za kontrolu sistema kišne kanalizacije

Kriterijumi za dimenzionisanje, modeliranje, kontrolu, upravljanje i održavanje sistema za prikupljanje, odvođenje i prečišćavanje atmosferskih voda nisu jasno definisani, pa je samim tim u ovoj oblasti otežano donošenje odluka, a parcijalna rešenja do kojih se dolazi korišćenjem subjektivnih kriterijuma je uobičajna praksa. Nedostatak uputstava i standarda u ovoj oblasti je lako objasniti činjenicom da se za svako primenjeno rešenje pojavljuje veliki broj limitirajućih urbanističkih i hidroloških parametara, čije selektivno poštovanje vodi ka usvajanju rešenja koja zadovoljavaju samo jedan od njih.

Osnovni kriterijumi dimenzionisanja i modeliranja sistema se vezuju za tip objekta i njihovu hidrološko-hidrauličku funkciju u sistemu za prikupljanje, odvođenje i prečišćavanje kišnog oticaja.

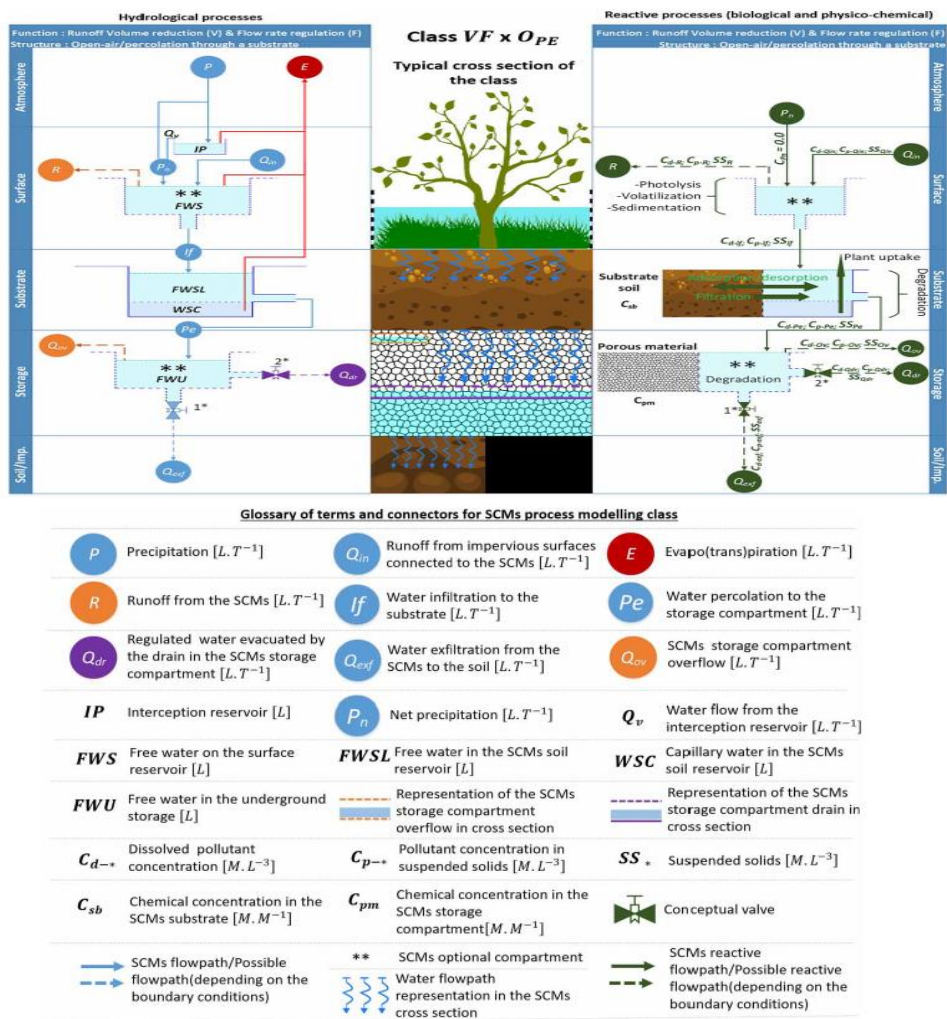
Tip objekta (objekat na otvorenom za kontrolu površinskog oticaja, sa ili bez proceđivanja kroz supstrat ili podzemni objekat do kog oticaj dospeva centralizovano kolektorom ili decentralizovano - propusnom površinom)

Definisanom tipu objekta se mogu priključiti sledeći urbanistički parametri:

- Lokacija objekata kanalizacionog sistema (javno ili privatno zemljište-iznad, unutar ili ispod objekta, uređenog ili slobodnog zemljišta)
- Način korišćenja zemljišta na lokaciji objekta kanalizacionog sistema /urbano jezgro grada, poslovne ili stambene četvrti, putevi ili parkinzi, trgovi ili dvorišta, parkovi i bašte uz uzimanje u obzir elemenata topografije, infiltracionog kapaciteta zemljišta, prisustva zelenih površina i vodenih tela)
- Specifičnosti mikrolokacije objekta (vegetacija, postojanje prirodnih površinskih ili podzemnih vodnih tela).

Hidrološka funkcija objekta (smanjenje zapremine oticanja, regulacija protoka i transport). Smanjenje zapremine oticaja se postiže prikupljanjem i/ili korišćenjem kišnice kao tehničke vode, evapotranspiracijom i eksfiltracijom. Za realizaciju ove funkcije je važno razlikovati površinski difuzni dotok u sistem (propusni kolovoz, sa susednih površina preko travnate trake), podzemni difuzni (iz drenažnog rova),

površinski ili podzemni koncentrisani dotok (iz sistema kolektora ili sa susednih površina).



Slika 1. Hidrološki i fizičko-hemijski procesi po tipovima rezervoara za sistem kišne kanalizacije (** su označene neobavezne komponente) za objekte klase VF/OPE

Figure 1. Hydrological and physical-chemical processes by reservoir type for the storm sewer system (** optional components are marked) for facilities of the VF/OPE class

Regulacija protoka se realizuje retenziranjem sa ili bez eksfiltracije. Retenziranje prikupljenog oticanja može biti na površini ili pod zemljom. Podzemno retenziranje je različito u poroznoj sredini u kojoj se realizuje slobodno tečenje i u zemljištima sa kohezijom (gde postoje i slobodni i kapilarni tok vode).

Transport i ispuštanje u recipijent je funkcija pri kojoj treba razlikovati površinski ili podzemni transport i ispuštanje u podzemni ili površinski recipijent. U oba slučaja se razlikuju režimi pražnjenja sa izuzimanjem vode (infiltracija, evapotranspiracija ili korišćenje vode) i režimi pražnjenja bez izuzimanja vode u nizvodnom profilu (prelivanje ili regulisani oticaj, podzemni odvod povezan sa kanalizacijom).

Hidrološka funkcija objekta je povezana sa učestalošću i intenzitetom pojedinih kišnih epizoda definisanoj preko ukupne sume padavina (mm) ili povratnog perioda (godina) merodavnih pljuskova. Za padavine manjeg intenziteta ciljevi kontrole su povezani sa kontrolom infiltracije, popunjavanja rezervi podzemne vode, a kod ekstremno jakih pljuskova sa kontrolom rada pod pritiskom i kontrolom plavljenja.

Jednostavna klasifikacija objekata i njihove funkcije u osnovnom, proširenom ili kompleksnom kanalizacionom sistemu, je preduslov za modeliranje elemenata sistema i upravljanje proticajem i kvalitetom vode u sistemu. Prema podacima iz literature preporučuje se klasifikacija procesa prema mestu gde se oni dešavaju, a to je jedan od sledeća 4 tipa rezervoara:

Rezervoari tipa 1 - kontrola direktnog ulaska padavina u sistem – plavi i/ili zeleni krovovi, vegetacija.

Rezervoari tipa 2 – skladištenje oticaja na površini terena (nadzemni linijski tehnički elementi) - zemljani, zatravljeni kanali, plitke linijske ili površinske depresije retenzije sa ili bez preliva, infiltracioni kanali, porozna popločanja.

Rezervoari tipa 3 - voda u gornjem sloju tla/supstratu (slobodna i kapilarna voda) - bioretenzije, ozelenjeni filterski tampon rovovi, peščani filteri.

Rezervoari tipa 4 - podzemne vode sa slobodnom površinom u poroznoj sredini - granica tla zasićenog vodom.

Izdvajamo sledeće klase objekata koje su povezane sa njihovom hidrološkom funkcijom:

Klasa VF/OPE objekti na površini sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulisanja proticaja, uz obavezan sadržaj supstrata:

Smanjenje zapremine oticaja evapotranspiracijom vode infiltrirane u suptrat

Zeleni krovovi (intenzivni, poluintenzivni i ekstenzivni), zeleni zidovi, kutije za sadnju, kao i parkirališta sa vegetacijom. Najveći deo oticaja se skladišti u re-

zervoaru tipa 3 za vegetaciju i supstrat i evakuise kasnije, uglavnom evapotranspiracijom, a viškovi zahtevaju drenažu ili preliv.

Dodatni sloj za skladištenje – rezervoar tipa 4 (rezerva vode za biljke) može biti predviđen ispod podloge ili na vrhu objekta. Dno je ili nepropusno (betonska ploča) ili pokazuje veoma nisku propusnost (zbijeno glineno tlo) - eksfiltracija je zanemarljiva.

Smanjenje zapremine oticaja eksfiltracijom vode iz supstrata

Sistemi za bioretenciju bez obloge (kišne bašte, kutije za drveće, filteri, biofiltere, bazeni za infiltraciju). Veći deo zapremine oticanja se infiltrira kroz supstrat – rezervoar tipa 3, sa (npr. bioretencione ćelije, bioretenciona jezera, infiltracijski bazeni) ili bez (npr. parkinzi sa vegetacijom) zapremine za prethodno skladištenje na površini – rezervoar tipa 2, a manji deo se evakuise evapotranspiracijom. Deo za supstrat se može predvideti od posebno projektovanog supstrata (za potrebe uklanjanja zagađenja), ili zemlje za potrebe sadnje, kao i od prirodnog gornjeg sloja zemlje koji se formira tokom vremena. Podzemni deo za skladištenje – rezervoar tipa 4 je opcionalna mogućnost i koristiće se ako tlo nije dovoljno propusno, za poboljšanje eksfiltracije. Evapotranspiracija je ograničena količinom vode koja se može uskladištiti kroz rezervoar tipa 2 na površini, što može biti od značaja.

Regulacija proticaja i smanjenje zapremine oticaja infiltracijom kroz supstrat, uz preliv ka kanalizacionom sistemu, sa ili bez sakupljanja u donjem odvodu, sa ili bez ispuštanja u površinski tok (obično preko atmosfere kanalizacije)

Oticaj se ne može eksfiltrirati u prirodno zemljište, deo se zadržava u supstratu i kasnije evakuise evapotranspiracijom, povrćaj vode u tlo je dominantan, posebno za jače padavine i tokom zimskog perioda kada je transpiracija ograničena. Ograničenje protoka ka kanalizaciji se postiže ograničavanjem propustljivosti podloge i/ili preko uređaja za kontrolu protoka.

Klasa VF/OSU: objekti na površini sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulacije proticaja uz upravljanje površinskim oticajem, bez korišćenja supstrata

Smanjenje zapremine oticanja u otvorenim tokovima uz evapotranspiraciju

Deo kišnice/oticanja se skladišti u delovima vegetacije i prirodnog tla zemljišta-rezervoar tipa 1 i evakuise evapotranspiracijom. Ovoj grupi objekata pripadaju određene konfiguracije kišnih bašti, malih jezeraca ili neke nedrenirane žardinjere, bez elemenata drenaže, dominantan je rezervoar tipa 2.

Smanjenje zapremine oticanja u otvorenim tokovima uz eksfiltraciju

Oticaj se evakuise infiltracijom u slobodno tlo. Podzemni deo objekta nema deo za skladištenje, a samim tim nema kapilarnog toka između gornjeg sloja supstrata i

podzemlja. Ublažavanje oticaja se postiže kombinovanim radom površinskog objekta i prirodnog tla na kome se nalazi - kišne bašte i bazeni za infiltraciju.

Regulacija oticanja i eksfiltracija u otvorenim tokovima sa odvodom u kanalizaciju

Oticaj se zadržava na tlu i skladišti u površinskom delu sa vegetacijom - rezervoar tipa 2 (infiltracioni bazeni, lokalne depresije). Najveći deo se evakuise regulisanim protokom u kanizacionu mrežu, a ostatak se infiltrira u prirodni gornji sloj tla. Različiti tipovi obloženih vodonepropusnih objekata (retencione bare, nepropusni bazeni za zadržavanje, obložene akumulacije). Nepropusna obloga može biti vidljiva ili prekrivena malim slojem na vegetiranom tlu.

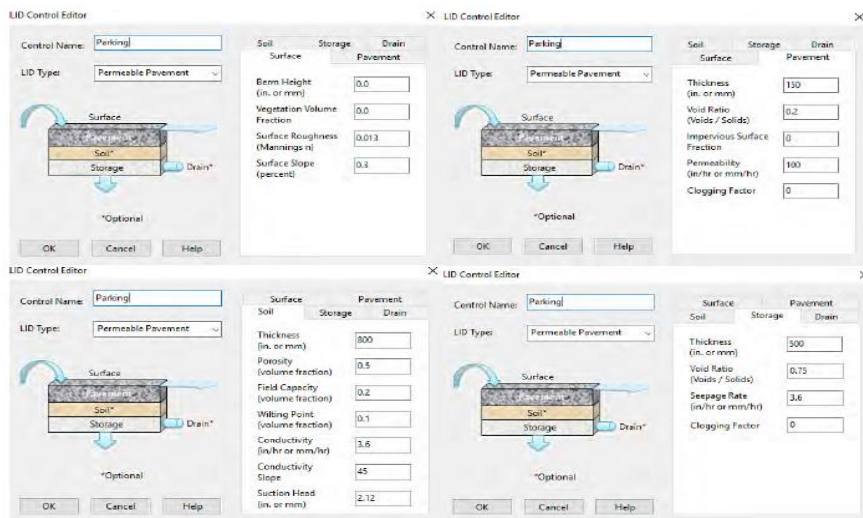
Klasa T/OSU: objekti na površini sa funkcijom transporta vode.

Transport oticaja u otvorenim tokovima

Zemljani kanali, jezera i jarkovi sa vegetacijom. Oticaj se prikuplja u površinskom odeljku i transportuje nizvodno, deo se infiltrira kroz površinsko prirodno zemljište. Ove tehnike se mogu koristiti za evakuaciju oticanja u slučaju ekstremnih padavina koje prevazilaze ciljeve upravljanja u okviru proširenog sistema.

Klasa VF/UPP: podzemni objekti sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulacije proticaja za koje postoji decentralizovani dotok u podzemni kanizacioni sistem

Smanjenje zapremine oticanja putem eksfiltracije u podzemnim objektima kanizacionog sistema koji se napajaju oticajem preko propusnih površina



Slika 2. Modeliranje propusnog trotoara u SWMM
Figure 2. Permeable pavement modeling in SWMM

Za ovu grupu objekata se padavine velikog intenziteta i potencijalno oticanje sa susednih površina infiltriraju kroz propusne površine koje nemaju vegetaciju (propusni trotoari) - rezervoar tipa 2, a evakušu kroz podzemni deo za retenziranje - rezervoar tipa 4 (infiltracioni rov sa geotekstilom ili infiltraciona kutija) i na kraju eksfiltriraju u prirodno okolno zemljište.

Smanjenje zapremine oticanja putem eksfiltracije i regulacija protoka u podzemnim objektima koji se napajaju propusnom površinom uz korišćenje preliva u kanalizacionu mrežu

Ukupan oticaj ne može eksfiltrirati u prirodno tlo, pa se koristi regulisani preliv u kanalizacionu mrežu. Deo za retenziranje - rezervoar 4 može biti potpuno vodootporan, eksfiltracija je sprečena i cela zapremina oticaja predstavlja regulisani dotok u kanalizacionu mrežu, pa se u ovom slučaju radi samo o regulisanju proticaja.

Klasa VF/ UPI: podzemni objekti sa funkcijama smanjenja zapremine oticaja i regulacije protoka za koje postoji centralizovani dotok u podzemni kanalizacioni sistem

Smanjenje zapremine oticanja i regulacija proticaja putem sakupljanja kišnice

Ova kategorija objekata odgovara različitim tipovima sistema za prikupljanje kišnice: burad za kišnicu, rezervoari za kišnicu i cisterne, koje skladište kišnicu, koja dolazi sa krovova ili sa drugih nepropusnih površina u zatvorenom prostoru, koji ne dozvoljava razmenu sa atmosferom - rezervoar tipa 5.



Slika 3. Rezervoari za prikupljanje, skladištenje i kontrolisano ispuštanje kišnice

Figure 3. Reservoirs for collection, storage and controlled rainwater release

Smanjenje zapremine oticaja putem eksfiltracije u okolno tlo iz podzemnih infiltracionih kutija koje se snabdevaju oticajem preko kolektora

Podrazumeva se privremeno skladištenje vode u podzemnim retenzijama koje se snabdevaju vodom iz kolektora kišne kanalizacije, pre nego što ga eksfiltriraju u

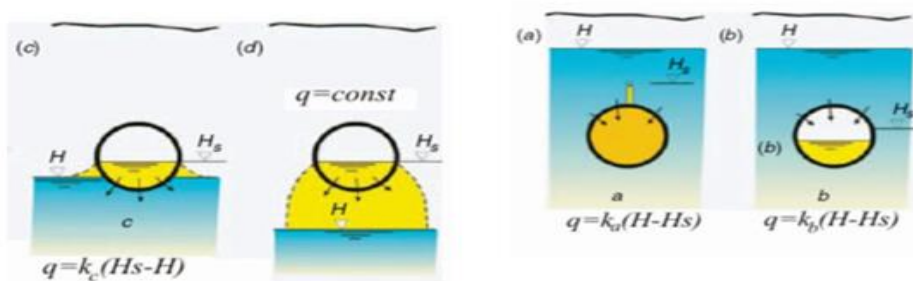
okolno prirodno tlo (podzemna infiltracija, podzemni rezervoari, infiltracioni bunari i rovovi).

Smanjenje zapremine oticaja i regulacija protoka u podzemnim kanalizacionim sistemima koji se napajaju vodom iz kolektora u slučaju kada se sav prikupljeni oticaj ne može eksfiltrirati u prirodno tlo, pa se deo regulisanog proticaja upušta u kanalizacionu mrežu.

Regulacija protoka u podzemnim kanalizacionim sistemima koji se napajaju iz kolektora, koji imaju podzemni deo za retenziranje potpuno vodonepropusan, eksfiltracija je potpuno sprečena i cela zapremina oticanja se evakuise kao regulisani dotok u kanalizacionu mrežu.

3. Infiltracija i eksfiltracija u transportu oticaja – kolektori kišne kanalizacije

Infiltracija/doticaj i eksfiltracija/gubitak vode iz kanalizacionih kolektora su interaktivni procesi koji se ne mogu u potpunosti sprečiti tokom rada gravitacionih kanalizacionih kolektora. Infiltracija se uglavnom javlja kada podzemna voda uđe u kanalizacioni sistem kroz pukotine, spojeve dotrajale cevi, otvore na poklopcima šahtova ili iz zasipa rova, do koga dospeva usled povišenih nivoa podzemne vode tokom epizoda sa pljuskovima. Spori oticaj u zasipu kanalizacionog rova se javlja dugo nakon prestanka padavina. Procena količine infiltrirane vode varira u širokom opsegu od 30 do 160 m³/dan po km mreže, ili 2,3 do 11,5 m³/ha drenirane površine naselja (ATV).



Slika 4. Infiltracija i eksfiltracija - kolektora kišne kanalizacije

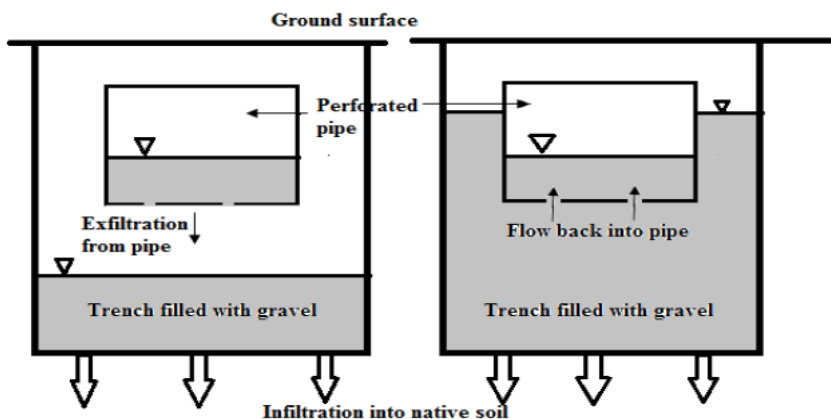
Figure 4. Infiltration and exfiltration - rainwater collectors

Eksfiltracija se, s druge strane, odnosi na curenje otpadnih voda iz kanalizacionog sistema u okolno zemljište ili podzemne vode, što dovodi do zagađenja. Intenzitet ovog procesa je često limitiran pojavom slojeva kolmacije i začepljenja otvora i spojeva, čije uklanjanje pri povećanju brzina u kolektoru i predstavlja jedan od osnovnih faktora povećanja intenziteta eksfiltracije. Obe pojave mogu dovesti do različitih problema, uključujući propadanje kanalizacionih kolektora, pojavu

nestabilnost tla i zagađenje životne sredine. U projektantskoj praksi nema uputstava za upravljanje ovim procesima, kako u sistemima opšteg, tako i u sistemima separacionog kanalisanja. Ukupno važi da eksfiltracija smanjuje protok kanalizacije u sušnoj sezoni, a infiltracija značajno povećava protok kanalizacije i smanjuje koncentraciju zagađivača kanalizacije u kišnoj sezoni, pa u ovim uslovima može da predstavlja i dominantni dotok.

Postojanje nekontrolisanih procesa infiltracije/eksfiltracije po kolektorima ima sledeće negativne uticaje:

- Povećani troškovi pumpanja, smanjen hidraulički kapacitet koji dovodi do preopterećenja kanalizacionih kolektora i tako povećava rizik od površinskog plavljenja.
- Povećana učestalost rada preliva čak i tokom sušnih vremenskih uslova ako postoje lokalno veoma visoki nivoi podzemnih voda, urušavanje kanalizacije.
- Smetnje u radu postrojenja za tretman otpadnih voda, povećan površinski sediment i ulaz zemljišta u kanalizacioni sistem, povećano zagađenje podzemnih voda.



Slika 5. Doticaj i oticaj iz perforirane cevi u slučaju kanalizacionog sistema sa perforiranim cevima (eksfiltracija i infiltracija iz kolektora-infiltracija u prirodno tlo)

Figure 5. Inflow and outflow from a perforated pipe in the case of a sewerage system with perforated pipes (exfiltration and infiltration from the collector - infiltration into the natural soil)

Perforirana cev ima male proreze kako bi voda mogla lako da izađe ili uđe, a ugradnju perforiranih cevi u sistemima kišne kanalizacije prati izgradnja infiltracionih rovova od šljunka.

Ugrađivanje perforiranih cevi u sloj šljunka po rovovima kolektora kišne kanalizacije omogućava sprečavanje i/ili kontrolu ovih nepoželjnih procesa, kao i efikasno uklanjanje viška podpovršinske vode iz zone nezasićenog tla, čime se sprečava prenošenje vode i zagađenja između različitih komponenti zemljišta i vodonosnih slojeva. Za razliku od procesa eksfiltracije koji se odvijaju po bioretenzijama, ozelenjenim plitkim linijskim ili površinskim depresijama, gde ograničavajući faktor predstavlja kapacitet filterskog sloja, za ugradnju perforiranih cevi po infiltracionim rovovima je karakteristično da kapacitet perforirane cevi predstavlja ograničavajući faktor za proticaj. U većini slučajeva, sloj geotekstila nije potreban, može biti uzrok brzog opadanja kapaciteta i začepljenja.

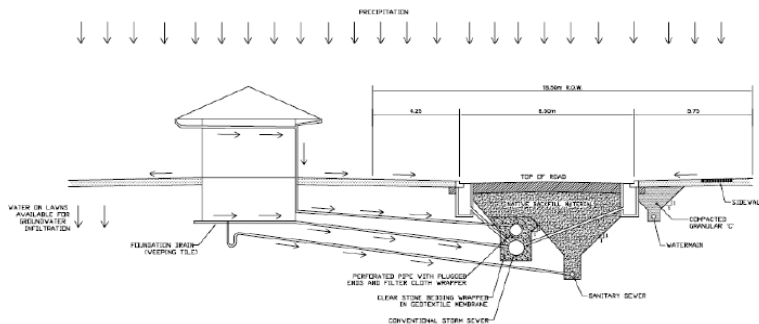
Pre donošenja odluke o primeni kontrolisane eksfiltracije u kolektorskom sistemu treba sagledati razlike između različitih slivova u pogledu njihove sposobnosti da pogoršaju kvalitet podzemne vode (betonske površine su manje opasne od asfaltnih) i odrediti zone gde postoji dopunska opasnost od izlivanja opasnih materija. Važan je i nivo podzemne vode i postojanje slobodnog prostora za dreniranje podpovršinskih voda.

Sistemi za eksfiltraciju su primenljivi za zone stambenih naselja sa manjom gustinom naseljenosti koje opslužuju lokalni putevi, kao i za parkove (primarni zagađivači su azot i fosfor, ukupan organski ugljenik a ne teški metali, ulja i masti), ali ne i za delove gradova sa velikim saobraćajnim opterećenjem i za industrijske zone, gde se u oticaju pojavljuju visoki sadržaji ulja, masti, suspendovanih čvrstih materija i teških metala. Naime, savremena hidrologija razmatra interakcije ne samo između prirodnih sastojaka, već i širokog spektra zagađivača, uključujući pesticide, đubriva, otpadne vode za navodnjavanje, kanalizaciju, toksične hemikalije, radioaktivne supstance, bakterije, otpad iz rudnika i organske tečnosti.

Takođe upotreba perforiranih cevi doprinosi zaštiti područja sklonih poplavama ili akumulaciji vode kao što su delovi gradskih saobraćajnica ili naselja, a prema podacima iz literature troškovi ugradnje druge cevi ne prevazilaze 15% ukupne investicije.

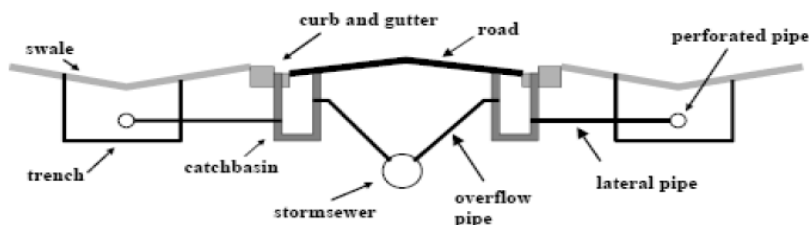
Ovakve intervencije su nepoželjne u širim zonama izvorišta vodosnabdevanja i delovima gde je nivo podzemne vode na rastojanju manjem od 1m dna perforiranih cevi. Bitni su podaci i o postojanju drveća sa dubokim korenjem koja mogu oštetiti geotekstil.

Primeri moguće upotrebe perforiranih cevi u fazi transporta oticaja kišne kanalizacije su dati na slikama 7, 8, 9, 10. Upotreba perforiranih cevi u sistemima za transport kišne kanalizacije je bliska ideji zamene pojedinih vodonepropusnih šahtova na kolektorima kišne kanalizacije podzemnim vodopropusnim rezervoarima koji imaju funkciju upojnih bunara.



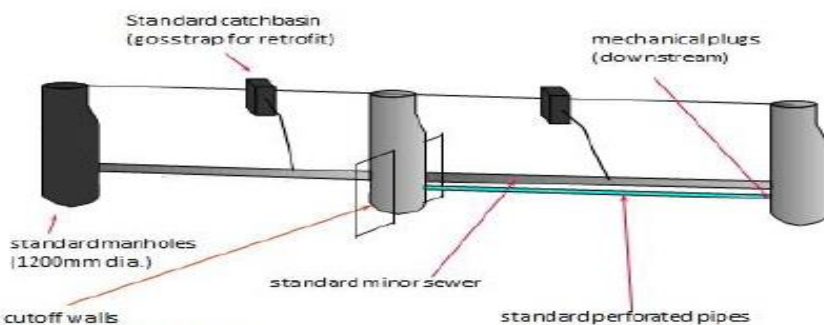
Slika 6. Povezivanje oluka na sistem kišne kanalizacije perforiranim cevima
Source: Clarifica and Schaeffers 2005.

Figure 6. Connecting the gutter to the storm sewer system with perforated pipes
Source: Clarifica and Schaeffers 2005



Slika 7. Povezivanje kišne kanalizacije sa drenažnim sistemom plitke linijske zatravljene depresije Source: SWAMP 2005.

Figure 7. Connecting storm sewers to the drainage system of a shallow linear grassy depression Source: SWAMP 2005



Slika 8. Povezivanje kišne kanalizacije sa drenažnim sistemom saobraćajnice
ETOBIKE: SWAMP 2005

Figure 8. Connection of storm sewers with the drainage system of the road
ETOBIKE: SWAMP 2005



Slika 9. Konstruktivni elementi sistema „tree drain“
Figure 9. Constructive elements of the „tree drain“ system

4. Zaključak

U radu je prikazana klasifikacija kriterijuma za kontrolu sistema kišne kanalizacije, bazirana na podeli po vrsti objekta i hidrološkom procesu koji se odvija u njima. Ovakva klasifikacija kriterijuma dovodi do koncepta modeliranja različitih tipova podzemnih i nadzemnih rezervoara, što je osnov za primenu matematičkog modeliranja.

Posebna pažnja je posvećena ulozi procesa infiltracije i eksfiltracije u delovima osnovnog kolektorskog sistema i proširenog sistema koji čine ulice, parkinzi, parkovi i otvoreni prostori koji prihvataju višak vode, koji ne može da primi osnovni sistem.

Osnovni zaključak je da za razliku od delova proširenog kanalizacionog sistema u kome eksfiltracija predstavlja poželjan proces, u transportnom delu osnovnog kanalizacionog sistema je to nepoželjan, nekontrolisan proces.

Jedna od mogućnosti za ostvarivanje kontrole ovog procesa je uvođenje perforiranih cevi u roveve kišne kanalizacije, uz obezbeđivanje zajedničkih recipijenata i rada drenažnih i kanalizacionih kolektora.

5. Literatura

- [1] Jose Manuel Tunqui Neira, Marie-Christine Gromaire, Katia Chancibault, Ghassan Chebbo: Blue -Green Systems Vol 5 No 1, 41 dol: 102166/bgS.2023.026 Towards a comprehensive functional typology of stormwater control measures for hydrological and water quality modelling purposes, *Blue Green Systems*, International Water Association, IWA, London 2023.
- [2] Vasilevska Lj, Blagojević B, Vasilevska M, *Nadzemni linijski tehnički elementi u integrisanim pristupima upravljanja atmosferskim vodama*, Zbornik radova

Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, br. 29, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš 2014.

- [3] Prodanović V, *Procena neodređenosti kod kalibracije matematičkih modela infiltracionih sistema*, master rad, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, 2013.
- [4] Daniel Zimmermann&Chrisropher Peiritsch ACO On Site – Sponge Cities