

Aspekti infiltracije i infiltracijske građevine

Martinčević, Ivona

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:464266>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

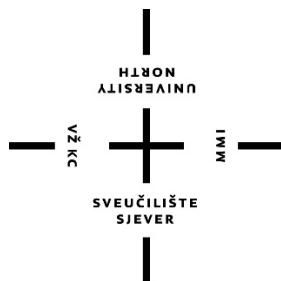
Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





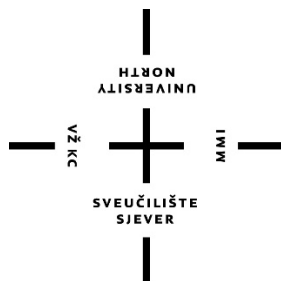
Sveučilište Sjever

Završni rad br. 473/G/2024

ASPEKTI INFILTRACIJE I INFILTRACIJSKE GRAĐEVINE

Ivona Martinčević, 0336040262

Varaždin, srpanj 2024. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 473/G/2024

ASPEKTI INFILTRACIJE I INFILTRACIJSKE GRAĐEVINE

Student

Ivona Martinčević, 0336040262

Mentor

Doc. dr. sc. Anđelko Crnoja, mag.ing.aedif.

Varaždin, srpanj 2024. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

| | | | |
|-----------------------------|--|--------------|------------------------|
| ODJEL | Odjel za Graditeljstvo | | |
| STUDIJ | Prveddiplomski stručni studij Graditeljstvo | | |
| PRISTUPNIK | Ivona Martinčević | MATIČNI BROJ | 0336040262 |
| DATUM | | KOLEGIJ | Vodoopskrba i odvodnja |
| NASLOV RADA | Aspekti infiltracije i infiltracijske građevine | | |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Aspects of infiltration and infiltration buildings | | |

| | | | |
|----------------------|--|--------|--------------|
| MENTOR | Andelko Cmoja, mag.ing.aedif. | ZVANJE | Doc. dr. sc. |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. Prof.dr.sc. Ivanka Netinger-Grubeša | | |
| | 2. Doc.dr.sc. Andelko Cmoja-mentor | | |
| | 3. Dalibor Kramarić, predavač - član | | |
| | 4. Doc.dr.sc. Željko Kos - član | | |
| | 5. _____ | | |

Zadatak završnog rada

| | |
|------|---|
| BROJ | 473/G/2024 |
| OPIS | Infiltracijske građevine su ključne za očuvanje kvalitete podzemnih voda i održivo upravljanje vodnim resursima, posebno u nezaštićenim i vodozaštićenim područjima. One omogućuju prihvat i pročišćavanje oborinske vode, smanjuju rizik od zagađenja i štite ekosustave. Infiltracija smanjuje površinsko otjecanje, pomaže u prevenciji poplava i erozije te povećava otpornost urbanih područja na ekstremne vremenske uvjete. Uspješna primjena zahtijeva pažljivo planiranje i suradnju različitih dionika. Ovaj rad istražuje održive metode upravljanja oborinskim vodama kroz analizu principa i funkcija infiltracijskih sustava te njihov utjecaj na ravnotežu tla u urbanim područjima. |

ZADATAK URUČEN

05. 06. 2024.



Sažetak

Primjena infiltracijskih građevina za zbrinjavanje i skupljanje oborinskih voda u ne zaštićenim i vodozaštićenim područjima igra ključnu ulogu u očuvanju kvalitete podzemnih voda i održivom upravljanju vodnim resursima. Ove građevine pružaju efikasno rješenje za prihvatanje velikih količina pročišćene oborinske vode s neporoznih površina (uglavnom manipulativne površine) te također i kvalitetnu pripremu za infiltraciju u podzemne tokove na način da se u kontroliranim uvjetima površinska voda upusti u tlo, čime se smanjuje rizik od zagađenja, oštećenja, a istovremeno i očuvanja ekosustava. Infiltracija ima dodatnu korist smanjenja površinskog otjecanja oborinskih voda, što doprinosi prevenciji poplava i erozije te čini urbana područja otpornijima na ekstremne vremenske uvjete. Unatoč očiglednim prednostima, uspješna implementacija infiltracijskih građevina u vodozaštićenim područjima zahtijeva pažljivo planiranje i suradnju između različitih dionika, uključujući lokalnu zajednicu, urbaniste, inženjere i ekologe. Ključno je identificirati prikladna mjesta za ugradnju ovih sustava uzimajući u obzir specifičnosti tla, hidrogeološke uvjete te područja koja treba štiti. Predmet rada istražuje održive metode upravljanja oborinskim vodama kroz korištenje infiltracijskih građevina. Fokus je na analizi principa i funkcija različitih tipova infiltracijskih sustava te njihovoj primjeni u urbanim područjima. Cilj ovog rada je pružiti razumijevanje principa i funkcija infiltracijskih građevina te njihov doprinos održivom upravljanju oborinskim vodama. Također je potrebno analizirati utjecaj infiltracije na ravnotežu tla s naglaskom na razvoj održivih metoda odvodnje oborinskih voda u urbanim područjima.

Ključne riječi: infiltracija, građevine, voda, kišnica.

Summary

The application of infiltration structures for the management and collection of stormwater in unprotected and water-protected areas plays a crucial role in preserving the quality of groundwater and sustainable water resource management. These structures provide an efficient solution for capturing large volumes of purified stormwater from impermeable surfaces (mostly manipulated surfaces) and also preparing it for infiltration into underground streams by allowing surface water to penetrate the soil under controlled conditions, thereby reducing the risk of pollution, damage, while simultaneously preserving ecosystems. Infiltration has the additional benefit of reducing surface runoff of stormwater, contributing to flood and erosion prevention, and making urban areas more resilient to extreme weather conditions. Despite the obvious advantages, successful implementation of infiltration structures in water-protected areas requires careful planning and collaboration among various stakeholders, including the local community, urban planners, engineers, and ecologists. It is crucial to identify suitable locations for the installation of these systems, taking into account soil characteristics, hydrogeological conditions, and areas that need protection. The subject of this study explores sustainable methods of stormwater management through the use of infiltration structures. The focus is on analyzing the principles and functions of different types of infiltration systems and their application in urban areas. The aim of this study is to provide an understanding of the principles and functions of infiltration structures and their contribution to sustainable stormwater management. It is also necessary to analyze the impact of infiltration on soil balance with an emphasis on the development of sustainable stormwater drainage methods in urban areas.

Keywords: infiltration, structures, water, stormwater.

Sadržaj:

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. Predmet rada..... | 1 |
| 1.2. Cilj rada..... | 2 |
| 1.3. Struktura rada..... | 2 |
| 2. INFILTRACIJA..... | 3 |
| 2.1. Stopa infiltracije..... | 8 |
| 2.2. Mjerenje infiltracije..... | 9 |
| 2.3. Vrste infiltracijskih sustava..... | 15 |
| 3. ASPEKTI INFILTRACIJE OBORINA..... | 17 |
| 3.1. Pozitivni aspekti sustava infiltracije oborinskih voda..... | 24 |
| 3.1.1. Ekološki aspekt..... | 24 |
| 3.1.2. Tehnički aspekt..... | 24 |
| 3.1.3. Ekonomski aspekt..... | 25 |
| 3.2. Negativni aspekti..... | 25 |
| 3.3. Zahtjevi za dizajn infiltracijskih postrojenja..... | 26 |
| 4. INFILTRACIJA U VODOZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA..... | 28 |
| 4.1. Vodozaštićena područja..... | 28 |
| 4.2. Infiltracija u vodozaštićenim područjima..... | 29 |
| 4.3. Prednosti i izazovi..... | 29 |
| 5. OBJEKTI ZA OBRADU OTPADNIH VODA..... | 31 |
| 5.1. Objekti za obradu oborinskih voda..... | 32 |
| 5.1.1. <i>Sugarfilter - Filter za oborinske odvode</i> | 32 |
| 5.1.2. Separatori lakih ulja..... | 33 |
| 5.1.3. <i>Tehnički filter</i> | 35 |
| 5.1.4. Tehnički filter ACO Stormclean TF..... | 36 |
| 5.2. Objekti za preradu fekalnih voda..... | 39 |
| 6. TIPOVI INFILTRACIJSKIH GRAĐEVINA..... | 41 |
| 6.1. Upojni bunari..... | 41 |
| 6.2. Upojni iglu..... | 42 |
| 6.3. Upojni tuneli..... | 43 |
| 6.4. Upojna polja..... | 44 |
| 6.4.1. Retencijski blokovi od polipropilena za izradu infiltracijskih građevina..... | 46 |
| 6.5. Tehnološki napredni sustavi za infiltraciju..... | 54 |
| 6.6. Tehničko rješenje koje se tiče dobrog premošćivanja..... | 55 |
| 7. TEHNIČKO RJEŠENJE OBRADE VODE S MANIPULATIVNE POVRŠINE I INFILTRACIJE U PODZEMNE TOKOVE..... | 56 |
| 7.1. Interna prometnica u privatnom vlasništvu u III zoni zaštite..... | 56 |
| 8. ZAKLJUČAK..... | 61 |
| LITERATURA..... | 62 |
| 9. POPIS SLIKA..... | 66 |

1. UVOD

Infiltracijske građevine su sustavi dizajnirani za prirodno i učinkovito infiltriranje oborinskih voda sa svih vrsta krovova, prometnih, parkirnih i manipulativnih površina te drugih neporoznih i nepropusnih površina. Njihova svrha je preusmjeriti vodu prema zoni akumulacije, gdje se voda infiltrira u tlo. Korištenje ovih sustava postaje ključno u urbanim područjima s izazovima odvodnje oborinskih voda, gdje tradicionalni sustavi postaju preopterećeni. Otpadne vode, pročištači otpadnih voda i vodotoci postaju opterećeni, povećavajući rizik od poplava. Vodovodna poduzeća imaju sve više razloga zabraniti odvodnju oborinskih voda u sustav odvodnje otpadnih voda, što potiče korištenje infiltracije ili akumulacije kišnice.

Infiltracija igra ključnu ulogu u očuvanju tla i postizanju održivosti prema ciljevima Ujedinjenih naroda. Stvaranje površinskih otjecanja, ključnog elementa za kontrolu poplava, izravno je povezano s procesom infiltracije, gdje voda, koja se ne može upiti, postaje dostupna za površinsko otjecanje. Različiti mehanizmi, poput Dunneovog viška zasićenja i Hortonovog infiltracijskog viška, utječu na stvaranje viška vode. Dunneov višak zasićenja je količina vode koja ostaje na površini tla nakon što se zemlja zasiti, dok je Hortonov infiltracijski višak, višak vode koji se javlja kada tlo ne može apsorbirati vodu brže nego što ona pada, često uzrokovan zasićenjem gornjeg sloja tla. Testovi infiltracije vode razvijeni su za kvantificiranje ovog procesa. Važnost održavanja stope infiltracije postaje ključna za kontrolu voda u urbanim područjima.

1.1. Predmet rada

Predmet rada istražuje održive metode upravljanja oborinskim vodama kroz korištenje infiltracijskih građevina. Fokus je na analizi principa i funkcija različitih tipova infiltracijskih sustava te njihovoj primjeni u urbanim područjima. Istraživanje obuhvaća analizu utjecaja infiltracije na ravnotežu tla, upravljanje odvodnje oborinskih voda, i potrebu za održivim

pristupom u urbanom planiranju. Proučava se i problematika povezana s preopterećenjem tradicionalnih sustava odvodnje, potrebom za ponovnom uporabom kišnice te pravilnom implementacijom sustava infiltracije.

1.2. Cilj rada

Cilj ovog rada je pružiti razumijevanje principa i funkcija infiltracijskih građevina te njihov doprinos održivom upravljanju oborinskim vodama. Fokus je usmjeren na identificiranje optimalnih praksi i smjernica za učinkovitu integraciju infiltracijskih sustava u urbanu infrastrukturu. Cilj je analizirati utjecaj infiltracije na ravnotežu tla s naglaskom na razvoj održivih metoda odvodnje oborinskih voda u urbanim područjima. Osim toga, istraživanje ima za cilj prepoznati izazove i mogućnosti povezane s implementacijom infiltracijskih rješenja te pridonijeti razvoju smjernica za planiranje održive urbane vodne infrastrukture. Kroz ova saznanja, rad nastoji doprinijeti smanjenju rizika od poplava, poboljšati upravljanje oborinskim vodama i potaknuti održive prakse u urbanom planiranju (kontrolirati zagađenja u zonama eksploatacije vode za piće).

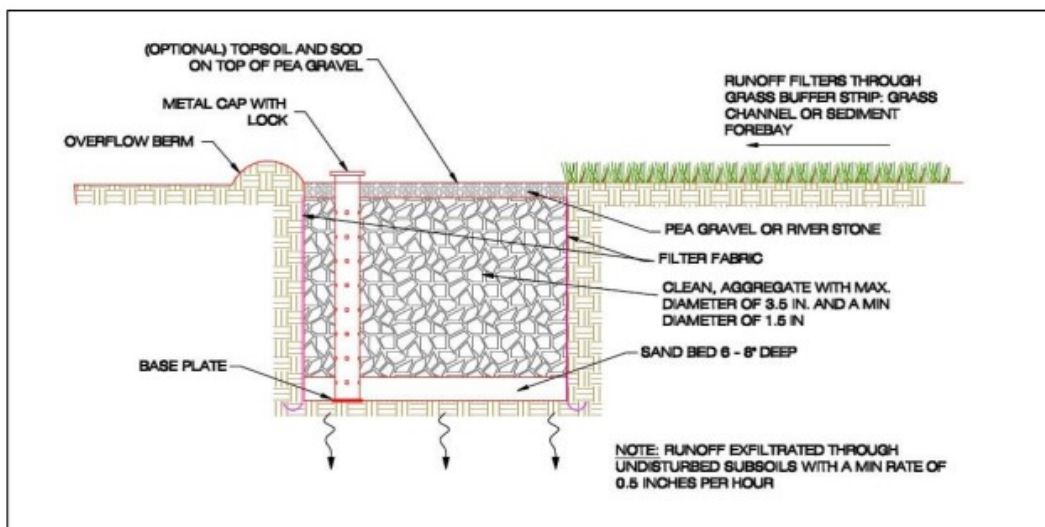
1.3. Struktura rada

Rad započinje uvodom koji definira predmet, ciljeve i strukturu rada. Nakon toga, obrađuje infiltracijske sustave, mjerenje infiltracije i vrste sustava. Poseban naglasak stavljen je na infiltraciju kišnice s analizom pozitivnih i negativnih aspekata te zahtjeva za dizajn. Središnji dio rada posvećen je infiltraciji u vodozaštićenim područjima, istražujući vodozaštićena područja, prednosti, i izazove. Zatim se razmatraju različiti tipovi infiltracijskih građevina. Zaključak sumira ključne nalaze i doprinose, naglašavajući važnost očuvanja voda.

2. INFILTRACIJA

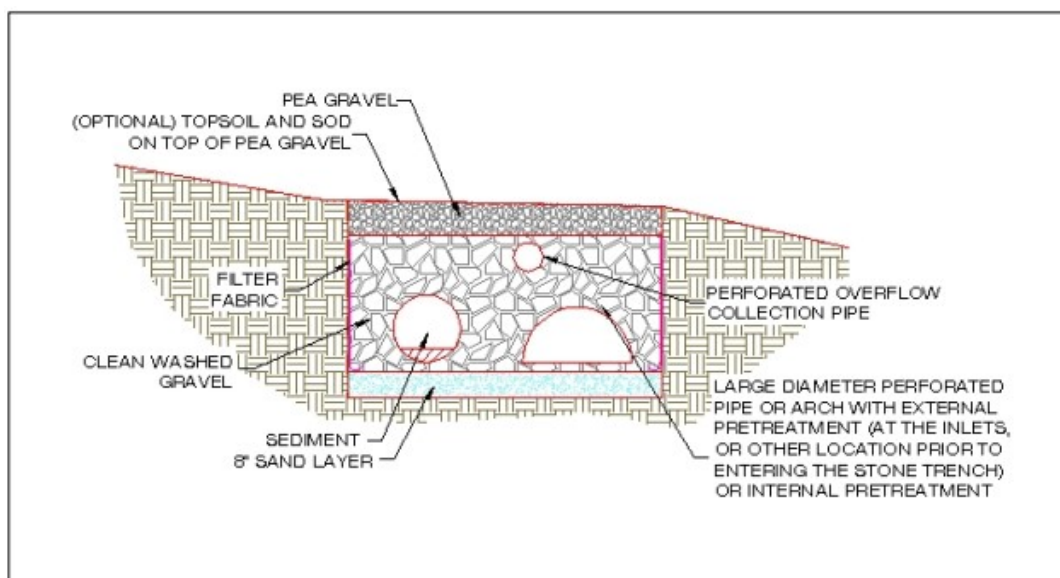
Razumijevanje infiltracije važno je jer ovaj proces ukazuje na sposobnost tla da omogući kretanje vode kroz tlo i prema unutrašnjem profilu tla. Voda koja infiltrira u tlo privremeno se skladišti, što je važno za rast biljaka, a tlo čini prikladnim za stanište organizama u tlu. Tlo koje ograničava proces infiltracije uzrokovat će zastoj vode na površini tla, što dovodi do loše aeracije tla, a time i utječe na funkciju korijena, rast biljaka i dostupnost hranjivih tvari. Zastoj vode na površini tla također uništava strukturu tla i povećava odvajanje čestica tla. Postoje razne prakse koje mogu pomoći poboljšanju infiltracije vode, čime se sprječava erozija tla, smanjuje sabijanje tla i ometanje, te razvija dobra struktura tla s neprekidnim prostorom pora. Primjeri ili prakse uključuju povećanje organske tvari u tlu, dobro upravljanje ostacima usjeva te uzgoj velikih površina vegetacijskog pokrova [1].

Prakse infiltracije koriste privremeno skladištenje na površini ili podzemno skladištenje kako bi omogućile da oborinska voda koja dolazi otječe u podložna tla. Otjecanje prvo prolazi kroz višestruke mehanizme pretretmana kako bi uhvatili sedimente i organsku tvar prije nego što dosegnu minimalnu propisanu kvalitetu (max dopuštene štetne supstance). Kako oborinska voda prodire u podložna tla, kemijski i fizički procesi adsorpcije uklanjaju onečišćivače. Uporaba infiltracijskih sustava prikladno je za upotrebu u stambenim i drugim urbanim područjima gdje su terenske mjere brzine infiltracije tla dovoljne. Kako bi se spriječilo moguće onečišćenje podzemnih voda, infiltracija se ne smije koristiti na lokacijama označenim kao žarišta oborinske vode. To se odnosi na područja koja su identificirana kao potencijalni izvori značajnog onečišćenja oborinskih voda [2].



Slika 1. Primjer infiltracijskog rova

Izvor: Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 8: Bioretention Version 1.8. 2010.



Slika 2. Dijagram infiltracijskog dijela s dodatnim spremištem cijevi.

Izvor: Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 8: Bioretention Version 1.8. 2010.

Ova dva ključna procesa, infiltracija vode i redistribucija u podzemlju, značajno utječu na ravnotežu vode u tlu prema istraživanjima poput onih provedenih od strane Campbella (1985)[3], Hillela (2013)[4], Lal i Shukle (2004)[5], te Morbidellija i suradnika (2011) [6].

Svaki proces ima svoje važne parametre koji se uzimaju u obzir kako bi se identificirali potrebni podaci. Ključni parametri potrebni u istraživanju infiltracije vode su kapilarni uspon, poroznost i hidraulička provodljivost. Pojašnjenje svakog parametra je kako slijedi [1]:

- Kapilarni uspon

Kapilarna akcija je važna za kretanje vode, koje teče u uskim prostorima poroznih materijala zbog sila poput kohezije, adhezije i površinske napetosti. Akcija je suprotna gravitacijskim silama. Voda može kretati prema gore gdje se podzemne vode mogu povući prema gore kroz kapilare (male pore). Uzlazno kretanje vode iz različitih vrsta tla rezultira različitom brzinom kretanja. Voda u pjeskovitom tlu s grubom teksturom brzo se kreće prema gore, ali pokriva samo kratku udaljenost, dok glina s finom teksturom polako podiže vodu prema gore, ali prekriva veliku udaljenost (maksimalna visina dizanja vode u glinastom tlu može doseći nekoliko metara, ovisno o specifičnim karakteristikama tla i uvjetima okoline).

- Poroznost

Poroznost tla odnosi se na količinu otvorenih prostora ili pora između čestica tla koje su nastale zbog crva, korijena i insekata te mogu biti ispunjene zrakom ili vodom. Nimmo [8] tvrdi da poroznost tla ovisi o gustoći čestica, širini raspodjele veličina čestica, obliku čestica i vezivu. Poroznost varira ovisno o veličini i agregaciji čestica tla. Poroznost tla važna je jer daje tlu sposobnost pružanja vode i kisika za rast biljaka. Čvrsto zbijene čestice tla imaju manje poroznosti od manje zbijenih čestica, poroznih tala. Ukupna poroznost tla kombinacija je pora svih veličina i oblika.

- Hidraulička provodljivost

Hidraulička provodljivost poznata je kao jedna od hidrauličkih svojstava tla koja se može definirati kao fizička svojstva koja mjeri sposobnost materijala da prenosi vodu kroz pukotine i pore u prisutnosti primijenjenog hidrauličkog nagiba. Hidraulička provodljivost utječe na vrstu tla tekućine, veličinu čestica tla, strukturu zrna tla i relativnu količinu tekućine tla

(zasićenje). Zasićena hidraulička provodljivost, s druge strane, termin je koji se koristi za objašnjenje kretanja vode kroz porozne medije, na primjer, tlo. Zasićena hidraulička provodljivost može se definirati kao tok vode po jedinici nagiba (odnosi se na promjenu hidrauličkog potencijala po jediničnoj horizontalnoj udaljenosti) hidrauličkog potencijala kada je tlo u zasićenom stanju i može izravno utjecati na eroziju tla, duboko prodiranje i otjecanje površinske vode [9].

Kapilarni uspon, poroznost i hidraulička provodljivost parametri su koji su povezani jedni s drugima. Budući da infiltracija uključuje protok vode kroz tlo, ovi parametri ne smiju se zanemariti. Svi prethodno navedeni parametri pokazuju da varijabilnost svojstava tla čini razliku u prolasku vode s površine u tlo. Učinak varijabilnosti tla uključuje vrijeme koje je potrebno za infiltraciju vode u tlo, uzorak protoka vode i smjer protoka vode [9].

Osim toga, infiltracija ima dubok utjecaj na različite procese i funkcije tla, uključujući dostupnost vode i hranjivih tvari za biljke, mikrobnu aktivnost, stope erozije, kemijsko trošenje te izmjenu topline i plinova između tla i atmosfere, prema istraživanju koje je proveo (Campbell, 1985) [3]. Infiltracija ima ključnu ulogu u održavanju funkcija sustava tla i postala je bitan čimbenik u ostvarivanju ciljeva Ujedinjenih naroda za održivost, kako navodi studija Keesstra i suradnika [10]. Povezanost između infiltracije i stvaranja površinskog otjecanja, ključnog faktora u kontroli poplava, također je izražena. Voda koja ne može infiltrirati u tlo postaje dostupna za površinsko otjecanje. Dunneov kopneni tok, ili prekomjerno zasićenje, javlja se kada je profil tla potpuno zasićen, a oborina se više ne može infiltrirati u tlo.

Dunneov mehanizam češći je u područjima koja su blizu kanala ili se formira na padinama brda gdje su podzemne vode pliće, prema istraživanju Sahooa i suradnika [11]. S druge strane, Hortonov kopneni tok karakteriziraju intenziteti oborina koji premašuju stopu infiltracije tla. Drugim riječima, tijekom kišnih perioda, infiltracija vode na površini tla i otjecanje ovise o vanjskim uvjetima, posebno intenzitetu oborina i hidrauličkim svojstvima tla. Ako je intenzitet kiše manji od sposobnosti tla da je infiltrira, voda će se potpuno infiltrirati u tlo bez stvaranja otjecanja [9].

U suprotnom scenariju, kada intenzitet oborine premaši stopu infiltracije tla, dolazi do stvaranja viška vode, čak i ako je profil tla nezasićen. U tom slučaju, voda se zadržava na površini tla i postaje dostupna za površinsko otjecanje. Ukoliko se to dogodi, granica stanja na površini tla mijenja se s dominacije procesa kapilarnog djelovanja na proces koji upravlja hidrauličkim pritiscima. Pretpostavljajući da ostaje konstantna, brzina infiltracije opada tijekom vremena, teži prema vrijednosti hidrauličke vodljivosti za visinu pritiska vode na površini tla, kako sugerira istraživanje Angulo-Jaramillo i suradnika [12] te Chow i suradnika [13].

Infiltracija ima visoke pohranbene sposobnosti (znači da tlo ima izraženu sposobnost zadržavanja vode unutar svojih pora i šupljina. Kada oborinska voda dospije na tlo, tlo s visokim pohranbenim kapacitetom može zadržati značajnu količinu vode unutar svoje strukture, što omogućuje postupno otpuštanje te vode tijekom vremena) kad se pravilno smješta i oblikuje. Prilikom planiranja, treba razmotriti tla s visokim stopama infiltracije, posebno skupine A i B (skupina A odnosi se na tla s dobrim propusnim svojstvima koja omogućuju brzu infiltraciju vode, dok skupina B obuhvaća tla s umjereno dobrim propusnim svojstvima) prema NRCS-ovim ispitivanjima tla.

Kriteriji za odabir uključuju izbjegavanje loših praksi, udaljenost od objekata i različitih konstrukcija u i na tlu, dostatnu veličinu infiltracijske građevine, dovoljnu dubinu do najvišeg nivoa podzemne vode. Potrebno je provjeriti i procijeniti odstupanja tijekom sušnih razdoblja, udaljenosti od vodotokova, i izbjegavati sedimentirana područja gdje je niska stopa infiltracije. Infiltracija nije dopuštena na mjestima s kontaminiranim tlom [2].

Konvencionalne prakse preporučuju da se dizajnira izvan sustava kako bi se izbjegla šteta od erozivnih utjecaja. Za oborinske vode koje dolaze iz sustava odvodnje, praksa bi trebala biti obavezno tretiranje prije ispuštanja u okoliš. U slučaju izvanmrežne infiltracije, preljevi se mogu preusmjeriti ili tretirati pomoću različitih građevina. Ako je praksa vođenje unutar sustava, mora sadržavati objekt za prelijevanje kako bi sigurno vodile veće količine vode kroz područje infiltracije, primjerice pomoću uzdignutih ulaza i preljeva [2].

Svaki sustav infiltracije mora imati mehanizme pretretmana kako bi zaštitio dugoročnu

integritetnu stopu infiltracije. Za svaki objekt potrebno je instalirati jednu od navedenih tehnika pretretmana, poput travnog kanala, travne filtrirne trake, pretočnog bazena ili šljunčane pregrade. Ako se područje koje se obrađuje prostire na više od 20,000 četvornih stopa (metara kvadratnih), preporučuje se korištenje pretretmana, kao što su forebay (prva jama za prikupljanje otpadnih voda prije obrade), filtrirni sustav ili neka specifična, patentirana praksa. Brzine izlaza iz komore za pretretman tijekom protoka, koje su projektirane za razdoblje od 15 godina, ne bi smjele uzrokovati eroziju, a protok iz komore treba biti ravnomjerno raspoređen kako bi se osigurala učinkovita obrada oborinskih voda [2].

2.1. Stopa infiltracije

Proces infiltracije se kvantificira određivanjem količine vode koja se infiltrira tijekom vremena, iz koje se kumulativna infiltracija, $I(t)$, (L) i brzina infiltracije, $i(t)$, ($L T^{-1}$) mogu se izvesti. $I(t)$ i $i(t)$ međusobno su povezani derivacijom [3,4,5]:

$$i(t) = \frac{dI(t)}{dt}$$

Kako je već spomenuto, predviđa se da će stopa infiltracije $i(t)$ opadati sve do postizanja platoa (označava točku ili fazu u kojoj se stopa infiltracije više ne mijenja, tj., dolazi do ravnoteže ili konstantnog stanja infiltracije), koji je određen vrijednošću hidrauličke vodljivosti usklađenom s prisilnim pritiskom vode i izrazom koji se odnosi na radijalnu infiltraciju vode [12]. Kod velikih prstenova, konačna stopa infiltracije približava se vrijednosti hidrauličke vodljivosti usklađenoj s prisilnim pritiskom vode (gravitacijski protok). Kao rezultat, ako se na površini akumulira voda, $i(t)$ će težiti prema zasićenoj hidrauličkoj vodljivosti.

Infiltraciju u tlo kontroliraju različiti faktori, uključujući svojstva tla (kao što su tekstura, nasipna gustoća, početni sadržaj vode), slojevitost, nagib terena, stanje pokrova (vegetacija, kora i/ili kamen), oblik padavina i vrijeme. S obzirom da tekstura tla i površinski uvjeti tla (npr. pokrov) ostaju konstantni tijekom pojedinih događaja infiltracije, pretpostavlja se da su ove karakteristike konstantne tokom tih događaja. S druge strane, struktura tla, posebno na

površini tla, može se brzo promijeniti, primjerice, zbog obrade tla, paše ili razbijanja agregata tla udarima kišnih kapi [13].

U suhim tlima, početne stope infiltracije znatno su veće od zasićene hidrauličke vodljivosti površinskog sloja zbog kapilarnih učinaka koji kontroliraju sorptivnost tla. No, kako infiltracija napreduje, gradijent između visine tlaka na površini tla i visine tlaka ispod fronte vlaženja smanjuje se tijekom vremena, što dovodi do toga da stopa infiltracije na kraju doseže konstantnu vrijednost približnu zasićenoj hidrauličkoj vodljivosti [14].

2.2. Mjerenje infiltracije

Mjerenja infiltracije uglavnom su korištena za procjenu zasićene hidrauličke vodljivosti tla. Ovo svojstvo tla ključni je čimbenik za ispravan opis svih komponenti hidrološke ravnoteže tla i površine tla te je ključno u odgovarajućem dizajnu sustava za navodnjavanje. U literaturi je jasno da su uloženi veliki naponi da se ovo svojstvo procijeni na temelju osnovnih svojstava tla pomoću pedotransfernih funkcija (PTF). PTF-ovi su pravila ili jednadžbe temeljena na znanju koje povezuju jednostavna svojstva tla s onim svojstvima tla koja je teže dobiti [15]. Većina tih nastojanja temeljila se na mjerenjima napravljenim na uzorcima poremećenog ili neporemećenog materijala tla. S ovom infiltracijskom bazom podataka sada su dostupni podaci koji mogu pridonijeti boljem predviđanju hidrauličke vodljivosti zasićenog tla i pokazati učinak npr., vegetacije i gospodarenja zemljištem na parametrima od interesa.

Postoje različite metode mjerenja infiltracije. Prva je metoda mjerenja double – ring infiltrimetrom. Metoda mjerenja infiltracije tla pomoću dvokružnog infiltrimetra (double-ring infiltrimeter) je tehnika koja se koristi za procjenu brzine infiltracije vode u tlo [15]. Ova metoda je ključna u agronomiji, hidrologiji i okolišnim znanostima jer omogućuje razumijevanje kako tlo apsorbira vodu, što je bitno za upravljanje navodnjavanjem, procjenu rizika od erozije i planiranje odvodnje.

Dvokružni infiltrimetar se sastoji od dva koncentrična metalna prstena, unutarnjeg i vanjskog, koji su umetnuti u tlo. Unutarnji prsten ima manji promjer, obično oko 30 cm, dok vanjski prsten ima veći promjer, obično oko 60 cm [15]. Ova konfiguracija pomaže u smanjenju

lateralnog toka vode iz unutarnjeg prstena, čime se osigurava da se većina infiltracije događa vertikalno, što omogućuje preciznije mjerenje.



Slika 3. Mjerenje infiltracije double – ring infiltrometrom

Izvor: Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu,

https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf

Postupak mjerenja infiltracije pomoću dvokružnog infiltrometra uključuje sljedeće korake [15]:

- Priprema tla: Odabir lokacije za mjerenje i priprema tla uključuje uklanjanje površinske vegetacije i izravnavanje tla kako bi se osigurala ravnomjerna infiltracija vode.
- Umetanje prstena: Dva metalna prstena se umetnu u tlo, obično nekoliko centimetara duboko, kako bi se osigurala stabilnost i smanjilo curenje vode ispod prstenova.
- Punjenje prstenova vodom: Unutarnji i vanjski prsten se istovremeno pune vodom.
- Važno je održavati konstantnu razinu vode u oba prstena tijekom cijelog mjerenja.
- Mjerenje infiltracije: Brzina infiltracije vode u tlo mjeri se bilježenjem razine vode u unutarnjem prstenu tijekom određenog vremenskog razdoblja. Vrijeme i količina infiltrirane vode bilježe se u redovitim intervalima, obično svakih nekoliko minuta, sve dok se brzina infiltracije ne stabilizira.
- Analiza podataka: Dobiveni podaci analiziraju se kako bi se izračunala brzina infiltracije tla. Ovo uključuje izračunavanje količine vode koja je infiltrirala u tlo po jedinici vremena (npr. mm/h).

Metoda mjerenja infiltracije tla pomoću infiltrometra s dvostrukim cilindrom je pouzdana tehnika koja se koristi za procjenu brzine infiltracije vode u tlo. Ova metoda je ključna u agronomiji, hidrologiji i ekološkim znanostima jer pomaže u razumijevanju ponašanja tla u pogledu upijanja vode, što je bitno za upravljanje navodnjavanjem, procjenu erozije i planiranje odvodnje [15]. Infiltrometar s dvostrukim cilindrom sastoji se od dva metalna cilindra, jednog unutar drugog, koji se nazivaju unutarnji i vanjski cilindar. Unutarnji cilindar obično ima promjer od oko 30 cm, dok vanjski cilindar ima promjer od oko 60 cm. [16] Ciljevi ove konfiguracije su smanjenje lateralnog toka vode iz unutarnjeg cilindra kako bi se osigurala vertikalna infiltracija, što omogućuje preciznije mjerenje.



Slika 4. Mjerenje infiltracije infiltrometrom s dvostrukim cilindrom

Izvor: Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu,

https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf

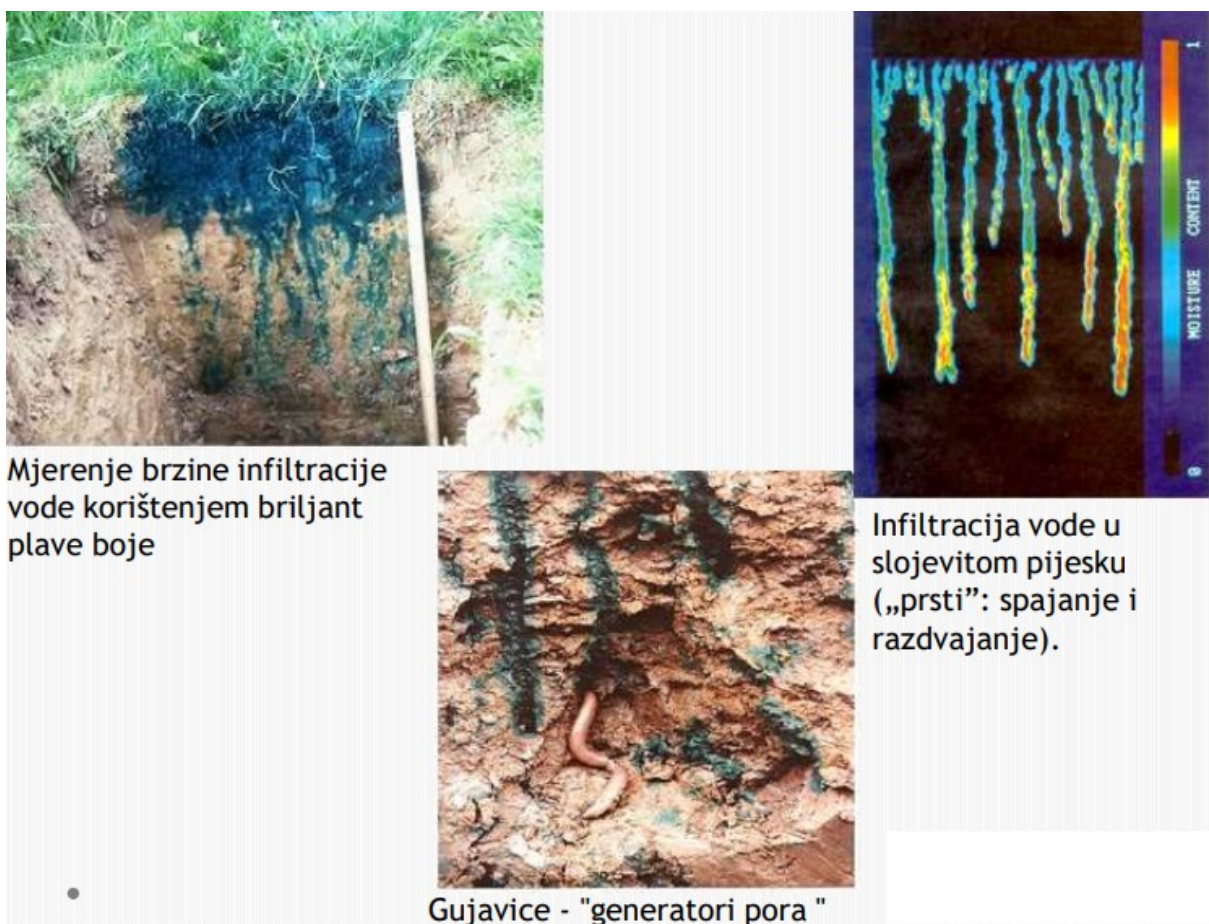
Koraci u mjerenju infiltracije tla ključni su za razumijevanje kapaciteta tla da apsorbira vodu, što je od vitalne važnosti za poljoprivredu, hidrologiju i kontrolu erozije. Proces započinje pripremom tla, pri čemu se odabire prikladna lokacija za mjerenje. Površinska vegetacija se uklanja, a tlo se izravnava kako bi se osigurala ravnomjerna infiltracija. Nakon pripreme tla, postavljaju se cilindri. Dva cilindra se umetnu u tlo, obično do dubine od nekoliko centimetara, čime se osigurava njihova stabilnost i smanjuje curenje vode ispod cilindara. [15] Ovi cilindri omogućuju kontrolirano mjerenje infiltracije. Sljedeći korak je punjenje cilindara vodom. Unutarnji i vanjski cilindar se istovremeno pune vodom, a ključno je održavati konstantnu razinu vode u oba cilindra tijekom cijelog mjerenja. To omogućuje precizno praćenje infiltracije vode u tlo.

Mjerenje infiltracije uključuje bilježenje razine vode u unutarnjem cilindru tijekom određenog vremenskog razdoblja. Vrijeme i količina infiltrirane vode bilježe se u redovitim intervalima, obično svakih nekoliko minuta, sve dok se brzina infiltracije ne stabilizira. [16] Ovi podaci omogućuju izračun brzine infiltracije tla. Analiza podataka dobivenih mjerenjem omogućuje izračunavanje brzine infiltracije tla, što uključuje količinu vode koja je infiltrirala u tlo po jedinici vremena, izraženo primjerice u milimetrima po satu (mm/h).

Prednosti ove metode su mnogobrojne. Pruža visoku preciznost rezultata jer minimizira lateralni tok vode, relativno je jednostavna za izvođenje uz odgovarajuću opremu i omogućuje konzistentne i lako ponovljive podatke. [17] Međutim, postoje i izazovi. Priprema tla zahtijeva pažnju kako bi se osigurala točnost mjerenja, održavanje konstantne razine vode može biti izazovno, a vanjski uvjeti poput temperature i vjetra mogu utjecati na rezultate. Metoda dvostrukog cilindra koristi se u različitim područjima. U agronomiji, pomaže u optimizaciji navodnjavanja i poboljšanju učinkovitosti korištenja vode. [15] U hidrologiji, pomaže u modeliranju otjecanja i predviđanju poplava, dok u kontroli erozije tla pruža ključne podatke za planiranje odvodnje i sprečavanje erozije.

Kroz razumijevanje ovih koraka i metoda, možemo bolje upravljati resursima vode i zaštititi okoliš, osiguravajući održivu poljoprivredu i sigurnije okolišne uvjete. Metoda mjerenja infiltracije s infiltrometrom s dvostrukim cilindrom ostaje jedno od najpouzdanijih sredstava za procjenu infiltracijskih svojstava tla, pružajući ključne podatke za brojne znanstvene i praktične primjene.

Mjerenje infiltracije korištenjem briljant plave boje je metoda koja se koristi za vizualizaciju i kvantificiranje infiltracije vode u tlo. Ova metoda je korisna jer omogućuje jednostavno praćenje putanje vode i procjenu infiltracijskih svojstava tla. [15] Briljant plava boja služi kao traser (tragalica) koja pomaže u vizualizaciji distribucije vode u tlu.



Slika 5. Mjerenje infiltracije korištenjem briljant plave boje

Izvor: Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu,

https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf

Koristeći briljant plavu boju kao traser, istraživači mogu pratiti putanju vode kroz tlo i dobiti detaljne informacije o infiltraciji. Priprema otopine briljant plave boje u vodi. [17] Koncentracija boje se odabire tako da bude dovoljno jaka da se jasno vidi u tlu, ali ne previše jaka da bi utjecala na prirodne procese infiltracije.

Odabir prikladne lokacije za ispitivanje infiltracije. Površina tla se priprema uklanjanjem vegetacije i izravnavanjem. Otopina briljant plave boje nanosi se na površinu tla. Ovo se može učiniti pomoću infiltrometra s dvostrukim cilindrom ili jednostavno izlivanjem otopine na tlo. Otopina se ostavi da infiltrira u tlo tijekom određenog vremenskog razdoblja. [16] Bilježi se vrijeme i količina infiltrirane otopine. Nakon određenog vremena, uzorci tla se uzimaju na različitim dubinama i udaljenostima od mjesta aplikacije boje. Ovi uzorci se analiziraju kako bi se utvrdila distribucija boje u tlu. Uzorci tla se analiziraju kako bi se odredila koncentracija boje na različitim dubinama i lokacijama. Ovo omogućuje vizualizaciju profila infiltracije i procjenu brzine infiltracije. Ova metoda pomaže u razumijevanju dinamike vode u tlu, što je ključno za upravljanje vodnim resursima, optimizaciju navodnjavanja i sprečavanje erozije tla.

2.3. Vrste infiltracijskih sustava

Prodiranje vode događa se kada voda prodre kroz tlo i postane dio podzemnog vodnog sustava. Poznavanje različitih vrsta vodene infiltracije, površinske i podzemne, može pomoći vlasnicima kuća i druge imovine da prepoznaju potencijalne probleme i poduzmu odgovarajuće mjere kako bi spriječili ili ublažili štetu. Površinska infiltracija vode odnosi se na proces u kojem voda iz oborina, navodnjavanja ili drugih izvora prodire u tlo kroz površinske slojeve poput tla i vegetacije. Brzina kojom voda prodire u tlo s površine ovisi o nekoliko čimbenika, uključujući vrstu tla, sadržaj vlage te intenzitet i trajanje oborina [20].

Površinska infiltracija vode može uzrokovati različite probleme, uključujući eroziju tla, poplave i oštećenje temelja. Na primjer, pretjerana površinska infiltracija vode može oslabiti strukturu tla oko zgrade, što dovodi do problema s temeljima i moguće nestabilnosti konstrukcije. Kako bi spriječio ili ublažio probleme s površinskom infiltracijom vode, mogu se razmotriti sljedeće opcije [20]:

- Instaliranje odgovarajućih sustava odvodnje kako bi se voda usmjerila dalje od zgrade.
- Korištenje odgovarajuće dimenzioniranih i funkcionalnih oluka i odvodnih cijevi.

- Korištenje uređenja okoliša kako bi se voda preusmjerila dalje od imovine (objekata, zgrada...).

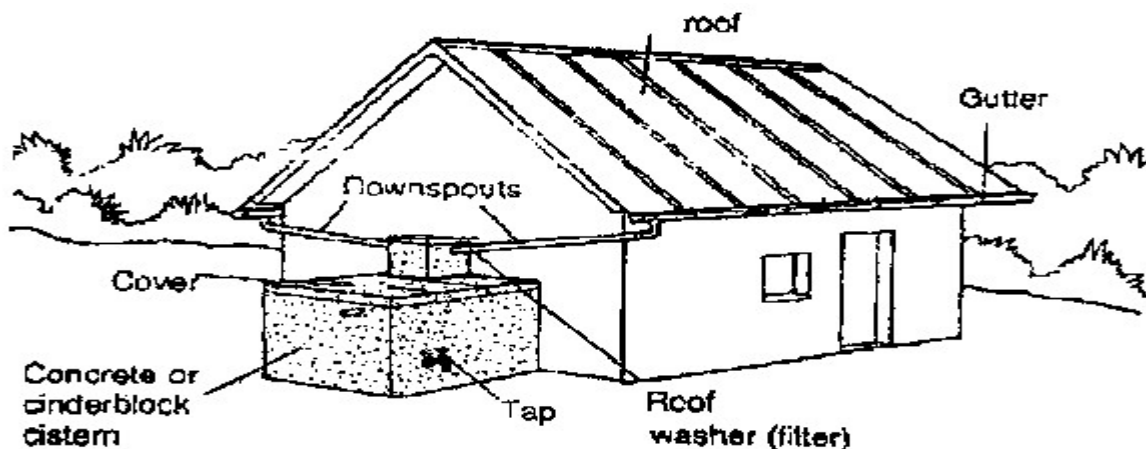
S druge strane, podzemna infiltracija uključuje kretanje vode ispod površine tla. Podzemna infiltracija vode događa se kada voda prodire dublje u tlo, dosežući slojeve ispod površinskog sloja tla. Zdrava podzemna infiltracija vode doprinosi obnavljanju rezervoara podzemnih voda i igra ključnu ulogu u raspodjeli vlage u tlu. Međutim, prekomjerna podzemna infiltracija vode može uzrokovati probleme poput onečišćenja podzemnih voda i nestabilnosti konstrukcija. Na primjer, curenje podzemnih cijevi može prouzročiti podzemnu infiltraciju vode, što dovodi do stvaranja ponora ili oslabljivanja temelja zgrade. Redovito održavanje podzemnih instalacija i sustava vodovoda pomaže u sprječavanju prekomjerne podzemne infiltracije vode odnosno minimaliziranju štete [20].

Infiltracija vode može uzrokovati gubitak tla, ispiranje i praznine koje narušavaju stabilnost struktura. Razumijevanje problema uzrokovanih površinskom i podzemnom infiltracijom vode omogućuje pojedincu da poduzme potrebne korake kako bi spriječio ili riješio probleme proizašle iz tih procesa. Rješenja stabilizacije mogu uključivati ojačane betonske zidove, mjerenje i kontrola erozije tla kao i dobro osmišljene sustave odvodnje. Iskusna osoba koja se bavi stabilizacijom tla može identificirati i primijeniti odgovarajuće tehnike stabilizacije kako bi zaštitila određeno tlo [20].

3. ASPEKTI INFILTRACIJE OBORINA

U metodi prikupljanja kišnice s krova (Slika 1), voda od kiše prikuplja se u posudama na rubu krova ili se usmjerava prema spremniku putem žljebova i cijevi. Krovovi se mogu izgraditi od različitih materijala, uključujući pocinčani valoviti lim, crijep, eternit ploče, kamene ploče. Krovovi od trske ili palminih listova mogu pružiti jeftiniju alternativu, ali mogu biti teški za čišćenje i mogu otežati ili usporavati otjecanje (u suprotnosti s tradicionalnim krovovima, poput onih od crijepa ili lima, koji se često koriste kod nas). Pokrovi krovova od čeličnih profiliranih limova poželjni su jer su najlakši za izgradnju i pružaju najčišću vodu. Zdravstvene opasnosti mogu nastati s krovova koji imaju azbestne ploče, metalnu boju ili druge obloge koje sadrže tvari štetne po zdravlje i mogu onečistiti vodu [21]. Prikupljanje s krova pogodno je za primjenu na kućnoj razini (razina svakog pojedinog objekta) i može osigurati svježiu vodu za domaćinstva i poljoprivredu malog opsega.

Infiltracijski uređaji su uređaji dizajnirani za fluidnu i prirodnu infiltraciju kišnice s krovova zgrada i popločanih površina. Osnovni princip i funkcija svih vrsta infiltracijskih uređaja su brzo preusmjeriti kišnicu prema zoni infiltracije gdje ona prodiru u okolno tlo [22]. Dizajn i upotreba infiltracijskih uređaja kao održive metode za odvodnju kišnice postaju sastavni dio upravljanja odvodnjom i projektima sustava odvodnje oborinskih voda zgrada ili drugih ne poroznih i nepropusnih površina.



Slika 6. Infiltracijski uređaji za infiltraciju kišnice s krovova

Izvor: <https://www.ctc-n.org/technology-library/water-augmentation-increasing-capture-and-storage-surface-run/rainwater>

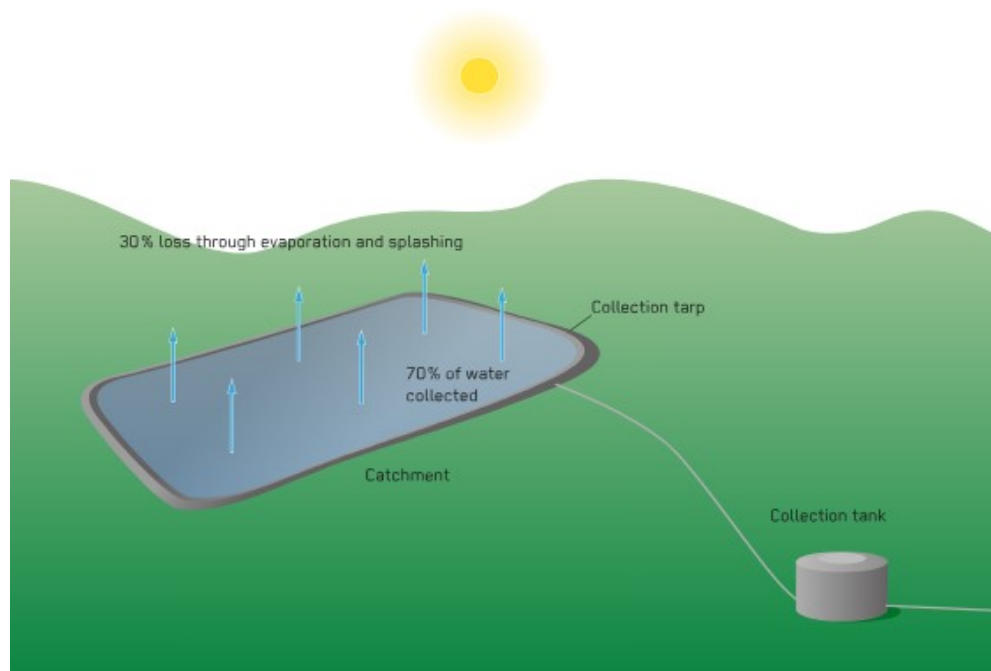
Odlaganje, odnosno sigurno odvođenje kišnice, predstavlja problem gotovo svake nove zgrade u urbanoj sredini i u područjima s nedovoljnim sustavima odvodnje. Sustavi odvodnje otpadnih voda, postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i prihvatnici vodenih tokova su preopterećeni, a rizik od poplava raste. To predstavlja još jedan razlog za vodoprivredna poduzeća da imaju mogućnost zabrane odvođenja oborinske vode iz površinske retencije u sustav odvodnje otpadnih voda već tijekom izrade i ispunjavanja razvojnog plana. To dovodi do potrebe korištenja sustava za infiltraciju kišnice ili zadržavanja kišnice radi daljnje ponovne upotrebe [23].

Podzemni slivovi su ili prirodni (zemlja ili gole stijene koje se spuštaju prema udubljenju koje skuplja kišnicu) ili su modificirani/poboljšani kako bi se smanjila infiltracija, povećalo otjecanje i smanjilo onečišćenje. U svakom slučaju, može se dodati zid brane ili nasip za zadržavanje vode. Alternativno, voda se može kanalizirati u spremnike [23].

U metodi na tlu, voda koja teče duž tla tijekom kiša obično se preusmjerava prema spremniku ispod površine (Slika 4). Postoji veća mogućnost gubitka vode u odnosu na sustav s krova zbog infiltracije u tlo. Voda je općenito niže kvalitete, nego ona prikupljena izravno iz oborine. Tehnike koje su dostupne za povećanje otjecanja unutar područja prikupljanja vode na tlu uključuju:

1. čišćenje ili mijenjanje vegetacijskog pokrova,
2. povećanje nagiba terena s umjetnim pokrovom tla,
3. smanjenje propusnosti tla kompakcijom tla i primjenom kemikalija [24].

Nepropusne membrane (u obliku folija koje imaju stupanj rastezljivosti i do 10 puta) također se mogu koristiti kako bi se olakšalo otjecanje. Prikupljanje vode na tlu primjenjivo je za nisko položena topografska područja i pogodno je za poljoprivrednu proizvodnju velikog opsega jer omogućuje skladištenje i upotrebu svježje vode na licu mjesta za navodnjavanje.



Slika 7. Skupljanje kišnice: prikupljanje s površine tla

Izvor: <https://www.emergency-wash.org/water/en/technologies/technology/rainwater-harvesting-ground-surface-collection>

Onečišćenje se može svesti na najmanju moguću mjeru upotrebom ograde oko sliva kao i korištenjem odgovarajuće površine (npr. beton/kamenje manje će zagađivati od tla). Općenito, korisnici su dobro prihvatili sustave površinskog prikupljanja kišnice, unatoč lošijoj kvaliteti vode. Sprječavanje pristupa i održavanje ograde oko sliva može biti izazovno. Korištenje kišnice također je ključni aspekt tehnika prilagodbe klimatskim promjenama i aktivnosti ublažavanja suše, kao što je povećanje skladištenja vode ili kontrola razine podzemne vode korištenjem upravljanih metoda obnavljanja vodonosnika [23].

Stjenovite površine također se mogu koristiti kao područja za prikupljanje vode. Stjenovite površine koje se nalaze unutar strmih kamenih padina ili izloženih stjenovitih izbočina na nizini često imaju prirodne udubine ili doline koje se mogu pretvoriti u vodene rezervoare izgradnjom brane. Razvoj stjenovitog područja za prikupljanje obično uključuje čišćenje mjesta od vegetacije te označavanje područja za prikupljanje koje će se ograditi kanalima. Stjenovite površine ne bi smjele biti napuknute (s pukotinama ili procijepima) jer bi to moglo uzrokovati otjecanje vode prema dubljim zonama ili ispod brane. Kao i kod prikupljanja na tlu, voda je općenito niže kvalitete, nego pri izravnom prikupljanju iz oborine. Kvaliteta vode može se poboljšati ako je pristup području (na primjer, od strane životinja i djece) ograničen [23].

Postoje različiti tipovi sustava transportiranja vode s područja prikupljanja do uređaja za pohranu, uključujući oluke, cijevi i površinske odvode ili kanale. Sustavi prijenosa većeg opsega mogu zahtijevati pumpe za prijenos vode na veće udaljenosti. One bi trebale biti izgrađene od kemijski inertnih materijala poput drva, bambusa, plastike, nehrđajućeg čelika, aluminijske ili stakloplastike, kako bi se izbjegao negativan utjecaj na kvalitetu vode [25].

U slučaju stjenovitih područja, kanali se mogu izgraditi od kamenog zida s grubim kamenjem i mortom. Za prikupljanje kišnice na kućnoj razini potrebni su oluci, odvodne cijevi, lijevci i filtri kako bi se prikupljena voda prenijela i filtrirala prije ulaska u spremnik.

Uređaji za pohranu koriste se za pohranu vode koja se prikuplja s područja prikupljanja i klasificiraju se kao:

- a. spremnici za pohranu iznad zemlje
- b. cisterne ili spremnici ispod zemlje.

Ovi uređaji mogu varirati u veličini od jednog kubičnog metra do nekoliko stotina kubičnih metara za velike projekte. Uobičajeni spremnici koji se koriste za pohranu vode u malom opsegu su plastične zdjele, kante, kanistri, glinene ili keramičke posude, betonski lonci i stari limeni bubnjevi. Uređaji se mogu jeftino izraditi od lokalno dostupnih materijala poput bambusa i čelika te premazani smjesom pijeska i cementa [26]. Sve popularniji su i spremnici od ferocementa (fotografija 5) kojima se mort primjenjuje na cilindrični okvir od žice što pomaže u kontroliranju pucanja. Takvi spremnici su izvedivi do veličine od 100 m³.



Slika 8. Spremnici od ferocementa

Izvor: <https://theconstructor.org/concrete/ferrocement-water-tank-construction-and-uses/35259>

Za pohranu većih količina vode sustav će obično zahtijevati veći spremnik ili cisternu s dovoljnom čvrstoćom i trajnošću. Obično se takvi spremnici mogu izgraditi od zidanih konstrukcija obrađenih mortom. (fotografija 6).



Slika 9. Spremnici

Izvor: <https://kta.com/kta-university/qa-coatings-above-ground-concrete-tanks/>

Za vodu uhvaćenu s kamene površine, brana je češći oblik uređaja za pohranu. Održavanje je potrebno za čišćenje spremnika i pregled kanala i cijevi te obično uključuje uklanjanje prljavštine, lišća i drugih nakupljenih materijala. Čišćenje treba obavljati godišnje prije početka glavne kišne sezone uz redovite inspekcije. U regijama s nepredvidivim padavinama potrebno je češće održavanje i čišćenje kako bi se osiguralo da oprema ostane u dobrom radnom stanju. Pukotine u spremnicima mogu izazvati ozbiljne probleme i trebaju se odmah popraviti kako bi se izbjegao gubitak vode. U slučaju područja prikupljanja na tlu i stijenama, potrebna je dodatna pažnja kako bi se izbjegla šteta i onečišćenje od strane ljudi i životinja te kako bi se održalo područje prikupljanja bez vegetacije [23].

Klimatske promjene remete globalne obrasce kišnice, što znači da neki dijelovi svijeta pate od drastičnog smanjenja oborina što dovodi do opadanja vodostaja mnogih jezera i rijeka. U suptropskoj Africi, gdje je dvije trećine regije pustinjsko i sušno zemljište, potreba za poboljšanjem upravljanja vodom u sektoru poljoprivrede posebno je kritična. Prikupljanje kišnice predstavlja strategiju prilagodbe za ljude koji žive s visokom varijabilnošću oborina, kako za opskrbu domaćinstava, tako i za poboljšanje usjeva, stočarstva i drugih oblika poljoprivrede [27].

Općenito, količina vode koja je dostupna putem prikupljanja kišnice ograničena je i trebala bi se koristiti pažljivo kako bi se ublažio stres vodom tijekom ključnih faza rasta usjeva. Dodatno navodnjavanje ključna je strategija i može pomoći povećati prinose za više od 100 posto. Mali investicijski iznos koji omogućuje između 50 i 200 mm dodatne vode po hektaru tijekom sezone za dodatno navodnjavanje, u kombinaciji s poboljšanim agronomskim upravljanjem, može više nego udvostručiti vodnu produktivnost i prinos u malim sustavima za navodnjavanje kišom [27].

Manipulativne površine, kao što su prometnice, industrijska područja i urbanizirane zone, često imaju značajan utjecaj na kvalitetu podzemnih voda. Gradski prostori i prometnice često su izgrađeni s nepropusnim materijalima poput asfalta i betona, što sprječava vodu da prođe kroz tlo i filtrira se prije nego što dopre do podzemnih voda. Umjesto toga, oborinska voda s tih površina može brzo otjecati, noseći sa sobom razna onečišćenja. Industrijske djelatnosti također doprinose onečišćenju podzemnih voda. Otpadne vode iz industrijskih postrojenja često sadrže različite kemikalije koje mogu ozbiljno ugroziti podzemne vode. Obrada takvih otpadnih voda postaje ključna kako bi se spriječilo onečišćenje ovih vitalnih vodnih resursa [23].

Poljoprivredne manipulativne površine dodatno pridonose problemu. Korištenje pesticida i gnojiva na poljoprivrednim zemljištima može rezultirati ispiranjem tih tvari kišnicom, što ih transportira do podzemnih voda. To može ugroziti kvalitetu vode i zemljišta. Stambena područja također igraju ulogu u onečišćenju podzemnih voda. Otpadne vode koje potječu iz kućanstava, uključujući deterdžente i tvari koje se ispiru s cesta i dvorišta, mogu sadržavati štetne tvari koje mogu završiti u podzemnim vodama. S obzirom na ovisnost mnogih ljudi o podzemnim vodama za opskrbu pitkom vodom, važno je poduzeti mjere kako bi se očuvale. To uključuje implementaciju sustava zadržavanja vode, infiltracijskih bazena i zelene infrastrukture. Održivost urbanog planiranja, odgovorno ponašanje u industriji i poljoprivredi, te redovito praćenje kvalitete vode postaju ključni koraci u očuvanju čistih podzemnih voda, ključnih resursa za opstanak i dobrobit zajednica [24].

3.1 Pozitivni aspekti sustava infiltracije oborinskih voda

3.1.1 Ekološki aspekt

Ciklus cirkulacije vode u prirodi sastoji se od sljedećih faza: padavine, infiltracija, odljev, isparavanje. U slučaju da kišnica pada na prirodni teren, većina vode prodire u tlo i postaje dio podzemnih voda. Samo otprilike 20% oborinske vode dolazi do rijeka ili se odvodi putem sustava oborinske odvodnje. Problemi povezani s urbanizacijom proizlaze iz promjena u krajoliku, povećanog volumena odljeva i ubrzanog kretanja vode. Promjene u krajoliku događaju se tijekom prijelaza iz ruralnih i otvorenih prostora u urbaniziranu upotrebu zemljišta [28]. Urbanizacija uzrokuje prijelaz dominacije podzemnih putanja u generiranju tijeka potoka u površinski tijek, kako se uklanja vegetacija, a tla postaju zbijena ili prekrivena nepropusnim materijalima poput asfalta ili krovova. Otjecanje kišnice uglavnom je uzrokovano kišom koja pada na asfalt ili krovove tijekom oluja. Nepropusne površine rezultat su novih razvoja, kao i daljnjih razvoja unutar postojećih područja, što dovodi do povećanog otjecanja kišnice. Nije samo volumen odljeva, već i brzina odljeva koja se povećava. U gusto urbaniziranim područjima, prirodni teren zamjenjuje se popločanim površinama. Kad kišnica dosegne ove površine, gotovo 80% te vode otječe prema sustavu odvodnje otpadnih voda ili rijekama, dok samo 20% prodire u tlo. To dovodi do spomenute ekološke štete [28].

3.1.2 Tehnički aspekt

Odvođenje viška oborinske vode s velikih površina krovova i popločanih područja također je tehnički problem. Projektiranje sustava infiltracije smanjuje početni protok prvog volumena oborinske vode i smanjuje preopterećenje sustava odvodnje, posebno u početnoj fazi kratkih obilnih kiša, smanjujući tako rizik od poplave. Rast urbanih područja povećava brzinu i količinu otjecanja oborinske vode. Kao rezultat takvog rasta, postojeći sustavi odvodnje oborinskih voda ponekad su preopterećeni. To je posebno slučaj s većim gradovima koji imaju mješovite sustave odvodnje. Jaki pljuskovi mogu privremeno preopteretiti sustav [29].

3.1.3. Ekonomski aspekt

Sustav infiltracije oborinskih voda donosi i ekonomske prednosti, posebno kada cijene vode i naknada za odvodnju konstantno rastu. Razlog povećanja tih cijena leži u porastu troškova pročišćavanja vode za piće i obrade otpadnih voda. Drugi razlozi su opadanje razine podzemnih voda i nedostatak izvora pitke vode. U godinama koje dolaze, situacija se neće promijeniti ili će biti još gora. Cijene će neprekidno rasti. Implementacija sustava infiltracije oborinskih voda na privatnom posjedu pomoći će vlasniku da smanji troškove vođenja oborinske vode do sustava odvodnje otpadnih voda [28].

3.2. Negativni aspekti

Glavna mana tehnologije prikupljanja kišnice je ograničena opskrba i nesigurnost oborina. Kišnica nije pouzdan izvor vode tijekom sušnih razdoblja ili dugotrajnih suša. Nizak kapacitet pohrane ograničit će potencijal prikupljanja kišnice, dok će povećanje kapaciteta pohrane povećati troškove izgradnje i održavanja, čineći tehnologiju manje ekonomski održivom. Učinkovitost pohrane može biti ograničena isparavanjem koje se događa između kiša. U vodnim bazenima s ograničenim viškom zaliha, prikupljanje kišnice u gornjim dijelovima može imati štetan utjecaj nizvodno i može uzrokovati ozbiljan sukob u zajednici. Također, kada se otjecanje generira s velikog područja i koncentrira u malim spremnicima, postoji potencijalna opasnost od degradacije kvalitete vode, putem unošenja agrokemikalija i drugih nečistoća [27].

Kišnica ima fascinantno put koji može slijediti, igrajući ključnu ulogu u održavanju života na Zemlji. Kada kapljice dodirnu tlo, dio te vode se upija u tlo, postajući dragocjeni izvor hidrata za biljke. Ova kišnica doslovno hrani biljke i biljni svijet, što je esencijalni korak u lancu opstanka u prirodi. S druge strane, neki dijelovi kišnice klize površinom tla prema rijekama, jezerima i oceanima. Ovdje kišnica postaje sudionik u velikom ciklusu vode, odnosno putovanju vode kroz različite faze, od isparavanja do padanja kao kiše i ponovnog vraćanja u oceane. Ova cirkulacija vode održava ravnotežu u ekosustavu, osiguravajući vitalne resurse za mnoge oblike života [27].

Unatoč tomu, kišnica nije uvijek čista. U urbanim područjima, gdje zrak može biti zagađen različitim tvarima, onečišćenja iz atmosfere mogu se prenositi na kišnicu. To znači da se ne može uvijek koristiti kišnica izravno za sve potrebe. Kvaliteta kišnice postaje važan faktor, posebno u kontekstu korištenja vode za piće i navodnjavanje. Ljudi su, u svrhu održivosti, razvili sustave prikupljanja kišnice. Postavljanjem žljebova na krovove kuća, kišnica se usmjerava prema spremnicima za prikupljanje. Ova praksa omogućuje ljudima da iskoriste oborinsku vodu za vlastite potrebe, poput zalijevanja vrta, pranja rublja ili ispiranja WC-a. No, važno je pratiti smjernice i standarde kako bi se osigurala sigurnost i očuvanje okoliša prilikom korištenja prikupljene kišnice [27].

3.3. Zahtjevi za dizajn infiltracijskih postrojenja

Infiltracijsko postrojenje osigurava prihvat velikih količina oborina u kratkom vremenu i postupnu infiltraciju u tlo. Time je spriječeno plavljenje urbanih površina jer omogućuju veliku akumulaciju u kratkom vremenu. S pravilnim dizajnom, realizacijom i održavanjem infiltracijskih postrojenja, rad ovog uređaja trebao bi biti teći glatko i bez komplikacija. Stoga je nužno da dizajner infiltracijskih postrojenja poznaje hidrogeološke uvjete na području interesa. Dizajn infiltracijskih postrojenja mora uzeti u obzir zaštitu podzemnih voda i sposobnost infiltracije tla [23].

Perkolacijske akumulacije (otoci) su zelene površine koje služe u svrhu filtriranja i akumulacije oborinske vode. Namjena im je da zadržavaju vodu u dubljim slojevima dok je vegetacija predviđena za filtriranje te se radi o prorodim filtrima i akumulacijama. Cilj održive zaštite tla i podzemnih voda mora trajno održavati prirodne funkcije tla, prije svega njegovu učinkovitost kao filtera, spremnika i transformatora, te očuvati podzemne vode koliko je moguće neizmijenjene ljudskim utjecajem, kao i sačuvati tlo i podzemne vode na cijelom području od onečišćenja ili drugih nepovoljnih promjena [30]. Vrlo važan projektantski parametar infiltracijskih objekata je određivanje koeficijenta infiltracije na području interesa. Koeficijent infiltracije općenito predstavlja učinkovitost infiltracijskih objekata odnosno

sposobnost infiltracije tla da upije vodu koja ulazi [23].

Propusnost infiltracijske zone glavni je kvalitativni i kvantitativni zahtjev za infiltraciju oborinske vode. Propusnost drobljenog kamena ovisi prije svega o veličini i raspodjeli čestica te zbijenosti, dok je u tlu ključna struktura tla, temperatura vode i određena koeficijentom infiltracije. Propusnost drobljenog kamena općenito varira između $1 \cdot 10^{-2}$ i $1 \cdot 10^{-10}$ m/s. Vrijednosti k_f odnose se na proces infiltracije vode u zasićenoj zoni. Raspon vrijednosti za koeficijent filtracije za tehničku drenažu kreće se od $1 \cdot 10^{-3}$ do $1 \cdot 10^{-6}$ m/s. Iz tog razloga, anaerobni (tlo gdje nema potpune zasićenosti vodom) procesi u nezasićenom tlu, koji dovode do nepovoljnih učinaka na zadržavanje i kapacitete sposobnosti tla, mogu se pojaviti. Stoga je najvažniji projektantski parametar infiltracijskih objekata odrediti koeficijent filtracije na licu mjesta [23].

4. INFILTRACIJA U VODOZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA

Infiltracija u vodozaštićenim područjima predstavlja ključni aspekt upravljanja vodnim resursima i zaštite okoliša. Vodozaštićena područja, često označena kao područja od posebnog značaja za očuvanje kvalitete vode, uključuju izvorišta pitke vode, prirodna staništa, te ekosustave koji su izloženi riziku od onečišćenja. Razumijevanje procesa infiltracije u ovim područjima od presudne je važnosti za održavanje kvalitete i kvantitete podzemnih voda, kao i za prevenciju potencijalnih ekoloških katastrofa.

Infiltracija se odnosi na proces kojim voda ulazi u tlo i pomiče se prema podzemnim slojevima. U vodozaštićenim područjima, ovaj proces je kritičan jer utječe na obnavljanje podzemnih vodonosnika, održavanje površinskih vodnih tijela i opće zdravlje ekosustava. Efikasna infiltracija može pomoći u smanjenju površinskog otjecanja, koje može nositi onečišćivače u vodne tokove, te doprinosi održavanju ravnoteže između različitih komponenata hidrološkog ciklusa.

4.1. Vodozaštićena područja

Vodozaštićena područja su područja koja su posebno definirani i regulirani s ciljem očuvanja kvalitete vode, često podložni posebnim zakonima i propisima. Ova područja su ključna za očuvanje izvora pitke vode i zaštite vodnih ekosustava. U takvim područjima, posebna pažnja posvećuje se sprječavanju onečišćenja i očuvanju ekološke ravnoteže. Postoje različite mjere koje se primjenjuju u vodozaštićenim područjima kako bi se osigurala čistoća vode. To uključuje kontrolu aktivnosti koje mogu uzrokovati onečišćenje, ograničavanje upotrebe pesticida i kemikalija, promicanje praksi održive poljoprivrede, te provedbu sustava za praćenje i kontrolu kakvoće vode. Vodozaštićena područja često proizlaze iz prepoznavanja važnosti očuvanja podzemnih voda i površinskih voda u određenom području. Lokalne vlasti, regulatorna tijela i zajednica igraju ključnu ulogu u donošenju i provedbi mjera zaštite vode u tim područjima. Ova praksa doprinosi dugoročnoj održivosti vodoopskrbnih sustava i očuvanju okoliša [31].

4.2. Infiltracija u vodozaštićenim područjima

Infiltracija u vodozaštićenim područjima predstavlja ključni proces prodiranja vode kroz tlo prema podzemnom sloju. Ovaj pristup posebno je važan za očuvanje čistoće vode i sprječavanje onečišćenja, s obzirom na to da podzemne vode često predstavljaju izvor pitke vode za lokalne zajednice. Jedan od ključnih čimbenika prilikom primjene infiltracije jest propusnost tla. Važno je odabrati lokacije s tlima koja omogućuju brzu i učinkovitu infiltraciju, sprječavajući tako površinsko otjecanje vode i potičući zadržavanje vode u podzemnom sloju. Održavanje kvalitete vode igra ključnu ulogu u procesu infiltracije. Implementiraju se stroge mjere zaštite, poput postavljanja barijera, filtracijskih sustava ili upotrebe posebnih materijala koji sprečavaju onečišćenje vode dok prolazi kroz tlo [31].

Pravilno praćenje i kontrola kvalitete vode u podzemnom sloju su bitni aspekti. Redovito praćenje omogućuje identifikaciju potencijalnih prijetnji onečišćenju, omogućujući brzu intervenciju u slučaju promjena u kvaliteti vode. Važno je naglasiti i planiranje te regulaciju vodozaštićenih područja, koja često proizlaze iz zakonodavstva. Takva regulacija ograničava aktivnosti koje bi mogle dovesti do onečišćenja, uključujući kontrolu poljoprivrednih praksi, ograničavanje industrijskih ispuštanja te promicanje ekološki održivih metoda. Dodatno, edukacija lokalne zajednice igra ključnu ulogu u uspješnosti infiltracijskih praksi u vodozaštićenim područjima. Informiranje zajednice o važnosti očuvanja voda i pravilnom odlaganju otpada doprinosi dugoročnoj održivosti i zaštiti resursa vode. Infiltracija u vodozaštićenim područjima predstavlja integralni pristup osiguranju čiste pitke vode za buduće generacije [32].

4.3. Prednosti i izazovi

Implementacija sustava infiltracije u vodozaštićenim područjima predstavlja ključni pristup za očuvanje vodnih resursa i unapređenje kvalitete podzemnih voda. Jedna od glavnih prednosti ovog pristupa je očuvanje prirodne filtracije kroz tlo, što značajno smanjuje rizik od onečišćenja i doprinosi poboljšanju kvalitete vode. Kroz proces infiltracije, voda postepeno prodire u podzemlje, čime se povećava dostupnost pitke vode. Ova karakteristika ima ključan

značaj za podršku lokalnim zajednicama s održivim izvorima vode, što je posebno važno u vodozaštićenim područjima. Jedna od dodatnih prednosti je smanjenje površinskog otjecanja vode. Infiltracija minimizira rizik od poplava i erozije tla, pridonoseći tako očuvanju vodnih ekosustava i stvaranju ravnoteže u hidrološkom ciklusu. Ekološki održiv pristup infiltracije suprotstavlja se konvencionalnim metodama odvodnje, potičući prirodne procese i održivo korištenje vodnih resursa. Ovaj pristup ne samo da smanjuje potrebu za dodatnim izvorima vode, već i potiče uštedu vode kroz zadržavanje u podzemnom sloju. Unatoč brojnim prednostima, implementacija infiltracije u vodozaštićenim područjima nosi sa sobom izazove. Odabir prikladnih lokacija, kontrola kvalitete vode, upravljanje otpadnim vodama te regulacija i zakonodavstvo zahtijevaju pažljivo planiranje [32].

5. OBJEKTI ZA OBRADU OTPADNIH VODA

U suvremenom sustavu upravljanja otpadnim vodama, postoje različite vrste uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, svaka namijenjena specifičnim funkcijama i vrstama onečišćenja. Neki od ovih uređaja uključuju [33]:

Uređaji i građevine za obradu fekalnih voda

- Biodiskovi i biopročistači: Biodiskovi su uređaji koji koriste mikroorganizme na okretnim diskovima kako bi razgrađivali organske tvari u otpadnoj vodi. Biopročistači koriste biološke procese za uklanjanje onečišćenja i često su učinkoviti u pročišćavanju domaćih otpadnih voda.
- Sabirne jame: Sabirne jame koriste se za prikupljanje i privremeno zadržavanje otpadnih voda u zonama u kojima nije izveden sustav javne odvodnje. One omogućuju sedimentaciju čestica prije ispuštanja voda u daljnji tok.
- Septičke jame: Septičke jame su sustavi za obradu otpadnih voda koji se često koriste za kućanstva koja nisu spojena na glavni kanalizacijski sustav. Ovdje se otpadne vode obrađuju prirodnim biološkim putem prije nego što se ispuštaju u okoliš. Ovaj sustav nikad ne pročisti otpadnu vodu do kraja i kao takav sve je više zabranjen u urbanim područjima.
- Separatori masti: Separatori masti rade slično kao separatori lakih ulja, ali su specifično usmjereni na uklanjanje masti, ulja i masnih tvari iz otpadnih voda, posebno iz kuhinjskih otpadnih voda.

Uređaji i građevine za obradu oborinskih voda

- Separatori lakih ulja: Separatori lakih ulja koriste se za uklanjanje lakih, plutajućih ulja iz otpadnih voda, često s prometnih površina ili industrijskih postrojenja. Ovi separatori sprječavaju ulazak ulja u kanalizacijski sustav.
- Upojni bunari: Upojni bunari, ili bunari za skupljanje kišnice, koriste se za prikupljanje oborinskih voda s površina poput krovova ili dvorišta. Ove vode mogu se koristiti za navodnjavanje ili se mogu ispustiti u okoliš. U ove građevine se mogu dodati i upojni iglui i upojni tuneli
- Upojna polja: Upojna polja ili drenažna polja koriste se za prihvat i infiltraciju oborinskih voda te djelomično pročišćavanje od krupnijih čestica prije neposrednog upuštanja u tlo.

5.1. Objekti za obradu oborinskih voda

Odvodi za oborinsku vodu skupljaju i prenose kišnicu koja se slijeva s nepropusnih površina kao što su ceste, parkirališta i krovovi. Pomažu u sprječavanju poplava kontrolirajući protok vode od zgrada i drugih objekata. Odvodi oborinske vode dolaze u različitim oblicima i veličinama ovisno o namjeni. Odvod oborinske vode projektirana je građevina koja hvata površinsku vodu ili oborinu koja pada na nepropusne površine kao što su ceste, nogostupi, prilazi i krovovi, a zatim je odvodi dalje od tih područja kako bi se smanjio rizik od poplava. Najčešći tipovi odvoda oborinske vode uključuju slivne bazene (također poznate kao suhi bunari), sustavi cestovnih slivnika sa zaštitnim rešetkama u razini prometnice, rubne otvore (obično smještene uz rubnike ili kanale), rigole (plitka udubljenja koja se koriste za usmjeravanje toka vode od zgrade) i bazeni za akumulaciju (koji privremeno skladište višak vode). Primarna prednost sustava odvodnje oborinskih voda je ta što pomažu u zaštiti od poplava kontrolirajući količinu vode koja teče na ulice ili druga područja koja bi mogla uzrokovati štetu. Osim toga, ovi sustavi mogu imati ugrađene filtere i pročišćavati vodu prije nego što uđu u rijeke ili potoke, pomažući održavanju naših vodenih putova čistima. Konačno, adekvatno instalirani sustavi odvodnje oborinskih voda također mogu smanjiti eroziju, koja može dovesti do gubitka tla tijekom vremena ako se ne riješi odmah [31].

5.1.1. Sugarfilter - Filter za oborinske odvode

Sugarfilter je inovativan dvostupanjski filter dizajniran za oborinske odvode, oluke ili rešetke. Svestran je i prilagođava se većini oborinskih i kanalizacijskih sustava kako bi spriječio zasićenje kanalizacije otpadnim vodama. Osim što optimizira protok vode do daljnjeg pročišćavanja, nudi praktičnu posudu za skupljanje krupnijeg otpada, olakšavajući održavanje. Zahvaljujući svom dvostupanjskom sustavu filtriranja s rupama različitih promjera i konusnog dizajna, omogućuje čišću mrežu i sprječava neugodne mirise uzrokovane sumporovodikom i metanom. Dodatno, sprečava ulazak uličnog otpada koji bi mogao poslužiti kao hrana za životinje koje žive u sustavu te osigurava da otpad ne završi u rijekama, morima i na plažama. Sugarfilter učinkovito hvata male predmete i otpad koji bi drugi sustavi mogli propustiti, čime sprječava zatvaranje - štopanje sustava [31].



Slika 10. Sugarfilter - Filter za oborinske odvode

Izvor: <https://iverna2000.com/en/sugarfilter-filter-for-storm-drains/>

5.1.2. Separatori lakih ulja

Separatori lakih ulja su podzemne ili nadzemne građevine koje služe za odvajanje mineralnih ulja iz otpadne vode. U Hrvatskoj, norma HRN EN 858 propisuje specifikacije i zahtjeve za sustave odvajanja lakih tekućina, kao što su ulje i benzin. Separator, bilo klase I ili klase II, čini sastavni dio separacijskog sustava te ima ulogu odvajanja i zadržavanja tekućina iz otpadne vode. Važno je napomenuti da se separatori smiju ugrađivati isključivo u odvodne sustave u kojima je potrebno odvojiti lake tekućine iz vode i zadržati ih u separatoru. Ne preporučuje se njihovo ugrađivanje u kanalizacijske sustave povezane sa sanitarnim otpadnim vodama. Također, površine koje ne predstavljaju izvor lakih tekućina (nema manipulacije motornim vozilima), poput krovova i zelenih površina, ne bi trebale biti spojene na separator [33].

Što se tiče sadržaja mineralnih ulja u otpadnim vodama, prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, postavljene su maksimalne dopuštene vrijednosti. Za ispuštanje u sustav javne odvodnje dopuštena je koncentracija od ≤ 30 mg/l, dok je za

ispuštanje u površinske vode dopuštena koncentracija od ≤ 10 mg/l. Površinske vode obuhvaćaju sve prirodne ili umjetne vodotoke, jezera, prijelazne vode i priobalne vode koje su prijemnici za efluente, bilo da se radi o pročišćenim ili nepročišćenim otpadnim vodama.



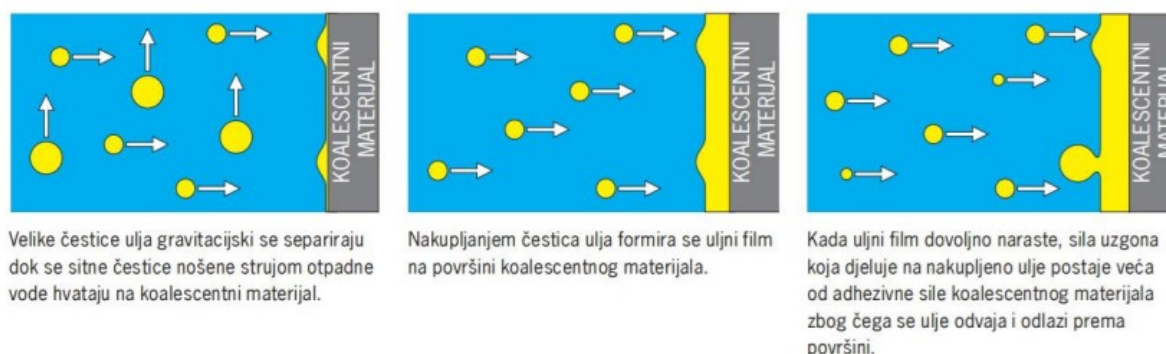
Slika 11. Separatori lakih ulja

Izvor: <https://www.aco.hr/proizvodi/separatori/separatori-lakih-tekucina/oleopator-p>

Separatori lakih ulja rade na principu povećanja površine presjeka tečenja, čime se smanjuje brzina protoka mješavine otpadne vode i ulja. Ovime se omogućava plivanje lakih čestica na površini, dok teže padaju i talože se na dnu separatora. Plivajući sloj ulja se odvaja ručno ili automatski pomoću "skimera" koji je postavljen na razini "linije razdvajanja" između vode i sloja ulja. Automatskim radom "skimera" upravlja plovak, baždaren na granici gustoće između vode i ulja ($0,95$ g/cm³). Plovak je opremljen zatvaračem za automatsko zatvaranje izlaza u slučaju prekoračenja predviđene debljine sloja izdvojenog ulja, čime se sprječava izlivanje ulja u ispust. Za postizanje propisane razine sadržaja mineralnog ulja (≤ 10 mg/l), obavezna je primjena koalescentnog filtera. Ovim se principom rada osigurava efikasno odvajanje i zadržavanje mineralnih ulja iz otpadnih voda [33].

Princip rada koalescentnog filtera sastoji se u sposobnosti izdvajanja sitnijih čestica ulja koje se hvataju na površini koalescentnog materijala, proces poznat kao adsorpcija. Adsorpcija je

spособnost čvrste tvari da veže molekule plina ili otopljene tvari iz otopina, stvarajući molekularni ili atomski film. Čestice ulja, priliječljene na koalescentni materijal, formiraju uljni film na površini. Kada film postigne određenu debljinu, postaje nestabilan, odvaja se od koalescentnog materijala i ispliva na površinu odvajanja u obliku veće kapljice. Ovaj postupak omogućuje dodatno pročišćavanje vode, osiguravajući da koncentracija mineralnog ulja bude unutar propisanih granica prije ispuštanja u okoliš [33].



Slika 12. Princip rada koalescentnog filtera

Izvor: SEPARATORI_LAKIH_TEKUCINA_2011_web (1).pdf

Separatori lakih ulja, osim što se dijele prema principu rada i specifikacijama, mogu se klasificirati i prema mjestu ugradnje, pružajući prilagodljivost za različite okoline. Ova podjela omogućava optimalno rješenje za sustave odvajanja lakih tekućina u različitim okolnostima. Separatori lakih ulja ugrađuju se izravno u prometnice kako bi odvojili ulja i druge tekućine iz kišnica i površinskih voda koje nastaju na cestama. Ovi separatori postavljeni su u sustav odvodnje prometnica te učinkovito sprječavaju ispuštanje ulja i drugih onečišćivača u okoliš. Separatori lakih ulja mogu se također ugrađivati u zelene površine, poput parkova ili travnatih područja. Ova lokacija omogućuje odvajanje ulja i drugih lako tekućih tvari koje se mogu pojaviti na takvim mjestima [33].

5.1.3. Tehnički filter

Skupljanje oborinske odvodnje s prometnih i manipulativnih površina je potrebno zbog tretiranja i pročišćavanja prije nego se upuste u tlo. Ovo otjecanje/ispiranje kolničkih i

manipulativnih površina može nositi štetne zagađivače, ugljikovodike, krhotine, smeće i plastiku. Mjere kontrole onečišćenja prilikom prikupljanja oborinskih voda mogu spriječiti ulazak kontaminanata u oborinske odvođe i pomoći objektima da ostanu u skladu s važećim propisima o upuštanju oborinskih voda u tlo.

Prvi korak u zaštiti od onečišćenja su mehaničke rešetke koje priječe ulazak krupnog otpada u sustav za pročišćavanje.

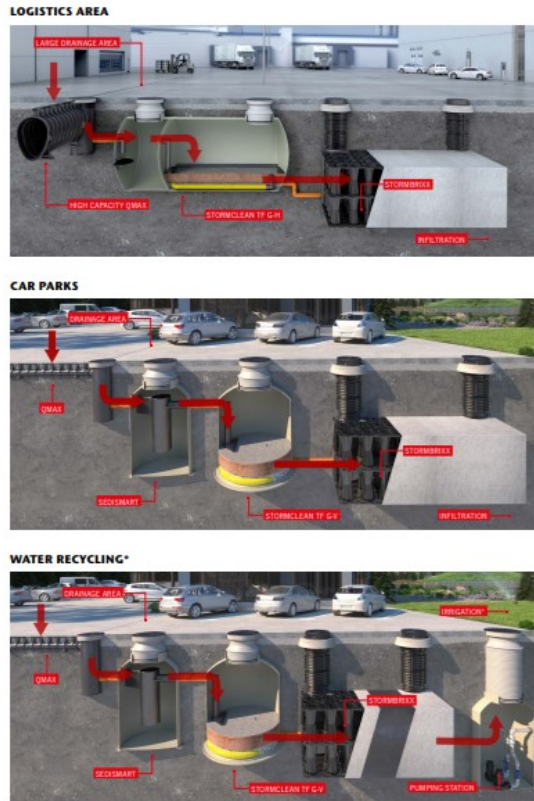
Drugi korak je odvajanje lakih tekućina, ulja i masti koji se nalaze na kolnim i manipulativnim površinama, a koje oborine speru i odvođe u sustav za pročišćavanje. U tu svrhu se koriste separatori lakih tekućina.

Treći korak je dovođenje oborine u Tehnički filter gdje se odvajaju fine i mikro čestice koje su vezane za strukturu vode odnosno koje su djelomično otopljene u vodi.

Filtiri za pročišćavanje ovakvih voda su proizvodi najbolje prakse upravljanja oborinskom vodom [30].

5.1.4. Tehnički filter ACO Stormclean TF

Urbanizacija i napredak u prometu i industriji donose sa sobom nove izazove u obliku onečišćenja, posebno teških metala koji mogu dugoročno kontaminirati tlo i podzemne vode. Kako bi se riješio ovaj problem, potrebno je osigurati učinkovito pročišćavanje kišnice s prometnih površina i metalnih krovova prije nego što ta voda završi u podzemlju. U tu svrhu, razvijeno je inovativno rješenje nazvano Stormclean TF - Tehnički filter. Stormclean TF je moderna alternativa sedimentacijskim lagunama koje često zahtijevaju puno prostora ili specifične uvjete za njihovu primjenu. Ovaj tehnički filter, zajedno s uređajima za sedimentaciju, može učinkovito ukloniti različite vrste onečišćenja poput bakra, cinka, olova i aromatskih ugljikovodika iz oborinskih voda. Koristi se načela sedimentacije, filtracije i/ili ionske izmjene kako bi osigurao adekvatno pročišćavanje prije ispusta oborinskih voda, čime se smanjuje rizik od kontaminacije podzemnih voda [34].

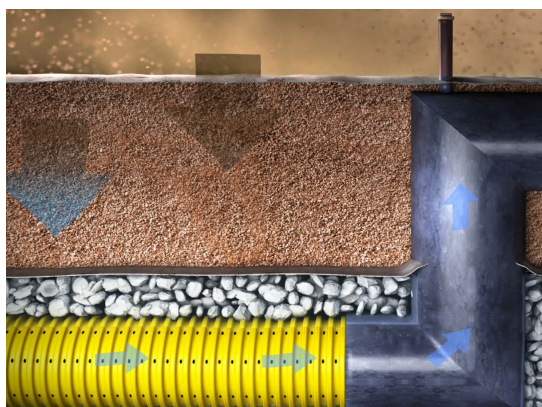


Slika 13. Primjena ACO tehničkog filtera

Izvor:

https://www.aco.hr/proizvodi/separatori/uredaji-za-sedimentaciju/tehnicki-filtar-aco-stormclean-tf?sword_list%5B0%5D=tehni%C4%8Dki&sword_list%5B1%5D=filtar&no_ca

Jedna od ključnih karakteristika Stormclean TF je upotreba specijalnog filtarskog materijala koji je već integriran u sustav, što omogućuje brzu i jednostavnu instalaciju i eliminira potrebu za dugotrajnim postavljanjem filtarske ispune. Filtarski materijal ima važnu ulogu u procesu pročišćavanja vode, posebno u filtriranju suspendiranih tvari koje su previše sitne da bi se taložile gravitacijskim putem. Stormclean TF provodi filtraciju u dva koraka: prvo, voda prolazi kroz filtarski geotekstil koji štiti glavnu filtarsku ispunu od grubih čestica, a zatim kroz visoko reaktivni filtarski materijal koji efikasno uklanja i apsorbira različite polutante iz oborinske vode, zadržavajući ih unutar tehničkog filtra [34].



Slika 14. Primjena filtarskog materijala

Izvor: ACO Stormclean TF - tehnički opis (1).docx

Tehnički filtar filtracijom iz otpadne vode izdvaja čestice manje od 63 μm koje nije moguće izdvojiti taloženjem, a koje su nositelj većine onečišćenja. Prolaskom oborinske vode kroz filtarsku ispunu testiranu prema normi ONORM B 2506-3 vrši se pročišćavanje. Stormclean TF tehnički filtar ima ispitani omjer filtarske i slivne površine 1:250 (1m² filtarske površine može zadovoljiti 250 m² slivne površine – računato za oborinski intenzitet od 240 l/s/ha).

Rezultati ispitane učinkovitosti pročišćavanja su dani u tablici ispod:

| Ispitivanje | Zahtjev prema ÖNORM B 2506-3 | Stormclean TF Rezultat ispitivanja |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Permeabilnost (propusnost) | > 0,00001 m/s | 0,006 m/s |
| Retencija suspendiranih tvari | > 80 % | 83,4 % |
| Retencija teških metala | Pb < 9 $\mu\text{g/l}$ * | < 9 $\mu\text{g/l}$ |
| | Cu > 80 % | 98,4 % |
| | Zn > 50 % | 99,9 % |
| Remobilizacija teških metala | Pb < 9 $\mu\text{g/l}$ | Pb < 9 $\mu\text{g/l}$ |
| | Cu < 50 $\mu\text{g/l}$ | < 5 $\mu\text{g/l}$ |
| | Zn < 500 $\mu\text{g/l}$ | 63 $\mu\text{g/l}$ |
| Retencija mineralnih ulja | > 95 % | > 99 % (> 0,05mg/l) |

Filtarska ispuna je ispitana i na učinkovitost sprečavanja remobilizacije teških metala (njihovog ispiranja slanom otopinom koja simulira zimske uvjete rada, kada je prometna slivna površina tretirana solima za spriječavanje smrzavanja).

Za normalnu i dugotrajnu funkciju tehničkog filtra nužan je predtretman otpadne vode, kroz taložnicu ili uređaj za sedimentaciju. Tehnički filter nije zamjena za separator lakih tekućina jer nema mehanizam za spriječavanje havarijskog izlivanja lakih tekućina te je njegov kapacitet za apsorpciju mirelanih tekućina ograničen. Očekivani radni vijek filtarske ispune je 5 god. Što, ovisno o količini sedimenta i onečišćenja, može biti kraće ili duže.

5.2. Objekti za preradu fekalnih voda

Postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda su ključni dio infrastrukture koja omogućuje efikasno upravljanje otpadnim vodama, bilo da se radi o individualnim kućanstvima ili velikim komercijalnim objektima. Mogućnost posjedovanja vlastitog postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda pruža korisnicima mogućnost da smanje svoj utjecaj na okoliš i da obrade otpadne vode na licu mjesta prije ispuštanja u okoliš. Ova postrojenja su raznolika i mogu se prilagoditi različitim potrebama, od malih jedinica za kućanstva do velikih sustava za komercijalne objekte. Sve varijante postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda djeluju na sličan način, stvarajući okruženje u kojem korisne bakterije razgrađuju otpadne tvari. Ovo okruženje omogućuje biološku obradu otpadnih voda, što rezultira smanjenjem štetnih tvari i poboljšanjem kvalitete vode koja se ispušta u okoliš. Jedna od glavnih prednosti postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda je pristupačnost i čistoća obrade. Također, ova postrojenja pružaju mogućnost da se kanalizacija tretira prema visokim standardima, minimalizirajući negativni utjecaj na okoliš [35].

Ipak, postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda imaju i svoje nedostatke. Ona zahtijevaju opskrbu električnom energijom i redovito održavanje kako bi se osigurala njihova efikasnost. Također, iako se volumen čvrstih tvari značajno smanjuje tijekom procesa obrade, još uvijek će biti potrebno uklanjanje i odlaganje tih tvari. Održavanje postrojenja za pročišćavanje

otpadnih voda zahtijeva više pažnje i truda u usporedbi s tradicionalnim septičkim jamama ili sustavima za obradu otpadnih voda. Budući da imaju više pokretnih dijelova, sklonija su habanju te će zahtijevati redovito održavanje kako bi se osigurala njihova dugotrajna funkcionalnost. Shema postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda pod zemljom pruža korisnicima mogućnost diskretne instalacije i integracije s okolinom, čime se minimalizira vizualni utjecaj na okoliš [35].



Slika 15. Postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda

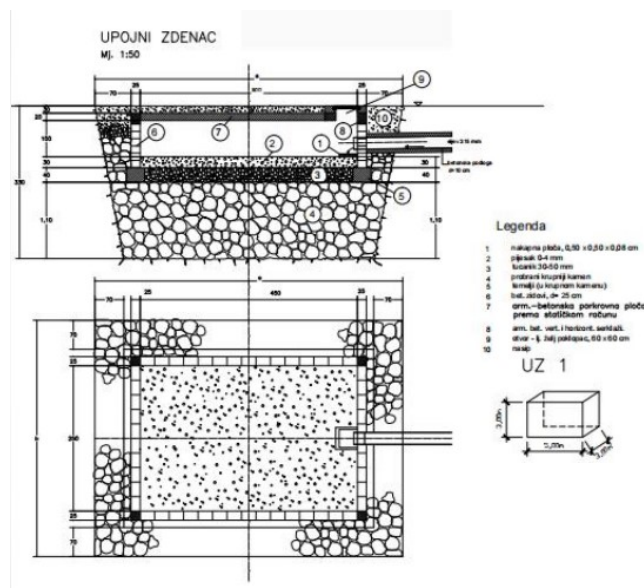
Izvor: <https://www.drainagesuperstore.co.uk/help-and-advice/product-guides/sewage-treatment/sewage-treatment-plants-buyers-guide/>

6. TIPOVI INFILTRACIJSKIH GRAĐEVINA

Infiltracijske građevine igraju ključnu ulogu u upravljanju vodnim resursima, posebno u područjima gdje je potrebno kontrolirati površinsko otjecanje i povećati količinu vode koja se infiltrira u podzemne slojeve. Postoji nekoliko tipova infiltracijskih građevina, od kojih svaka ima specifične karakteristike i primjene. Sve ove građevine imaju svoje specifične prednosti i primjene, te se često koriste u kombinaciji kako bi se postigla što učinkovitija infiltracija vode. Pravilno dizajnirane i održavane infiltracijske građevine mogu značajno doprinijeti smanjenju rizika od poplava, obnovi podzemnih voda i očuvanju okoliša.

6.1. Upojni bunari

Upojni bunari za oborinsku odvodnju predstavljaju građevine namijenjene prihvatu oborinske vode i njezinom odvođenju u tlo putem infiltracije. Ova metoda odvodnje ima prednosti, budući da ne uključuje tvari koje bi mogle prouzročiti zasićenje tla, zatvaranje pora i trajno zagušenje. Kapacitet upojnih bunara postaje ključan, posebice tijekom velikih ili izdašnih oborina, gdje je akumulacijski prostor jame od iznimne važnosti.



Slika 16. Upojni bunar- način projektiranja

Osnovni parametar koji definira učinkovitost upojnih bunara je propusnost tla, a njihovo dimenzioniranje može se, između ostalih metoda, provesti prema Pönningerovoj metodi. Akumulacijski prostor pruža posljednju mogućnost za odvod čišćene ili oborinske vode s površine, posebice kada nema dostupnih vodotokova. Što se tiče održavanja upojnih bunara, preporučuje se najmanje dvaput godišnje provoditi čišćenje. Pojava vode na površini označava potrebu za čišćenjem, uključujući zamjenu ili pranje pijeska. Stvrđnjavanje i formiranje pokorice na površini ukazuje na potrebu rahljenja kako bi se poboljšala sposobnost upijanja. Nakon višegodišnjeg korištenja, pijesak se mora zamijeniti, a u slučaju zagušenja pora u tlu, preporučljivo je izgraditi novu upojnicu za optimalno funkcioniranje sustava [33].

6.2. Upojni iglu

Upojni iglu je inovativno rješenje za uklanjanje lokvi vode nakon oborina. Njegova funkcija je osigurati čistu i urednu površinu, sprječavajući štetu na okolnim objektima, a izrađen od ekološki prihvatljivog polietilena.

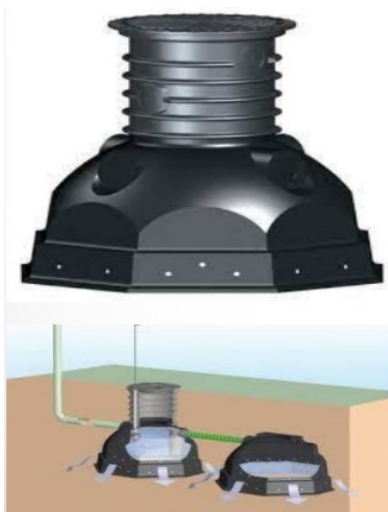
Tipski iglu može imati sljedeće karakteristike:

- 1) volumen od 900 litara,
- 2) duljina 1537mm,
- 3) širine 814mm.

Sastoji se od dva priključka DN 110 za dovod i spajanje na sljedeći iglu, težak je oko 30 kg.

Osim što je ekonomičan izbor za male i velike sustave, iglu ima niz prednosti. Jedan iglu može zadržati do 900 litara vode, zamjenjujući tako oko 4 tone šljunka koji se koristi kod tradicionalnih bunara. Njegova kompaktna izvedba omogućuje uštedu prostora, a veliki kapacitet upijanja i ispuštanja vode osigurava brzu obradu oborinskih voda. Nadalje, iglu se može nadograditi po potrebi, a njegov transport je jednostavan. Važan savjet je predviđanje predfiltara kod sistema iglua Standard, kako bi se spriječilo nakupljanje grubih nečistoća u bunaru. Međutim, ako se iglu spaja na preljev podzemnih rezervoara, filter nije potreban. Broj potrebnih iglua određuje se na temelju površine koja se priključuje, sposobnosti upijanja tla i

prosječne količine padalina. Norme DIN 1986-100 i ATV-A138 pružaju smjernice za određivanje broja iglua, dok se detaljni izračun može izraditi prema specifičnim potrebama korisnika [37].



Slika 17. Presijek upojnog iglua

Izvor: <https://otpadne-vode.com.hr/sustavi-za-odvodnju/upojni-iglua/>

6.3. Upojni tuneli

Upojni tuneli predstavljaju praktično i ekonomično rješenje za uklanjanje viška vode na privatnim posjedima i ruralnim područjima. Sastavljeni od jednog ili više tunela i zaključnih ploča, ovi sustavi omogućuju postavljanje u više linija, prilagođavajući se potrebama terena. Njihova lagana težina od samo 11 kg olakšava manipulaciju, dok vozna površina iznad tunela omogućuje pristup kamionima, proširujući mogućnosti korištenja terena. Upojni tuneli su izdržljivi, sposobni trajno podnijeti opterećenje od 59 kN/m², pružajući dugotrajnu funkcionalnost [38].



Slika 18. Presijek upojnog tunela

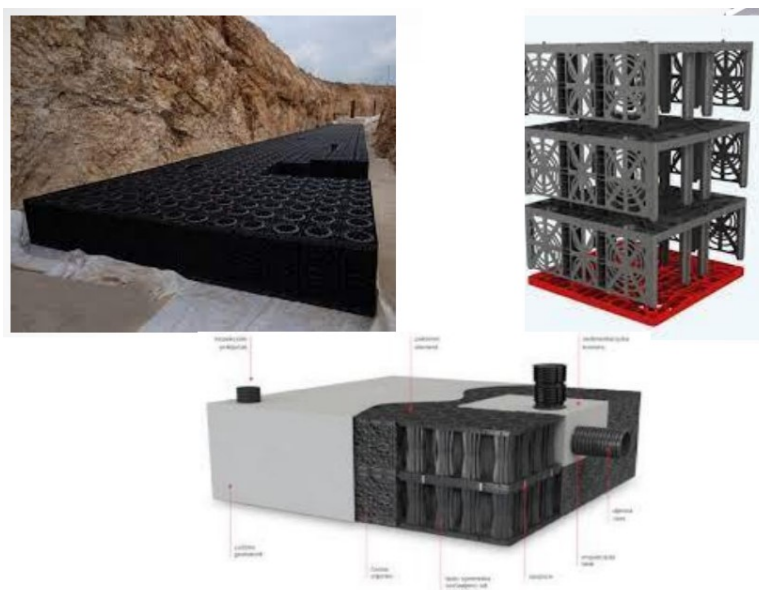
Izvor: <https://otpadnevide-kisnica.com.hr/upojni-elementi/>

6.4. Upojna polja

Sustavi za infiltraciju, retenciju i akumulaciju postaju sve važniji dio gospodarenja vodom, budući da voda postaje ključni prirodni i strateški resurs. S rastućom sviješću o potrebi zaštite i očuvanja vode, posebice s obzirom na sve rjeđe oborine i povećanje njihovih intenziteta, javlja se potreba za novim pristupima u upravljanju oborinskim vodama. Postojeći sustavi često nisu kapacitirani za prihvat većih količina oborinskih voda u kratkim vremenskim intervalima. To dovodi do preopterećenosti postojećih sustava, a izgradnjom se smanjuju porozne površine koje omogućavaju odvod vode u tlo. Velike količine vode nerijetko se odvođe na pročištače, što se smatra bespotrebno. U skladu s tim, novi trend u gospodarenju oborinskim vodama fokusira se na zadržavanje i infiltraciju oborina u zemlji, što doprinosi očuvanju vode za buduće generacije. Ovi sustavi omogućavaju bolju kontrolu i upravljanje oborinskom vodom, smanjujući pritisak na postojeće sustave, očuvavajući prirodne resurse i pridonoseći održivom gospodarenju vodom [33].

Sustavi za infiltraciju, retenciju i akumulaciju oborinske vode postaju ključni elementi u održivom gospodarenju vodom. Njihova važnost proizlazi iz činjenice da se voda sve više prepoznaje kao vitalni prirodni resurs te se javlja potreba za njegovom zaštitom i očuvanjem. Uz sve manje učestale oborine, ali i veće intenzitete istih, postojeći sustavi često nisu dovoljno

opremljeni za prihvatanje značajnih količina oborinskih voda u kratkim vremenskim intervalima. Ova nesrazmjernost dovodi do preopterećenosti postojećih sustava odvodnje i gubitka poroznih površina za odvod vode u tlo. Sustavi za infiltraciju, retenciju i akumulaciju omogućuju različite pristupe upravljanju oborinskom vodom. Infiltracija direktno u tlo potiče prirodne procese apsorpcije, dok zadržavanje oborinske vode može rezultirati njenim polaganim otpuštanjem u kanalizaciju ili njezinom akumulacijom za buduću upotrebu, poput navodnjavanja ili protupožarne zaštite [33].

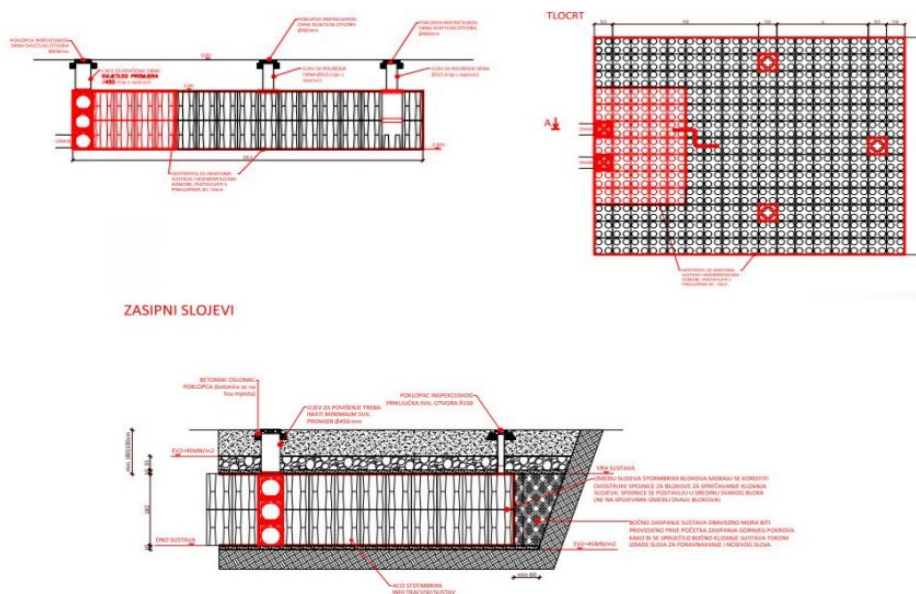


Slika 19. Način funkcioniranja upojnih polja

Izvor: <https://www.aco.hr/proizvodi/blokovi-za-infiltraciju-i-retenciju/stormbrixx-sd-hd>

Upojna polja, kao ključni elementi ovih sustava, nude brojne prednosti. Njihova mehanička otpornost, visok iskoristiv volumen te modularni sustav za laku montažu čine ih izuzetno praktičnima. Osim toga, ovi sustavi doprinose očuvanju prihvatljive razine podzemnih voda, prevenciji poplava i zadržavanju oborinskih voda za ponovnu upotrebu u različite ekološke svrhe. Važno je napomenuti da su materijali korišteni u tim sustavima netoksični te potpuno reciklirani, čime se dodatno pridonosi ekološkoj održivosti. Korištenje sustava za lokalnu infiltraciju predstavlja ekonomski povoljniju opciju u odnosu na tradicionalna rješenja, budući da zahtijeva manji opseg zemljanih radova, smanjene količine šljunka i betona te ukupno manji volumen materijala. Elementi sustava, s težinom od 8 kg, pružaju volumenski ekvivalent od otprilike 240 kg šljunka, uz značajno povećanu upojnost i propusnost. Infiltracija omogućava uštedu i primjenjiva je u područjima gdje lokalno rješavanje odvodnje

ima prednost, a visina od samo 300 mm čini ga prikladnim i za područja s visokom podzemnom vodom. Ovaj sustav, za razliku od tradicionalnih rješenja poput upojnih građevina od šljunka, olakšava čišćenje i održavanje [33].



Slika 20. Projektiranje upojnih polja

Izvor: <https://www.aco.hr/proizvodi/blokovi-za-infiltraciju-i-retenciju/stormbrixx-sd-hd>






Sustavi za retenciju i akumulaciju vode također donose niz prednosti, uključujući malu težinu elemenata, jednostavnu montažu te modularnost sustava, što ih čini atraktivnijima od klasičnih rješenja. Pri planiranju infiltracijskog sustava, smjernice DWA-A138 pružaju parametre kao što su maksimalna dopuštena širina, dubina i duljina sustava, propusnost tla, maksimalne oborine te veličina i koeficijent otjecanja s različitih površina. U obzir se također moraju uzeti lokalni geološki uvjeti, osobito propusnost tla koja značajno utječe na veličinu infiltracijskog sustava. Minimalne udaljenosti od podzemne vode i građevinskih objekata, kao i smještaj sustava ispod zone smrzavanja, predstavljaju ključne faktore kako bi sustav bio učinkovit i dugovječan, a istovremeno ne uzrokuje štetu okolnom okolišu [33].

6.4.1. Retencijski blokovi od polipropilena za izradu infiltracijskih građevina

STORMBOX® blokovi su komponente infiltracijskog sustava koji, u kombinaciji s drugim elementima, omogućava formiranje podzemnog sustava, bilo da je propusnog ili nepropusnog

tipa. Modularni dizajn ovog sustava omogućava prilagodbu specifičnim zahtjevima projekta, uzimajući u obzir intenzitet predviđenog vodenog vala i svojstva tla. Primarni raspon korištenja ovog sustava obuhvaća hvatanje i apsorpiranje vode s različitih izvora, poput krovova građevina, parkirališta i drugih nepropusnih ili slabo propusnih površina. Prikupljena voda može se dalje koristiti, bilo postepenim ispuštanjem u tlo ili kanalizaciju, bilo zadržavanjem za ponovnu upotrebu. Sposobnost prilagodbe i multifunkcionalnost čine ovaj sustav fleksibilnim rješenjem u gospodarenju oborinskim vodama, pridonoseći održivom korištenju vodnih resursa. Sustav u potpunosti omogućuje recikliranje, budući da su blokovi izrađeni od polipropilena s nizom karakteristika koje doprinose održivosti [34].

Polipropilen, kao termoplastični materijal, izdvaja se svojim širokim i povoljnim svojstvima, pružajući veliku fleksibilnost i čvrstoću. Ovaj materijal otporan je na udarce i velike deformacije, što ga čini izdržljivim u različitim uvjetima. Polipropilen pokazuje otpornost na djelovanje različitih tvari koje se obično nalaze u tlu i sustavima odvodnje, ali nije otporan na duže izlaganje određenim naftnim derivatima i koncentriranim otopinama koje sadrže klor. Važno je napomenuti da je polipropilen netoksičan i ne sadrži štetne aditive. U slučaju izgaranja ili razgradnje, ne pridonosi onečišćenju podzemne vode ili zraka, čime se očuva okoliš. Sustav, koristeći ovaj materijal, ne samo da pruža učinkovito rješenje za gospodarenje otpadom, već i doprinosi ekološkoj održivosti [34].

| | | | |
|-----------------------------|--|---|--|
| Naziv | STORMBOX® - blok  | Podna ploča  | Spojni klip  |
| Dimenzije [mm] | 1200 x 600 x 300 (duljina x širina x visina) | 1200 x 600 x 20 (duljina x širina x visina) | 36,5 x 21,5 (duljina x širina) |
| Težina [kg] | 8 | 1,7 | 0,01 |
| Materijal i boja | Polipropilen, zelena RAL 6024 | | |
| Volumen/Zapremina | 216/206 litara | | |
| Iskoristivost volumena | >95,5% | | |
| Ulazni otvori | horizontalni ulazi  | vertikalni ulazi  | |
| Značajke | Otpornost na koroziju, agresivna tla, kisele kiše i elektrokemijsku koroziju. Glatke stijenke imaju minimalnu prionjivost, te zbog toga ima tendenciju stvaranja taloga i naslaga. | | |
| Dodatni materijali | Geotekstil (koristi se kod infiltracijskih sustava) Geomembrane (koriste se kod retencijskih ili akumulacijskih sustava) | | |
| Životni vijek | min. 50 godina | | |
| Nosivost bloka (vertikalna) | 400 [kN/m ²] | | |

Slika 21. Tehničke informacije i karakteristike

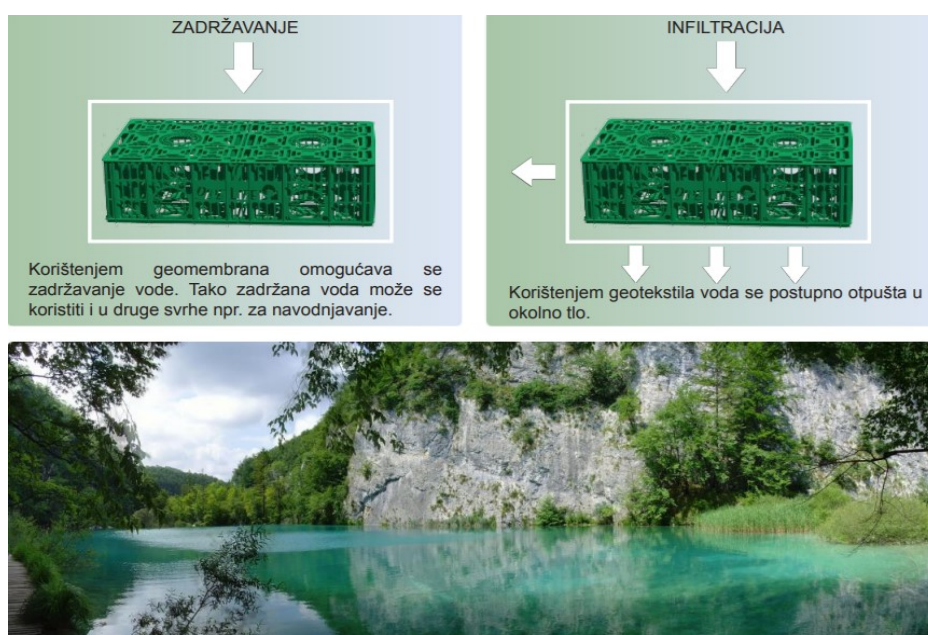
Izvor:

<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pipelife.hr/content/dam/pipelife/croatia/marketing/branding/dokumenti/katalozi/niskogradnja/upravljanje-oborinama/stormbox1-katalog.pdf>

Pri transportu i skladištenju komponenti sustava STORMBOX®, izbjegava se preveliko opterećenje, pri čemu je dozvoljeno skladištenje do visine od 2,5 metara. Prilikom rukovanja i montaže, blokovi se ne smiju vući preko oštrog šljunka, a oštri predmeti smiju lokalno opteretiti blokove samo na ojačanim rebrima. Preporučuje se skladištenje komponenata na područjima bez izravnog utjecaja sunca, a u slučaju skladištenja na otvorenom duže od dva mjeseca, preporučuje se zaštita od direktnog utjecaja sunca, na primjer crnom folijom [34].

Potrebno je osigurati da komponente budu zaštićene od kontakta s otapalima i izravnog

djelovanja izvora topline. STORMBOX® sustav nudi brojne prednosti korisnicima. Njegovo korištenje za lokalnu infiltraciju znatno je jeftinije od uobičajenih rješenja, budući da zahtijeva manji opseg zemljanih radova, manje količine šljunka i betona, te smanjen ukupni volumen. Blok STORMBOX® težak 8 kg ima volumenski ekvivalent od oko 240 kg šljunka, pružajući znatno veću upojnost i propusnost. Visina od samo 300 mm čini STORMBOX® pogodnim za ugradnju čak i u područjima s visokom podzemnom vodom. U usporedbi s tradicionalnim upojnim građevinama od šljunka, STORMBOX® se lako čisti i održava. Kod sustava za retenciju i akumulaciju vode, STORMBOX® se ističe po maloj težini, jednostavnoj montaži, modularnosti i brzom izgradnji, pružajući prednost u odnosu na klasična rješenja [34].



Slika 22. Korištenje Stormbox-a

Izvor:

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.pipelife.hr/content/dam/pipelife/croatia/marketing/branding/dokumenti/katalozi/niskogradnja/upravljanje-oborinama/stormbox1-katalog.pdf

Upute za projektiranje, proračune i montažu sustava STORMBOX® obuhvaćaju nekoliko ključnih aspekata. Kada je riječ o proračunu kapaciteta, na raspolaganju je program nazvan "Infiltracijski program Stormbox" koji koristi maksimalne gabarite projekta, podatke za

oborine, karakteristike tla i, na temelju tih informacija, proračunava potrebni volumen sustava u najjeftinijoj varijanti. Smjernice DWA-A138 koriste se za projektiranje, izgradnju i funkcioniranje opreme za infiltraciju. Parametri koji utječu na volumen sustava obuhvaćaju parametre projekta, propusnost tla, maksimalne oborine i veličinu te koeficijent otjecanja s površina. Rezultat proračuna daje optimalan odabir projektnih karakteristika, broja blokova, temeljnih ploča, volumena, vremena pražnjenja i ukupnog dotoka, uz uvažavanje troškova. Pri planiranju lokacije ugradnje sustava, važno je uzeti u obzir lokalne geološke uvjete, osobito propusnost tla koja značajno utječe na veličinu infiltracijskog sustava [34].



Slika 23. Proces montaže sustava Stormbox-a

Izvor:

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.pipelife.hr/content/dam/pipelife/croatia/marketing/branding/dokumenti/katalozi/niskogradnja/upravljanje-oborinama/stormbox1-katalog.pdf

Minimalna udaljenost od dna sustava do maksimalnog nivoa podzemnih voda prema HRN EN

12566-2 iznosi 1 metar. Također je bitno osigurati da nema slojeva ekološki štetnih materijala poput otpada i odlagališta kroz koje bi se filtrirala voda do vodonosnika. Udaljenost sustava od objekta mora se paziti kako ne bi nanosila štetu građevini, a minimalna udaljenost ovisi o karakteristikama terena i konkretnih uvjeta. Montaža sustava STORMBOX® odvija se na ravnim površinama odgovarajućeg materijala, poput šljunka ili grubog pijeska, a preporuča se postavljanje geotekstila na dno. Sustav se montira blok po blok, uz korištenje spojnih klipova za učvršćivanje. Za priključke cijevi potrebno je odstraniti plastiku na predviđenim mjestima ulaza cijevi. Dodatna čvrstoća i nepropusnost sloja postiže se urezivanjem geotekstila i cijevi kroz pripremljene prolaze u bloku. Preporučena duljina ulaza cijevi iznosi minimalno 20 cm [34].

Stormbox predstavlja srce sustava upravljanja oborinskim vodama. Sastoji se od laganih, ali čvrstih plastičnih sanduka, koji su sposobni za skladištenje ili infiltraciju vode, ovisno o potrebama. Modularni sustav omogućuje lako slaganje sanduka kako bi se postigle potrebne dimenzije. Za različite primjene, Stormboxovi se mogu obaviti folijom za skladištenje vode ili geotekstilom za polaganu infiltraciju vode u tlo. Postoje dvije varijante Stormboxova: Stormbox I i Stormbox II. Stormbox I idealan je za manje projekte, gdje su kutije spojene spojnicama. Stormbox II predstavlja najnoviji razvoj, prilagođen za veće projekte s većim kapacitetom. Ovaj model može podnijeti veće težine i povezan je sa sustavom push-fit, bez potrebe za kopčama [34].



Slika 24. Pipelife

Izvor: <https://www.pipelife.ba/niskogradnja/raineo/stormbox.html>

ACO StormBrixx je jedinstveni i patentirani plastični geoćelijski sustav za upravljanje oborinskim vodama, posebno dizajniran za prigušivanje i infiltraciju. Njegov svestrani dizajn omogućuje njegovu upotrebu u različitim konfiguracijama i primjenama u svim građevinskim okruženjima, bilo kao samostalno rješenje ili kao dio integrirane sheme održive urbane odvodnje (SuDS).

Jedna od ključnih značajki ovog je patentirani sustav spajanja i unakrsnih spojeva, koji osigurava čvrstu i dugotrajnu instalaciju. Osim toga, ovaj sustav pomaže ubrzati proces izgradnje spremnika. Raspon ACO StormBrixxa uključuje StormBrixx SD (standardni radni) i StormBrixx HD (teški radni) sustave za upravljanje oborinskim vodama.



Slika 25. ACO StormBrixx

Izvor: <https://www.aco.co.uk/products/stormbrixx>

6.5. Tehnološki napredni sustavi za infiltraciju

Pojava nanotehnologije donijela je nova i uzbudljiva dostignuća u ovo područje, utirući put učinkovitijim i učinkovitijim sustavima skupljanja kišnice. Skupljanje kišnice prakticira se stoljećima, ali nedavni razvoj nanotehnologije donio je revoluciju u ovu staru tehniku. Nanotehnologija uključuje manipuliranje materijom na razini nanoskala, obično uključujući čestice manje od 100 nanometara. Iskorištavanjem jedinstvenih svojstava nanomaterijala, znanstvenici i inženjeri sada mogu poboljšati učinkovitost i performanse sustava za skupljanje kišnice. Nanotehnološka rješenja za prikupljanje kišnice nude mnoštvo prednosti u odnosu na tradicionalne metode, što ih čini privlačnom opcijom za regije s nedostatkom vode [35]:

- Povećana učinkovitost prikupljanja vode: nanotehnologija omogućuje razvoj naprednih sustava filtracije koji učinkovito hvataju i pohranjuju kišnicu, čak i u područjima s niskom količinom oborina.
 - Poboljšano pročišćavanje vode: nanomaterijali mogu ukloniti nečistoće i zagađivače iz skupljene kišnice, osiguravajući čistu i sigurnu opskrbu vodom.
 - Smanjena ovisnost o tradicionalnim izvorima vode: sakupljanjem i korištenjem kišnice zajednice mogu smanjiti svoje oslanjanje na opskrbu vodom u općinama, smanjujući teret postojeće infrastrukture.
 - Održivo i ekološki prihvatljivo: sakupljanje kišnice je održiva tehnika upravljanja vodom koja smanjuje pritisak na slatkovodne resurse i pomaže u ublažavanju učinaka urbanizacije.
- Istraživači i tvrtke neprestano pomiču granice nanotehnologije prikupljanja kišnice kako bi razvili još učinkovitije sustave. Jedan od izazova sa sustavima za prikupljanje kišnice je nakupljanje prljavštine, krhotina i bioloških kontaminanata na površinama za prikupljanje. Nanomaterijali koji se sami čiste, kao što su superhidrofobni premazi, sprječavaju lijepljenje ovih zagađivača, osiguravajući bolju kvalitetu vode i smanjujući zahtjeve za održavanjem sustava. Senzori temeljeni na nanotehnologiji igraju ključnu ulogu u optimizaciji sustava prikupljanja kišnice. Ovi senzori mogu pratiti kvalitetu vode, kapacitet skladištenja i performanse sustava u stvarnom vremenu, omogućujući pravovremeno održavanje i prilagodbe kako bi se osigurao učinkovit rad. Uključivanjem fotokatalitičkih nanomaterijala u proces filtracije, kontaminanti u sakupljenoj kišnici mogu se razgraditi i uništiti, dodatno

poboljšavajući pročišćavanje vode. Ovi nanomaterijali koriste svjetlosnu energiju za pokretanje kemijskih reakcija koje uklanjaju štetne zagađivače [35].

6.6. Tehničko rješenje koje se tiče dobrog premošćivanja

Kako voda postaje rijedak i dragocjen resurs, sakupljanje kišnice je dobilo značajnu pozornost. Uključuje prikupljanje i skladištenje kišnice za kasniju upotrebu, smanjujući ovisnost o tradicionalnim izvorima vode i minimizirajući opterećenje postojeće infrastrukture. Softver i analitika za skupljanje kišnice igraju ključnu ulogu u ovom procesu nudeći niz prednosti [35]:

- Praćenje u stvarnom vremenu: softver za sakupljanje kišnice omogućuje praćenje uzoraka oborina i razine skladištenja vode u stvarnom vremenu. Uz točne podatke pri ruci, korisnici mogu donositi informirane odluke o korištenju i očuvanju vode.
- Optimalan dizajn sustava: analitički alati pružaju dragocjene uvide u performanse sustava za skupljanje kišnice. Analizom podataka o kvaliteti vode, kapacitetu skladištenja i distribuciji, korisnici mogu optimizirati svoje sustave za maksimalnu učinkovitost.
- Kontrola kvalitete vode: softver za skupljanje kišnice omogućuje kontinuirano praćenje parametara kvalitete vode kao što su pH razine, zamućenost i kemijski sastav. Time se osigurava da prikupljena kišnica zadovoljava potrebne standarde za različite primjene.
- Poboljšano upravljanje vodnim resursima: napredni analitički alati mogu se integrirati s drugim sustavima kao što su vremenska prognoza i IoT senzori kako bi se pružila holistička rješenja za upravljanje vodnim resursima. Ova integracija omogućuje korisnicima učinkovito korištenje kišnice, smanjujući rasipanje vode.
- Ekološke i financijske koristi: softver i analitika za prikupljanje kišnice pridonose naporima za održivost smanjenjem potražnje za vodom i opterećenja postrojenja za pročišćavanje vode. To zauzvrat dovodi do financijskih ušteda i smanjenja utjecaja na okoliš.

7. TEHNIČKO RJEŠENJE OBRADU VODE SA MANIPULATIVNE POVRŠINE I INFILTRACIJE U PODZEMNE TOKOVE

7.1. Interna prometnica u privatnom vlasništvu u III zoni zaštite.

Promotrit ćemo jedan primjer interne prometnice gdje je potrebno tehnički riješiti obradu oborinske vode s manipulativne površine.

Projektom zadatkom je zadano da se izradi tehničko rješenje u kojemu je jedino moguće rješenje infiltracija u tlo. Radi se o ravničarskom dijelu bez izvedenih jaraka za oborinsku odvodnju i bez izvedenog razdjelnog sustava u kojemu bi se oborinska odvodnja kanalizirala i odvela u recipijent (prihvatnik).

Na situacijskom prikazu (sl. 22) je tlocrtno prikazano rješenje sa elementima sustava za obradu i infiltraciju.

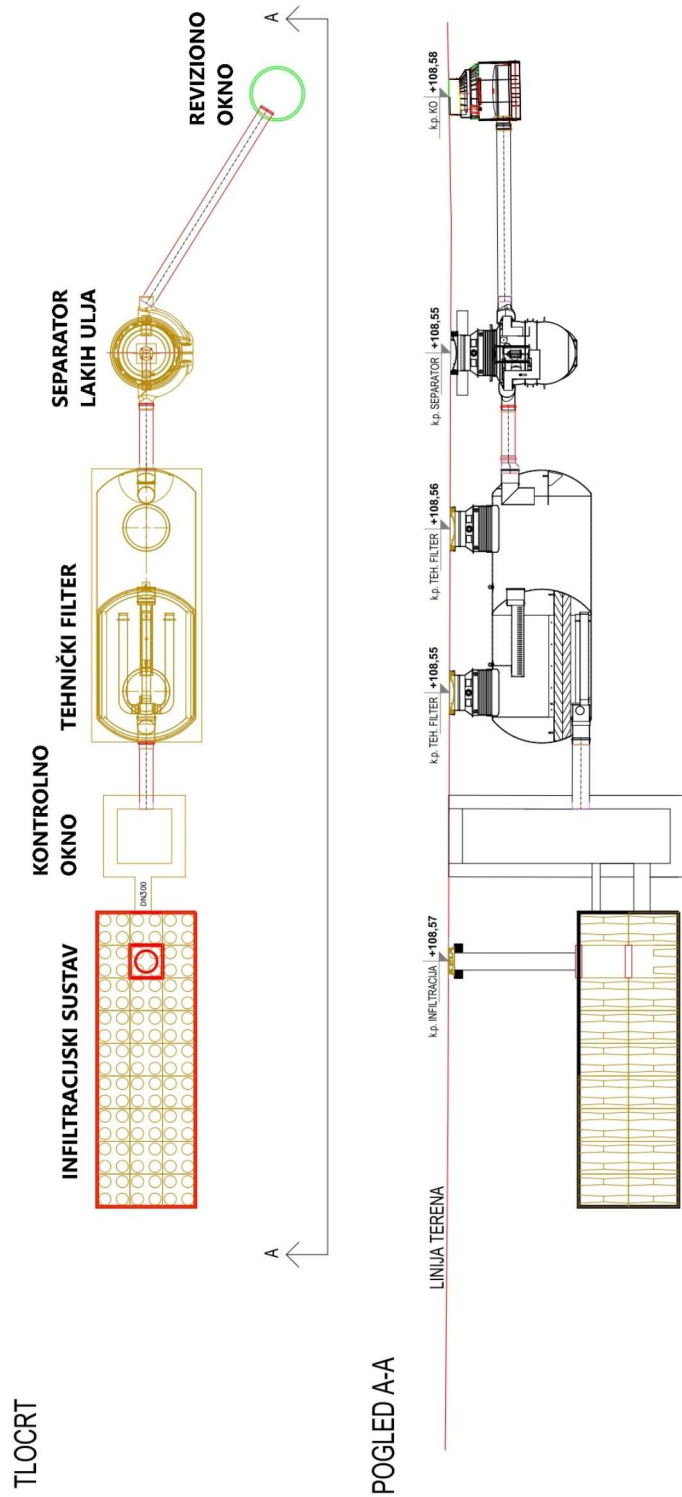
Na završetku cjevovoda je projektirano kontrolno okno čija svrha je prihvat svih cjevovoda koji skupljaju vodu s manipulativnih površina.

U nastavku se nalazi separator lakih ulja koji odvaja plivajuće čestice ulja i naftnih derivata koje oborine donesu sa sobom dok se slijevaju niz prometne površine.

Iza separatora se ugrađuje tehnički filter koji ima mogućnost odvajanja otopljenih tvari u vodi kao što su teški metali i sl.

Posljednji u nizu od elemenata za obradu i infiltraciju je sustav za retenciju i infiltraciju obrađene oborinske vode.

Svi navedeni dijelovi sustava su prethodno opisani i obrađeni u tekstu.

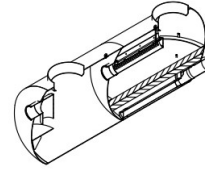
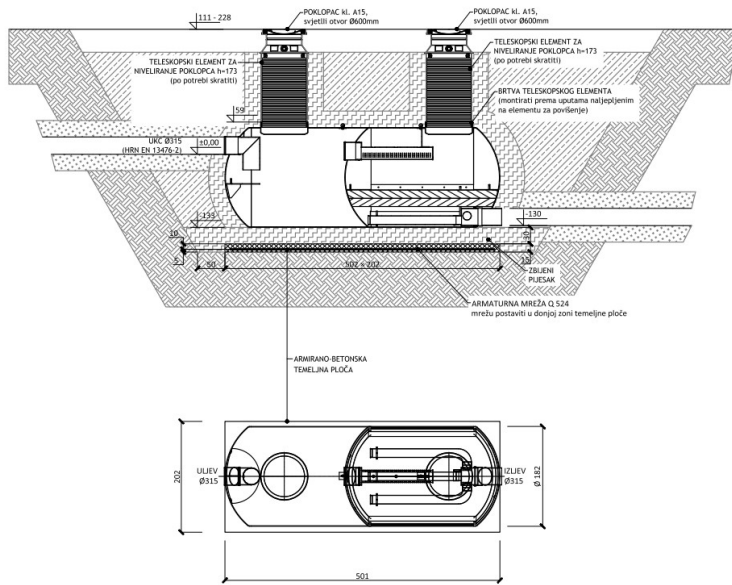


Slika 27. Shematski prikaz i uzdužni presjek sustava za obradu i infiltraciju vode - tehničko rješenje

**TEHNIČKI FILTAR
ACO STORMCLEAN TF 1300**

Sve mjere prekontrolirati u naravi (na gradilištu) prije same montaže separatora.

ZA DUBINU ULJEVNE CJEVI T = 111 - 228cm



LEGENDA:

- NEKVALIFIKIRANA ZATVORENA PLOČA - SKALU TLO**
- SUVAK ZA ZAPRANJE SEPARATORA**
KORISTITI SUVAKE FRAKCIJE > 8 mm. ZBIVANJE VRSITI IZOLACIJOM LAKIM UREDJAJIMA ZA ZBIVANJE (VIBROPLOČAMA, ŽABAKA...), PRI ZBIVANJU TREBA PAŽITI DA OPIŠIMA ZA ZBIVANJE NE OŠTETI SEPARATOR.
- SUVAK ZA ZAPRANJE OŠETNI**
KORISTITI SUVAKE FRAKCIJE > 16 mm. ZBIVATI U SLOJEVIMA DEBLJINE OD 40cm. ZBIVANJE VRSITI DALJOKUČNO LAKIM UREDJAJIMA ZA ZBIVANJE (VIBROPLOČAMA, ŽABAKA...)
- ARMIRANO BETONSKA NOSIVA PLOČA**
IZ BETONA C42/50. ARMIRATI PREMA LUPITAMA PROJEKTOVAČA Ili PROJEKCIJU STATIČARA.
- IZOLACIJA (SIVI VEŠENJE, SASITAK I NAČIN PRIPREME ZAVRŠNOG SLOJA PREMA PROJEKTU (JASFALT, OPLUČENJE, ZELENA POKV...))**
- PUNJAK ZA ZAPRANJE CIELOKUPNE**
KORISTITI ZAPRANJE MATERIJAL PREMA PROJEKCIJOM ODTALUJ POLAGANJA CIELOKUPNE.

Istovar i montažu separatora obavljati dizalicom prikladne nosivosti (ili drugim uređajem za manipulaciju teretima prikladne nosivosti).

Nakon montaže separatora izvaditi kaalescentni uložak i pločak te ih spremili na sigurno, a unutrašnjost separatora zaštititi od ispuštanja nečistoća, smeća, građevnog otpada i sl.

TOKOM PUNJENJA SEPARATORA VODOM PLOVAK TREBA IZVUĆI NA POUVRŠNU VODE JER ĆE U PROTIVNOM ISPUSTI IZ SEPARATORA OSTATI ZAČEPLJENI!

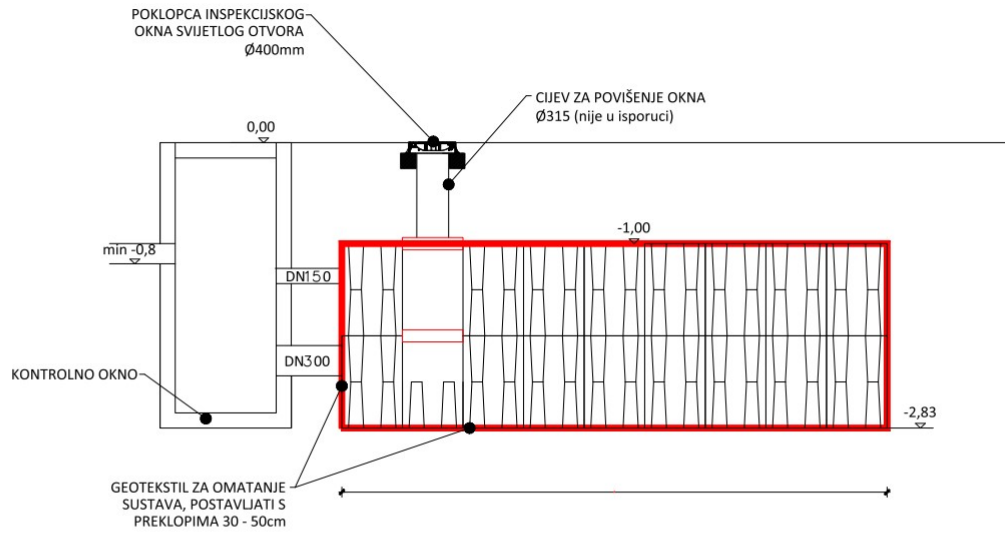
Tokom montaže, prije puštanja u pogon i za vrijeme korišćenja u separatoru i taložnici se ne smiju koristiti oštri predmeti koji mogu oštetiti elemente separatora.

Separator je stavljen u pogon kada se napuni čistom vodom!

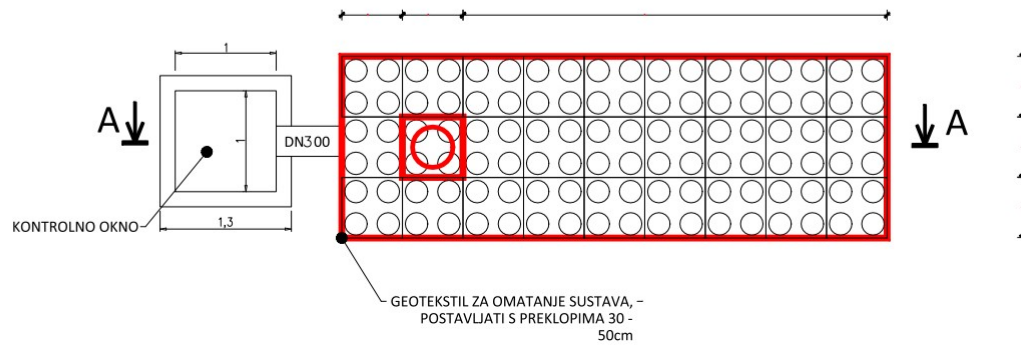
VODONEPROPUSNOST SEPARATORA I TALOŽNICE SE POTVRBUJE ISPITIVANJEM PO ZAVRŠETKU MONTAŽE I NIJE UKLJUČENA U OBIM ACO ISPORUKE (ISPITIVANJE JE POTREBNO IZVESTI U SKLOPU ISPITIVANJA VODONEPROPUSNOSTI CIELOKUPNE INSTALACIJE!)

Slika 28. Detalji tehničkog filtera

PRESJEK A-A



TLOCRT



Slika 29. Detalji izrade ugradnje infiltracijske građevine

8. ZAKLJUČAK

Implementacija infiltracijskih građevina u vodozaštićenim područjima predstavlja kompleksan proces koji uključuje niz koraka, strategija i suradnju različitih dionika. Ova infrastrukturna rješenja, ne samo da pridonose očuvanju kvalitete podzemnih voda, već i pružaju održivo rješenje za upravljanje oborinskim vodama. Jedna od ključnih prednosti infiltracije u vodozaštićenim područjima je sposobnost prirodne filtracije vode kroz tlo. Postupak infiltracije omogućava uklanjanje nečistoća i onečišćenja iz oborinskih voda prije nego što dosegne podzemne vode. To direktno doprinosi očuvanju visoke kvalitete vode koja čini ključni resurs u vodozaštićenim područjima.

Smanjenje površinskog otjecanja vode je još jedna značajna prednost infiltracijskih sustava. Umjesto da oborinske vode završe u urbanim odvodnim sustavima, gdje mogu nositi sa sobom onečišćenja i kemikalije, infiltracija omogućava da se voda apsorbira u tlo. Ovaj proces smanjuje rizik od poplava i erozije, čime se štite ekosustavi i infrastrukturni objekti. Pored toga, infiltracija podržava lokalne zajednice kroz očuvanje vodnih resursa. Održivo korištenje oborinskih voda za navodnjavanje, punjenje podzemnih rezervoara ili druge svrhe pridonosi ravnoteži vodnih ekosustava. Također, infrastrukturna rješenja koja se temelje na infiltraciji često stvaraju zelene površine i poboljšavaju urbanu estetiku, čineći gradove ugodnijima za život.

Unatoč brojnim prednostima, postoje i izazovi u implementaciji infiltracijskih sustava. Selekcija odgovarajućih lokacija za ove građevine zahtijeva temeljito istraživanje i poznavanje geoloških i hidrogeoloških uvjeta. Edukacija lokalnih zajednica o važnosti očuvanja voda i pravilnom održavanju sustava također je ključna. Praćenje kvalitete vode i održavanje sustava od vitalnog su značaja kako bi se osiguralo dugoročno funkcioniranje infiltracijskih građevina. U konačnici, uspješna implementacija infiltracijskih građevina u vodozaštićenim područjima, zahtijeva integrirani pristup, suradnju stručnjaka, vodnih agencija i lokalnih vlasti, te podršku zajednice. Investicije, u ove održive tehnologije, ključne su za dugoročno očuvanje voda i stvaranje otpornijih i održivijih urbanih sredina.

LITERATURA

1. Reli, Siti & Mohamad Yusoff, Izham & Lateh, Habibah & Ujang, Uznir. (2016). A Review of Infiltration Excess Overland Flow (IEOF): Terms, Models and Environmental Impact. *JOURNAL OF ADVANCES IN HUMANITIES*. 4. 490-502. 10.24297/jah.v4i2.5098.
2. Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 8: Bioretention Version 1.8. 2010.
3. Campbell, G. S.: Soil physics with BASIC: transport models for soil-plant systems, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands, 1985.
4. Hillel, D.: Introduction to environmental soil physics, Academic press, Massachusetts, USA, 2013.
5. Lal, R. and Shukla, M. K.: Principles of soil physics, CRC Press, 2004.
6. Morbidelli, R., Corradini, C., Saltalippi, C., Flammini, A., and Rossi, E.: Infiltration-soil moisture redistribution under natural conditions: experimental evidence as a guideline for realizing simulation models, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 2937–2945, <https://doi.org/10.5194/hess-15-2937-2011>, 2011.
7. Lu, N., & Likos, W. J. (2004). Rate of Capillary Rise in Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(6), 646–650. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:6\(646\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:6(646))
8. Nimmo, J. R. (2004). Porosity and pore size distribution. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 295–303. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05265-9>
9. McKeague, J. a., Wang, C., & Topp, G. C. (1982). Estimating Saturated Hydraulic Conductivity from Soil Morphology¹. *Soil Science Society of America Journal*, 46(6), 1239. <http://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600060024x>
10. Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., and Fresco, L. O.: The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals, *SOIL*, 2, 111–128, <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>, 2016.
11. Sahoo, A. K., Dirmeyer, P. A., Houser, P. R., and Kafatos, M.: A study of land surface processes using land surface models over the Little River Experimental Watershed, Georgia, *J. Geophys. Res.*, 113, D20121, <https://doi.org/10.1029/2007JD009671>, 2008.

12. Angulo-Jaramillo, R., Bagarello, V., Iovino, M., and Lassabatère, L.: Infiltration Measurements for Soil Hydraulic Characterization, Springer International Publishing, New York, NY, USA, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31788-5>, 2016.
13. Rahmati, M., i sur. 2018., Development and analysis of the Soil Water Infiltration Global database, <https://essd.copernicus.org/articles/10/1238/2018/>
14. Chow, V., Maidment, D., and Mays, L.: Applied hydrology, Editions McGraw-Hill, New York, 572 pp., 1988.
15. Van Looy, K., Bouma, J., Herbst, M., Koestel, J., Minasny, B., Mishra, U., Montzka, C., Nemes, A., Pachepsky, Y., and Padarian, J.: Pedotransfer functions in Earth system science: challenges and perspectives, *Rev. Geophys.*, 55, 1199–1256, <https://doi.org/10.1002/2017RG000581>, 2017.
16. Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu, dostupno na https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf (03.06.2024.)
17. Richards, L. A.: Capillary conduction of liquids through porous mediums, *J. Appl. Phys.*, 1, 318–333, <https://doi.org/10.1063/1.1745010>, 1931.
18. Mao, L., Bralts, V. F., Pan, Y., Liu, H., and Lei, T.: Methods for measuring soil infiltration: State of the art, In. *J. Agr. Biol. Eng.*, 1, 22–30, <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2008.01.022-030>, 2008.
19. McKenzie, N., Coughlan, K., and Cresswell, H.: Soil physical measurement and interpretation for land evaluation, Csiro Publishing, Australia, 2002.
20. Gupta, R., Rudra, R., Dickinson, W., and Wall, G.: Spatial and seasonal variations in hydraulic conductivity in relation to four determination techniques, *Can. Water Resour. J.*, 19, 103–113, <https://doi.org/10.4296/cwrj1902103>, 1994.
21. Types of Water Infiltration: Surface and Subsurface Issues, <https://uretek-gulfcoast.com/types-water-infiltration-surface-subsurface-issues/>
22. Gould, J. E. (1992) “Rainwater Catchment Systems for Household Water Supply” in *Environmental Sanitation Reviews*, No. 32, ENSIC, Asian Institute of Technology, Bangkok.
23. Vranayová, Z. (2004), Využitie zrážkových vôd z povrchového odtoku - 1. časť Legislatíva a možnosti akumulácie. In: *Technické zariadenia budov*. Roč. 12, č. 6, s. 40-43.
24. Markovič, G. Zeleňáková, M. Káposztásová D. & Hudáková, G., Rainwater infiltration in the urban areas, <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/EID14/EID14027FU1.pdf>

25. UNEP (1982) Rain and Storm water Harvesting in Rural Areas, Tycooly International Publishing Ltd., Dublin.
26. UNEP (1997) Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Some Countries in Asia, UNEP, Unit of Sustainable Development and Environment General Secretariat, Organisation of American States, Washington, D.C.
27. WaterAid, Technical Brief: Rainwater Harvesting, no date
28. UNEP and SEI (Stockholm Environment Institute) (2009) Rainwater harvesting: a lifeline for human wellbeing, United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute.
29. Minnesota Stormwater Manual (2008), Version 2, Minnesota Pollution Control Agency, online: <http://www.pca.state.mn.us/>
30. Stahre, P. (2006), Sustainability in Urban Storm Drainage, Planning and examples, Svenskt Vatten, ISBN 91-85159-20-4
31. Standard DWA-A 138E, (2005), Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water
31. Water pollution solution, 2023., STORM DRAIN FILTERS FOR STORMWATER POLLUTION CONTROL, <https://www.water-pollutionsolutions.com/storm-drain-filters.html>
32. Discover our range of safety protection, <https://iverna2000.com/en/sugarfilter-filter-for-storm-drains/>
33. Rainwater Infiltration, <https://www.hauraton.com/en-int/products/rainwater.-infiltration/>
34. Tehnički filter ACO Stormclean TF, <https://www.aco.hr/proizvodi/separatori/uredaji-za-sedimentaciju/tehnicki-filtar-aco-stormclean-tf>
32. Delineate the Source Water Protection Area, <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/delineate-source-water-protection-area>
33. Crnoja, A., 2020, Predavanje 06_pročistači otpadnihvoda, file:///C:/Users/centar/Downloads/06_Predavanje_Pro%C4%8Dista%C4%8Di%20otpadnih%20voda.pdf
34. Sewage treatment plants buyer's guide, <https://www.drainagesuperstore.co.uk/help-and-advice/product-guides/sewage-treatment/sewage-treatment-plants-buyers-guide/>

35. STORMBOX [file:///C:/Users/centar/Downloads/stormbox1-katalog%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/centar/Downloads/stormbox1-katalog%20(1).pdf)
36. The Future of Rainwater Harvesting Technological Advancements and Innovations, 2023., <https://utilitiesone.com/the-future-of-rainwater-harvesting-technological-advancements-and-innovations>
37. Upojni IGLU, <https://otpadne-vode.com.hr/sustavi-za-odvodnju/upojni-iglu/>
38. UPOJNI BLOKOVI, <https://otpadnevode-kisnica.com.hr/upojni-elementi/>

9. POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer infiltracijskog rova, Izvor: Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 8: Bioretention Version 1.8. 2010.

Slika 2. Dijagram infiltracijskog dijela s dodatnim spremištem cijevi, Izvor: Virginia DCR Stormwater Design Specification No. 8: Bioretention Version 1.8. 2010.

Slika 3. Mjerenje infiltracije double – ring infiltrometrom, Izvor: Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu, dostupno na https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf

Slika 4. *Slika 4. Mjerenje infiltracije infiltrometrom s dvostrukim cilindrom*
Izvor: Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu,
https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf

Slika 5. *Slika 5. Mjerenje infiltracije korištenjem briljant plave boje*
Izvor: Vukadinović, V. (2024). Voda u tlu,
https://pedologija.com.hr/Literatura/Pedologija/Voda-zrak-toplina_u_tlu.pdf

Slika 6. Infiltracijski uređaji za infiltraciju kišnice s krovova , Izvor:
<https://www.ctc-n.org/technology-library/water-augmentation-increasing-capture-and-storage-surface-run/rainwater>

Slika 7. Skupljanje kišnice: prikupljanje s površine tla,
Izvor:<https://www.emergency-wash.org/water/en/technologies/technology/rainwater-harvesting-ground-surface-collection>

Slika 8. Spremnici od ferrocementa,

Izvor:<https://theconstructor.org/concrete/ferrocement-water-tank-construction-and-uses/35259>

Slika 9. Spremnici,

Izvor: <https://kta.com/kta-university/qa-coatings-above-ground-concrete-tanks/>

Slika 10. Sugarfilter - Filter za oborinske odvode,

Izvor: <https://iverna2000.com/en/sugarfilter-filter-for-storm-drains/>

Slika 11. Separatori lakih ulja,

Izvor: <https://www.aco.hr/proizvodi/separatori/separatori-lakih-tekucina/oleopator-p>

Slika 12. Princip rada koalescentnog filtera,

Izvor: *SEPARATORI_LAKIH_TEKUCINA_2011_web (1).pdf*

Slika 13. Primjena ACO tehničkog filtera,

Izvor: https://www.aco.hr/proizvodi/separatori/uredaji-za-sedimentaciju/tehnicki-filtar-aco-stormclean-tf?sword_list%5B0%5D=tehn%C4%8Dki&sword_list%5B1%5D=filtar&no_ca

Slika 14. Primjena filtarskog materijala,

Izvor: *ACO Stormclean TF - tehnički opis (1).docx*

Slika 15. Postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda

Izvor: <https://www.drainagesuperstore.co.uk/help-and-advice/product-guides/sewage-treatment/sewage-treatment-plants-buyers-guide/>

Slika 16. Upojni bunar- način projektiranja ,

Izvor: *file:///C:/Users/centar/Downloads/06_Predavanje_vodoopskra-i-odvodnja*

Slika 17. Presijek upojnog iglua ,

Izvor: <https://otpadne-vode.com.hr/sustavi-za-odvodnju/upojni-iglu/>

Slika 18. Presijek upojnog tunela,

Izvor: <https://otpadnevode-kisnica.com.hr/upojni-elementi/>

Slika 19. Način funkcioniranja upojnih polja ,

Izvor: <https://www.aco.hr/proizvodi/blokovi-za-infiltraciju-i-retenciju/stormbrixx-sd-hd>

Slika 20. Projektiranje upojnih polja,

Izvor: <https://www.aco.hr/proizvodi/blokovi-za-infiltraciju-i-retenciju/stormbrixx-sd-hd>

Slika 21. Tehničke informacije i karakteristike,

Izvor: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pipelife.hr/content/dam/pipelife/croatia/marketing/branding/dokumenti/katalozi/niskogradnja/upravljanje-oborinama/stormbox1-katalog.pdf>

Slika 22. Korištenje Stormbox-a ,

Izvor: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pipelife.hr/content/dam/pipelife/croatia/marketing/branding/dokumenti/katalozi/niskogradnja/upravljanje-oborinama/stormbox1-katalog.pdf>

Slika 23. Proces montaže sustava Stormbox-a,

Izvor: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pipelife.hr/content/dam/pipelife/croatia/marketing/branding/dokumenti/katalozi/niskogradnja/upravljanje-oborinama/stormbox1-katalog.pdf>

Slika 24. Pipelife, Izvor: <https://www.pipelife.ba/niskogradnja/raineo/stormbox.html>

Slika 25. ACO StormBrixx, Izvor: <https://www.aco.co.uk/products/stormbrixx>

Slika 26. Situacijski prikaz sustava za obradu i infiltraciju voborinske vode u sklopu projekta odvodnje sa interne prometnice

Slika 27. Shematski prikaz i uzdužni presjek sustava za obradu i infiltraciju vode - tehničko rješenje

Slika 28. Detalji tehničkog filtera

Slika 29. Detalji izrade ugradnje infiltracijske građevine

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Jana Martinčević (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Aspekt infiltracije i infiltracijske prakse (upisati naslov) te da u navedenom radu hisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Jana Martinčević
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.