Integralni koncept odvodnje urbanih oborinskih voda u krškim područjima

Penić, Hrvoje

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:668560

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Hrvoje Penić

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Hrvoje Penić

Integralni koncept odvodnje urbanih oborinskih voda u krškim područjima

Diplomski rad

Split, 2016.

Integralni koncept odvodnje urbanih oborinskih voda u krškim područjima

Sažetak:

U radu se iznosi problematika urbanih oborinskih voda, strategije i planovi za održivo upravljanje oborinskih voda, a posebno onih u krškim područjima. Na području naselja Bruje na otoku Hvaru analizira se primjena sustava odvodnje oborinskih voda. Analiziraju se dva koncepta: klasični i integralni. Utvrđeno je da je integralni koncept znatno povoljniji ekonomski, ekološki i društveno.

Ključne riječi:

Oborinske vode, Urbani vodni sustav, Održivost, Krš, Integralni koncept, Vodna bilanca, Zelena infrastruktura, Brusje

Integral concept of urban stormwater managment in karst areas

Abstract:

This paper discusses the problems of urban rainwater, strategies and plans for sustainable management of urban rainwater, especially those in the karst areas. It analyzes the application of storm water drainage system in the area of the village Brusje on the island of Hvar. Analysis has two concepts: classic and integrated . It was found that the integrated concept is more favorable economically , environmentally and socially .

Keywords:

Storm water, Urban water system, Sustainability, Karst, Integral concept, Water balance, Green Infrastructure, Brusje

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Juri Margeti na pomoći pri pisanju ovoga rada.

Hvala mojoj obitelji na velikoj podršci tijekom studiranja.

Posebno hvala mojoj zaručnici koja mi je bila najveća motivacija i oslonac.

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Urbani vodni sustav oborinskih voda 3

2.1. Urbani vodni sustav 3

2.2. Utjecaj urbane sredine na vodne resurse 6

2.3. Urbani (eko)sustav 8

3. Strategije i planovi održivog razvoja 10

4. Sustav odvodnje, pročišćavanja i zbrinjavanja oborinskih voda 13

4.1. Sustav odvodnje oborinskih voda 13

4.2. Smjernice i metodologija rješavanja problema oborinskih voda 15

5. Krš i vodni resursi u kršu kao prijamnici oborinskih voda urbanih sredina 17

5.1. Značajke krških područja u Hrvatskoj 17

5.2. Vodni resursi u kršu 20

5.3. Retencijski kapaciteti u kršu 22

5.4. Zaključak 23

6. Integralni koncept odvodnje urbanih oborinskih voda 24

6.1. Što je integralni pristup rješavanja odvodnje ? 24

6.2. Prednosti integralnog pristupa 25

6.3. Uloga zelenih površina 27

6.4. Tipovi rješenja integralne odvodnje po namjeni 28

7. Planiranje i projektiranje rješenja 31

7.1. Osnovne teoretske postavke 31

7.1.1. Vertikalna bilanca voda 32

7.1.2. Evaporacija i evapotranspiracija 34

7.1.3. Infiltracija 35

7.2. Retencije 38

7.3. Biološki procesi u zelenoj infrastrukturi 40

7.4. Istražni radovi – infiltrometarska stanica 43

7.4.1. Opis hidrološkog sistema 44

7.4.2. Ulazni podaci 46

7.4.3. Izlazni podaci 46

8. Primjer – Brusje 48

8.1. Osnovni podaci o stanju u prostoru 48

8.2. Rješenje odvodnje – integralni koncept 51

8.2.1. Krovne vode (kišnica) 51

8.2.2. Površinske vode okućnice 56

8.2.3. Veće asfaltne površine – trgovi, parking površine 57

8.2.4. Prometnice 60

8.2.5. Oborinske vode industrijskih zona 62

8.3. Rješenja kojima se voda akumulira radi ponovnog korištenja 64

8.4. Rješenje odvodnje – retencijski bazen 65

9. Zaključak i preporuke 71

Literatura: 72

1. UVOD

Napretkom tehnologija i povećanjem broja stanovnika dolazi do ubrzane izgradnje urbanih sredina. Izgradnja će dalje biti u porastu, ali ako se odvija na sadašnji način, može doći do posljedica u budućnosti gdje će se takva nekontrolirana gradnja pokazati nepovoljna za okoliš, urbanu sredinu i čovjeka. Zbog toga je nužno gradnju planirati na principima održivog građenja.

Održivost je sposobnost održavanja ravnoteže određenih procesa ili stanja u nekom sustavu. Za ljude ona je potencijal za dugoročno održavanje blagostanja koje pak ovisi o blagostanju prirodnog svijeta i odgovornoj uporabi prirodnih resursa, te se često koristi termin održivi razvoj. Postoji mnogo dokaza da čovječanstvo danas živi neodrživo. Da bi čovjek vratio uporabu prirodnih resursa unutar granica održivosti, potrebno je postići konsenzus na svim razinama stanovništva, struke i vlasti. Život na održiv način moguć je uz razne oblike reorganizacije životnih uvjeta (eko sela, održivi gradovi), ponovne procjene ekonomskih sektora (permakultura, zelena gradnja, održiva poljoprivreda) ili unaprjeđenje i uporaba znanosti za nove tehnologije koje su danas sve popularnije i uživaju mnoge beneficije u EU (zelene tehnologije, obnovljiva energija) do prilagodbi u individualnim životnim stilovima kojima se čuvaju prirodni resursi. Principi održivosti trebaju se primijeniti u svim sektorima pa tako i u planiranju gradnji urbanog i vodnog sustava, odnosno korištenja voda.

Održivost voda zahtijeva da razlika u kakvoći između uzete vode i one vraćene u vodni resurs bude pozitivna (bolja kakvoća) te da su gubici (razlika) u količini mali, ako se već ne mogu izbjeći, a promjene lokalnoga hidrološkog ciklusa što manje. Da bi se to ostvarilo potrebno je izgraditi kvalitetan urbani vodni sustav, a potom ga dobro održavati i njime učinkovito upravljati tako da najmanje moguće troši druge resurse (ljudski rad, energiju, kemikalije...). Na taj način se čuvaju prirodni resursi te se smanjuje ispuštanje stakleničkih plinova.

Krš je i u ovom dijelu održivog razvoja poseban kao stanište specifične biocenoze te kao dio hidrološkog ciklusa. Otjecanje u kršu je specifično zbog pukotina i većeg praznog prostora u tlu kroz koje se voda vrlo brzo kreće prema moru. Njegovo zagađenje ovisi o više faktora, a najvažniji je procjeđivanje zagađivača kroz razlomljenu stijensku masu. Zbog toga održivost voda u krškim područjima zahtjeva primjenu drugačijih, specifičnih metoda.

Mjere održivog razvoja se trebaju primjenjivati u malim i velikim naseljima. Te mjere doprinose globalnim ciljevima održivosti ali i lokalnim. Uvijek se analiziraju tri osnovna pod

cilja održivosti: ekonomski, ekološki i socijalni. Svaki od njih je jednako važan za velika kao i za mala naselja.

Male urbane sredine, pogotovo u Hrvatskoj imaju veliki potencijal za razvoj zelenih tehnologija, održive gradnje i planirane održive urbanizacije uključujući i urbane vodne sustave koje svako naselje treba imati bez razlike je li veliko ili malo. Radi se o sustavu vodoopskrbe, odvodnje, pročišćavanja i zbrinjavanja otpadnih voda i mulja te sustava sakupljanja, odvodnje, pročišćavanja i zbrinjavanja oborinskih voda.

U ovom radu se obrađuje samo problematika oborinskih voda.

Umjesto konvencionalnih metoda izgradnje sustava za odvodnju oborinskih voda, možemo pristupit integralnom pristupu koji smanjuje negativno djelovanje površinskih i oborinskih voda na urbanom prostoru, povećava ambijentalnu vrijednost pojedinih dijelova naselja uz optimalnu ekonomsku učinkovitost i zaštitu prostora u cjelini. To je takozvana „zelena infrastruktura oborinskih voda“.

2. URBANI VODNI SUSTAV OBORINSKIH VODA

2.1. Urbani vodni sustav

Urbani vodni sustav (UVS) je dio prirodnog hidrološkog ciklusa koji uključuje slivno područje grada i izgrađene i neizgrađene dijelove prirodnoga vodnog sustava na području grada kao što su:

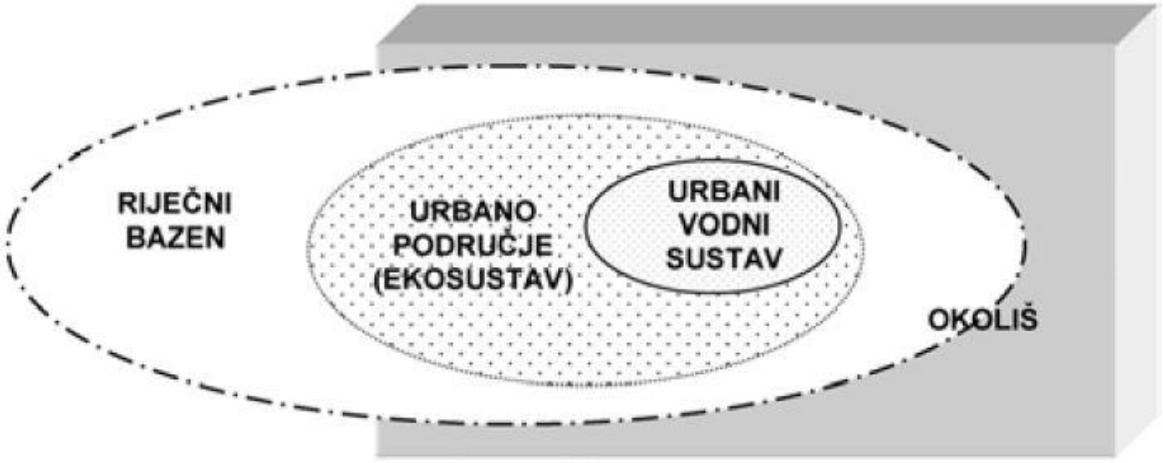
- zahvaćanje, transport, čišćenje, distribuciju vode,
- prikupljanje, odvod i pročišćavanje otpadnih voda,
- prikupljanje, odvod i pročišćavanje oborinskih voda,
- kontrolu režima voda vodnih resursa na području grada.

U kontekstu prethodnog može se definirati i urbani vodni sustav kao izgrađeni vodni sustav najvećim dijelom unutar područja grada, a smješten unutar jednoga prirodnog vodnoga sustava koji je izmijenjen i prilagođen ljudskim potrebama. Drugim riječima, to je prirodni sustav koji je čovjekovim aktivnostima doživio promjene i prilagodbe poradi boljega i djelotvornijega funkcioniranja unutar urbanog područja, a sve radi ostvarenja potreba stanovništva, vodeći računa da se pritom ne poremete prirodni odnosi i ne ugrozi okoliš. Na žalost, briga o okolišu u urbanoj sredini nije bila značajno primijenjena zbog čega su nastali brojni problemi koje danas treba rješavati na način koji ne samo da štiti okoliš, nego ga jača i obnavlja. To posebno vrijedi za Hrvatsku u kojoj izgrađenost osnovne urbane infrastrukture nije zadovoljavajuća, a posebno ne u manjim urbanim sredinama.

Uobičajeni infrastrukturni i prirodni elementi urbanog vodnog sustava u riječnom bazenu su:

- Izvori pitke vode;
- Postrojenje za proizvodnju vode za piće;
- Infrastruktura za transport i raspodjelu vode;
- Upotreba vode;
- Infrastruktura odvodnje oborinske vode;
- Uređaji za pročišćavanje otpadne vode;
- Kopnene vode i obalno more;
- Kanali, ustave, crpne stanice;
- Gradske površinske vode i lokalni vodni resursi ;
- Infrastruktura odvodnje upotrijebljenih voda.

Sustav je u stalnoj interakciji s okruženjem, prirodnim i društveno-ekonomskim, odnosno s riječnim bazenom i urbanim područjem (*slika 1.*) [3]

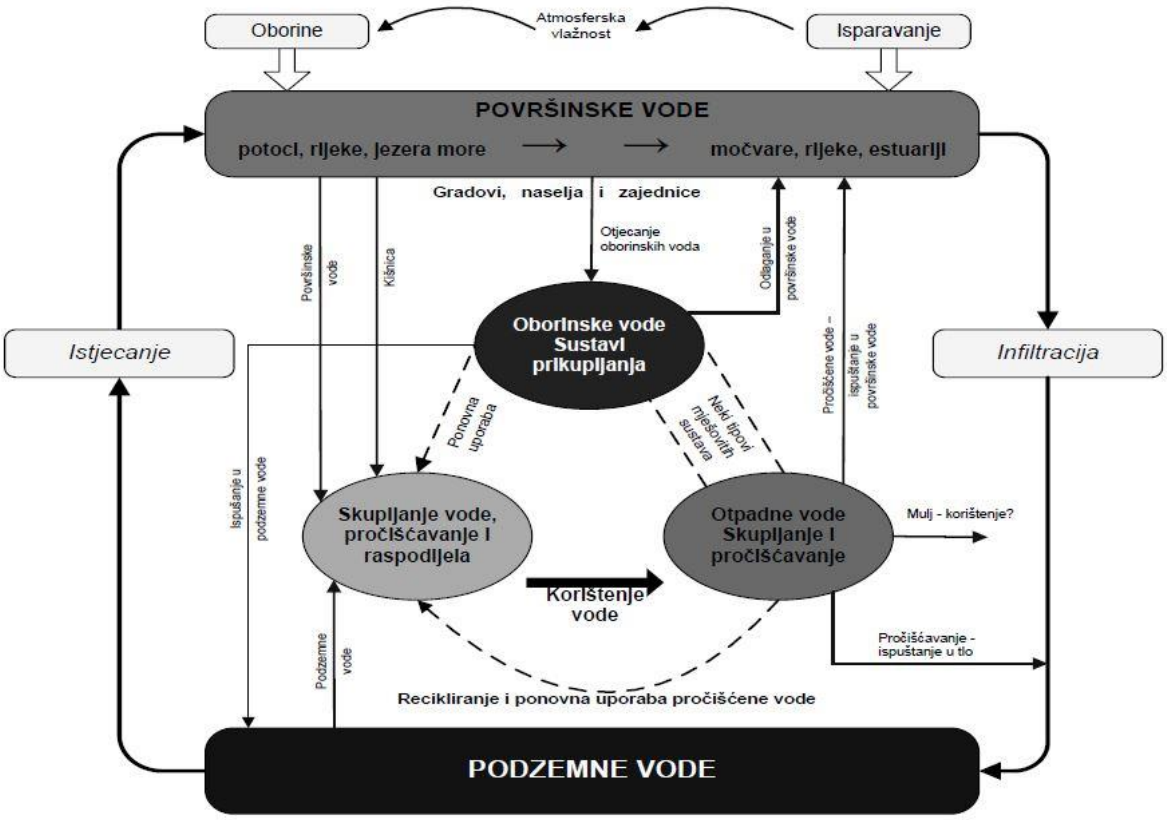


Slika 1. Međuovisnosti između urbanog vodnoga sustava, riječnog bazena, grada i okoliša

Osnovni cilj rada UVS-a jest osigurati zdrav i ugodan život u naseljima bez štetnog utjecaja na okoliš.

Sva voda koja dolazi u UVS dolazi iz vodnih resursa, a isto tako sva voda koja izlazi iz UVS-a odlazi u vodne resurse. Kao iznimka od ovog, suočeni s nestašicom vode u vodnim resursima u nekim UVS-ima pročišćena voda se reciklira-cirkulira između podsustava odvodnje i opskrbe. Na ovaj način se minimalizira zahvaćanje vode iz okoliša. Cilj održivosti je razliku između uzete i vraćene količine svesti na minimum, uz brigu o kakvoći. UVS je izgrađeni vodni sustav u izravnoj vezi s hidrološkim sustavom riječnog bazena, odnosno, to je izgrađeni hidrološki ciklus unutar riječnog bazena. On je sastavni dio hidrološkog sustava riječnog bazena koji troši vodu i mijenja njezinu kakvoću i režim tečenja. To se odnosi i na obalno more koje je pod velikim utjecajem UVS-a. Zapravo, upravo obalni UVS ima najveći negativni utjecaj na obalno more i njegov ekosustav zato što je UVS u najvećoj suprotnosti s obalnim prirodnim hidrološkim sustavom.

Tri su osnovne funkcije-usluge urbanoga vodnog sustava: (i) opskrba vodom naselja, (ii) odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda te (iii) odvodnja i eventualno pročišćavanje oborinskih-površinskih voda (*slika 2.*) Ove funkcije su tradicionalno bile funkcionalno odvojene jedna od druge, međutim, sve veće potrebe i nedostatak vode sve više integriraju ove funkcije kako bi se ojačala održivost urbane sredine i smanjila ranjivost okoliša.



Slika 2. Urbani vodni ciklus i vodni resursi

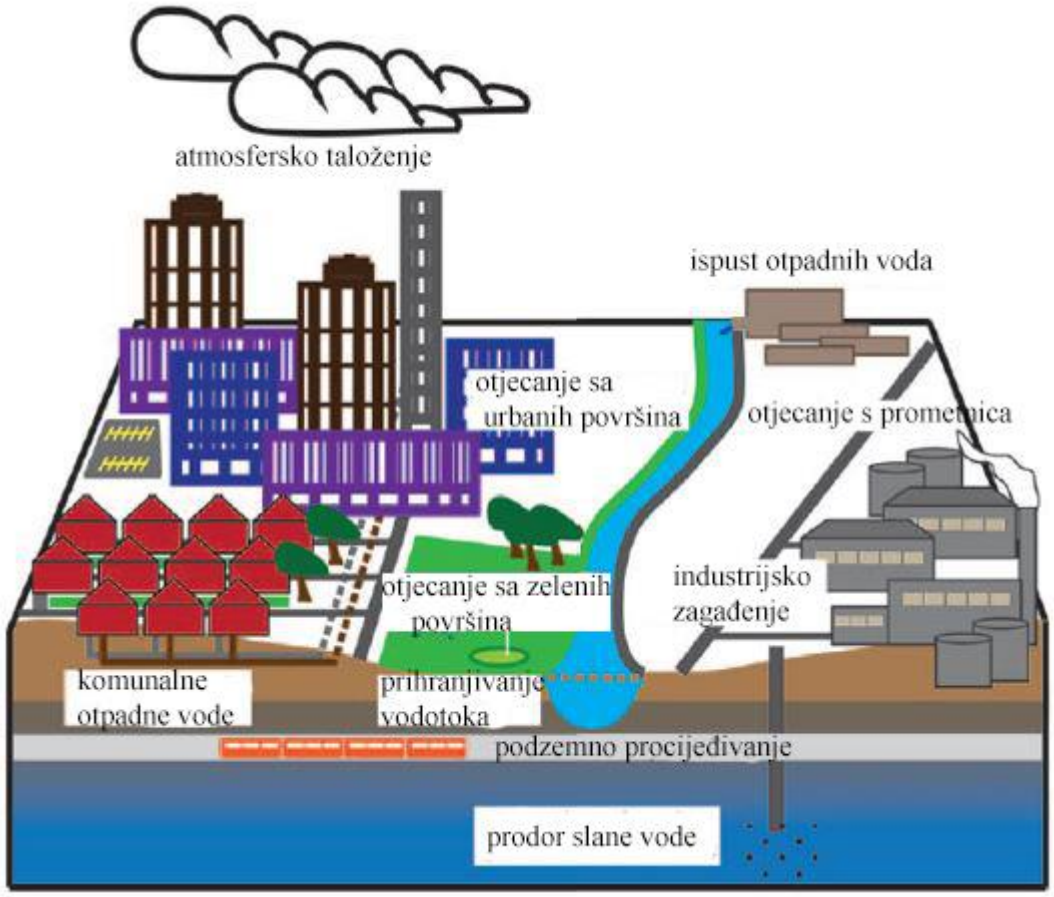
Površinske vode, odnosno lokalni hidrološki ciklus, izrazito se mijenjaju na štetu bilance podzemnih voda i evapotranspiracije te znatno mijenjaju svoj sastav od relativno čiste oborinske vode do razine koja ugrožava okoliš, a u konačnosti i čovjeka.

Urbana je sredina živi metabolizam u kojem čovjek svojim življenjem i aktivnostima troši razne organske i anorganske resurse i tvari te generira raznovrsna onečišćenja u tekućem, krutom i plinovitom stanju. UVS ispire i odvodi najveći dio ovog onečišćenja iz urbane sredine u vodni i s njim povezan drugi okoliš: tekući u cijelosti, plinoviti ispiranjem atmosfere oborinama, a ispiranjem i kruti otpad odložen na slivne površine odvodnog sustava. [4]

Veličina promjena u okolišu ovisi o veličini pritiska kojeg generira urbana sredina te značajkama, a posebno osjetljivosti prirodnog okoliša kao cjeline, te resursa kao što su vodni resursi. Danas se primjenom integralnog pristupa, zelenih rješenja i principa kružne ekonomije, pritisak na okoliš nastoji minimalizirati.

2.2. Utjecaj urbane sredine na vodne resurse

Hidrološki ciklus je promijenjen u urbanoj sredini zbog velikog postotka površina s malom ili nikakvom mogućnosti procjeđivanja oborina u podzemlje. Voda infiltrira u podzemlje kroz razne puteve, uključujući difuzno i izravno kretanje kroz urbane površine kao što su zelene površine, nepropusne površine s pukotinama ili curenje iz komunalne infrastrukture. Smanjuje se infiltracija i evapotranspiracija, a povećava površinsko otjecanje. U kršu je situacija nešto drugačija ali s istim posljedicama. U urbanim krškim područjima, oborine se slijevaju u podzemne tokove kroz vrtače, ponore i pukotine. Tlo i stijene imaju vrlo mali učinak filtracije i zadržavanja, tako da voda brzo površinski i podzemno otječe U krškim ponorima se lako stvaraju novi putevi za otjecanje zagađene urbane vode koja može pogoršati kvalitetu vode koju ljudi koriste za vodoopskrbu i druge svrhe.



Slika 3. Konceptualni prikaz urbanog hidrološkog ciklusa koji utječe na kvalitetu vodnih resursa

Urbana sredina može biti značajni potencijalni izvor zagađenja za površinske i podzemne vode. Urbane oborinske vode, atmosfersko taloženje, odlagališta, industrijska područja, korištenje pesticida i ostalih tvari, te komunalne otpadne vode, sve to uzrokuje smanjivanje kvalitete vode u okolišu (*slika 3.*). Utjecaj urbane sredine i površine na kvalitetu vode pokazan je u tablici 1.

Tablica 1. Utjecaj urbane sredine na kvalitetu vode

Izvor	Vrsta onečišćenja	Tvari koje uzrokuju onečišćenje
Atmosfersko taloženje	Ispušni plinovi vozila, statični izvori onečišćenja, regionalno i globalno atmosfersko širenje	H2SO4 i HNO3, industrijski spojevi, metali u tragovima
Industrija i odlagališta	Izlijevanje , curenje neprikladno zbrinjavanje, ostaci nakon pročišćavanja otpadnih voda	Organski spojevi, metali u tragovima
Oborinske vode	Erozija i isprani materijal sa cesta, parkirališta , zgrada i zelenih prostora	Organske tvari, hranjive tvari i bakterije; metali u tragovima; herbicidi i pesticidi; industrijski spojevi
Zelene površine	Primjena gnojiva, herbicidi, pesticidi	Organoklorovi spojevi (na primjer atrazin), organofosforni spojevi (npr. dimetoat), hranjive tvari (N, P, K)
Otpadne vode	Glavni ispusti kanalizacije i oštećenja na sustavu, curenje iz septičkih jama, navodnjavanje i izravno ispuštanje pročišćenog ili djelomično pročišćenog efluenta	Otopljeni ioni (npr. Ca, Cl, Na, SO4); hranjive tvari (npr. organski spojevi N, P); bakterije , paraziti i virusi ; organski spojevi (Na primjer , kloroform); farmaceutski i ostali spojevi za osobnu njegu

[16]

2.3. Urbani (eko)sustav

Za bolje i efikasnije sagledavanje koncepta i strukture jednog urbanog vodnog sustava i njegove održivosti, potrebno je prije svega definirati pojam urbani ekosustav.

Ekosustavi su biološki sustavi sastavljeni od živih zajednica (biocenoze) kao što su biljke, životinje, mikroorganizmi i ljudi, te pridruženog neživog elementa tj. Staništa (biotopa).

U tom kontekstu može se uzeti grad kao jedan složen i specifičan ekosustav u kojemu je jedna vrsta dominantna (čovjek), okarakteriziran svojim kontinuiranim tokom rasta i razvoja, odnosno stalnim dinamičkim procesima i promjenama, te interakcijama sa okolišem.

Dakle, unutar jednog takvog urbanog ekosustava odvija se interakcija i međusobno djelovanje pojedinih dijelova sustava: zelenih površina, parkova i vrtova, otvorenih površina i zgrada, puteva, vodenih puteva i vodenih površina, ljudi, životinja i biljaka te drugih organizama, odnosno žive i nežive – izgrađene sredine.

Uspoređujući prirodni i urbani ekosustav, može se zaključiti sljedeće:

- prirodni sustav teži održati prirodnu ravnotežu regenerirajući i cirkulirajući vodne resurse i otpad uz korištenje sučeve energije, dok
- urbani sustav problem povećanja vodoopskrbe i potražnje vode, odnosno povećanje otpadne vode rješava općenito svođenjem problema na povećanje vodozahvata (povećanje ulaza u sustav) i povećanje količine ispuštene vode, odnosno otpada (povećanje izlaza iz sustava), te korištenje fosilnih goriva i atomske energije.

Uz tradicionalne izvore onečišćenja, danas sve više do izražaja dolaze pokretni i nepokretni (stacionarni) izvori onečišćenja iz energetskih sustava koji doprinose onečišćenju voda, ali i ispuštanju stakleničkih plinova i klimatskim promjenama. Zato je problematika održivosti sve složenija jer su utjecaji urbanih sredina sve više globalni sa velikim lokalnim posljedicama za sve urbane sredine (klimatske promjene). Klimatske promjene će značajno utjecati na urbane vodne sustave jer se mijenja temperaturni i oborinski režim, a time i prirodni kao i izgrađeni hidrološki ciklus u i oko urbanih sredina.

Urbani je prometni podsustav jedan od bitnih pokretnih izvora onečišćenja/zagađenja zraka u gradovima ako se prometna sredstva pretežno koriste fosilnim pogonskim gorivom. Automobili su u gradovima najveći izvor onečišćenja/zagađenja zraka ugljikovim monoksidom, dušikovim oksidima i ugljikovodicima.

Od nepokretnih izvora onečišćenja/zagađenja zraka posebno se ističu termoelektrane, tvornice i toplane koje se koriste krutim ili tekućim fosilnim gorivom, zatim spalionice krutog otpada, kao i općenito kućna ložišta kad se koristi ugljen. Kad je posrijedi upotreba ugljena kao energenta, zrak se posebno zagađuje sumporovim dioksidom, a potom i sitnim česticama koje sadrže plinove.

3. STRATEGIJE I PLANOVI ODRŽIVOG RAZVOJA

Održivi razvoj je (ekonomski) razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjih, a ne ugrožava sposobnost budućih generacija da zadovoljavaju svoje potrebe.

Time se podrazumijeva očuvanje količine i kvalitete prirodnih bogatstava ne samo za zadovoljenje sadašnjih potreba, već i nesmetano korištenje i gospodarski razvoj te osiguranje zdravog okoliša za buduće generacije.

Da bi razvoj bio održiv (u dugom vremenu) potrebno je postići ravnotežu između svih triju sastavnica održivosti: okoliša, ekonomije i društva. Zaostajanje u razvoju bilo koje od triju sastavnica održivosti, kao i nerazmjeran razvoj pojedinih od njih i njihove povezanosti, izaziva nestabilnost.

Temeljna načela održivog razvoja u graditeljstvu:

- smanjiti (minimizirati) potrošnju (primarnih) prirodnih bogatstava primjenom inovativnih tehnoloških rješenja, naročito sirovina za proizvodnju građevinskih materijala i energije,
- poticati uporabu sekundarnih sirovina i lokalnih građevinskih materijala,
- promicati uporabu obnovljivih prirodnih bogatstava u odnosu na neobnovljive, vodeći pritom računa da kod onih obnovljivih izvora koji nisu vječni (npr. voda, drvo, tlo) obrok njihovog obnavljanja uvijek bude veći od obroka potrošnje (promatrano u istom periodu),
- povećati (maksimizirati) energetsku učinkovitost građevina, odnosno štedjeti energiju, primjenom energetski učinkovitih građevinskih materijala, uređaja (opreme)mi unaprijeđenim oblikovanjem građevina, uz istodobno zadržavanje visokih standarda kvalitete građevine,
- smanjiti (minimizirati) emisije – ispuštanje ili istjecanje tvari (u tekućem, plinovitom ili krutom stanju) i/ili ispuštanje energije (buka, vibracije, zračenje, svjetlost, toplina) u okoliš, koje imaju štetne učinke na ljudsko zdravlje i ekosustave, odnosno zagađuju sastavnice okoliša (zrak, vode, tlo), uključujući i upotrebu građevinskih materijala koji imaju iste učinke,
- u postupcima gospodarenja građevinskim otpadom primijeniti koncept 6R + 3E,
- izborom povoljnih lokacija, konstrukcija i građevnih materijala smanjiti rizik od posljedica prirodnih nepogoda (npr. poplava, potresa, požara),

- povećati trajnost građevina (sposobnost posjedovanja zahtijevane razine nosivosti i uporabljivosti u određenom razdoblju),
- smanjiti (minimizirati) ukupne troškove građevine,
- maksimalno osigurati zdravlje, poštovanje i kvalitetu življenja (udobnosti zadovoljstvo boravka, rada) korisnicima građevina.

Sve ovo vrijedi i za urbani vodni sustav koji je sastavni element graditeljstva kao cjeline.

U prostoru Jadranskog mora, obale i otoka nalaze se najvrjedniji, ali i najosjetljiviji prirodni sustavi Republike Hrvatske. To je područje na kojem se odvijaju procesi koji ovise o uzajamnom djelovanju mora i kopna, a razvojni su pritisci i negativni utjecaji na prirodne sustave najizraženiji, kako po prostoru, intenzitetu, ali i oscilacijama.

Najvažniji problemi zaštite okoliša, a time i održivog razvitka Jadrana jesu: nedostatak uređaja za pročišćavanje urbanih i industrijskih otpadnih voda, divlja odlagališta otpada, iznenadna i operativna onečišćenja mora s pomorskih objekata, nesreće pri prijevozu i pretovaru nafte i naftnih prerađevina, problem unosa stranih morskih mikroorganizama i patogena u morski okoliš, prekomjerni izlov ribljeg fonda, nadasve pretjerana gradnja na obalnom području i mijenjanje prirodnih značajki obalne zone. [13]

Održivi razvoj gradova podrazumijeva racionalno korištenje prostora i raspoloživih resursa. U tom smislu nužno je unaprijediti stanje urbanog okoliša u gradovima i naseljima gradskog karaktera, revitalizirati napuštene i zapuštene gradske objekte i prostor njihova neposrednog okoliša te prema potrebi provesti dekontaminaciju prostora na kojem je evidentiran bilo koji oblik onečišćenja. [14]

Temeljni cilj vodnog gospodarstva, time i vodne infrastrukture, utvrđen Strategijom upravljanja vodama (2008.-2038.), je osiguranje održivog korištenja voda što podrazumijeva osiguranje dovoljnih količina voda zadovoljavajuće kakvoće za postojeće i razvojne potrebe svih korisnika, vodeći računa o prirodnim mogućnostima (obnovljivosti) resursa. Osim toga, nužno je postići i odgovarajući standard i razinu sigurnosti opskrbe vodom za sve korisnike.

Razvoj održivog korištenja voda, usmjerava se na očuvanje i unapređenje djelotvornosti sadašnjih vodnih sustava, izgradnju novih sustava, te stvaranje potrebnog okvira za razvoj društva i gospodarstva uz usuglašavanje različitih korištenja voda.

Održivo korištenje voda ostvaruje se:

- integralnim pristupom u korištenju voda na vodnim područjima, što uključuje očuvanje ekosustava i biološke raznolikosti vlažnih i vodenih staništa, te sudjelovanje vodnog gospodarstva u utvrđivanju i provođenju pravila i mjera za zajedničko uređivanje i korištenje svih voda,
- osiguranjem dovoljnih količina vode odgovarajuće kakvoće; sustavnim istraživanjima vodnih resursa i unapređenjem praćenja korištenja voda na slivu,
- postupnim uvođenjem ekonomske cijene vode,
- poticanjem smanjenja gubitaka u svim korištenjima, a posebno u javnim vodoopskrbnim sustavima,
- ponovnim korištenjem pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje,
- dopunama propisa kojima će se urediti pitanja uvođenja operatera kao obveznika naknade za korištenje voda (osnovica za obračun količina zahvaćene vode na vodozahvatu) te uvođenja načela postupnosti i socijalne prihvatljivosti ekonomske cijene vode,
- uključivanjem svih zainteresiranih dionika i javnosti već u početnim fazama planiranja,
- poticanjem razvoja korištenja voda u gospodarstvu uvažavanjem sektorskih, planskih i strateških dokumenata (turizma, poljoprivrede, prometa, industrije, energetike i drugih) kao ulaznih parametara u procesu planiranja. [15]

Društveno-ekonomski odnosi u urbanoj sredini i široj zajednici utječu na ponudu i potražnju vode i usluga vezanih uz vodu. Veći ekonomski rast i standard življenja generira veće potrebe za vodom i vodnim uslugama. Zbog toga značajke urbanoga vodnog sustava uvelike ovise o stanju u urbanom području i njegovim karakteristikama. Društveni okvir generira, također, i prihvatljive standarde za zaštitu od poplava, upravljanje odvodnjom i uslugama otpadnih voda. Isto tako upravljanje urbanim sustavom vode jest potencijalno oruđe urbanog razvoja. Sve mora biti održivo da bi se podržala održivost urbanog sustava i time življenja u urbanoj sredini. [3]

Zadatak za inženjere je težak i složen, a moguća rješenja moraju biti inovativna i funkcionalna u okolišu koji se sve brže mijenja.

4. SUSTAV ODVODNJE, PROČIŠĆAVANJA I ZBRINJAVANJA OBORINSKIH VODA

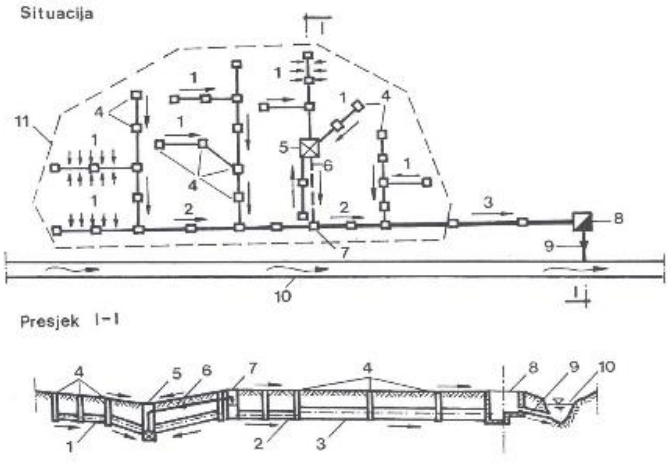
4.1. Sustav odvodnje oborinskih voda

Sustav (javne) odvodnje je sustav objekata i mjera povezanih u funkcionalnu cjelinu s osnovnim ciljem prikupljanja, odvođenja i pročišćavanja oborinskih voda, te njihovog ispuštanja nakon pročišćavanja, uz zbrinjavanje mulja koji nastaje u postupku pročišćavanja oborinskih voda, na tehnički što ispravniji i ekonomičniji način.

Odvođenje oborinskih voda sustavom javne odvodnje funkcionalno je povezano s uređenjem urbanog područja.

Sustav odvodnje čine sljedeće glavne grupe objekata:

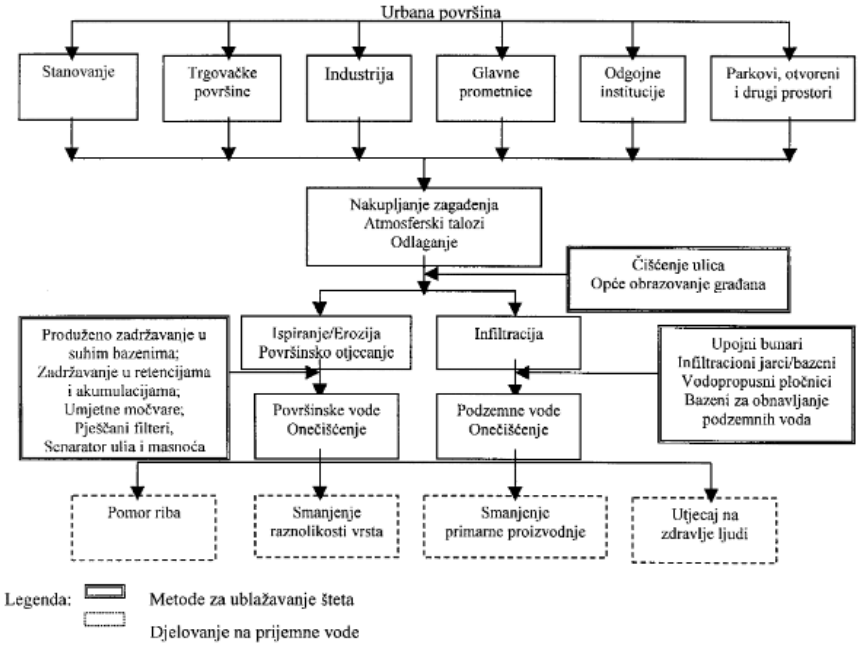
- kanalizacijska mreža, odnosno sporedna (sekundarna) i glavna (primarna) kanalska ili kolektorska mreža, kojom se oborinske vode prikupljaju i ispuštaju u prijemnik,
- građevine kanalizacijske mreže (crpne stanice, ulazna i prekidna okna, preljevne građevine, retencije, ispusti, itd.), kojima se omogućuje ispravno funkcioniranje, upravljanje i održavanje mreže,
- uređaji za pročišćavanje oborinskih voda, kojima se oborinske vode pročišćavaju na stupanj koji je u skladu s propisanim standardima,
- ispusti, kojima se pročišćene (ili nepročišćene) oborinske vode ispuštaju u prijemnik.



Slika 4.
1 – sporedni kolektori; 2 – glavni kolektor; 3 – glavni odvodni kolektor; 4 – ulazna okna; 5 – crpna stanica; 6 – tlačni cjevovod; 7 – prekidno okno; 8 – uređaj za pročišćavanje; 9 – ispust; 10 – prijemnik; 11 – granica područja odvodnje.

Komunalne oborinske vode jedan su od značajnijih izvora nekontroliranog zagađenja vodnih resursa. Oborinske vode imaju stohastički značaj u odnosu na pojavu i količinu, ali i na kakvoću. Javljaju se samo kada pada kiša. Tada se formira površinsko otjecanje koje otječe urbanom sredinom i ispire onečišćenja koja se nalaze na površini i u zraku, te ih sustavom odvodnje odvode do prijemnika. Zbog takvog funkcioniranja, odvodnja oborinskih voda gradnjom cjevovoda, kanala i drugih građevina je vrlo skupa gradnja koja se malo koristi.

Ukupne količine otpadnih tvari koje se ispiru oborinskom vodom ovise o nizu činitelja, a naročito o: veličini atmosferskog taloga; veličini onečišćenja koje se odlaže na slivne površine, o vremenu suhog razdoblja između dviju oborina (dulje razdoblje - veće onečišćenje); učestalosti čišćenja površine u suhom razdoblju (češće čišćenje - manje zagađenje), o obujmu i intenzitetu oborinske vode kojom se obavlja ispiranje zemljišta, itd. Količine i koncentracija zagađenja u oborinskim su vodama promjenljivi. Najveće su koncentracije, ali i količine otpadnih tvari, u početku otjecanja (početna kiša), a s trajanjem otjecanja smanjuju se kao rezultat sve manjeg ispiranja taloga na slivnim površinama. Na režim ispiranja, odnosno transporta zagađenja, bitno utječu značajke slivne površine. Kad je propusnost tla manja ili su posrijedi površine poput prometnica, smanjena je mogućnost tokovi vode koji lakše i brže odnose otpadne tvari s površine tla. Na *slici 5.* slikovito je prikazan tok zagađenja s urbanih slivnih površina do prijamnika, te utjecaj tog zagađenja na prijamne vode i njezine korisnike, a navedene su i neke važnije mjere kojima se smanjuje nagomilavanje zagađenja.



Slika 5. Shema izvora zagađenja u urbanim oborinskim vodama, njihov utjecaj na prijamnike i upravljanje tim vodama

Oborinske vode osim što površinski otječu u prijamnike jednim se dijelom infiltriraju i u podzemlje. Procjeđivanjem vode kroz podzemlje dolazi do otapanja tvari u tlu u skladu sa sastavom tla (prirodnim ili onečišćenim) i dijelom transporta zagađenja s površine. Međutim, istodobno, prolazom kroz tlo, voda se filtrira i u njoj dolazi do biokemijskih procesa, tako da se dio zagađenja u podzemnim vodama pročišćava i mijenja. Kod tala malog poroziteta uglavnom sve suspendirane tvari bivaju zadržane, dok samo otopljene ostaju u vodi i zbog dugog zadržavanja u podzemlju mogu dijelom biti preuzete od biosfere i tako izdvojene iz vode. Manje i nepovezane pukotine koje malo pridonose protoku vode također pridonose zadržavanju i eventualno smanjenju zagađenja koje voda sadrži, a u slučaju njihove povezanosti predstavljaju značajne trajektorije za tok vode i prijenos zagađenja. Zone gdje su pukotine koncentrirane i povezane su zone brze izmjene podzemne vode zajedno sa zagađenjem. Zbog toga krška područja u principu nemaju značajnijih utjecaja na promjenu kvalitete vode koja dotječe sa slivnih površina, odnosno efekti pročišćavanja u tlu su mali. [5]

Zbog toga je rješavanje problema odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda u urbanim sredinama složenije.

4.2. Smjernice i metodologija rješavanja problema oborinskih voda

Pritisak na okoliš značajno je rastao prošlih desetljeća, kao posljedica izostanka uravnoteženog/integralnog pristupa razvoju vodoopskrbno/odvodnog sustava, odnosno posljedica jednostranog razvoja vodoopskrbe kojim se povećala količina otpadnih voda za koje nije istovremeno osiguran kvalitetan sustav zbrinjavanja (odvodnje, pročišćavanja, okolišno prihvatljivog ispuštanja u krajnji recipijent). Problem je posebno izražen u ljetnom periodu nižih vodostaja, kad recipijenti imaju znatno smanjenu sposobnost razrjeđenja onečišćujućih otpadnih voda, a i količina otpadnih voda raste zbog turističkih i drugih aktivnosti. [11]

Zbog prirode oborinskih voda da se javljaju povremeno i u velikim količinama u usporedbi s ostalim otpadnim vodama, teško je primijeniti klasične postupke čišćenja i zaštite voda. Posebno je to teško kad se radi o onečišćenim oborinskim vodama s prometnica izvan naseljenih mjesta.

U gradskim sredinama moguće je oborinske vode neovisno o primijenjenom sustavu odvodnje pročistiti na gradskim uređajima za čišćenje otpadnih voda, obično u kombinaciji s građevinama za regulaciju dotoka vode prema uređaju. Mogu se primijeniti gotovo sve tehnologije primarnog, sekundarnog i tercijarnog pročišćavanja. Ovisno o zadanim standardima i kriterijima konačnog ispuštanja otpadnih voda u prijamnik, određuje se udio od ukupnih

oborina koji će se na uređaju pročistiti. Na uređajima se čiste prvi najopterećeniji oborinski dotoci, a ostali se vode mimo uređaja direktno u prijamnik. Kroz sve faze čišćenja na gradskim uređajima provodi se obično oborinski dotok jednak tzv. sušnom dotoku, a mehanički se pročišćavaju i veći dotoci. Razlog je svakako u cijeni čišćenja, jer dodatno hidrauličko opterećenje uređaja bitno povećava cijenu izgradnje i poslovanja. Ugradnjom kišnih retencija ispred uređaja, moguće je čišćenjem obuhvatiti volumene prvog najonečišćenijeg oborinskog dotoka i tako značajno umanjiti onečišćenje voda.

U slučajevima kad je teško ili nemoguće zadržati ili primijeniti postojeći alternativni način odvodnje oborinskih voda (uski centri naselja s mnogo nepropusnih prometnih i drugih javnih površina, institucija i komercijalnih sadržaja), iste će se odvoditi zatvorenim ili otvorenim vodonepropusnim kanalima do najbližeg pogodnog prijamnika, ili uvoditi u postojeći sustav oborinske odvodnje (zatravljeni jarci i kanali, cestovni jarci).

Među stanovništvom bi trebalo promovirati ideju o korištenju oborinskih voda za potrebe kućanstva (ispiranje nužnika, zalijevanje travnjaka, cvjetnjaka i vrtova). U tom smislu bilo bi dobro organizirati savjetodavnu službu u gradovima gdje bi potencijalni korisnici dobili potrebnu tehničku i savjetodavnu podršku. Na području, gdje god je to moguće, trebalo bi poticati rješenja odvodnje oborinskih voda sa krovova i dvorišta, bez odvoda ili s reduciranim odvodom izvan parcele. Time bi se smanjile mogućnosti formiranja bujica, a s time erozije i odnošenja materijala u vodotoke, smanjilo opterećenje sustava za odvodnju oborinskih voda i popravio općenito vodni režim. Tehnike i tehnologije koje se u tu svrhu mogu primijeniti najbolje se primjenjuju u naseljima sa individualnim posjedima i velikim okućnicama, kakve prevladavaju na projektnom području. Poznate su pod skupnim nazivom Low Impact Development (LID), odnosno urbanim razvojem smanjenog negativnog utjecaja na vodni režim i okoliš općenito. Obuhvaćaju tehnička rješenja koja se temelje na zadržavanju ili retardaciji, akumulaciji, mehaničkoj i biološkoj filtraciji, infiltraciji (water recharge) oborinskog otjecanja, pojačanoj evapotranspiraciji, korištenju oborinskih voda, posebnom oblikovanju prostora. Neka od mogu biti umjetne močvare-biljni uređaji, lagune za retenciju i akumulaciju, pješčani filtri, a uz njih još idu i kišni vrtovi, podzemne retencije, podzemni pješčani filtri, zeleni zidovi, zeleni krovovi i dr. Bilo bi vrlo dobro kad bi primjena tehnika LID postala obvezna kod urbanističkog planiranja i izgradnje svakog novog objekta.

Postavlja se pitanje, što od ovoga se može primijeniti i na koji način u krškim područjima Hrvatske?

5. KRŠ I VODNI RESURSI U KRŠU KAO PRIJAMNICI OBORINSKIH VODA URBANIH SREDINA

Hidrološke specifičnosti krša su brza infiltracija palih oborina, mala akumulativna sposobnost u zoni sitne pukotinske poroznosti, te velika provodnosti stvaranje povremenih površinskih i podzemnih akumulacija u zonama krupnih pukotina. Posljedica ovakvih karakteristika je da slivovi, ili njihovi dijelovi izgrađeni od karstificiranih karbonatnih stijena, imaju slabo razvijenu mrežu površinskih vodotoka, pošto se provodna i kolektorska mreža nalaze pretežno u podzemlju. U ovisnosti od pojave i veličine akumulacionih prostora dolazi do većeg ili manjeg zadržavanja vode u slivu. Režim otjecanja je neravnomjeran zbog neravnomjernosti ulaza i transformacije ulaznog hidrograma i zbog retencione sposobnosti vodonosnika koji ovise o karakteristikama krškog terena. [6]

Imamo dvije karakteristične situacije vezane za rješavanje problema oborinskih voda:

- kopneni krški vodni resursi,
- obalni krški vodni resursi.

5.1. Značajke krških područja u Hrvatskoj

Krš predstavlja područje sastavljeno od posebnog površinskog i podzemnog reljefa i površinske i podzemne hidrografske mreže koja je nastala kao rezultat cirkulacije vode te njenog agresivnog kemijskog i fizičkog djelovanja na prsline, pukotine i šupljine u slojevima topivih stijena kao što su vapnenac, kreda, dolomit, gips i sol.

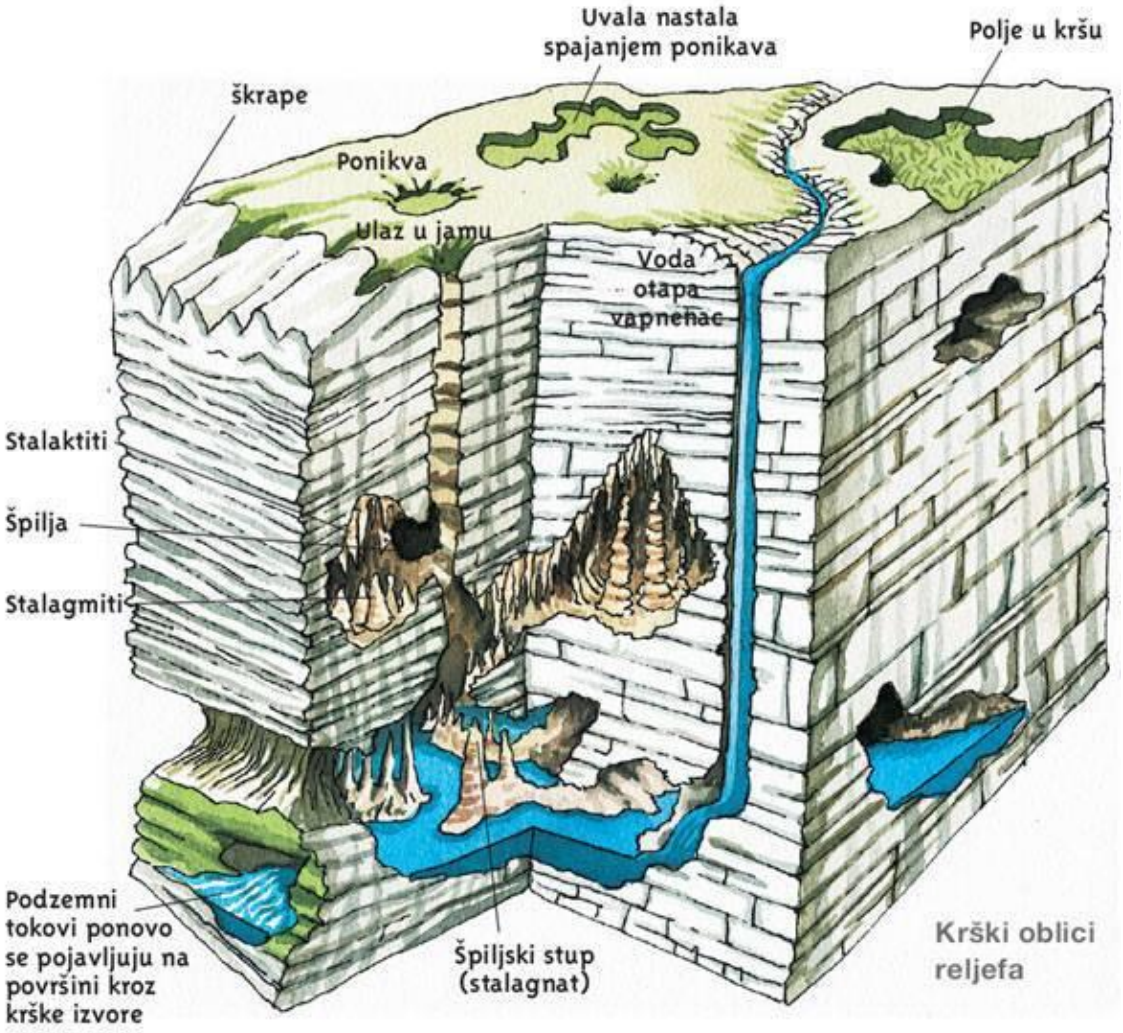
Osnovna karakteristika krške hidrografske mreže je slabo razvijena hidrografska mreža, tj. Malo vode na površini, ali mnogo u dubokom podzemlju. Tekućice su u pravilu kratke ponornice.

Specifičnosti krških vodonosnika:

- Poroznost: primarna, sekundarna i tercijarna;
- Tok vode u vodonosniku: difuzno i kanalizirano tečenje;
- Granice sliva: ne poklapaju se s topografskim granicama;
- Režim istjecanja ovisi o: RPV, oborinama, veličini sliva, klimatskim uvjetima;
- Ovisnost o pokrovu (prekrivenost krša);
- Varijabilnost protoka (prevladavajuća poroznost);

- Bitna je povezanost šupljina: voda se infiltrira, cirkulira i akumulira u podzemlju dok ne izbije na površinu. [8]

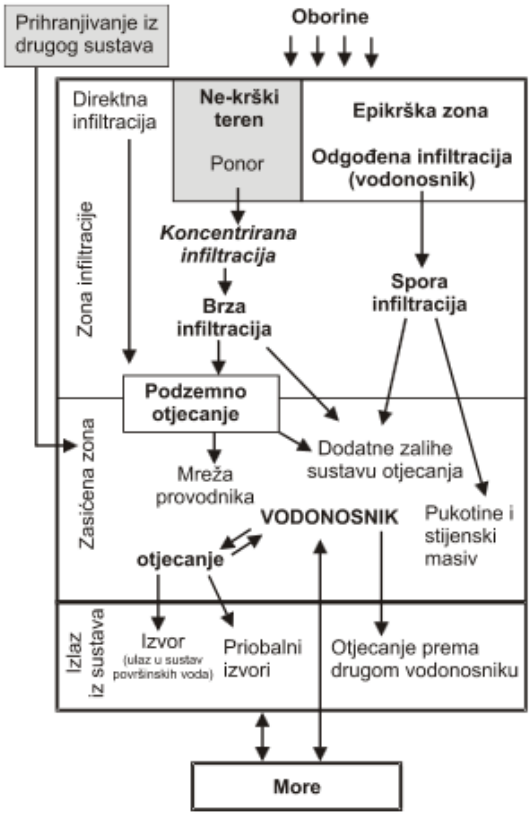
Osnovno obilježje krškog reljefa je selektivna topivost stijena u vodama koje sadrže karbonatnu kiselinu. Posljedica toga je nastajanje izrazito razvijenog reljefa s mnogo udubina i uzvisina (*slika 6.).*



Slika 6. Različiti površinski i podzemni krški oblici.

Tečenje voda na krškim se područjima može podijeliti na tečenja kroz dva režima: podsustave površinskih voda i podsustave podzemnih voda (*slika 7.*). Oni u pravilu djeluju zajedno, ali se mogu razmatrati i razdvojeno. Podsustav površinskih tokova sastoji se od dvije komponente. Prva od njih su vodotoci koji predstavljaju dotoke voda iz nekrškog susjednog kruženja, a završavaju u ponorskim zonama te tako u neposrednom dodiru s krškom zonom predstavljaju točke brzoga koncentriranog utoka u krške vodonosnike. Drugi je način prihranjivanja putem oborina koje se kroz sva krška područja, odnosno kroz njegove gornje slojeve (tlo i epikršku

zonu), neposredno infiltriraju u podzemlje na disperzan i uglavnom usporen način. Dio palih oborinska voda koji se ne može procijediti kroz tlo otječe površinski, a dio se utroši na evapotranspiraciju. Pod time se podrazumijevaju svi procesi pomoću kojih se voda koja se nalazi na tlu ili u blizini površine tla u tekućem ili krutom stanju transformira u plinovito stanje.



Slika 7. Generalni konceptualni model prihranjivanja i djelovanja pojedinih dijelova krškog vodonosnika

Podzemno tečenje sadržava dvije komponente tečenja - nezasićenu (vadoznu) zonu koja se sastoji od gornje epikrške i donje vadozne zone, te najdonju - zasićenu (freatičku) zonu. Epikrš je dio prostora krša s vrlo raspucanim, ali nerijetko i glinovitim taložinama djelomično ispunjenim pukotinskim strukturama. Takve strukture uobičajene brze vertikalne tokove podzemnih voda dijelom usporavaju, te tako mogu dominantno utjecati na režim tečenja podzemnih voda. Donja vadozna zona sastoji se od sloja stijena u kojima se voda uglavnom ne zadržava već vertikalno teče do razine podzemnih voda, odnosno do stalno saturirane freatičke zone. Freatičku zonu obilježava mreža krških kanala s vrlo velikom hidrauličkom provodljivošću i zone akumuliranja podzemne vode umanje vodljivim dijelovima stijenskih blokova. Njihova je gornja granica razina podzemnih voda, a donja vodonepropusniji slojevi. U freatičnoj su zoni procesi okršavanja, tj. širenja pukotina uslijed agresivnog a korozijskog i

erozijskog djelovanja vode, najbrži. Zbog toga se tijekom morfogeneze krškoga područja, odnosno razvojem procesa okršavanja povećava hidraulička provodljivost razvijenih sustava podzemnih kanala, snižava razina podzemnih voda te tako postupno spušta i razina karstifikacije. [17]

5.2. Vodni resursi u kršu

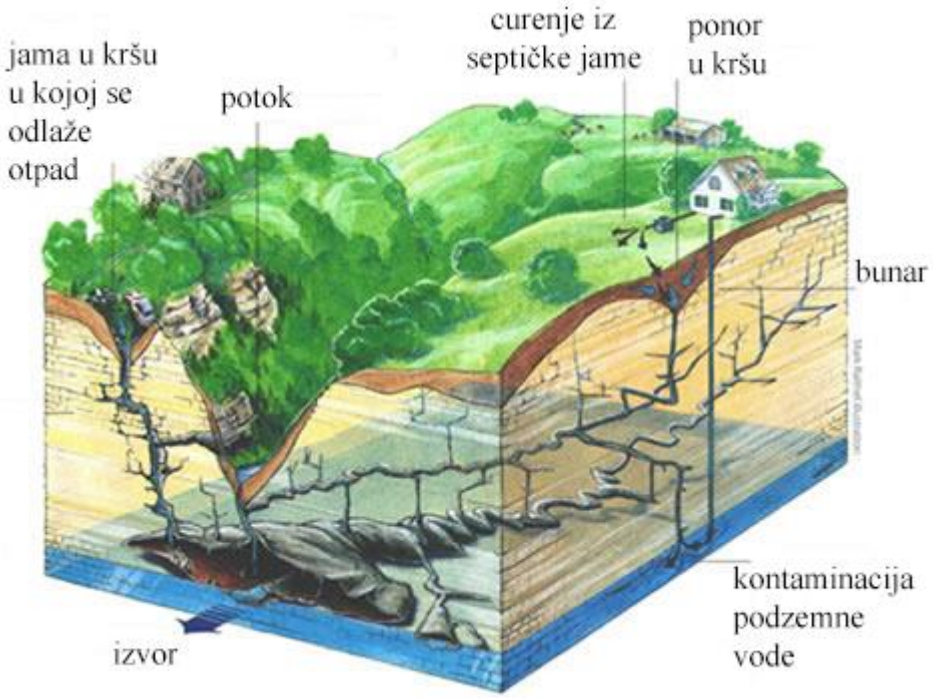
Prirodni sastav krških podzemnih voda vodnog područja Dalmatinskih slivova, posebice u unutrašnjosti Dalmacije, izuzetne je kakvoće. Takav prirodni sastav garantira podobnost za upotrebu u vodoopskrbi. S druge strane upravo zbog specifičnosti i velike osjetljivosti krškog terena (poroznosti i specifične podzemne cirkulacije) potrebno je voditi više računa o kakvoći i zaštiti nego u ravničarskim područjima. Neadekvatno upravljanje otpadom, loš sustav zaštite okoliša, neadekvatan sustav odvodnje komunalnih i otpadnih voda (brojne propusne septičke jame, tzv. „crne jame“) prijetnja su prirodnim bogatstvima dalmatinskih porječja. Naime, dalmatinskim županijama nedostaje odgovarajuća prometna, vodoopskrbna i vodoodvodna infrastruktura za podupiranje pravilnog sustava zaštite podzemnih voda.

Uloga krških voda osobito je značajna za vodoopskrbu stanovništva, poglavito u predjelima koji su deficitarni s vodnim resursima. Zbog hidrogeoloških značajki hrvatskog krškog područja zagađenje voda brzo se širi. Naime, zbog složenosti pukotinske cirkulacije i odsutnosti filtracije koja je prisutna u stijenama sa međuzrnskom poroznošću, velika količina pitke vode zagadi se u kratkom vremenu. Stoga je potreba za zaštitom tih resursa iznimna. [9]

Osnovna značajka jadranskoga sliva jesu razvijeni krški vodonosnici. Temeljna obilježja krških slivova prostrane su zone prikupljanja vode u planinskim područjima i vrlo kompleksni uvjeti izviranja na kontaktima okršenih vodopropusnih karbonatnih naslaga i vodonepropusnih stijena. Tečenje vode vezano je za pukotinske sustave, a odlikuje se velikim brzinama podzemnih tokova (do 30 cm/s) i pojavama jakih krških izvora velikih amplituda istjecanja. Zbog male retencijske sposobnosti vodonosnika ljetna razdoblja karakterizira bitno smanjenje istjecanja na izvorima, a katkad i potpuna presušivanja. Kakvoća podzemnih voda uglavnom je vrlo dobra, a jedine probleme stvaraju povremena zamućenja i bakteriološka onečišćenja izvora kao posljedica jakih oborina, osobito nakon dugoga sušnog razdoblja.

Podzemna voda čini oko 90% svih zahvaćenih količina voda, dok preostali dio čini zahvaćanje površinskih voda iz vodotoka i višenamjenskih akumulacija. Važna mjera zaštite vodonosnika vode za piće jest donošenje i provođenje odluka o zonama sanitarne zaštite. Zaštita voda za piće, točnije, provođenje mjera zaštite unutar zona sanitarne zaštite otežano je na svim

crpilištima u kršu i aluviju, posebno tamo gdje su vodoopskrbni izvori u blizini većih gradova, jer su ugroženi procesom urbanizacije, industrijalizacije, poljoprivrede, neuređenim odlagalištima otpada i otpadnim vodama (*Slika 8.*). [10]



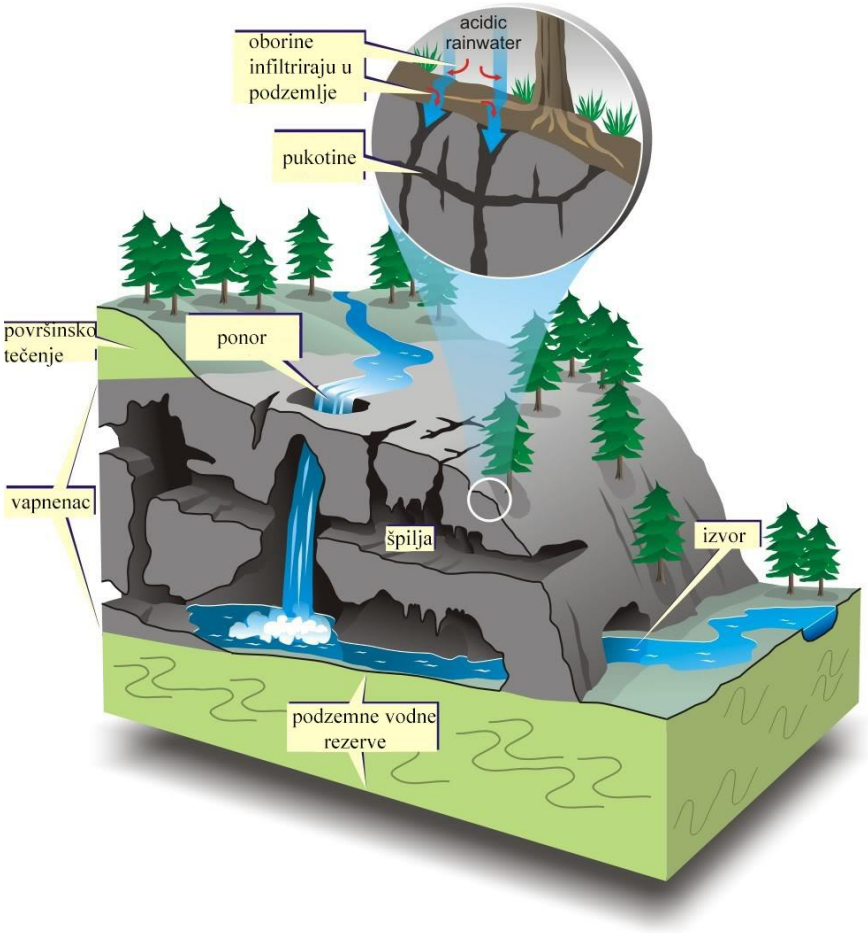
Slika 8. Kontaminacija podzemne vode u kršu iz raznih izvora

Za područje jadranskih slivova, gdje tijekom ljeta raspoložive količine vode uglavnom nisu dovoljne, primjena tehnologija i opreme za navodnjavanje kojom se voda minimalno troši. Valja istaknuti da su raspoložive količine vode iz pojedinih vodotoka za potrebe navodnjavanja katkad ograničena karaktera. Naime, potrebe za navodnjavanjem najveće su u vrijeme suša, odnosno nepovoljnoga hidrološkog razdoblja, što znači da se potrebne količine mogu osigurati samo akumuliranjem voda. Na otocima i na vodom siromašnim područjima planira se lokalno akumuliranje voda tijekom vlažnog dijela godine za potrebe navodnjavanja u sušnom razdoblju korištenjem postojećih zimskih viškova vode na izvorištima i unutar sustava javne vodoopskrbe, odnosno uvođenjem u upotrebu drugih nekonvencionalnim izvora vode kao primjerice korištenje pročišćenih otpadnih voda. Time bi se u određenoj mjeri u priobalnom području i na otocima moglo smanjiti korištenje vodom iz javnih vodoopskrbnih sustava (u vrijeme turističke sezone i najvećih potreba za vodom), a za potrebe individualne poljoprivredne proizvodnje.

5.3. Retencijski kapaciteti u kršu

Zbog osobitosti krških vodonosnika, složenih strukturno-tektonskih odnosa, te višestrukog izviranja i poniranja vode na različitim horizontima unutar istog sliva u velikom broja slučajeva je nepouzdano odvajanje površinskih i podzemnih voda, a osobito utvrđivanje zaliha podzemne vode.

U prosjeku je manje od 2 posto cjelokupnog krškog masiva sposobno za skladištenje podzemne vode koja s površine prodire u podzemlje nakon padanja oborina. Punjenje i pražnjenje sitnih krških pukotina i prslina obavlja se vrlo polako, dok se velike krške pukotine pune velikom brzinom (*Slika 9.*). Voda kroz njih brzo protječe te se ponovno pojavljuje na površini na nižim horizontima u obliku stalnih ili povremenih krških izvora. Kapaciteti skladištenja vode u velikim krškim podzemnim oblicima znatno su manji, čak i do sto puta manji od ukupnih skladišnih kapaciteta sitnih krških pukotina i prslina. Kad su podzemni krški prostori u kojima se skladište glavne količine vode ispunjeni, dolazi do skladištenja voda na površinskim depresijama u obliku plavljenja polja i povremenih jezera.



Slika 9. Proces prihranjivanja podzemnih krških provodnika

Krški vodonosnici smješteni u podzemlju predstavljaju kompleksne sustave koje je teško, a ponekad i nemoguće otkriti, definirati, a stoga i modelirati. Zbog kompleksnosti krških vodonosnika vrlo je teško predvidjeti smjer i vrijeme putovanja podzemne vode u njima, a s njom i transport zagađenja. Svi se procesi kretanja vode u podzemlju krša odvijaju istovremeno, kako u velikim provodnicima i špiljama, tako i u mikronskim pukotinama i porama.

5.4. Zaključak

Iz prethodnog možemo zaključiti da su vode i vodni resursi u kršu vrlo osjetljivi na onečišćenja, a pogotovo na ona koja dolaze iz urbanih sredina. Vodni resursi u kršu su oskudni, zato treba posebnu pažnju obratiti da sačuvamo izvore koji se lako mogu kontaminirati.

Urbane sredine mijenjaju vodne resurse u kršu time što mijenjaju površinu tla i kemijski sastav oborinskih voda koje s nje otječu. Veliki vršni protoci oborinskih voda koji se javljaju u urbanim sredinama također predstavljaju problem za osjetljive krške vode. Takve promjene koje urbana sredina radi na okoliš u kršu treba minimalizirati uvođenjem integralnih disciplina kod uređenja gradskih prostora.

6. INTEGRALNI KONCEPT ODVODNJE URBANIH OBORINSKIH VODA

Premda ne postoji jedinstvena definicija pojma Integralno upravljanje vodnim resursima (IWRM), veoma često se koristi definicija Globalnog partnerstva za vode (GWP), po kojoj je IWRM proces koji promovira koordinirani razvoj i upravljanje vodama, zemljištem i ostalim povezanim resursima, u cilju maksimiziranja nastalog ekonomskog i društvenog bogatstva na pravičan način, bez ugrožavanja održivosti vitalnih ekosustava (GWP, 2004). Ovaj pristup integralnom upravljanju omogućuje upravljanje i razvoj vodnih resursa na uravnotežen i održiv način, uzimajući u obzir društvene, ekonomske i okolišne faktore i interese.

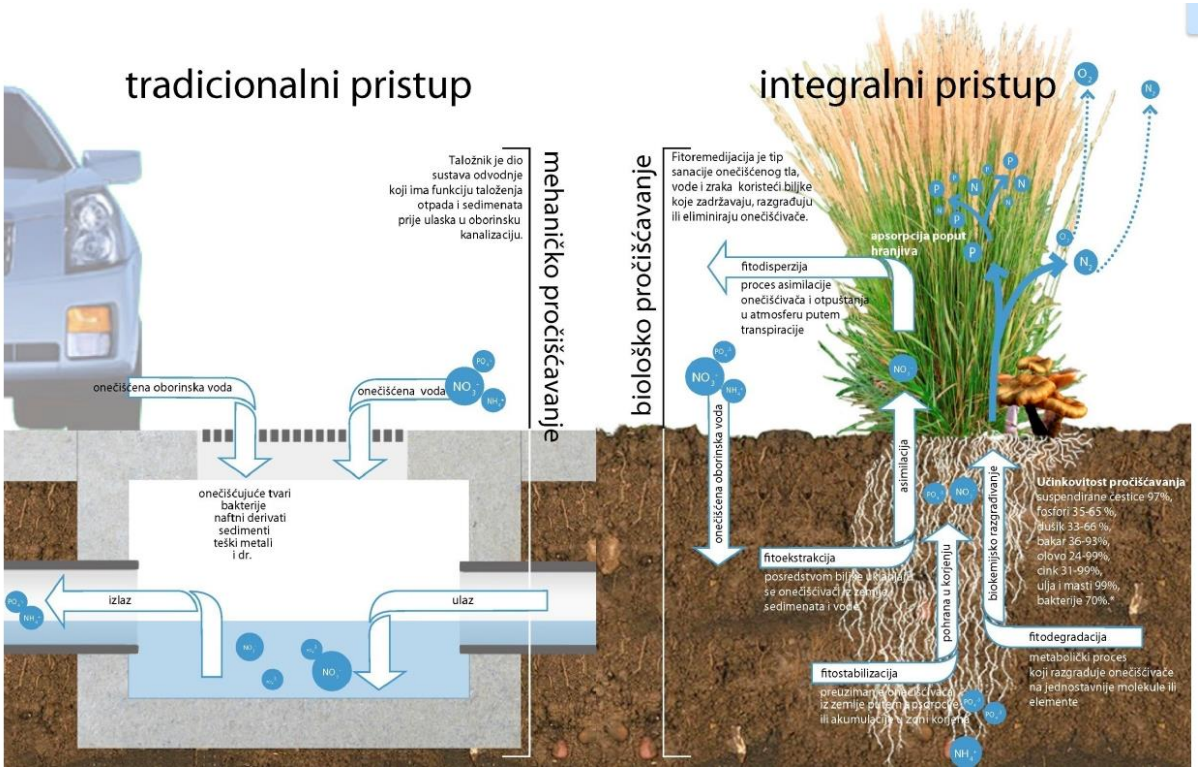
Pojam integracije u upravljanju vodnim resursima veoma je složen jer uključuje nekoliko različitih aspekata upravljanja prirodnim resursima i potrebama za vodom. Integracija se stoga može razmatrati sa aspekta dvije osnovne kategorije (GWP, 2004):

- prirodnog sustava, koji određuje raspoloživost i kvalitetu voda;
- društvenog sustava, odnosno utjecaja ljudskog faktora, koji određuje korištenje vodnih resursa, te produkciju otpadnih voda i zagađenje vodnih resursa.

Integralno upravljanje vodnim resursima uključuje multidisciplinarni pristup rješavanju problema koji se bazira na različitim naučnim disciplinama: prirodnim naukama, uključujući matematiku, tehnologiji, pravu, ekonomiji, politici, sociologiji i dr. Integracija različitih disciplina omogućuje sveobuhvatno sagledavanje i rješavanje problema na slivnom području. [23]

6.1. Što je integralni pristup rješavanja odvodnje ?

To je inovativan pristup upravljanja površinskim i oborinskim vodama koji se oslanja na načelu da treba planirati i projektirati odvodnju po prirodnom načinu otjecanja odnosno upravljati oborinama na izvoru ravnomjernim usmjeravanjem na decentralizirane mikro-sustave odvodnje, koristeći se tehnikama projektiranja koje predviđaju retencioniranje, infiltraciju u podzemlje, evaporaciju, i filtraciju. Integralni pristup je zapravo razvoj takozvane „zelene infrastrukture“ oborinskih voda. Integriramo oborinske vode sa prirodnim okolišem u urbanoj sredini i šire.



Slika 10. Usporedba tradicionalni - integralni pristup

Integralnim pristupom smanjuje se negativno djelovanje površinskih i oborinskih voda na prostoru, povećava se ambijentalna vrijednost pojedinih dijelova naselja uz optimalnu ekonomsku učinkovitost i zaštitu prostora u cjelini. Na taj način se štiti prirodni okoliš i resursi, a smanjuju negativni utjecaji klimatskih promjena na urbanu sredinu i okoliš u cjelini, te smanjuje utjecaj urbane sredine na klimatske promjene. Pozitivni utjecaj je lokalni ali i globalni i zbog toga je važan.

6.2. Prednosti integralnog pristupa

Efikasno integralno upravljanje vodnim resursima donosi brojne prednosti za sve korisnike vodnih resursa, kao i za okoliš, kako na lokalnom, tako i na regionalnom i globalnom nivou.

Integralno upravljanje vodnim resursima prije svega donosi koristi najsiromašnijem stanovništvu koje je i najviše izloženo problemu nestašice vode. Primjena ovakvog načina upravljanja vodnim resursima povećava sigurnost i smanjuje cijenu snabdijevanja vodom prije svega domaćinstava, te smanjuje troškove tretmana otpadnih voda, budući da se kroz ovaj pristup problem zagađivanja rješava znatno efikasnije.

Kod planiranja sustava odvodnje oborinskih voda, tradicionalno se težilo izgradnji velikih i skupih cijevnih sustava kojima je cilj oborinsku vodu sakupiti što brže s urbanih sredina i

odvoditi je do recipijenta. U integralnom pristupu vodi se briga o zbrinjavanju oborinske vode na prirodan način, iskorištavanja vode koja se može ponovno upotrijebiti, utjecaj na okoliš i čovjeka je pozitivan, te ekonomski može biti znatno povoljnije od velikih cijevnih sustava. Usporedba nekih aspekata tradicionalnog i integralnog pristupa je prikazana u tablici 2.

Tablica 2. Usporedba tradicionalnog i integralnog pristupa

Tradicionalan pristup	**Integralni pristup**
Uže opredjeljenje rada orijentirano isključivo na kanalizacijski sustav	Širi vidik rada na nivou cjelovitog ekosustava i šire
Rješavanje problema kad se oni već desili postanu gorući	Prevencija problema u urbanom prostoru i šire
Isključivo inženjerski pristup	Multidisciplinarnost tima koji će rješavati cjelovit sustav
Zaštita vlasništva, odvesti što je brže i dalje od parcela	Zaštita ne samo vlasništva već i lokalnih prostornih resursa, usporavanjem otjecanja kroz prirodne procese
Isključivo vođenje u cijev	Oborinske i površinske vode integrirati u namjenu datog prostora i prostora u cjelini
Povećanje cijevi i kanala nekorištenjem površina za zadržavanje	Smanjenje cijevi, povećanjem korištenja zelenih površina i tla

Dodatni pozitivni učinci korištenja zelenih površina u kontekstu oborinske odvodnje su višestruki:

- obogaćenje prirodnog ekološkog sustava u gradskoj sredini,
- poboljšanje percepcijskih vrijednosti (doživljaja, ugođaja),
- poboljšanje zdravlja stanovništva (temperatura, kisik, kvaliteta vode),
- unapređenje socijalne uloge otvorenih prostora,
- zaštita recipijenta, pročišćavanje i izdvajanje štetnih tvari u vodama,
- smanjenje ispuštanja stakleničkih plinova urbane sredine uz pomoć biljaka i zelenih površina.

Zelene površine, korištenje biljaka za ispuštanje vlage u zrak, te veće korištenje tla po dubini za infiltraciju su zapravo ključni procesi integracije.

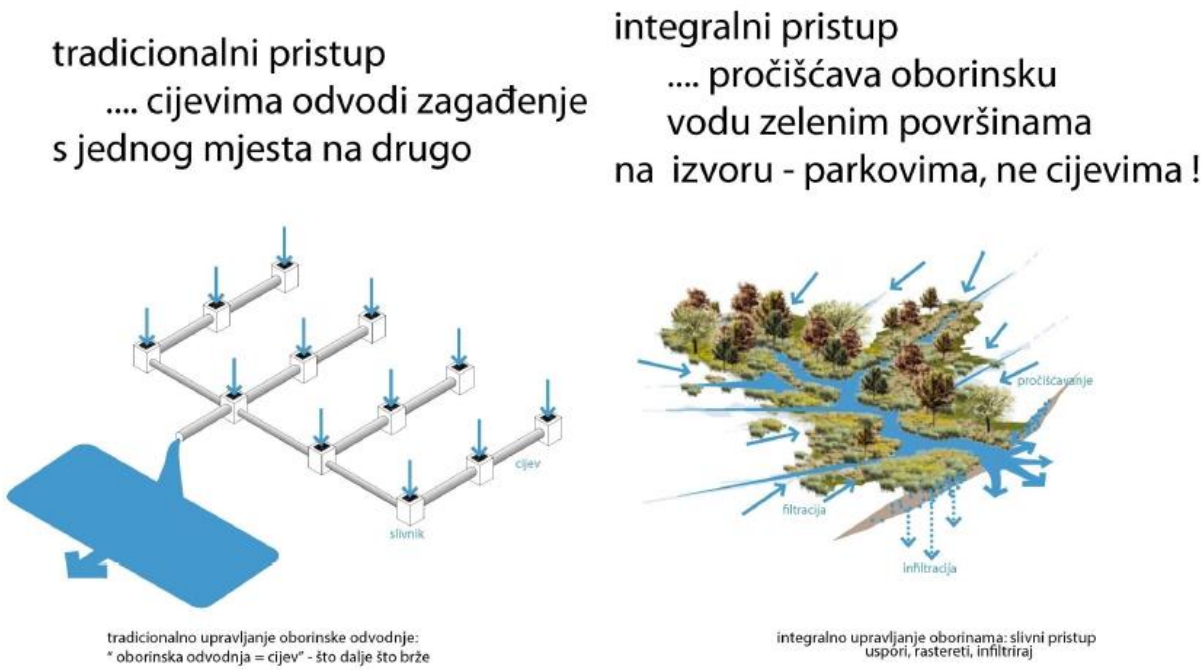
6.3. Uloga zelenih površina

U integralnom pristupu rješavanja oborinskih voda, zelene površine su neizostavni dio sustava odvodnje i imaju dvije važne uloge:

- smanjenje otjecanja oborinskih voda povećanjem infiltracije u podzemlje na samom mjestu nastajanja (na građevnoj čestici i uz prometnice), te povećanje ispuštanja vlage u zraku procesima evapotranspiracije,
- usporavanje vršnog otjecanja oborinskih voda u kanalizacijski sustav ili drugi recipijent retencioniranjem (na građevnoj čestici i uz prometnice).

Integriranjem zelenih površina u sastavni dio odvodnje, tzv. zelene infrastrukture gradskih prostora, može se postići i značajan efekt pročišćavanja oborinskih voda i to: suspendirane čestice: 97%, fosfori: 35-65 %, dušik: 33-66 %, bakar: 36-93%, olovo: 24-99%, cink:1-99%, ulja i masti: 99%, bakterije: 70%.

Pravilnim izborom biljaka, ukrasnih trava i grmlja odabiru se one koje imaju karakteristike da podnose duge periode suše između oborina i isto tako duže periode vlage s čime se može izbjeći problematika uvjetovana vremenskim prilikama.



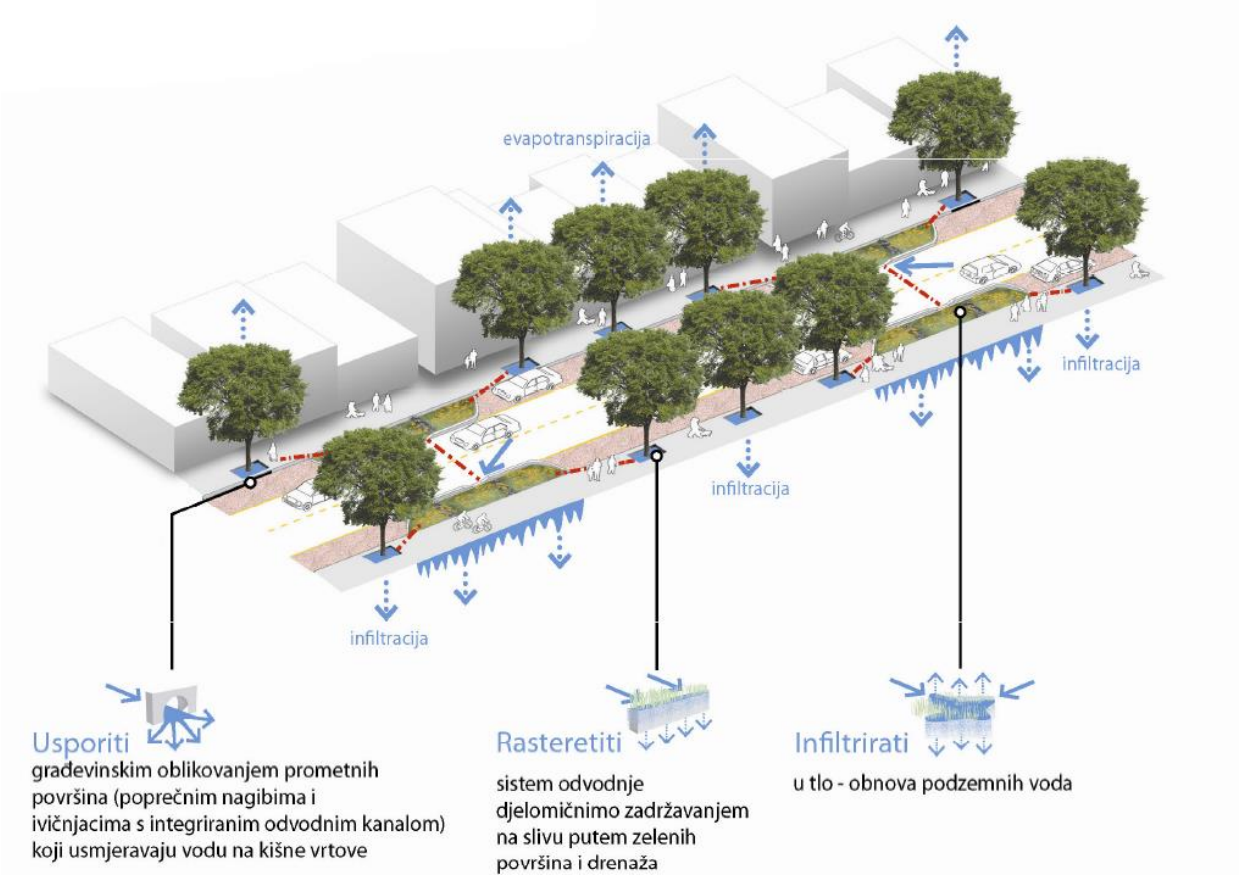
Slika 11. Uloga zelenih površina

Zelena infrastruktura utječe na usporavanje i smanjenje vršnih otjecanja, rasterećivanje cijevnog (izgrađenog) sustava odvodnje, te povećanje ispuštanja u podzemne vode (*slika 9.*).

6.4. Tipovi rješenja integralne odvodnje po namjeni

Zeleni sustavi kao dio urbanog uređenja prostora se mogu integrirati na više načina. U otvorenim gradskim prostorima, postoje višestruke mogućnosti za efikasno upravljanje i zbrinjavanje oborinskih voda kroz zelene površine:

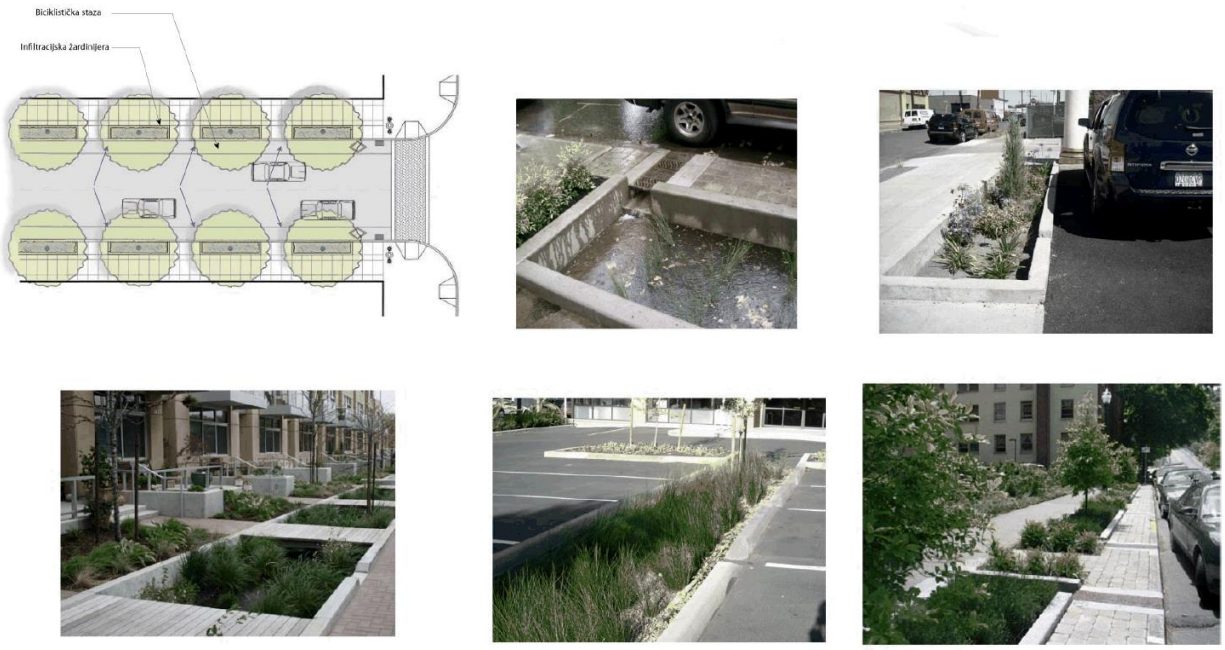
- u pojasu cesta i parkirališta, od onih sa većim zelenim površinama i na kružnim tokovima do onih s manjim i povremenim pojavama zelenila pored njih do takvih koji nemaju zelenila u neposrednom pojasu već imaju prostora u poprečnom ili pak uzdužnom profilu;
- u parkovima i otvorenim prostorima, gdje svaki otvoreni prostor predstavlja mogućnost za zbrinjavanje površinskih voda u rangu od slobodnih zelenih površina do uređenih park površina i sl.;
- te na različitim drugim razinama slobodnog prostora (*slika 12.*).



Slika 12. Mogućosti integralnog pristupa – smanjiti otjecanje i povećati infiltriranje

Rješenja u pojasu prometnice ugradnjom:

- bioretencija,
- drenažnih kanala i rovova, od onih sa većim zelenim potezima kako jednostranim tako i obostranim ili pak po sredini ceste. Na kružnim tokovima. Ceste s manjim i povremenim pojavama zelenila pored njih do onih koji nemaju zelenila u neposrednom pojasu već imaju prostora u poprečnom ili pak uzdužnom profilu; sve u cjelovitim potezima, trakastim ili pak točkastim sustavima.,
- u vidu propusnih kolničkih zastora različitih tipova i profila,
- parking površina uključuje kako primjenu travnih rešetki s visokom propusnom moći tako i višeslojne mogućnosti uređenja zelenih struktura u funkciji bioretencijskih sustava s racionalnim dizajniranjem parkirališta,
- slivnika s drenažnim sustavom ili propusnih zastora kolnika na cestama, parking površinama, stazama i sl. (*slika 13.).*



Slika 13. Mogućnosti odvodnje ulica i parkinga

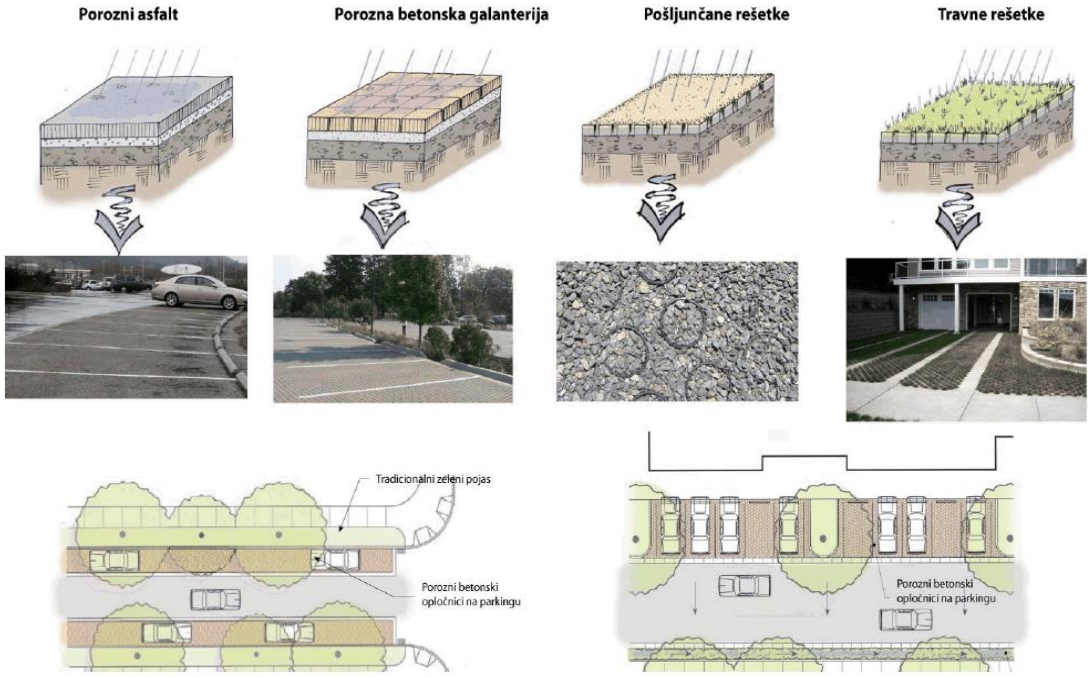
Rješenja unutar parkova i otvorenih prostora:

- uključivanja bioretencija, sustava trakaste vegetacije s funkcijama filtera i širokih zelenih jarka u otvorene prostore kao sastavnica krajobraznog plana,
- integracija kao oblik vodene motivacije u sadržajima unutar parka,

- izvođenje infiltracijskih ili filtracijskih sustava/ objekata ispod piknik zona, parkirališta, igrališta i sl.,
- uključiti infiltracijske sustave u pojasu pored zaštitnih šuma, gdje njihova funkcija i ekološki integritet neće biti ugroženi.

Bioretencije ili kišni vrtovi kao varijacija su plitko iskopane površine, ozelenjene depresije sa kompleksnom vrtnom zemljom u čijem sastavu trebaju biti i komponente za filtraciju onečišćivača s prometnica, te odabrane vrste vegetacije kako trava tako i trajnica, grmlja i stablašica s filter svojstvima, te da su otporne na prekomjernu vlagu u tlu u dugim vremenskim razdobljima i da posjeduju izdržljivost na dugotrajnu sušu i sl. uz ostale funkcije.

Propusni pločnik je varijacija opločenja završne podne konstrukcije u odnosu na tradicionalni kolnik koji koristi uglavnom nepropusne materijale (*Slika 14.*). [7]



Slika 14. Varijante propusnih pločnika

Zelenim krovovima i korištenje zelenih ovojnica zgrada možemo povećati vertikalno ispuštanje vode u atmosferu i zadržavanje vode u biljkama i supstratu.

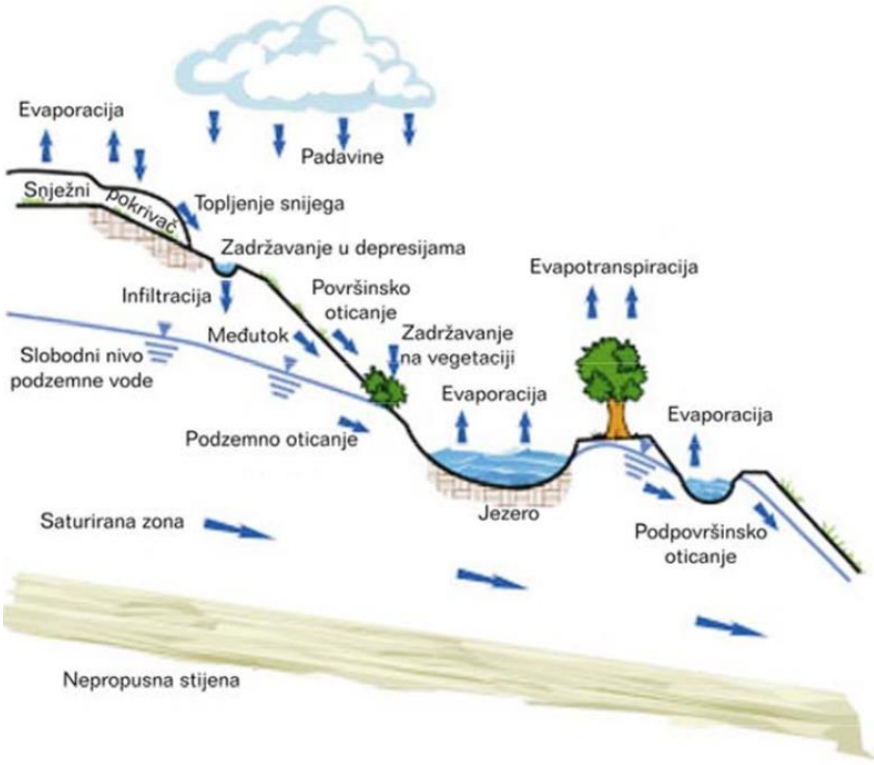
Unutar i na rubovima urbanih sredina mogu se graditi veće ili manje retencije, akumulacije, umjetne močvare i slične građevine u kojima se akumuliraju veće količine vode radi ponovnog korištenja ili infiltriranja u podzemlje, te obogaćivanje lokalnih vodnih resursa. Svrha je usporavanje otjecanja iz urbane sredine kako bi vodu prirodni okoliš mogao što dulje koristiti kako je to i bilo prije urbanizacije.

7. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE RJEŠENJA

7.1. Osnovne teoretske postavke

Voda na Zemlji je uvijek u kretanju iznad, na površini, te ispod površine zemlje.

Osnovne komponente hidrološkog ciklusa, koje definiraju kretanje vode u prirodi su: oborine, zadržavanje na vegetaciji, evapotranspiracija, infiltracija, površinsko otjecanje, procjeđivanje i podzemno otjecanje i akumuliranje (*slika 15.*).



Slika 15. Kruženje vode u prirodi

U odvodnji i zbrinjavanju oborinskih voda u klasičnim rješenjima (izgrađeni sustav odvodnje) dominantni su procesi protoka vode kroz cijevni sustav, te manjim dijelom površinsko otjecanje.

U zelenim i integralnim rješenjima veći je naglasak na vertikalno kretanje vode u oba smjera dok je površinsko otjecanje od manjeg značaja, a cijevno samo kao mjera sigurnosti. Zbog toga je za zelenu infrastrukturu važna vertikalna bilanca voda.

7.1.1. Vertikalna bilanca voda

Vodna bilanca je rezultat analize hidroloških procesa kao dijelova hidrološkog ciklusa na određenom prostoru u određenom vremenu. Poznato je da se kroz prozračnu zonu zemljišta vrši stalna vertikalna izmjena vode između slobodnog nivoa podzemne vode i atmosfere. Ta izmjena vrši se zbog tri osnovna hidrološka procesa u koji spadaju oborine, procjeđivanje (infiltracija) i isparavanje (evapotranspiracija).

Vodnom bilancom ili balansom voda se kvantitativno (količinski) opisuje hidrološki ciklus i njegove komponente, a zasniva se na općem konceptu održanja mase.

$$dW = U - I.$$

gdje je;

- dW - promjena mase u ograničenom prostoru
- U - masa koja je ušla u taj prostor u određenom vremenu - predstavlja oborine kao ulaznu veličinu
- I - masa koja je izašla iz tog prostora u određenom vremenu - predstavlja isparavanje i otjecanje kao izlaznu veličinu

Pod prostor podrazumijevamo jedan dio zemljine površine, ali gornje postavke mogu vrijediti na svim razinama - od globalne do lokalne, od velikih prirodnih sustava npr. Zemlja do pojedinačnih vodnogospodarskih sustava za transformaciju ili/i korištenje voda.

Iz gore navedenog vrijedi slijedeća jednadžba promjene vodnih količina na nekom prostoru:

$$U - I = \pm\Delta H,$$

za slučaj kada je promjena vodnih količina na nekom prostoru jednaka nuli, odnosno $\Delta H = 0$, tada vrijedi:

$$P = E + O_1 + O_2.$$

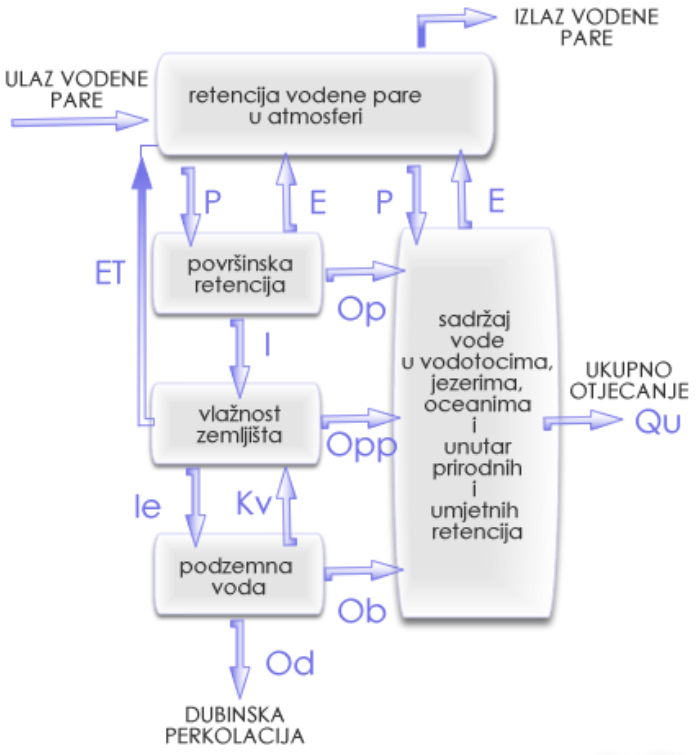
Gdje su O_1 i O_2 brzo i sporo površinsko otjecanje. Odnosno ulazna vrijednost je jednaka izlaznoj. Točno onoliko koliko je palo kiše ili doteklo vode toliko je i oteklo i/ili isparilo bez zadržavanja.

Jednadžba vodne bilance:

$$H + Q_{dd} + Q_{bd} - E - Q_{do} - Q_{bo} += \pm \Delta V$$

gdje;

- H - predstavlja volumen ukupne oborine,
- Q_{dd} - predstavlja volumen ukupnog i direktnog dotoka s drugih područja - (brzi površinski dotok),
- Q_{bd} - predstavlja volumen ukupnog baznog dotoka s drugih područja (spori podzemni dotok),
- E - predstavlja volumen ukupnog isparavanja,
- Q_{do} - predstavlja volumen ukupnog i direktnog otjecanja na druga područja - (brzo površinsko otjecanje),
- Q_{bo} - predstavlja volumen ukupnog i baznog otjecanja na druga područja - (sporo podzemno otjecanje),
- ΔV - ukupna promjena volumena vode.



Slika 16. Shema Vertikalne vodne bilance

Za bilancu podzemne vode su dominantne vertikalne komponente procesa gibanja vode u hidrološkom ciklusu. Osnovne čimbenike vodne bilance možemo složiti u slijedeće grupe:

- Klimatološke
- Hidrološke
- Hidrogeološke
- Biološke

Najveći utjecaj na vertikalnu vodnu bilancu imaju klimatološki i hidrološki čimbenici zbog njihove izrazite dinamičke promjenljivosti u prostoru i vremenu. Klimatološki čimbenici vertikalne vodne bilance izrazito su nestacionarni, procesni čimbenici, od kojih zavise hidrološki i biološki čimbenici.

Kao ulazni parametri u jednadžbi vertikalne vodne bilance uzimaju se količina oborine, temperatura zraka i isparavanje.

Kao izlazne parametre dobivamo mjerenja efektivne infiltracije i promjene nivoa podzemne vode u bunarima – infiltrometrima.

Neposrednim mjerenjem glavnih ulaznih i izlaznih parametara vertikalne bilance podzemnih voda i hidrološkom analizom vodne bilance, mogu se upoznati osnovne osobine hidrološkog sustava u vertikalnoj vodnoj bilanci (*Slika 16.)*, odnosno glavni hidrološki procesi koji u prirodi određuju izmjenu vode između atmosfere i podzemne vode.

U zelenoj infrastrukturi su baza površinska otjecanja ograničena, na krovove i prometnice te druge vodonepropusne površine kojima oborinske vode otječu do zelene infrastrukture koja vodu usmjerava vertikalno.

7.1.2. Evaporacija i evapotranspiracija

Evapotranspiracija predstavlja kombinirano djelovanje isparavanja vode sa vlažnih površina, što se naziva evaporacija, i ispuštanja vode u atmosferu putem biljaka kao dio njihovog životnog ciklusa, što predstavlja transpiraciju. Kako je teško na terenu zasebno izmjeriti evaporaciju i transpiraciju, obično se mjere i izražavaju zajedno kao evapotranspiracija.

Evaporacija je proces isparavanja vode sa površine zemljišta ili sa vodne površine, koji se odvija pod djelovanjem sunčeve energije. Intenzitet evaporacije zavisi od mnogobrojnih faktora, poput temperature zraka i vode, atmosferskog pritiska, vlažnosti zraka, djelovanja

vjetra, vegetacije i sl. Karakteristike sustava zemljište - biljka - voda u mnogome utječu na intenzitet evaporacije, jer stablo, krošnja i lišće biljaka: (i) predstavljaju površine sa kojih voda isparava, (ii) svojom sjenom štite zemljište od gubitka vlažnosti i (iii) utječu na količinu vlage koju vjetar može iznijeti sa biljke.

Mogući su različiti teorijski pristupi određivanja evaporacije:

- Metodom vodne bilance
- Metodom bilance energije
- Metodom transporta masa
- Kombinacijom metode bilance energije i metode transporta masa

Transpiracija predstavlja gubitak vode putem biljke, kao posljedica njenog metabolizma, i u najvećoj mjeri ovisi okolišu čini raspoložive toplote. Transpiracija je vrlo bitan ekološki proces, zbog: (i) transporta nutrijenata i vode u gornje dijelove biljke i (ii) hlađenja lišća. Nivo vlage koji biljka može uzeti iz tla zavisi od sustava korijena, te karakteristika i vlažnosti zemljišta. Samo mali dio vode potrebne biljci bude zadržan u njenom tkivu, dok većina putem lišća i drugih organa biljke ispari u atmosferu. Nivo transpiracije ovisi o evaporativnoj moći zraka, tj. dijelom ovisi od temperature zraka, vjetra, postotka zasićenja zraka vlagom i količine svjetlosti.

Intenzitet evapotranspiracije je uvjetovan klimatskim karakteristikama područja, tako da je prostorno veoma neravnomjerno raspoređen na Zemlji. Najintenzivnija evapotranspiracija je u aridnim (sušnim) područjima, gdje iznosi čak oko 70% od ukupnih oborina, dok je u područjima sa umjerenom klimom taj postotak znatno manji (oko 33%). [23]

7.1.3. Infiltracija

Infiltracija je hidrološki proces vertikalnog gibanja vode kroz prozračnu zonu zemljišta, od površine zemljišta prema slobodnom nivou podzemne vode, uslijed djelovanja kapilarnih sila i sile gravitacije. Proces se odvija kroz pore zemljišta koje su ispunjene vodom i zrakom i direktno utječe na promjenu vlažnosti u prozračnoj zoni. Voda koja učestvuje u tom procesu pripada gravitacionoj vodi. U koliko uslijed infiltracije dođe do podizanja slobodnog nivoa podzemne vode, odnosno do promjene granice između zasićene i prozračne zone zemljišta, taj dio procesa infiltracije se naziva efektivna infiltracija ili perkolacija. Proces infiltracije počinje u trenutku prispijeća oborine iz atmosfere na površinu zemljišta poslije sušnog perioda. U tom

trenutku na površini zemljišta se stvara jedan saturirani sloj ispod kojega se nalazi prozračna zona sa nižim potencijalom vlažnosti. Kroz pore većih dimenzija, voda se vertikalno giba nadolje pod djelovanjem sile gravitacije. Pore manjih dimenzija, u prvom trenutku preuzimaju vodu iz gornjeg zasićenog sloja u obliku kapilarne vode, zbog djelovanja molekularnih sila odnosno kapilarnog potencijala. Obadva potencijala djeluju u istom smjeru čime se hidraulički potencijal pojačava. Intenzitet infiltracije (*f*) je najveći u trenutku prispijeća oborine na površinu nezasićenog zemljišta. Proces infiltracije će se vremenom smanjivati na račun povećavanja vlažnosti prozračne zone i trajati će tako dugo dokle god je razlika u potencijalu vlažnosti zasićenog i nezasićenog dijela zemljišta veća od njegove specifične retencije. U koliko je oborina iz atmosfere na površinu zemljišta dugotrajna i intenzivna, količina vlažnosti zemljišta iznad prodiruće fronte vlažnosti je stalno iznad vrijednosti specifične retencije, čime je prisutno stalno gravitacijsko gibanje vode u toj zoni. Vremenski povećanjem dubine prodiranja, fronta vlažnosti nailazi na dijelove prozračne zone zemljišta sa sve većim sadržajem vlažnosti čime se smanjuje djelovanje kapilarnog potencijala, a time i intenziteta procesa infiltracije. U kršu, ovaj proces je drugačiji jer je vertikalno otjecanje uglavnom konstantno sve do zone saturacije. Intenzitet infiltracije predstavlja količinu vode koja iz atmosfere ulazi u zemljište u jedinici vremena, u zavisnosti od složenih uvjeta koji su u tom trenutku prisutni. Ti uvjeti posebno uključuju količinu i raspodjelu vlažnosti u prozračnoj zoni zemljišta, hidrauličku provodljivost te zone, te količinu i intenzitet oborine pridošle na površinu zemljišta. U kršu je uglavnom vlažnost zemljišta mala, a hidraulička provodljivost velika. U koliko je intenzitet oborine veći od intenziteta infiltracije, dolazi do retencije vode na površini i saturacije tog dijela zemljišta. Tada je količina infiltrirane vode maksimalna za prisutne uvjete zemljišta i nosi naziv infiltracioni kapacitet.

Raspodjela vlažnosti u profilu zemljišta prozračne zone može se podijeliti na četiri glavne zone:

- zasićenu zonu uz samu površinu zemljišta,
- zonu prijenosa vlažnosti sa nezasićenim i približno jednolikim sadržajem vlažnosti,
- zonu vlaženja u kojoj se vlažnost smanjuje sa dubinom,
- frontu vlažnosti, odnosno liniju na kojoj se vrši izmjena vlažnosti između vlažnijeg zemljišta iznad i suhog zemljišta ispod fronte.

Brojna istraživanja podzemnih voda u kršu rezultirala su spoznajama o postojanju više hidrodinamičkih zona.

To su:

- prozračna zona, u kojoj voda teče pod utjecajem gravitacije nepravilnim, pretežito vertikalnim pukotinama,
- prijelazna zona, kod koje pri niskom vodostaju u podzemlju voda teče kao u prozračnoj zoni, a njegovim povišenjem teče pretežito lateralno, također pod utjecajem gravitacije,
- zona lateralne i stalne silazne cirkulacije, u kojoj voda teče pod utjecajem gravitacije,
- zona sifonalne stalne cirkulacije, gdje voda silazno teče u području podzemne razvodnice i uzlazno (pod utjecajem hidrostatskog tlaka) u području izlijevanja na površini,
- zona usporene dubinske cirkulacije, u kojoj postoji hidrostatski tlak, a voda teče polako.

U otočkim, krškim vodonosnim sustavima vrlo je bitan makar i orijentacijski izračun bilance podzemnih voda. Poseban je problem nepoznavanje uvjeta na jednome od najznačajnijih rubnih uvjeta: dodiru slatke i slane vode, tj. zoni miješanja, a i praktično je nemoguće kvantitativno izraziti količine vode koje se "izgube" procjeđivanjem i raspršenim izviranjem na rubovima vodonosnika, u zonama gdje nema izvora u obliku koncentriranih tokova. U ovakvim terenima je prikladnije pretpostaviti postotak efektivne infiltracije nego izračunavati ga raznim iskustvenim formulama koje nisu primjerene za ove uvjete. Obično se pretpostavlja srednja visina efektivne infiltracije za ovakve krške terene oko 40%. [21]

U tom je slučaju količina efektivne infiltracije I_e (m^3/godišnje):

$$I_e = 0{,}4 \cdot A \cdot P$$

Gdje A (m^2) predstavlja površinu sliva, a P prosječne oborine (m^3/m^2/god).

7.2. Retencije

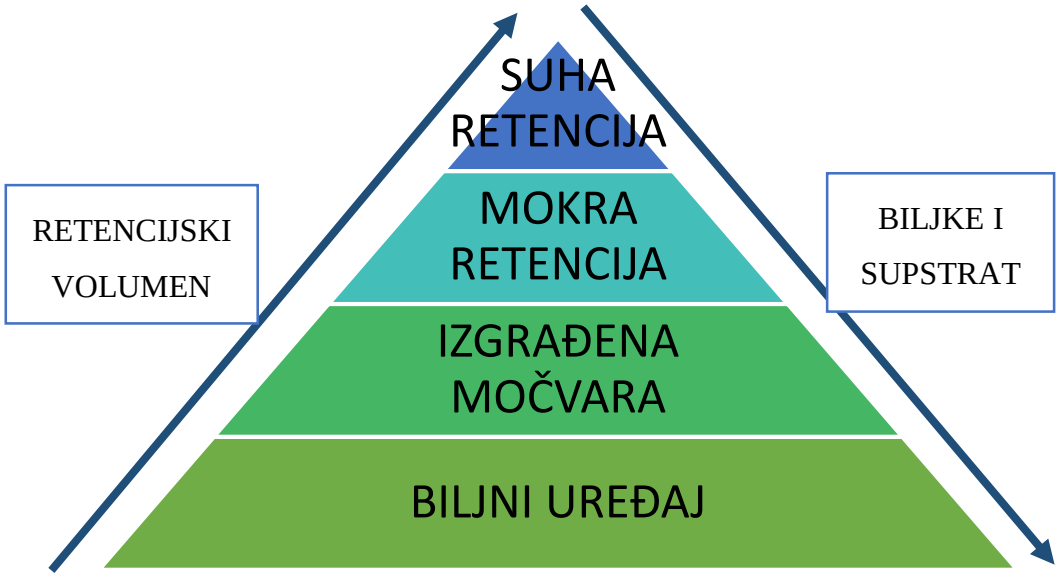
U gradskim sredinama moguće je oborinske vode neovisno o primijenjenom sustavu odvodnje pročistiti na gradskim uređajima za čišćenje otpadnih voda, obično u kombinaciji s građevinama za regulaciju dotoka. Mogu se primijeniti gotovo sve tehnologije primarnog, sekundarnog i tercijarnog pročišćavanja. Ovisno o zadanim standardima i kriterijima konačnog ispuštanja otpadnih voda u prijamnik, određuje se udio od ukupnih oborina koji će se na uređaju pročistiti. Na uređajima se čiste prvi najopterećeniji oborinski dotoci, a ostali se vode mimo uređaja direktno u prijamnik. Kroz sve faze čišćenja na gradskim uređajima provodi se obično oborinski dotok jednak tzv. sušnom dotoku, a mehanički se pročišćavaju i veći dotoci. Razlog je svakako u cijeni čišćenja, jer dodatno hidrauličko opterećenje bitno povećava cijenu izgradnje i poslovanja. Ugradnjom kišnih retencija ispred uređaja, moguće je čišćenjem obuhvatiti volumene prvog najonečišćenijeg oborinskog dotoka.

Suhi retencijski bazeni su izgrađeni bazeni za hvatanje, zadržavanje i postupno pražnjenje vode koja nastaje uslijed manjih oborina koje se češće javljaju. Učinci pročišćavanja postižu se jedino procesom taloženja i isplivavanja, a učinci su prilično dobri samo za određene vrste taloženih tvari. Koriste se za slivne površine veće od 4 *ha*. Voda se u njima poslije kiša zadržava samo u kraćem razdoblju. Voda koja je tijekom zadržavanja djelomično pročišćena ispušta se iz bazena u prijamnike, ili se prepumpava u kanalizaciju radi odvođenja do uređaja za pročišćavanje. Ovi se bazeni mogu graditi u kombinaciji sa infiltracijskim bazenima. Na uređaj za pročišćavanje ili u prijamnik otječu samo velike vode, a sve manje vode se infiltriraju u podzemlje, čime se povećava učinkovitost zadržavanja vode i pročišćavanja.

Ako se koriste mokre retencije sa biljkama, tada u retenciji imamo složenije procese u kojima se odvija:

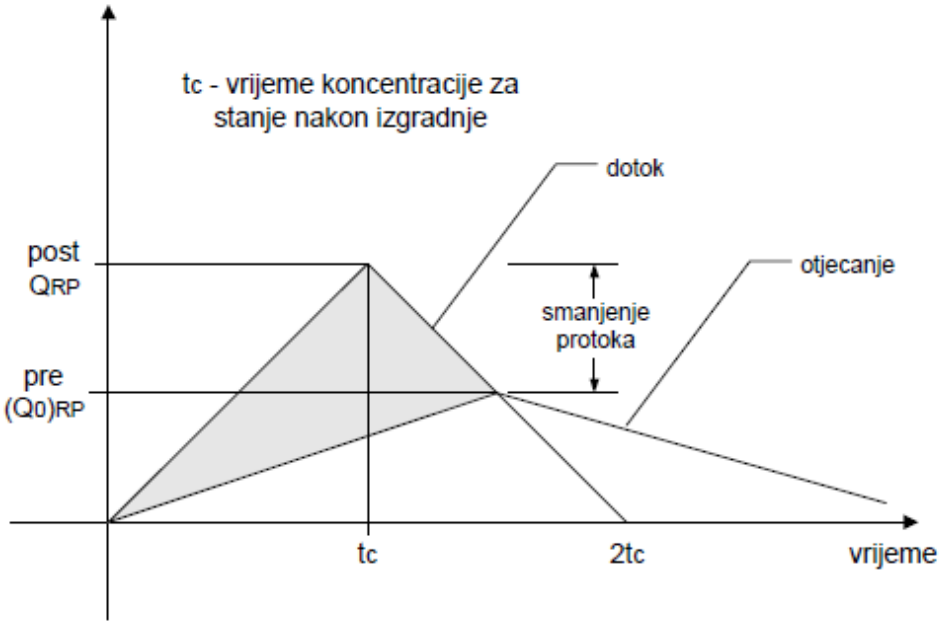
- evaporacija i evapotranspiracija,
- zadržavanje vlage u tlu unutar retencije te
- regulacija istjecanja zbog zadržavanje vode u prostoru retencije.

Ako se retencijski prostor smanjuje, a količina biljaka i supstrata poveća, tada dolazimo do biljnih uređaja. Ovisno o omjeru retencijskog volumena i biljaka te supstrata ovisi da li imamo suhu retenciju, mokru retenciju, izgrađenu močvaru ili biljni uređaj (*slika 17.*).



Slika 17. Odnos retencijskog volumena i biljaka te supstrata na vrstu uređaja

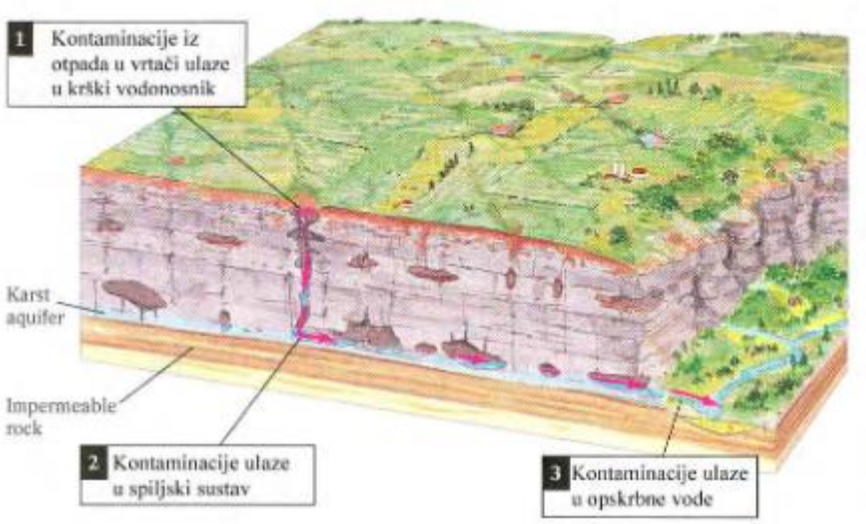
Za proračun retencijskog prostora potrebno je poznavati hidrograme dotoka oborina karakterističnog povratnog perioda. Za praktične potrebe dovoljno je točan jednostavni postupak konstrukcije trokutastog hidrograma dotoka prikazan na slici 18. Pošto se proračunaju hidrogrami dotoka za prethodno stanje i stanje nakon izgradnje, razlika hidrograma predstavlja potrebni retencijski volumen. Za slučaj prema prikazu na slici 18. volumen retencije jednak je razlici vršnih dotoka pomnoženoj s vremenom koncentracije.



Slika 18. Trokutasti hidrogram dotoka za određivanje retencijskog volumena

7.3. Biološki procesi u zelenoj infrastrukturi

Zagađivanje podzemnih voda najčešće je uzrokovano infiltracijom s površine: iz različitih životinjskih farmi, obrađenih poljoprivrednih površina, otpadnih voda industrije, neispravnih kanalizacijskih sistema, odlagališta komunalnog i posebnog otpada, zagađenih rijeka i sl. Zagađivanju s površine posebno su izloženi plitki vodonosnici s tankom krovinom, odnosno prostori direktnog prihranjivanja vodonosnika. Uz plitke slobodne vodonosnike u pijescima i šljuncima, osobito su «ranjivi» krški vodonosnici, u kojima su autopurifikacijske sposobnosti često veoma male ili nikakve (*Slika 19.*).



Slika 19. Kontaminacija podzemne vode u krškim vodonosnicima

Štetni utjecaj oborinskih voda na vodne resurse i more potrebno je umanjiti. Metode koje se primjenjuju za umanjenje štetnog djelovanja oborinskih voda na okoliš dijele se na dvije osnovne grupe: građevinske i negrađevinske.

Građevinske metode obuhvaćaju objekte koji se koriste za prikupljanje i potom pročišćavanje oborinskih voda raznim tehnologijama. Negrađevinskim metodama se podiže svijest i zainteresiranost stanovništva. U ove metode spadaju još i odgojne mjere, čišćenje prometnica i gradskih prostora, kontrola uporabe gnojiva i zaštitnih sredstava, kontrola/ograničavanje korištenje i izgradnje prostora, oblikovanje okoliša i korištenje biljaka (uređenje sliva, šume, močvare, trave i dr.), uporaba ekološki prihvatljivih goriva i materijala, itd. U svakom slučaju, strategija upravljanja oborinskim vodama u urbanim prostorima objema metoda pridaje jednaku važnost.

Sve metode imaju u pravilu dvije osnovne funkcije: zadržavanje vode i time smanjenje vršnog otjecanja, te pročišćavanje oborinskih voda. Najprirodniji postupak kontrole oborinskih voda

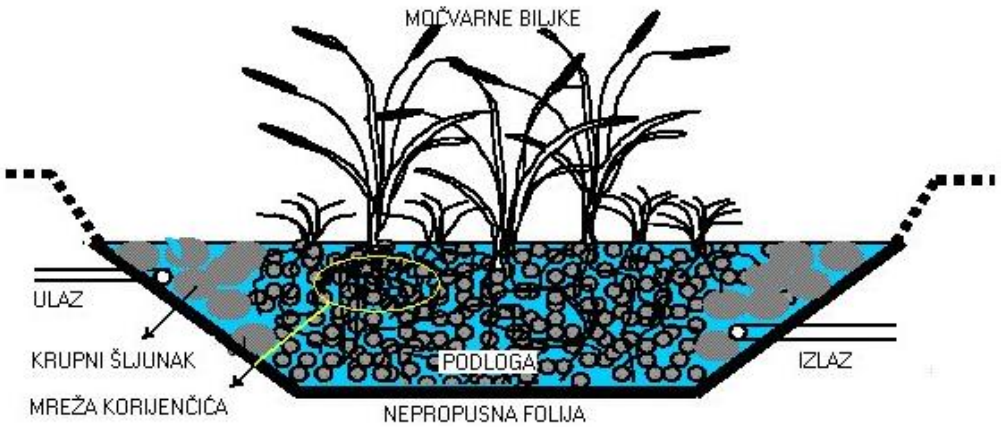
su biljni i zeleni pojasevi uz i oko izgrađenih površina koji se postavljaju između slivnih površina i prijamnika. Pošumljeni i zatravljeni tereni omogućuju zadržavanje i pročišćavanje oborinskih voda procesima zadržavanja, biljne filtracije i infiltracije u tlo. Učinak ovih zelenih pojaseva ovisi o cijelom nizu čimbenika, a prije svega o njihovoj veličini, sastavu biljnih vrsta, gustoći zelenila, te jednolikom protoku i brzini vode preko zelene površine. [1]

Kada se površinske vode koncentriraju na nekim lokacijama, tada se mogu pročišćavati sa raznim tehnologijama kao što su to biljni uređaji u različitoj izvedbi. Osnovna značajka ovih uređaja je da nemaju mulja, linije obrade i zbrinjavanja mulja i zato su iznimno povoljni.

Biljni se uređaji, prema protoku vode kroz uređaj, dijele na: sustav s vertikalnom protokom i sustav s horizontalnom protokom, te na površinski i podpovršinski biljni uređaj.

Površinski biljni uređaj je onaj uređaj u kojem je površina vode koja prolazi sustavom izložena atmosferi. Biljni uređaj s površinskim tokom vode sastoji se od plitkog bazena s vodom, tlom ili drugim medijem koji služi za rast ukorijenjenih močvarnih biljaka. Izgleda kao prirodna močvara, stanište za brojne biljne i životinjske vrste. Blizu površinskog sloja vode odvijaju se aerobni procesi, dok se u dubljoj vodi i podlozi uglavnom odvijaju anaerobni procesi.

Kod podpovršinskog uređaja prolaz vode vrši se kroz granulat (kameni materijal ili zemlja) i nije izložen atmosferi. Podpovršinski biljni uređaj sastoji se od jednog ili više međusobno povezanih bazena ukopanih u tlo i obloženih nepropusnom folijom. Bazeni su ispunjeni supstratom od šljunka, pijeska ili nekog sličnog medija kroz koji voda prolazi bez dodira s atmosferom (*slika 20.*). Prednost ovog tipa je neovisnost o klimatskim uvjetima, odsustvo neugodnih mirisa i insekata i vrlo se lijepo uklapa u okoliš kao zasebno formiran ekosustav. Prema načinu protoka vode kroz sustav, podpovršinski uređaj može biti horizontalni ili vertikalni.



Slika 20. - Klasični podpovršinski biljni uređaj

Biljni uređaj se sastoji od jednog ili više bazena kroz koje prolazi otpadna voda i ona se na tom putu pomoću bioloških, fizikalnih i kemijskih procesa pročisti. Bazeni se grade s blagim nagibom i s dnom obloženim nepropusnom folijom ili ilovačom. Na takvu se podlogu stavlja supstrat u koji se sade autohtone biljke poput trske, šaša, rogoza i sličnih.

Procesi koji se odvijaju u biljnim uređajima predstavljaju kombinaciju fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa. Ti procesi oponašaju prirodu i na taj način obrađuju različite otpadne vode uklanjajući kontaminante. U *tablici 3.* dan je popis najvažnijih mehanizama uklanjanja.

Tablica 3. Pregled mehanizama uklanjanja onečišćenja

tvari sadržane u otpadnoj vodi	mehanizmi uklanjanja
Ukupne suspendirane tvari	Sedimentacija i filtracija
Organske tvari (mjerene kao BPK)	Biološka degradacija i sedimentacija
Organski zagađivači (npr. pesticidi)	Adsorpcija, isparavanje, fotoliza (biološka i nebiološka degradacija)
Dušik	Sedimentacija, nitrifikacija/denitrifikacija, mikrobiološka razgradnja
Fosfor	Sedimentacija, filtracija, adsorpcija biljkama i mikroorganizmima
Metali	Sedimentacija, adsorpcija biljkama, mikrobiološki oksidacijsko/ redukcijski procesi
Patogeni	Sedimentacija, filtracija, prirodno odumiranje, UV zračenje, antibiotsko djelovanje iz korijana biljke

Pri projektiranju biljnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda potrebno je uzeti u obzir karakteristike otpadnih voda koje će se pročišćavati, kao i potreban stupanj pročišćavanja. Glavne karakteristike otpadnih voda uključuju koncentraciju otopljenih tvari i čvrstih organskih spojeva, tj. biokemijsku potrošnju kisika, suspendirane tvari, spojeve dušika i fosfora, teške metale, patogene bakterije i/ili viruse. Biljni uređaj treba biti projektiran za uklanjanje tih karakteristika do dozvoljenih ograničenja. Projektiranje uređaja podrazumijeva određivanje hidrauličkog kapaciteta, razine opterećenja, vrijeme zadržavanja (retenciranja), vrste biljaka. Navedeni parametri su definirani propisima i ograničenjima za ispuštanje efluenta. Biljni uređaji su dinamički sustavi podložni različitim utjecajima: od regionalnih klimatskih uvjeta, geoloških karakteristika do lokalne vegetacije. [13]

Hidraulički kapacitet može se definirati kao sposobnost biljnog uređaja da pročisti određeni volumen otpadne vode u danom vremenu. Ovo razdoblje se naziva hidrauličko vrijeme retenciranja (HRT), ovisno je o veličini zagađenja i zadanoj razini pročišćavanja. Karakteristično vrijeme zadržavanja za uklanjanje BPK je 2-5 dana i 7-14 dana za uklanjanje dušika. HRT se može izračunati po slijedećoj formuli [13]:

$$HRT = \frac{V}{Q} = \frac{LW(d_m n + d_w)}{Q} = A\frac{(d_m n + d_W)}{Q} \text{ (dan)}$$

gdje je:

V	volumen vode u biljnom uređaju (m^3)
Q	srednji protok kroz biljni uređaj (m^3/danu)
A	površinabiljnog uređaja (m^2)
L	dužina biljnog uređaja (m)
W	širina uređaja (m)
d_m	debljina medija kroz koji voda prolazi (m)
d_w	dubina vode od površine medija (m)
n	poroznost.

Ako se biljnom uređaju ukloni nepropusna folija, dobijemo zelenu infrastrukturu u kojoj pročišćenja voda infiltrira u podzemlje. Ako se pročišćena voda zbog folije na dnu odvodi drenažnim sustavom u lokalne površinske vodotoke i putem njih infiltracijom u podzemne vode dobivamo kombinaciju zelene i plave infrastrukture urbanih područja.

Bilanciranje voda se obavlja u oba slučaja uvažavajući sve procese otjecanja vertikalno, horizontalno i retenciranje, modifikacijom osnovne jednadžbe bilance:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{ULAZ} - Q_{IZLAZ}$$

Najsloženiji dio proračuna je izračunavanje vertikalnih komponenata jednadžbe bilance, a posebno u krškim uvjetima. Stoga se često ove komponente izračunavaju eksperimentalno.

7.4. Istražni radovi – infiltrometarska stanica

Upoznavanje hidroloških procesa i prirodnih zakona gibanja vode od atmosfere do podzemlja i obrnuto moguće je jedino istražnim radovima, odnosno direktnim mjerenjem na posebnim mjernim stanicama, opremljenim instrumentima za mjerenje hidroloških i meteoroloških parametara, koji utječu na promjenu režima podzemnih voda.

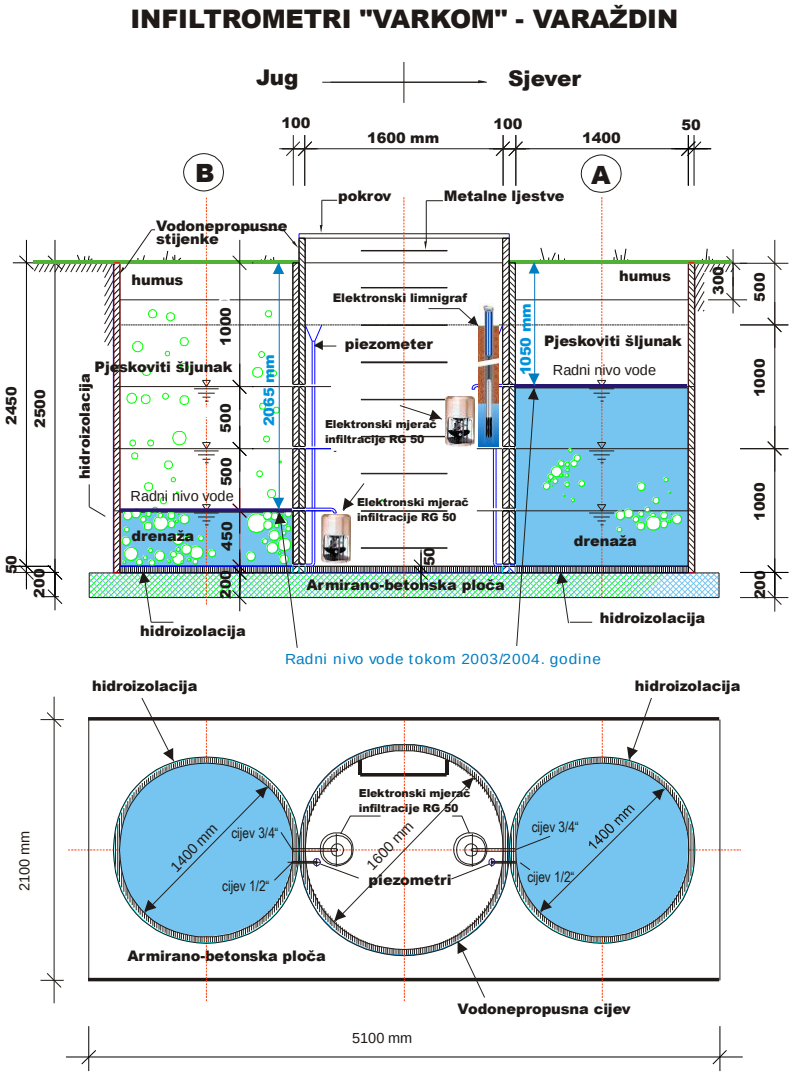
Direktnim mjerenjem glavnih ulaznih i izlaznih parametara vertikalne vodne bilance podzemnih voda i hidrološkom analizom vodne bilance, upoznaju se osnovne osobine sistema u vertikalnoj vodnoj bilanci i glavni hidrološki procesi koji u prirodi određuju vertikalnu izmjenu vode između atmosfere i podzemne vode.

Za upoznavanje vertikalnih hidroloških procesa kao dijelova hidrološkog ciklusa u kršu, možemo koristiti metodu prikupljanja i analize podataka na primjeru eksperimentalne stanice

„Varkom”, kao jedan zatvoreni hidrološki sistem u obliku bunara-infiltrometra koji su 1988. godine postavljeni u krugu vodocrpilišta „Varkom” u širem aluviju rijeke Drave kod Varaždina.

Eksperimentalna stanica „Varkom” osnovana je u okviru Studije podzemnih voda za određivanje zaliha i zaštite vode dravske doline, na prostoru Vinica-Varaždin-Zamlaka-Varaždin Breg. Stanica je započela sa radom 18. listopada 1988. godine. Postavljena je unutar zaštitne zone vodocrpilišta, zapadno od interne prilazne ceste do dispečerskog i kontrolnog centra vodocrpilišta. Stanica se sastoji od mjernih infiltrometara kao zatvorenog hidrološkog sistema u kojima je uspostavljen kontrolni volumen zasićene i prozračne zone okolnog zemljišta riječnog aluvija (*Slika 21.*).

7.4.1. Opis hidrološkog sistema



Slika 21. Infiltrometar „Varkom“ Varaždin

Infiltrometar A i infiltrometar B služe kao mjerni bunari. To su dva zatvorena hidrološka sistema u kojima se odvija proces vertikalne izmjene vode između atmosfere i podzemne vode na određenoj dubini. Na dnu oba bunara postavljen je drenažni sloj od šljunka visine 450 mm koji predstavlja referentni nivo podzemne vode u infiltrometrima. Površinski sloj infiltrometra složen je od sloja humusa sa travom, debljine 200 mm koji je ostao neoštećen prije početka iskopa građevne jame za infiltrometre i predstavlja zonu biljnog korijenja prozračne zone hidrološkog sistema.

Srednji bunar Φ 1600 mm služi kao kontrolno mjesto u kojem se nalaze mjerni uređaji za mjerenje izlaznih parametara vertikalne vodne bilance. Mjerno mjesto je opremljeno električnom rasvjetom, silaznim ljestvama za pristup motritelja, manjom automatskom crpkom za izbacivanje izmjerenih količina vode od efektivne infiltracije iz mjerenih bunara. Na mjestima temeljenja dna mjernih bunara na armirano – betonskoj ploči izvedena je hidroizolacija koja osigurava potpunu vodonepropusnost sistema.

Kontrolni bunar je povezani sa bunarima–infiltrometrima sistemom od tri pocinčane cijevi Φ 3/4” po vertikali, koje su ugrađene u betonske stjenke infiltrometra. Sistem od tri pocinčane cijevi je u tri nivoa po 50 cm te je tako omogućeno podešavanje hidrološkog sistema na tri različita nivoa podzemne vode od površine zemljišta (200 cm, 150 cm, 100 cm). Pocinčane cijevi su u dijelu bunara–infiltrometra zaštićene pocinčanom žičanom mrežicom koja sprečava ispiranje sitnih frakcija materijala iz bunara uslijed efikasne infiltracije. Unutar kontrolnog bunara, po dvije pocinčane cijevi su zatvorene odgovarajućim čepom, a na trećoj cijevi je omogućeno mjerenje izlaza iz hidrološkog sistema za odabrani nivo podzemne vode u njemu.

Za kontroliranje stanja sistema i mjerenja promjene nivoa podzemne vode u bunarima–infiltrometrima u kontrolnom bunaru su ugrađene pijezometarske cijevi od prozirne plastike Φ ½” kojima je omogućeno mjerenje trenutnog stanja nivoa podzemne vode. Navedeni pijezometri služe da se pomoću lijevka na vrhu pijezometra kontrolirano dodaje voda u bunare–infiltrometre u slučaju potrebnog podizanja nivoa podzemne vode u bunarima.

Mjerenje količine efektivne infiltracije iz bunara–infiltrometra vrši se u kontrolnom bunaru automatskim elektronskim mjeračima.

U zoni mikrolokacije infiltrometra postavljen je kišomjer tipa Hellmann na razini površine zemljišta koja odgovara razini zemljišta bunara–infiltrometra. Postavljene su i tri snijegomjerne letve za mjerenje visine snježnog pokrova u zimskom razdoblju godine. Eksperimentalna

stanica „Varkom" još ima i meteorološku opremu za mjerenje temperature zraka, maksimalni i minimalni termometar i ombrograf uz postojeći kišomjer.

Fizičke osobine hidrološkog sistema–infiltrometra poznate su preko njegovih hidrogeoloških i bioloških čimbenika. [22]

7.4.2. Ulazni podaci

U ulazne parametre hidrološkog sistema spadaju klimatološki čimbenici kao što su oborine, temperature zraka i ostali značajni klimatološki parametri. Oborina i temperatura zraka direktno se mjere na samoj pokusnoj infiltrometarskoj stanici „Varkom".

Oborine

Mjera za količinu pale oborine predstavlja visina stupca vode. Visina stupca vode izražava se u milimetrima, sa točnošću mjerenja menzurom od 0.1 mm. Visina stupca od 0.1 mm na zemljištu površine 1.0 m^2 predstavlja količinu vode od 1.0 litre. Za hidrološki sistem pokusne infiltrometarske stanice „Varkom", izmjerena visina stupca vode u kišomjeru od 1.0 mm predstavlja količinu vode od 1.53 litre koja padne na površinu infiltrometra i predstavlja osnovni ulaz u hidrološki sistem. Visina palog snijega mjeri se pomoću snjegomjerne letve na tri točke neposredno uz kišomjer i infiltrometre. Količina od palog snijega mjeri se otapanjem sa kišomjera i pribrojava dnevnoj, odnosno mjesečnoj oborini. Visina snježnog pokrova sviježe palog snijega od 1.0 cm, približno odgovara visini stupca izmjerene oborine od 1.0 mm.

Temperatura zraka

Temperatura je jedan od glavnih meteoroloških parametara koji utječu na pojavu oborina i njezin režim ulaznog čimbenika u hidrološki sistem.

7.4.3. Izlazni podaci

U izlazne parametre hidrološkog sistema koji se mjeri na pokusnoj infiltrometarskoj stanici „Varkom" spada efektivna infiltracija do različitih dubina nivoa podzemne vode, odnosno do zasićene zone u hidrološkom sistemu–infiltrometru, i snižavanje nivoa podzemne vode uslijed isparavanja, putem kapilarnog izdizanja vode u kapilarnu zonu sistema. Efektivna infiltracija pripada hidrološkim procesnim čimbenicima u određivanju vertikalne vodne bilance. Ukupno isparivanje, odnosno stvarna ili aktualna evapotranspiracija je vezana uz efektivnu infiltraciju. Ona predstavlja izlazni, odnosno procesni čimbenik koji pripada klimatološkim parametrima u određivanju vertikalne vodne bilance.

Efektivna infiltracija

Efektivna infiltracija se mjeri na dva infiltrometra (infiltrometar A i infiltrometar B) sa različitom dubinom podzemne vode u svakom sistemu. U toku istražnih radova stalno je mjerena efektivna infiltracija do dubine podzemne vode od 200 cm. Obzirom na kratkoću vremenskog niza mjerenja na plićim dubinama u sistemu infiltrometra, analiza sistema se je provela samo za stanje, sa dubinom podzemne vode na 200 cm za koje postoje podaci mjerenja.

Promjena nivoa podzemne vode u pijezometru sistema

Radna dubina podzemne vode u svakom sistemu infiltrometra uočljiva je putem izmjere nivoa vode u pijezometrima sistema. Referentna nula predstavlja dno svakog infiltrometra, odnosno dubina 2500 mm od površine zemljišta. Radna dubina podzemne vode u sistemu infiltrometra na 200 cm odgovara vrijednosti nivoa vode u pijezometru od 500 mm. Dubina podzemne vode u sistemu infiltrometra na 150 cm, odgovara vrijednosti nivoa vode u pijezometru sistema od 1000 mm. Dubina podzemne vode u sistemu infiltrometra na 100 cm odgovara vrijednosti nivoa vode u pijezometru sistema od 1500 mm.

Vlažnost zemljišta

Mjerenje promjene vlažnosti zemljišta u sistemu infiltrometra nije bilo u razdoblju istražnih radova na pokusnoj infiltrometarskoj stanici. Zbog toga nisu poznate promjene količine vode u prozračnoj zoni sistema infiltrometra uslijed infiltracije. Kretanje vlažnosti zemljišta moguće je provesti analizom oborina, preko indeksa prethodnih oborina (IPP). Indeks prethodnih oborina može ukazati na deficit vlažnosti zemljišta u pojedinom razdoblju godine. Pri tome stvarna količina vlažnosti zemljišta u sistemu infiltrometra ostaje nepoznata ali se upoznaje njezin relativni odnos i raspored tokom godine. Najveća vlažnost je u hladnijem dijelu godine, koja se postupno smanjuje prema ljetnom razdoblju.

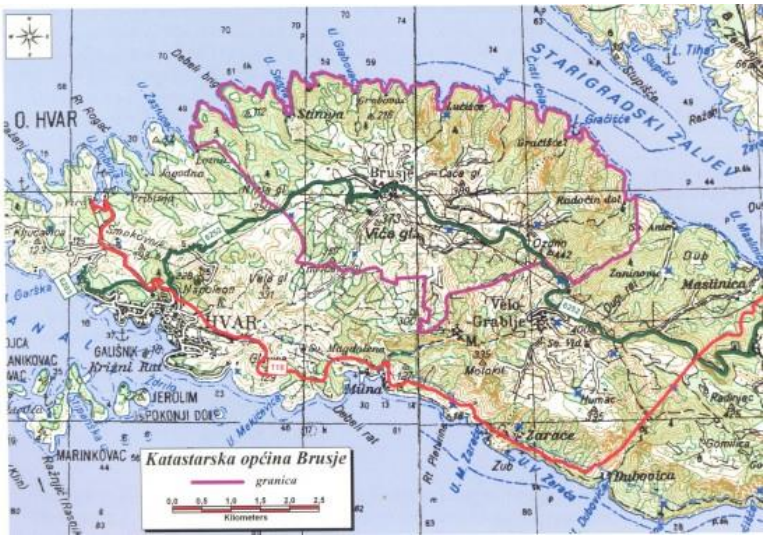
Isparivanje

Isparivanje na meteorološkoj stanici se mjeri dva puta dnevno (7.00 i 19.00 sati) putem isparitelja klase A, samo u toplom dijelu godine. Faktor korelacije je usvojen za klimatske osobine prostora, a time i pokusne infiltrometarske stanice.

8. PRIMJER – BRUSJE

8.1. Osnovni podaci o stanju u prostoru

Naselje Brusje nalazi se na sjeverozapadnom dijelu otoka Hvara i zauzima površinu od 30,2 ha. Na nadmorskoj visini od 300 do 340 m n.m., naselje se smjestilo na sjevernim padinama planinskog grebena (između vrha Vića gl. visine 373 m n.m. i vrha Brusna gl. visine 319 m n.m.) što se pruža uzduž cijelog otoka, a ispresijecan je mnogim rasjedima koji formiraju suhe doline i jarke. Ove udoline, uz ograničene površine na visoravnima oko samog naselja, predstavljaju jedine pogodne terene za obradu. Od grada Hvara, koji je otočko središte, Brusje je udaljeno cestom cca 6 km, do trajektnog pristaništa u Starom Gradu udaljenost je 15,5 km, a do putničke luke u Jelsi 22 km.



Slika 22. Općina Brusje

Brusje je karakteristično raštrkano selo kraškog područja. Pojedini dijelovi Brusja imaju svoje nazive: Molo Bonda, Velo Bonda, Mandrač, Priko (na sjeveroistočnom kraju sela preko javnoga puta) i Glavica, a do danas su sezadržali nazivi pojedinih stambeno-gospodarskih nizova-dvora (Čripotovi dvori, Skvičetovi dvori, Šaretovi dvori, Krojevi dvori). Od glavnog seoskog puta-ceste koja prolazeći Brusjem povezuje Stari Grad i Hvar odvajaju se prilazi nizovima stambeno-gospodarskih kuća, koji put izvedeni iz grubo obrađenih kamenih blokova položenih u zemljanom naboju (kogulani), koji put zemljani, ali najčešće asfaltirani: većina seoskih puteva asfaltirana je 1969. godine kada i cesta Stari Grad–Hvar. Nizovi stambeno-gospodarskih kuća zajedno sa suhozidom ograđenim vrtovima u neposrednoj blizini, gospodarskim prizemnicama i gustirnama tvore jedinstveni prostor rada i stanovanja.

Komunikacije između pojedinih stambeno-gospodarskih kuća, gospodarskih kuća i vrtova unutar pojedinih dvora nisu zajedničko vlasništvo, izvedene su na privatnim parcelama.

Oko kuća nalaze se okućnice koje se dijelom obrađuju, a dijelom su voćnjaci te prirodni teren obrastao makijom i niskim mediteranskim raslinjem i travama. U naselju nije izgrađen sustav odvodnje površinskih voda. Sve vode se za vrijeme oborina slijevaju lokalnim prometnicama kroz naselje u pravcu nižih kota terena. Dio oborina sa krova kuća se upušta u kućne cisterne radi korištenja u sušnom periodu godine

Stanovništvo

Izvorna prostorna organizacija sela Brusje na otoku Hvaru sačuvana je zbog iseljavanja stanovništva koje je započelo ekonomskom stagnacijom početkom dvadesetog stoljeća te se nastavilo sve do šezdesetih godina dvadesetog stoljeća.

Krajem devetnaestog stoljeća u Brusju je živjelo oko 1000 stanovnika (1890. godine 967 stanovnika, a 1900. godine njih 1058). Početkom dvadesetog stoljeća započeo je prvi val iseljavanja stanovništva uslijed ekonomskih razloga (propasti vinogradarstva, kasnije velike ekonomske krize), naročito izražen između 1900. i 1910. godine te između 1921. i 1931. godine, u kojem se broj stanovnika Brusja gotovo prepolovio. Drugi val iseljavanja započeo je nakon 1961. godine uslijed općeg trenda napuštanja tradicijskog načina života i privređivanja te naglog razvoja gradskih sredina na uštrb seoskih. Tako je 2001. godine u Brusju zabilježeno samo 206 stanovnika. Od 1961. do 2001. god stanovništvo naselja Hvar poraslo je za 86%, dok u ostalim naseljima uglavnom pada, ali zbog malog broja stanovnika u tim naseljima ukupan broj stanovnika Grada Hvara ipak raste.

Tablica 4. Popis stanovništva 1981., 1991., 2001. i 2011. Godine

Prostorna jedinica	***Stanovnika 1981.***	***Stanovnika 1991.***	***Stanovnika 2001.***	***Stanovnika 2011.***
1. Brusje	268	241	206	194
2. Hvar	3691	4143	4138	4251
Udio (1/2)%	7,26	5,82	4,98	4,56

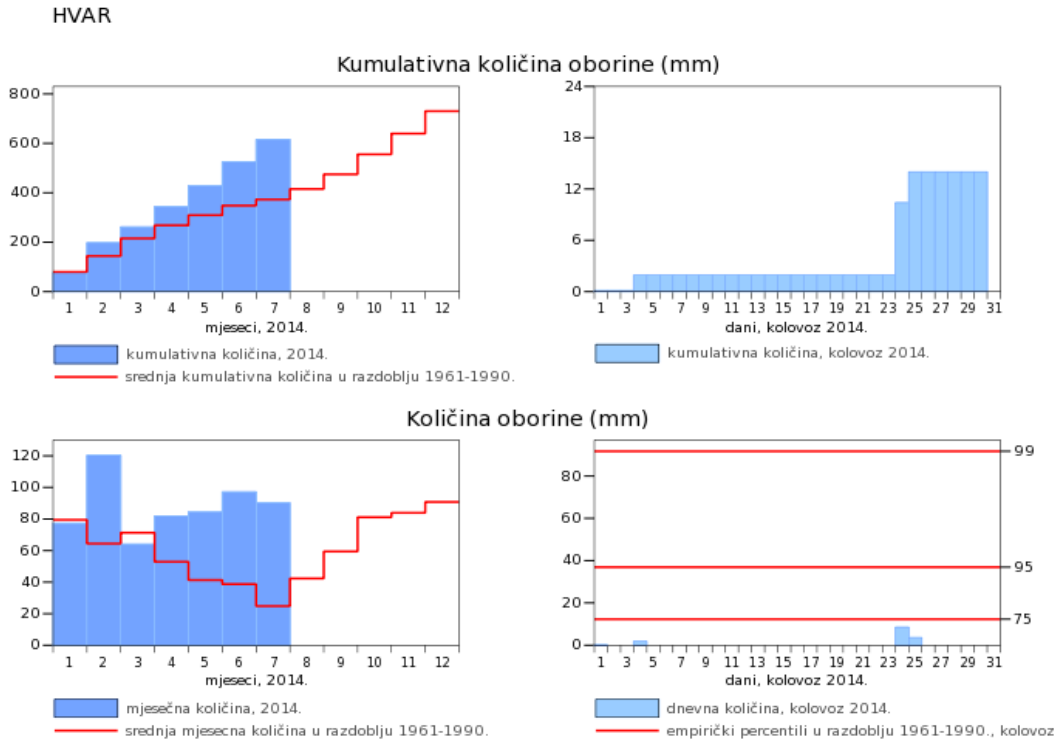
Klima

Kad je riječ o klimi područja, otok Hvar pripada mediteranskom klimatskom pojasu Jadranskog tipa, kojeg karakteriziraju vruća i suha ljeta te blage i vlažne zime s velikim brojem sunčanih sati, oko 2715 sati godišnje, koje čine otok Hvar najsunčanijim otokom na Jadranu. Prosječna godišnja temperatura zraka je 16.1°C, tijekom siječnja 9°C , a u srpnju 25°C. Vjetrovi koji obično pušu su bura (sjeverac), maestral (zapadni vjetar) i jugo (južni vjetar).

Padaline na Hvaru imaju maritimni godišnji hod oborine. Najobilnije padaline padaju u jesen i zimi, a zatim u proljeće, a najmanje u ljeto. Najviše padalina je u prosincu (100,8 mm) a najmanje u srpnju (22,3 mm). Prosječna godišnja količina oborine iznosi 752,5 mm.

Snijeg je izuzetno rijetka pojava. Tijekom razdoblja 1858 – 1995. snijeg se pojavio samo 23 dana s visinom snježnog pokrivača većom od 1 cm. Najveća zabilježena visina snježnog pokrivača zabilježena je 16. veljače 1942. godine, a iznosila je 13 cm.

Relativna vlažnost zraka podudara se s godišnjim hodom padalina i ima maksimum u razdoblju listopad – prosinac (71%), a minimum u srpnju (63%). Godišnji prosjek relativne vlage u zraku za Hvar iznosi 68%, što ukazuje da je zrak relativno bogat vlagom. Godišnje se prosječno javlja 6,7 dana s relativnom vlažnošću ispod 30% i 43,7 dana s relativnom vlažnošću iznad 80%.



Slika 23. Oborine Hvar za period 2014.

8.2. Rješenje odvodnje – integralni koncept

Rješavanje problema odvodnje oborinskih voda naselja u krškim područjima se obrađuje prema porijeklu oborinskih voda. U tom smislu oborinske vode dijelimo na:

- krovne vode,
- površinske vode okućnice,
- veće asfaltne i slične površine,
- prometnice prema gustoći prometa,
- industrijske površine,
- specifične površine s obzirom na aktivnost (benzinske postaje i sl.).

Ova podjela je napravljena kako bi se problem učinkovitije rješavao. Naime, vode s ovih površina se razlikuju po režimu otjecanja i kakvoći vode tako da mjere za njihovo zbrinjavanje moraju biti odgovarajuće kako bi se ostvarili postavljeni ciljevi.

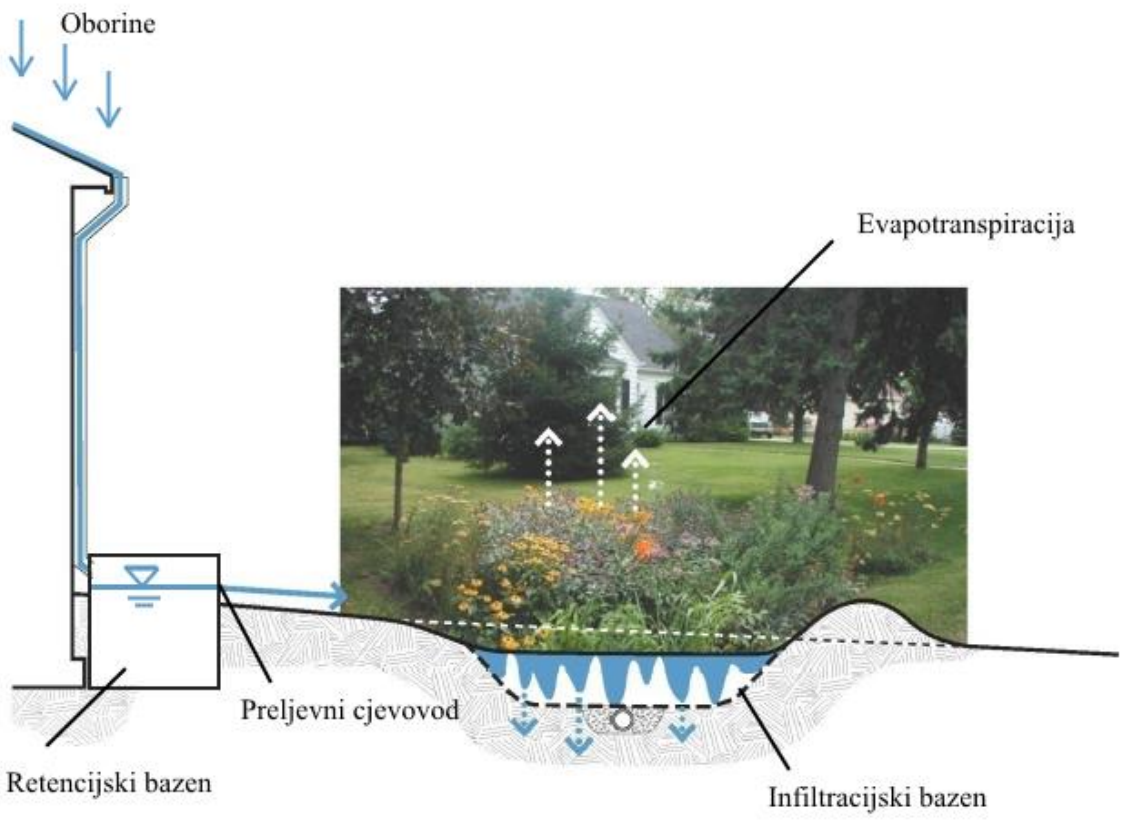
8.2.1. Krovne vode (kišnica)

Svakom domaćinstvu u naselju kao što je Brusje prioritet bi trebao biti izgradnja kvalitetnog sustava za prikupljanje, obradu i korištenje kišnice. S takvim sustavom možemo uštedjeti i do 50% pitke vode koja se nepotrebno troši za pranje rublja, ispiranje toaleta, navodnjavanje vrtova i drugo.

Kišnica s krovova ima karakterističan režim otjecanja. Vršni protok se brzo ostvaruje s početkom oborine i traje sve do prestanka kiše. Bitno je u sustavu za prikupljanje kišnice imati uređaj za „prvo ispiranje“ koji kada padne prva oborina nakon sušnog perioda (koja ispere krovnu površinu), odstrani nečistoće koje su se nakupljale (lišće, prašina, izmet ptica i sl.). Nakon prvog ispiranja, oborina koja se slijeva niz krov i cijevima ide kroz filtar do spremnika, je čista i spremna za uporabu navodnjavanja ili ispiranja u kućanstvu.

Kišnica, koja se prikuplja preko krovova i drugih uređaja, mora u higijenskom, tehničkom i estetskom smislu zadovoljavati sljedeće zahtjeve:

- mora biti higijenski besprijekorna (bez coli bakterija, jer ako su te bakterije u vodi to je siguran znak da je voda onečišćena fekalnim tvarima),
- ne smije uzrokovati koroziju, što znači da ne smije imati agresivnih primjesa,
- ne smije sadržavati tvari koje uzrokuju zamućenja, masti i pjene.



Slika 24. Prikaz odvodnje oborinskih voda sa krovišta kuća

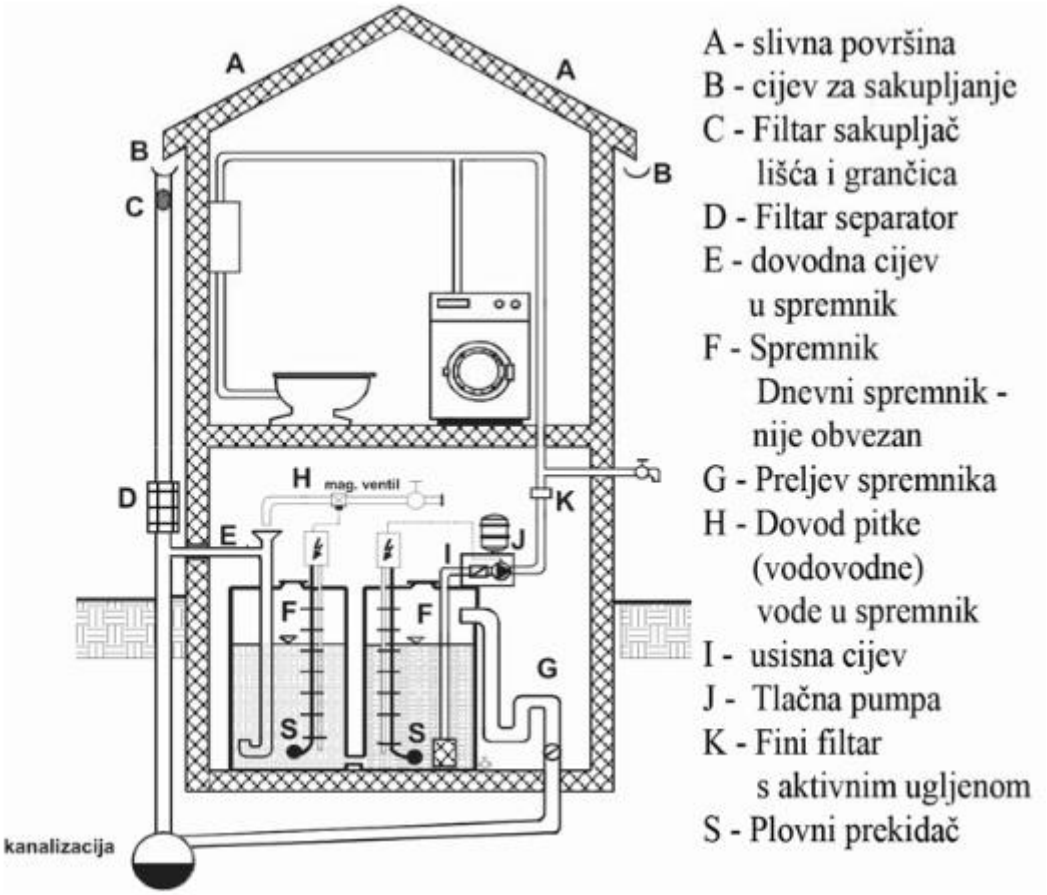
Zagađivači kakvoće kišnice:

- ispuštanja u atmosferu – rezultati izgaranja manjih kućnih ili većih sustava (termoelektrane, toplane...); najopasnija su ispuštanja industrija; nastaju teški metali, kisele kiše (SOx, NOx),
- talog i prašina – talože se na nakapnu plohu, u prometnim sredinama imaju velik utjecaj, a na seoskim područjima i izoliranim prostorima vrlo mali; nastaju anorganske i organske tvari i teški metali,
- raslinje – lišće i raslinje može izazvati zagađenje kada dospije na nakapne plohe, nastaju organske tvari i pesticidi,
- životinje – uglavnom bakteriološko zagađenje, organske tvari sadržane u izmetu
- korisnik vode – neprimjereno zahvatanje vode kroz otvore,
- procjeđivanje u cisternu – rijetko, opasno ako se fekalije ili talog od gnojiva procijeđuju u cisternu.

Obilježje kišnice je da je mekana i ne sadrži nikakve minerale. Kišnica zbog tih svojstava ima prednost pri uporabi u perilicama rublja jer pri uporabi ne nastaje kamenac. Smanjuje se potreba prašaka za pranje, jer u prašku nisu potrebne tvari za omekšavanje vode (polifosfati) koji su

štetni za okoliš. Kišnica je pogodnija od podzemne vode i za zalijevanje vrtova jer ne sadrži željezo, mangan i ostale metale. Njezinom uporabom pri ispiranju zahoda, u kadama za kupanje i grijačima ne nastaje kamenac. Kišnica može sa sobom donijeti lišće, grančice, čestice prašine koji preuzima tijekom prolaska kroz atmosferu ili u kontaktu s neodgovarajuće izabranim materijalima sustava. Protiv većih naslaga (lišće, grančice) pomažu fine rešetke, a zatim filtri koji sadrže aktivirani ugljen. Ugradnja tih filtara sasvim je dovoljna, a ugradnja pješčanih filtara znatno bi poskupjela uporabu. Kišnica se sprema u neprozirne spremnike koji mogu biti od nehrđajućeg čelika ili plastike, a najbolje je da su od fino obrađenoga betona.

Elementi sustava za prikupljanje kišnice:



Slika 25. Elementi sustava za prikupljanje kišnice

Kišnica koja dolazi s krova vodi se po cijevima za skupljanje tj. žljebovima do vertikalnih cijevi koje vode u glavni spremnik, odakle se crpi u dnevni spremnik (pri manjim sustavima nije potreban), a zatim u mrežu do pojedinih trošila (*slika 25.*).

Slivna površina (krov)

Najpovoljnije su glatke površine, a zatim glineni pokrovi, umjetne tvari ili škriljevac. Neprimjereni su krovovi s grubim betonskim crijepom, bitumenskim pokrovom, a i tzv. zeleni krovovi (ravni, obrasli travom). U tim se krovovima zadržava prašina i ostale nečistoće. Ako je krov pokriven metalnim pokrovom, mora se računati s višim sadržajem metala u vodi koja je stoga manje pogodna za zalijevanje vrtova.

Cijevi za skupljanje i dovodnju

U odabiru materijala te izvedbi cijevi potrebno je razmotriti valjane tehničke propise odvodnje oborinskih voda s građevina i tla. U obzir se mora uzeti velika varijabilnost protoka i rizik od začepljenja i zamrzavanja.

Minimalni bi promjer cijevi trebao biti 100 mm. Ako su cijevi u tlu moraju se postaviti ispod dubine smrzavanja (najmanje 80 cm duboko).

Dimenzioniranje mreže jednako je dimenzioniranju mreže za pitku vodu. Mreža mora biti označena da bi se razlikovala od mreže za pitku vodu. Kao materijal za cijevi preporučuje se plastika.

Filtar

U vertikalnom žlijebu koji se proteže od krova nalaze se dva filtra. Najprije tzv. skupljač lišća koji ima oblik sita i umetnut je žlijeb te se na njemu zaustavljaju veće čestice, lišće i grančice. Čisti se ručno. Drugi filtar, tzv. separator, smješten je prije ulaska u spremnik. Voda koja ulazi u spremnik ide samo kroz mrežu u žlijebu, a preostala voda sa smećem ide u odvod. Prije ulaska u distribucijsku mrežu voda putuje i kroz fini filtar s aktiviranim ugljenom. Bez ugrađenoga gruboga filtra voda se u spremniku brzo zaprlja i ispuni fini filtar, što uzrokuje pad tlaka u mreži. Fini filtar mora biti pouzdan i jednostavan za čišćenje (patrone za mijenjanje). Bez ugrađenoga finog filtra u mreži se pojavljuju obloge pa ga je poželjno ugraditi.

Spremnik

Pri novogradnjama su preporučljivi spremnici ukopani u zemlju gdje su zaštićeni od sunca i topline, voda ima odgovarajuće nisku temperaturu koja koči razmnožavanje legionele i drugih mikroorganizama. U postojećim građevinama plastični se spremnici često postavljaju u podrum, što je povoljnije nego u razna spremišta ili garaže jer je u podrumu najmanja opasnost od zamrzavanja i vodu zimi ne treba ispuštati. Preporučljivo je spremnik obojiti tamnom bojom. Vrlo se rijetko u obiteljskim kućama spremnici postavljaju i na tavanu (osim u velikim

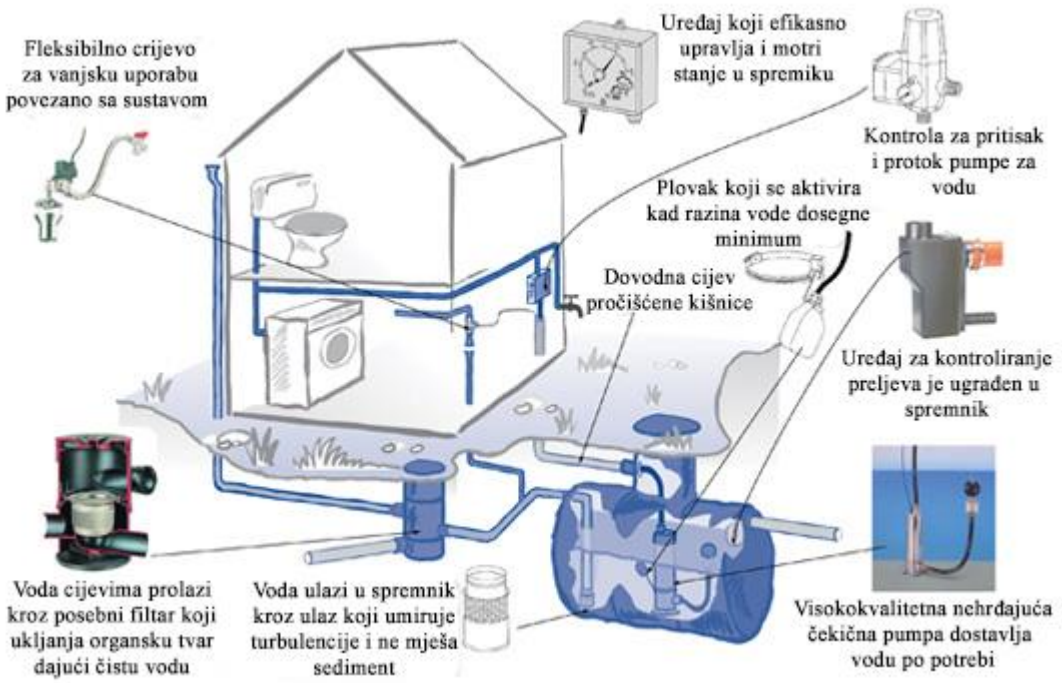
građevinama) jer postoji rizik od visoke temperature ljeti i zamrzavanja zimi. Također, pri slaboj nosivoj ploči mogu se pojaviti i problemi sigurnosti.

Usisne cijevi i tlačne crpke

Usisna cijev (može biti pričvršćena ili pokretna) povezuje spremnik s tlačnom crpkom odnosno s uređajem za povećanje pritiska. Kako kišnica u spremniku nije pod pritiskom, mora se postaviti sustav za povećanje pritiska koji je potreban da bi se kišnica dovela do pojedinih ispusta. Postoje kompletni agregati koji se sastoje od centrifugalne crpke koju pokreće elektromotor s tlačnim spremnikom i regulatorom tlaka. Komponente su izrađene od plastike ili nehrđajućeg čelika. Između crpke i spremnika mora se ugraditi protupovratni poklopac. Važno je da je cijeli uređaj pravilno dimenzioniran, da se crpka ne uključuje često i da tlačni spremnik nije prevelik.

Ispusna mjesta

Najmanje što je potrebno je vidljivo označivanje mjesta za ispust kišnice s upozorenjem da voda nije pitka. Ako su slavine dostupne djeci, preporučuje se uklanjanje gornjeg dijela slavine s kojim se ona otvara. [24]



Slika 26. Suvremeno opremljen uređaj za sakupljanje, pročišćavanje i korištenje kišnice

Jedini nedostatak postrojenja na slici 26. je to što je naknadna ugradnja ovakvog sustava mnogo zahtjevnija i skuplja nego kada bi se izgradnja planirala tijekom projektiranja objekta.

Negativne strane sakupljanja kišnice bi također mogle biti:

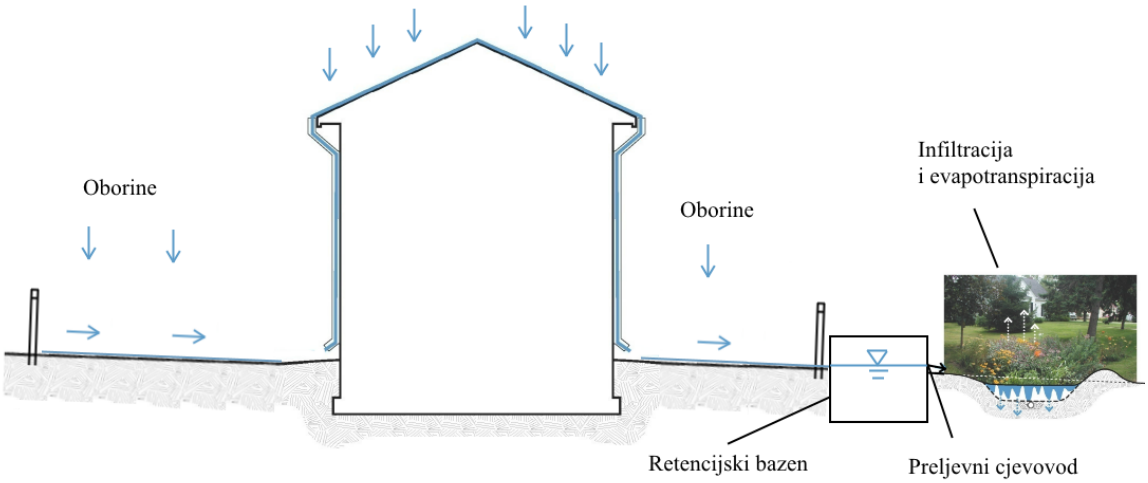
- slivna površina relativno mala (krov, okućnica…),
- održavanje sustava može biti zahtjevno,
- razvoj ovakvog sustava može biti skuplji od tradicionalnog korištenja pitke vode,
- spremnici za kišnicu zauzimaju dosta prostora,
- kišnica nije za piće i može biti opasna za djecu koja su u blizini sustava.

8.2.2. Površinske vode okućnice

Kišnici, koja se ne koristi u domaćinstvu, treba omogućiti da nesmetano prođe kroz tlo tamo gdje padne ili da površinski oteče. Ona se ponovo može pojaviti u vidu izvora ili može nastaviti da otječe u dublje slojeve zemlje, gdje se priključuje podzemnim vodotocima. Iz nadzemnih i podzemnih izvora dobivamo vodu za piće. Da bi bilo dovoljno prirodnih resursa pitke vode, koji su potrebni za život ljudi i životinja, neophodno je omogućiti infiltraciju vode, izbjegavati izgradnju vodonepropusnih površina (betonirana dvorišta, parkinge, pješačke staze...) i manje količine vode odvoditi podzemnim cijevima.

Oborinske vode okućnice možemo površinski sakupljati u retencijski bazen koji ima preljevni cjevovod za višak vode. Višak vode se infiltracijom vodi u podzemlje.

Ovim postupkom usporavamo, smanjujemo količine i iskorištavamo vode koje bi inače završile u kanalizacijsku mrežu ili na prometnice pored kuća.



Slika 27. Prikaz odvodnje oborinskih voda sa krovišta kuća i vodonepropusnog prostora oko kuće

Oborinske vode okućnice također možemo sakupljati podzemnom drenažom u spremnike da bi je pročistili i ponovno iskoristili u različite svrhe (*slika 28.*). Ovakav način prikupljanja kišnice postiže bolje rezultate od krovnih sustava zbog toga što je slivna površina veća, i količine vode koju možemo sakupiti i ponovno koristiti je veća. Većina oborine koja dođe u kontakt sa površinom u kršu brzo infiltrira u podzemlje i stoga je prioritet da je se sačuva i koristi za navodnjavanje biljaka koje zahtijevaju više zalijevanja, pogotovo u sušnim periodima.



Slika 28. Odvod oborinskih voda okućnice drenažnim cijevima

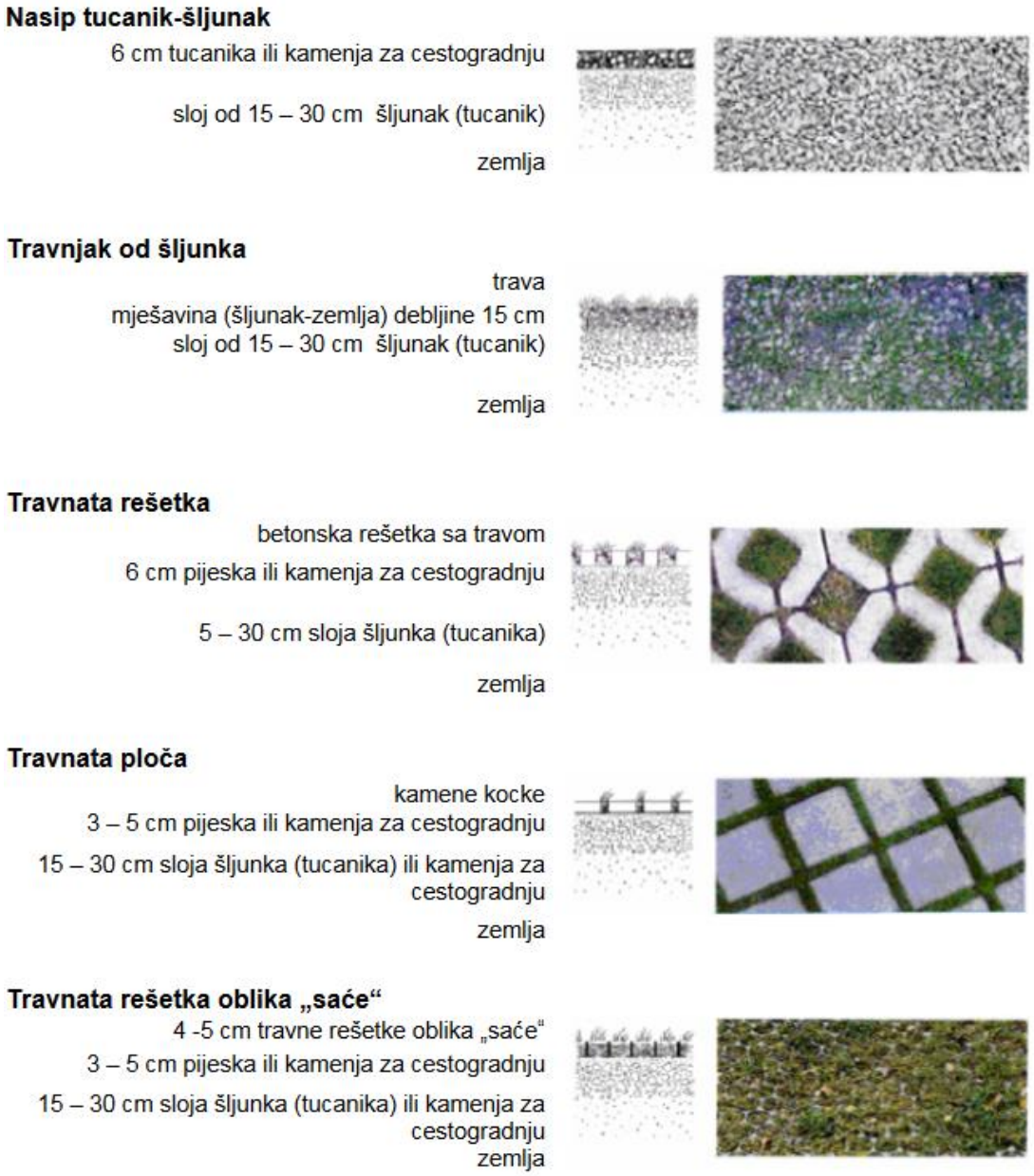
Cilj je zbrinjavanje svih oborinskih voda u okolišu kuće s mogućnosti iskorištavanje istih, najviše za svrhu navodnjavanja poljoprivrednih ili drugih zelenih površina.

8.2.3. Veće asfaltne površine – trgovi, parking površine

U naselju, gdje nije moguće omogućiti infiltraciju sve oborine u tlo, potrebno je napraviti odvojen odvod za kišnicu i na taj način rasteretiti kanalizacijsku mrežu. To ne mora biti podzemnim cijevima, oborinska voda se može koristiti u oblikovanju okoliša.

Dvorišta i javne površine mogu biti prirodno oblikovane/uređene. Prirodni i otvoreni kanali za odvođenje vode i rastresito tlo, omogućavaju prirodni rast biljaka na toj površini. Sa jedne strane popravlja se klimatsko stanje na tom malom području, što omogućava popravljanje životnih uvjeta u staništima biljaka i životinja, a sa druge strane stvaraju se primamljiva mjesta na kojima se okupljaju djeca i odrasli, što podiže svijest građana o ovom elementu - o vodi.

Površine u naselju koje se odrede za infiltraciju oborine u podzemlje moraju biti izgrađene pripadajućim infiltrirajućim slojevima ovisno o namjeni prostora i vrsti onečišćenja koja se ispire s istih površina (*slika 29.*). Treba imati na umu da su krška područja posebno osjetljiva na onečišćenja koja lako dolaze s površine do podzemnih tokova i mogu kontaminirati zalihe vode.



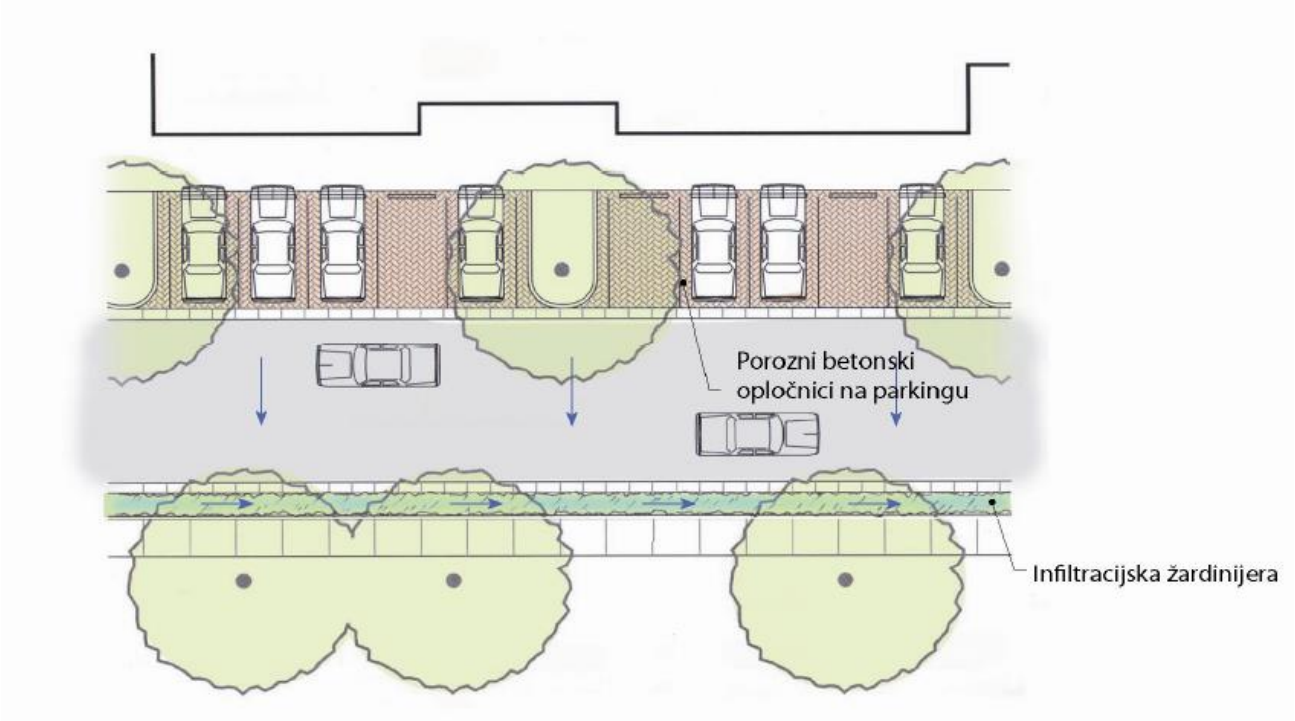
Slika 29. Smjernice za izgradnju različitih infiltrirajućih slojeva

Oborinsku vodu je moguće sakupljati u malom jezeru ili ribnjaku koji služi kao međuspremnik odakle se kišnica infiltrira na obližnju zelenu površinu. Ovaj princip je idealan za dobro propusno zemljište, s tim da je neophodno redovno održavanje jezera.

Preporuča se izvedba sustava odvodnje integralno s prometnicama, krajobraznim uređenjem i namjenom površina, s bioretencijom, drenažnim kanalima i rovovima. Podne površine parkinga graditi od propusnih struktura kao što su travnate rešetke ili propusnog asfalta (*slika 30. i 31.*).



Slika 30. Stanje na terenu (trg u naselju Brusje)



Slika 31. Prijedlog izvedbe integralne odvodnje na trgovima – parking površinama

8.2.4. Prometnice

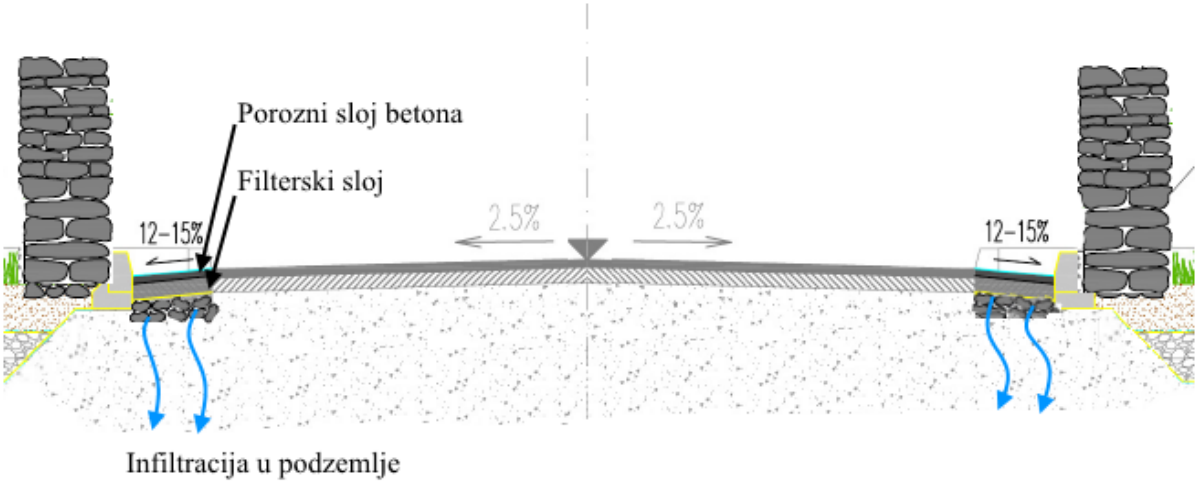
Sporedne i jednosmjerne ulice

U malim otočkim naseljima kao što je Brusje prevladavaju jednosmjerne ulice malih dimenzija. Takve ulice su često s obje strane okružene suho-zidovima, zidovima kuća i parcela, te na njima nema mjesta za infiltracijske jarke ili zelene površine koje mogu odvoditi oborinsku vodu s prometnice.

Na takvim mjestima možemo izgraditi prometnicu s propusnim asfaltima koji dopuštaju infiltraciju oborinske vode u podzemlje (*slika 32. i 33.*).



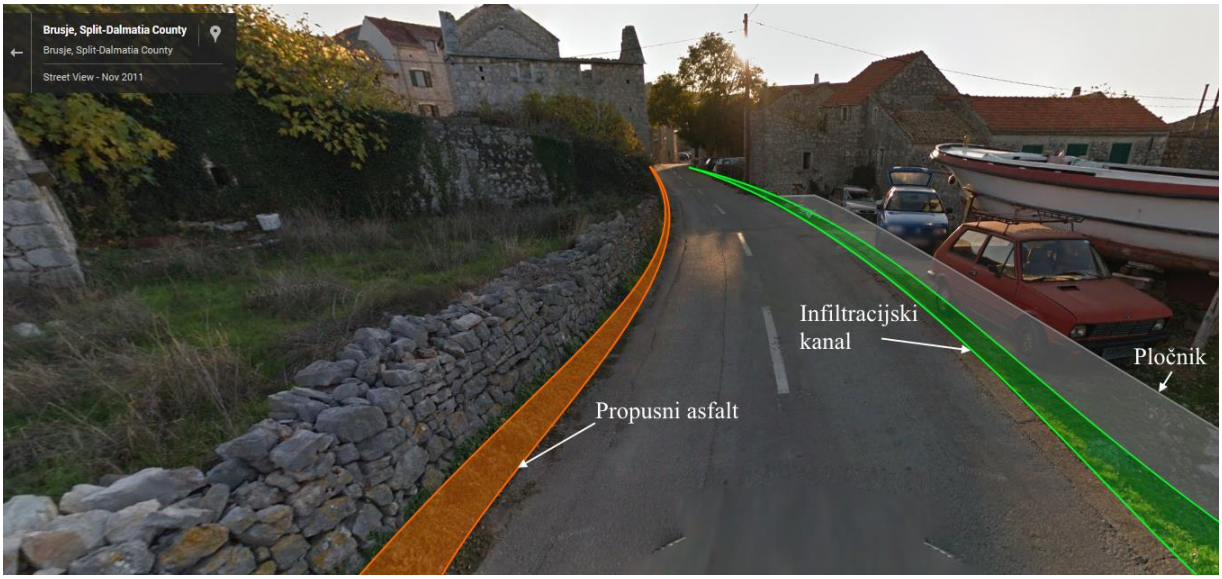
Slika 32. Stanje na terenu (jednosmjerna ulica u naselju Brusje)



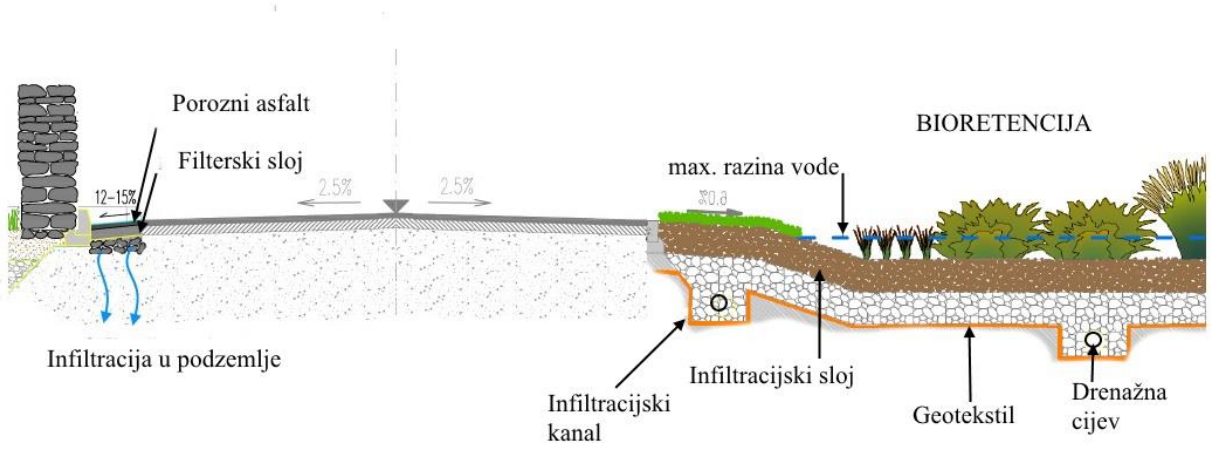
Slika 33. Prijedlog izvedbe integralne odvodnje u uskim ulicama

Glavne ulice

Na glavnim ulicama dospijevaju veće količine oborinske vode, stoga možemo kombinirati uporabu propusnog asfalta, infiltracijskih jaraka, travnih rešetki, manjih bioretencija i slično (*slika 34. i 35.*).



Slika 34. Stanje na terenu (glavna ulica u naselju Brusje)



Slika 35. Prijedlog izvedbe integralne odvodnje na glavnim ulicama

8.2.5. Oborinske vode industrijskih zona

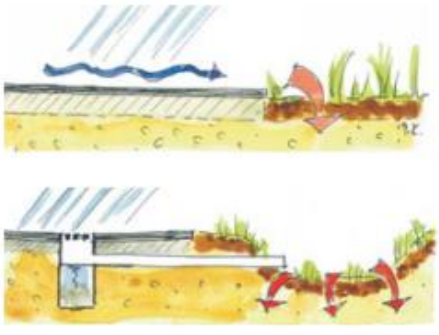
Industrijska postrojenja najčešće imaju, pored velike potrebe za vodom i velike krovne i druge površine. Time imaju odlične uvjete za iskorištavanje oborinske vode za svoje potrebe. Pored korištenja u proizvodnji, kišnica se može primjenjivati i u druge svrhe. Ako uzmemo u obzir da voda stalno poskupljuje, a sa njom i naknade za otpadnu vodu, iskorištavanje kišnice može dovesti do dvostrukih ušteda.

U industrijskim područjima obično su sve iskoristive površine asfaltirane ili nasute nekim drugim materijalom, čime se sprečava mogućnost infiltracije oborinskih voda kroz tlo. Otežavajuća okolnost je da u ovom slučaju, potrebno je graditi skupa postrojenja za odvodnju ili pročišćavanje oborinskih voda. Najjednostavniji, najisplativiji i najučinkovitiji način odvodnje oborinskih voda jeste preko zelenih površina.

Najracionalnije je oborinske vode preko čvrstog tla, površinskih kanala ili kroz plitke udubine odvoditi prema zelenoj površini gdje je moguća infiltracija. Na taj način zelene površine mogu biti dvostruko korisne - kao element uređenja industrijskog područja u komercijalne svrhe (postavljanje reklamnih objekata), a prilikom oborina za infiltraciju oborinskih voda. Pored toga, svaka infiltracija nezagađene kišnice smanjuje opterećenje gradskog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, čime se povećava njegova učinkovitost, a smanjuju operativni troškovi gradskog postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i kanalizacijsku mrežu.

S obzirom na industrijsku površinu na koju pada kiša, možemo na različite načine odvoditi i zbrinjavati oborinsku vodu.

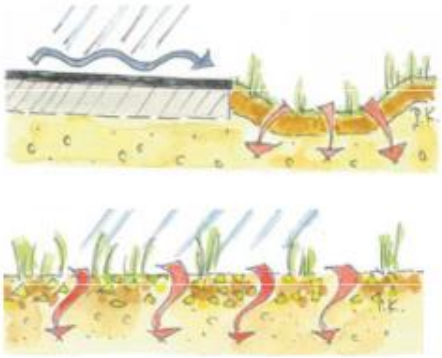
- Površine korištene za promet, prilazni putevi i sve ostale površine u industrijskoj zoni.



Površinsko odvođenje oborinskih voda preko čvrste podloge ili putem kanala koji vode do najbliže zelene površine radi infiltracije.

Asfaltirane površine sa šahtovima koji vode oborinske vode do udoline ispunjene humusnim slojem radi infiltracije.

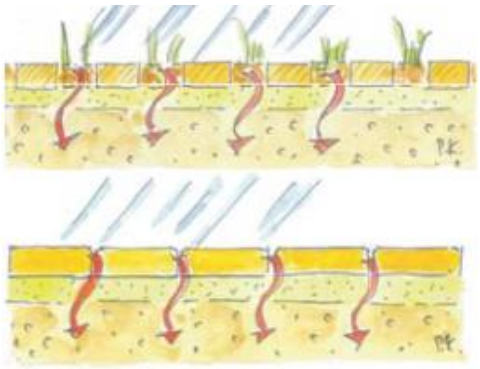
- Skladišne površine za materijale koji nisu potencijalni zagađivači voda.



Asfaltirane površine sa kanalima koji vode oborinske vode do udubine ispunjene humusnim slojem radi infiltracije.

Površine koje su nasute sitnim materijalima, vrtnom galanterijom, kvarcnim pijeskom i zelene površine.

- Parking za putnička vozila.



Površinsko odvođenje oborinskih voda preko djelimično zasađenih površina, kao što su otvorene kocke na parkinzima.

Infiltracija na površini koja nema živu podlogu kao što je kvarcni pijesak, šljunak.

- Površine za rad na otvorenom.

  Redovno korištene radne površine moraju biti prekrivene slojem nepropusnim za tekućine i trebaju imati sistem za odvodnju otpadne vode u kanalizaciju. Radnu površinu po mogućnosti držati u što manjem području. Obavezno je natkrivanje područja za rad koje je na otvorenom.
- Područje utovara, istovara i pretovara materijala.

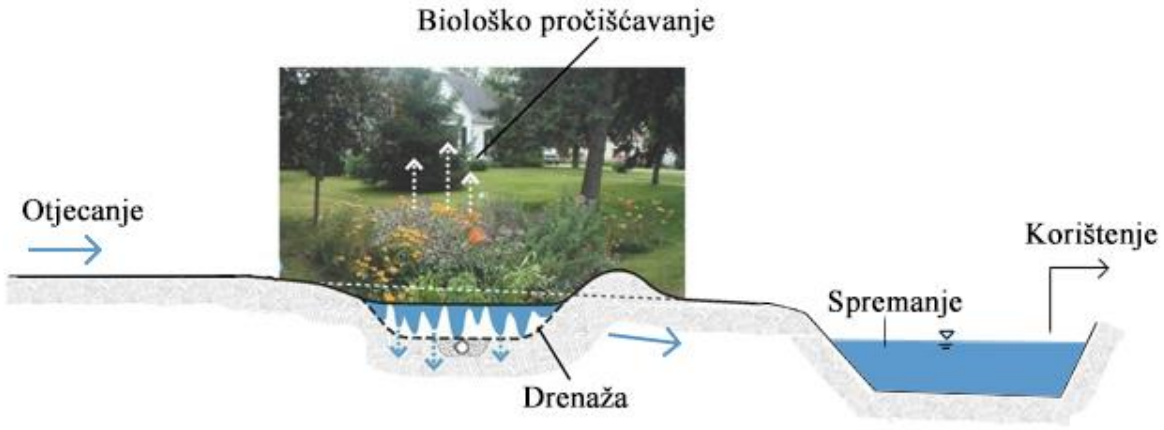
  Područje utovara, istovara i pretovara mora biti natkriveno, prekriveno slojem nepropusnim za tekućine i mora se izgraditi tako da nema odvodnih šahtova. [25]

8.3. Rješenja kojima se voda akumulira radi ponovnog korištenja

Za ova rješenja, potrebne su veće slivne površine na kojima možemo ekonomičnije sakupiti oborinsku vodu. Radi se o sakupljanju, pročišćavanju, spremanju i ponovnom korištenju oborinske vode uz pomoć zelene infrastrukture. Varijante mogu biti različite:

A) pročišćavanje – sakupljanje – spremanje (*slika 36.*)

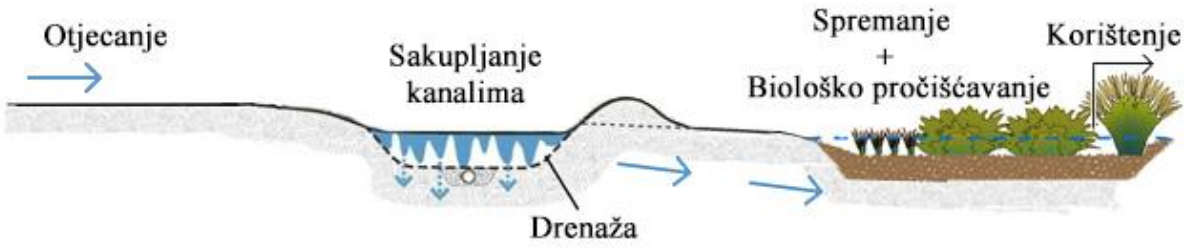
Površinska voda dotječe do bioloških uređaja. Višak vode se sakuplja drenažom na dnu i odvodi u retenciju radi korištenja.



Slika 36. Shema uređaja za pročišćavanje – sakupljanje – spremanje

B) sakupljanje – spremanje + pročišćavanje (*slika 37.)*

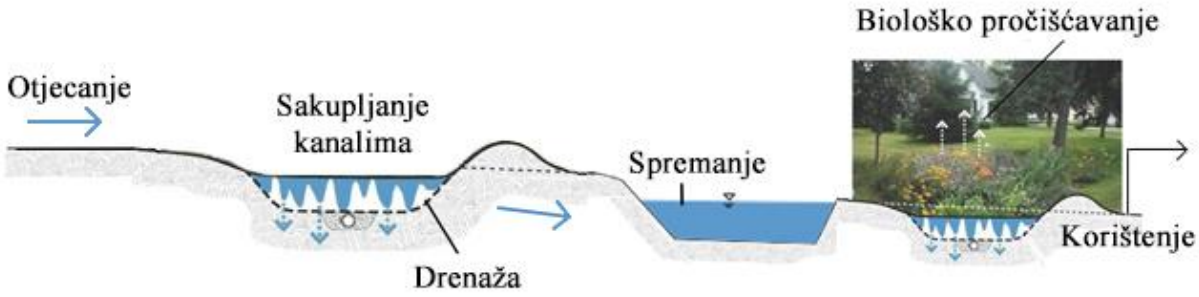
Površinska voda se sakuplja i odvodi do bioloških retencija gdje se pročišćava i zadržava. Vode koje otječu iz biološke retencije se koriste za razne namjene.



Slika 37. Shema uređaja za sakupljanje – spremanje + pročišćavanje

C) sakupljanje – spremanje – pročišćavanje (*slika 38.*)

Površinska voda se sakuplja i odvodi u površinske retencije. Voda iz retencija odlazi u biološki uređaj. Višak vode iz uređaja se koristi za razne namjene uključujući i obnavljanje lokalnih vodnih resursa.



Slika 38. Shema uređaja za sakupljanje – spremanje – pročišćavanje

Korištenje pročišćene oborinske vode može biti od strane čovjeka za razne namjene ili korištenje radi obnavljanja lokalnih vodnih resursa (plava voda).

Ovaj način prikupljanja i ponovnog korištenja vode je iznimno važan za krška područja jer predstavlja novi vodni resurs koji smo dobili koristeći modificiranu zelenu infrastrukturu koja je integrirana u okoliš i pridonosi lokalnoj i globalnoj ekološkoj ravnoteži.

8.4. Rješenje odvodnje – retencijski bazen

Postoji još jedna alternativa u kojoj se sve površinske vode odvode mrežom cijevi (zatvoreni sustav odvodnje) odvode u akumulaciju radi korištenja. To je rješenje koje se primjenjuje u klasičnom konceptu odvodnje ili u dijelu sliva naselja gdje se integralni koncept ne može primijeniti.

Ovdje će se dimenzionirati retencija za slučaj da se koristi klasični sustav odvodnje i sve vode upuštamo u retenciju.

Da bi se sustav odvodnje mogao odrediti, definira se raspored kanala - smjerova tečenja vode u prostoru i pripadajuće slivne površine s kojih površinske vode dotječu u kanale. Na ovaj način se određuju potrebni kapaciteti pojedinih dionica sustava odvodnje.

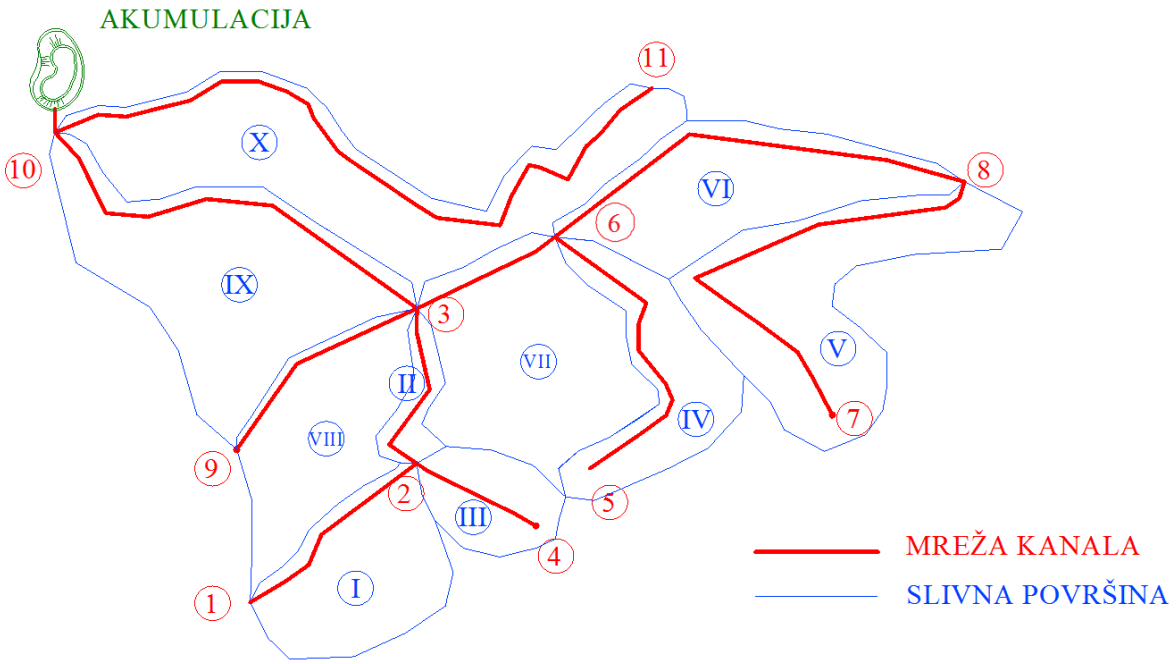
U klasičnom rješenju, količine se sumiraju u smjeru otjecanja predviđenim trasama kanala primjenom racionalne metode. Izračunate količine po pojedinim dionicama služe za dimenzioniranje odvodnih kanala.

U integralnom konceptu odvodnje, mjerodavne količine se računaju na sličan način. Razlika je u tome što se u integralnom konceptu izbjegava sumiranje količina površinskih voda u smjeru otjecanja, zbog toga što se nastoji lokalne vode lokalno zadržati ili upustiti u teren.

Na nekim dionicama gdje se sve vode ne mogu riješiti na ovaj način, površinske vode se putem otvorenih kanala odvode do retencija i infiltracijskih polja. To znači da elementi dionice klasičnog proračuna mjerodavnih količina se mogu koristiti i u integralnom konceptu.

Kada se vode lokalno upuštaju u teren i rješavaju, tada se za dimenzioniranje sustava koriste vode koje dotječu sa lokalnog sliva. Ako dio voda dotječe s uzvodnog sliva, tada i te vode treba uzeti u obzir.

Na slici 39. je prikazana shema mreže sustava za odvodnju oborinskih voda u Brusju s malom akumulacijom na kraju. Tradicionalna izgradnja ovakvog sustava nalaže uporabu cijevi za odvođenje oborinske vode. U integralnom pristupu cijevi možemo zamijeniti zatravnjenim kanalima i infiltracijskim jarcima. Mreža kanala se vodi većim prometnicama u naselju, a akumulacija je smještena izvan naselja.



Slika 39. Shema oborinske mreže cijevi – akumulacija

Dionice kanala sa pripadajućim veličinama:

Dionica	Početni čvor	Završni čvor	Početna kota terena (m n.m.)	Završna kota terena (m n.m.)	Nagib terena (%)	Dužina kanala (m)	Slivna površina po dionici (ha)	Koeficijent otjecanja (C_{sr})
I	1	2	323,66	322,84	0,73	112,41	0,64	0,40
II	2	3	322,84	312,38	11,06	94,61	0,13	0,50
III	4	2	330,26	322,84	10,90	68,10	0,31	0,20
IV	5	6	326,16	316,97	5,43	169,10	0,57	0,30
V	7	8	329,09	319,40	3,86	250,74	1,04	0,30
VI	8	6	319,40	316,97	1,62	149,93	0,84	0,40
VII	6	3	316,97	312,38	5,84	78,60	0,99	0,50
VIII	9	3	317,57	312,38	4,31	120,40	0,70	0,50
IX	3	10	312,38	294,84	7,81	224,51	1,26	0,20
X	11	10	314,90	294,84	5,33	376,70	1,39	0,40
					∑	1645,10	7,87	

Za proračun oborinske kanalizacije potrebno je odrediti pripadajuće slivne površine i koeficijente otjecanja:

Proračun površina:

Dionica	Površina (ha)	
I	A1	0,64
II	A1+A2+A3	1,08
III	A3	0,31
IV	A4	0,57
V	A5	1,04
VI	A5+A6	0,84
VII	A4+A5+A6+A7	3,44
VIII	A8	0,70
IX	A1+...+A9	6,48
X	A10	1,39

Proračun koeficijenata otjecanja:

Dionica	C_{avr}	
I	C1	0,40
II	(C1*A1+C2*A2+C3*A3)/(A1+A2+A3)	0,35
III	C3	0,20
IV	C4	0,30
V	C5	0,30
VI	(C5*A5+C6*A6)/(A5+A6)	0,34
VII	(sumC4-7*A4-7)/(sumA4-A7)	0,38
VIII	C8	0,50
IX	(sumCi*Ai)/(sumAi)	0,49
X	C10	0,40

Vrijeme tečenja u cijevima ćemo prema racionalnoj metodi odrediti prema sumi vremena koncentracije i vremena otjecanja. Vrijeme koncentracije se pretpostavlja za kolektivna gradnju 5 *min*, a individualnu gradnju 10 *min*. Otjecanje u cijevi određuje se kao srednje vrijeme tečenja, uzimajući u obzir ograničenja brzina. Minimalno dopuštene brzine za mješovitu i oborinsku kanalizaciju (Margeta, Kanalizacija naselja, 2009, str. 172) iznose **0.6 m/s**, a maksimalno

preporučene **2.5 – 3.0 m/s**. Za srednju brzinu odabrana je vrijednost od **1.5 m/s**. Povratno razdoblje za glavne kanale je 5 godina, a glavnu mrežu 2 (Margeta, Kanalizacija naselja, 2009, str. 119). Proračun protoka oborinskih voda po dionicama:

Dionica	Vrijeme (min)			Povratno razdoblje	Koeficjent otjecanja C_{avr}	Površina (ha)	Intezitet (l/s/ha)	Protok (l/s)
	Koncentracije	Otjecanja	Ukupno					
I	10	2	12	2	0,40	0,64	210	53,76
II	10	1	11	5	0,35	1,08	240	90,72
III	10	1	11	2	0,20	0,31	220	13,64
IV	10	2	12	2	0,30	0,57	210	35,91
V	10	3	13	2	0,30	1,04	205	63,96
VI	10	2	12	5	0,34	0,84	210	59,98
VII	10	1	11	5	0,38	3,44	240	313,73
VIII	10	2	12	2	0,50	0,70	210	73,50
IX	10	3	13	5	0,49	6,48	225	714,42
X	10	4	14	2	0,40	1,39	200	111,2

Očitan intezitet: ITP krivulja za Split

Dimenzioniranje volumena retencijskog bazena (racionalna metoda)

Proračun vršnog protoka s područja urbanih sredina najčešće se određuje primjenom racionalne jednadžbe:

$$Q_{max} = i \cdot A \cdot c \ (l/s)$$

gdje je: Q_{max} ..... vršni protok

i ..... intenzitet oborina (l/sec/ha)

A ..... površina slivnog područja (ha)

c ..... koeficijent otjecanja

Racionalna metoda se primjenjuje za male slivove (do 10,0 km^2) kod kojih je zastupljenost izgrađenih površina velika.

Pretpostavka je da se maksimalno otjecanje u kontrolnom profilu pojavljuje kada cjelokupno slivno područje sudjeluje u formiranju otjecanja (vrijeme trajanja oborine je jednako vremenu koncentracije).

Druga pretpostavka ja da je intenzitet oborina jednak na čitavom slivu.

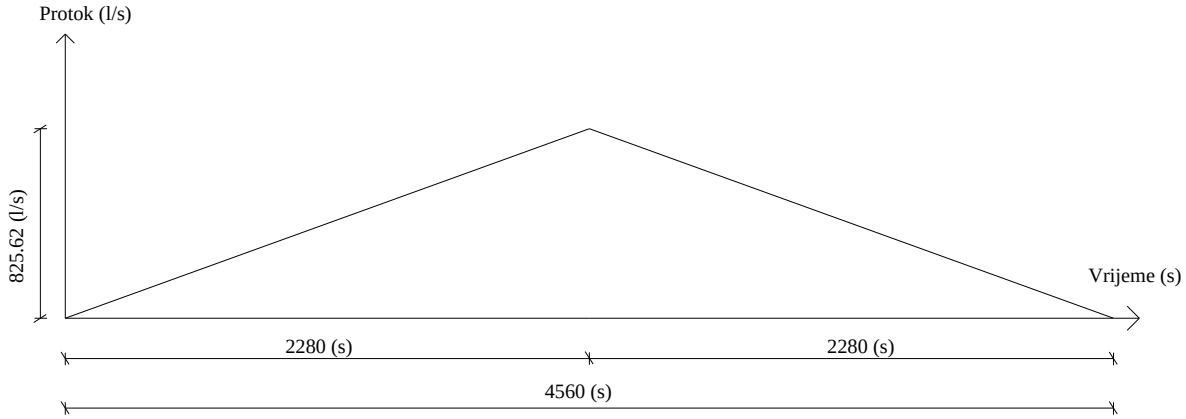
Proračun vršnog protoka prema racionalnoj metodi svodi se na određivanje mjerodavnog intenziteta oborina (ITP-krivulje) i određivanje koeficijenta otjecanja.

Vršni protok:

$$Q_{uk.kiš.} = 825{,}62\ l/s$$

Vrijeme otjecanja oborine najdužom dionicom kanala (7-8-6-3-10):

$$t_c = 38\ (min) = 2280\ (s)$$



Slika 40. Hidrogram otjecanja oborinske vode

Ukupni volumen pljuska:

$$V = Q \cdot t = 825{,}62 \cdot \frac{4560}{2} = 188241{,}36\ (l) = 1882{,}41\ (m^3)$$

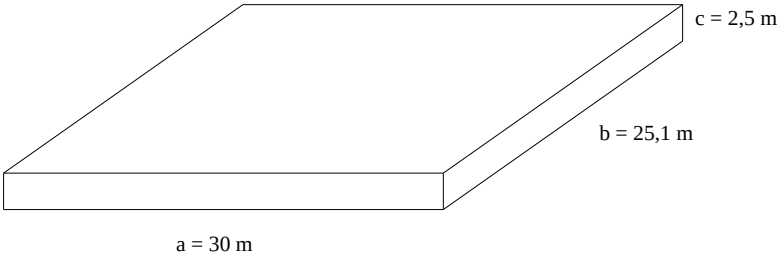
Volumen retencije:

$V = a \cdot b \cdot c$ odabrano: $c = 2{,}5\ m$

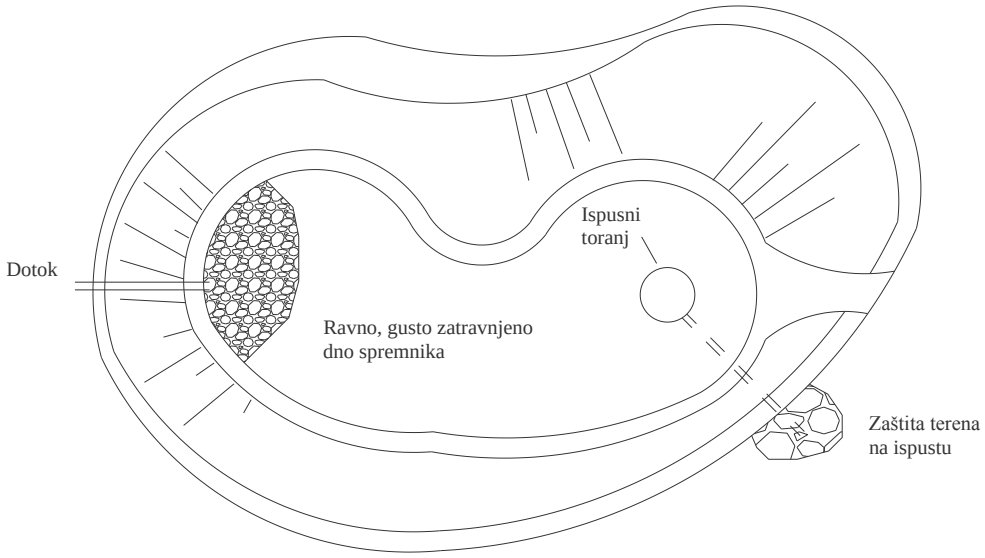
$\frac{V}{2{,}5} = a \cdot b$ odabrano: $a = 30\ m$

$b = 25{,}1\ m$

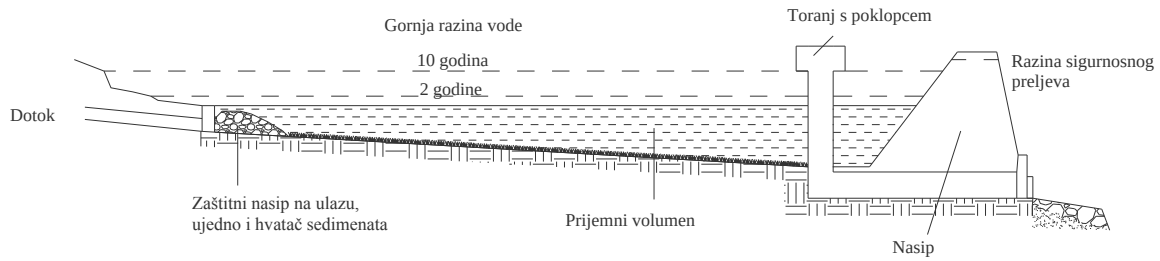
Odabrane dimenzije retencije:



TLOCRT



PRESJEK



Slika 41. Tlocrt i presjek retencije

9. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Oborinske vode su uvijek predstavljale problem u urbanim sredinama. Klasičnim sustavima odvodnje te vode udaljavamo iz urbanih sredina, ali bez pozitivnih učinaka i usput gubimo vrijedan resurs, pogotovo u krškim područjima. Integralnim pristupom oborinsku vodu zadržavamo u urbanoj sredini, pročišćavamo na prirodan način (biološkim uređajima) i naposljetku, ponovno koristimo. Cilj je jačanje održivosti lokalne sredine i globalno, nastojimo da je rješenje ekonomski učinkovito, za okoliš dobro, socijalno pravedno i prihvatljivo. Zelena infrastruktura te ciljeve ostvaruje jer se smanjuje količina oborinskih voda koja ulazi u kanalizacijske sustave, a zatim u jezera, rijeke i potoke, pomoću prirodnog zadržavanja i svojstava upijanja vegetacije i tla. Pogodnosti zelene infrastrukture u tom slučaju mogu obuhvaćati povećanu adsorpciju ugljika, bolju kakvoću zraka, ublažavanje urbanih toplinskih otoka, dodatna staništa za životinjski svijet i rekreacijski prostor. Zelena područja doprinose kulturološkom i povijesnom krajoliku, pri čemu mjestima daju identitet, kao i pejzaž urbanih područja na kojima ljudi žive i rade. Prednost primjene zelenih rješenja posebno dolazi do izražaja ako se sagledava metodom cjeloživotnog ciklusa (Life Cycle Assessment - LCA). Troškovi i negativni utjecaji na okoliš su mali, održavanje je jeftino, a razgradnja prirodna.

Sve navedeno posebno dolazi do utjecaja u krškim područjima koja su siromašna s vodom i vrlo osjetljiva na onečišćenja. U ovim područjima integralni koncept odvodnje direktno utječe na podzemne vodne resurse tako što urbane oborinske vode sakuplja, pročišćava i infiltrira unutar urbane sredine.

U naseljima do 5000 stanovnika i bez značajno razvijene industrije, izgradnja konvencionalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda skupa je i neprihvatljiva. Prihvatljivije je rješenje izgradnja uređaja koji koriste prirodne procese pročišćavanja otpadnih voda, te da se pročišćena voda može koristiti za potrebe natapanja poljoprivrednih površina.

Zbog svega navedenog integralni koncept bi se trebao primjenjivati što više, pogotovo u malim urbanim sredinama kao što je Brusje na otoku Hvaru. Zelena infrastruktura i integralni pristup u graditeljstvu je temelj za održivi razvoj. Ovakav pristup ima pozitivne učinke na okoliš, urbanu sredinu i ljude koji u njoj žive.

LITERATURA:

[1] *Oborinske i otpadne vode: J. Margeta*

[2] *Kanalizacija naselja: J. Margeta*

[3] *Modeliranje urbanog vodnog sustava Željko Rozić, Jure Margeta, Snježana Knezić*

[4] *Promjene u svijetu i gospodarenje urbanim vodnim sustavom: Jure Margeta*

[5] *Procjena zagađenja od oborinskih voda u krškim područjima: Jure Margeta, Ivana Fistanić, Marija Šarić*

[6] *Hidraulika: Podzemne vode u kršu*

[7] *http://www.starum.hr/media/medialibrary/2012/10/integralna_odvodnja_gf_2012_1.pdf*

[8] *Karst Hydrology: With Special Reference to the Dinaric Karst: Bonacci, Ognjen*

[9] *http://www.geografija.hr/teme/klima-i-vode/zastita-izvora-pitke-vode-u-krsu/*

[10] *STRATEGIJA UPRAVLJANJA VODAMA ("Narodne novine", broj 91/08)*

[11] *RAZVOJNA STRATEGIJA SPLITSKO-DALMATINSKE ŽUPANIJE 2011.-2013.*

[12] *"Posebnosti krških područja u opskrbi vodom za piće" Želimir Pekaš, dip.ing.geol. HRVATSKE VODE*

[13] *Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske (NN 30/2009)*

[14] *PRIJEDLOG STRATEGIJE PROSTORNOG RAZVOJA REPUBLIKE HRVATSKE, VLADA REPUBLIKE HRVATSKE Zagreb, rujan 2015.*

[15] *Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina; Hrvatske vode;Nacrt, listopad 2014.*

[16] *Impact of Urban Developmenton Physical and Chemical Hydrogeology; Corinne I. Wong, John M. Sharp Jr., Nico Hauwert, Jeffery Landrum, and Kristin M. White*

[17] *Josip Rubinić; Vodni režim vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji; doktorski rad; Rijeka, 2014.*

[18] *V. Patričević, A. Kopjar, B. Đurin; Analiza infiltracije oborina na aluvijalnom tlu*

[19] *http://e-gfos.gfos.hr/index.php/arhiva/broj-7/clanak-8-sperac-kaluder-sreng*

[20] *http://medjimurske-vode.hr/wpcms/wp-content/uploads/2015/07/Operativni-program-odvodnje-i-prociscavanja-otpadnih-voda-u-gornjem-Medjimurju-.pdf*

[21] *HIDROGEOLOŠKI ODNOSI NA KRŠKIM OTOCIMA – PRIMJER OTOKA VISA;*

JOSIP TERZIĆ; Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, Zagreb

[22] *SVEUČILIŠTE U ZAGREBU; Analiza inflitracije od oborina na aluvijalnom zemljištu; GEOTEHNIČKI FAKULTET; DIPLOMSKI RAD; Ana Kopjar*

[23] *Branko Vučijak, Admir Ćerić, Irem Silajdžić, Sanda Midžić Kurtagić; VODA ZA ŽIVOT: OSNOVE INTEGRALNOG UPRAVLJANJA VODNIM RESURSIMA; Sarajevo, 2011.*

[24] *http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-61-2009-12-11.pdf*

[25] *http://www.ekologija.ba/userfiles/file/Odrzivo%20upravljanje%20kisnicom(1).pdf*