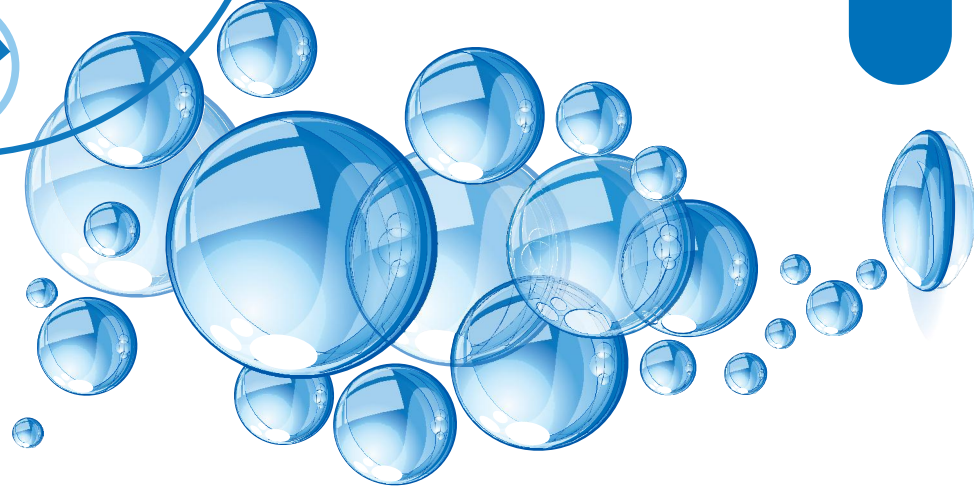




Ovaj priručnik je nastao u okviru Erasmus+ projekta:  
Razvoj master kurikuluma za upravljanje vodnim resursima u  
visokoškolskim institucijama na Zapadnom Balkanu (Swarm)  
Broj projekta: 597888-EPP-1-2018-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP

2020

ERAZMUS+  
Projekat



# PRIRUČNIK

za obuku za upravljanje  
vodnim resursima

Februar, 2020.

[www.swarm.ni.ac.rs](http://www.swarm.ni.ac.rs)

SWARM Priručnik za obuku za upravljanje vodnim resursima



Kofinansira  
Evropska unija  
program Erasmus+



Ova publikacija odražava stavove isključivo svojih autora.  
Evropska komisija se ni na koji način ne može smatrati odgovornom  
za sadržaj i stavove iznešene u ovoj publikaciji.

# **PRIRUČNIK**

**ZA OBUKU O UPRAVLJANJU VODNIM RESURSIMA**

Kosovska Mitrovica, 2020. godine



## SADRŽAJ

<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>7</b>
<b>1 UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA I PRILAGOĐAVANJE KLIMATSKIM PROMENAMA</b> .....	<b>9</b>
1.1 Uvodna razmatranja .....	9
1.2 Voda i klimatske promjene – političko okruženje .....	10
1.2.1 Definicija klimatskih promjena .....	10
1.2.2 Posljedice klimatskih promjena .....	16
1.2.3 Međunarodna klimatska politika .....	17
1.3 Klimatske promjene – EU vodni aspekt .....	18
1.3.1 Politički okvir za klimatske promjene u EU .....	18
1.3.2 Voda politika u EU .....	19
1.4 Klimatske promjene i uticaj na vode .....	20
1.4.1 Uticaji klimatskih promjena na vode .....	20
1.4.2 Adaptacije na klimatske promjene .....	22
1.5 Doprinos boljem upravljanju vodama: Iskustva nekih zemalja Evrope.....	23
1.5.1 Upravljanje urbanim vodama – novi pristupi .....	23
1.5.2 Održivo upravljanje vodama u urbanim sredinama - Iskustva iz Evrope .	29
1.5.3 Studija slučaja – prilagodba infrastrukturnog sistema klimatskim promjenama.....	32
1.6 Zaključna razmatranja .....	34
1.7 Literatura .....	35
<b>2 VODA—OGRANIČEN RESURS</b> .....	<b>38</b>
2.1 Uvod .....	38
2.2 Vodni resursi u svetu, Evropi i na zapadnom Balkanu .....	38
2.2.1 Problem manjka vode u svetu .....	38
2.2.2 Manjak vode u zemljama EU.....	39
2.2.3 Manjak vode na zapadnom Balkanu .....	41
2.1 Potražnja za vodom .....	42
2.1.1 Dostupnost sveže vode .....	45
2.1.2 Uticaj urbanizacije na upotrebu i upravljanje vodama .....	45
2.1.3 Upravljanje vodnim resursima .....	46
2.1.4 Mere očuvanja voda– individualni pristup .....	49
2.2 Zaključak .....	50
2.3 Literatura .....	50
<b>3 UPRAVLJANJE RIZIKOM OD SUŠA I POPLAVA</b> .....	<b>53</b>

3.1	Uvod .....	53
3.2	Evropske politike koje utiču na upravljanje poplavama.....	53
3.3	Upravljanje rizikom od poplava, adaptacija na klimatske promene i smanjenje rizika od katastrofa .....	56
3.3.1	Upravljanje rizikom od poplava .....	56
3.3.2	Adaptacija na klimatske promene .....	58
3.3.3	Smanjenje rizika od katastrofa.....	59
3.4	Izazov od nestašice vode i suše .....	60
3.5	Dobre prakse i naučene lekcije širom Evrope u prevenciji i upravljanju nestašicom vode, poplavama i sušama .....	64
3.5.1	Upravljanje slivom reke Save .....	65
3.5.2	Primena Direktive o poplavama u šest evropskih država .....	69
3.6	Zaključak .....	70
3.7	Literatura .....	71
<b>4</b>	<b>UPRAVLJANJE KVALITETOM ATMOSFERSKIH VODA.....</b>	<b>75</b>
4.1	Uvod .....	75
4.1.1	Problematika kvaliteta kišnog oticaja .....	76
4.2	Strategija zaštite .....	80
4.3	Tretman atmosferskih voda .....	80
4.4	Metode za kontrolu količine i kvaliteta kišnog oticaja .....	81
4.5	Zaključak .....	89
4.6	Reference .....	89
<b>5</b>	<b>TRETMAN OTPADNIH VODA I PONOVRNO KORIŠĆENJE TRETIRANE VODE .....</b>	<b>91</b>
5.1	Uvod .....	91
5.2	Procesi tretmana otpadne vode.....	92
5.2.1	Konvencionalni sekundarni tretman.....	93
5.2.2	Napredni tercijarni procesi tretmana .....	96
5.3	Napredni tretmani otpadnih voda i ponovna upotreba.....	97
5.4	Ciljevi i zahtevi u pogledu regulative koja se odnosi na korišćenje tretirane otpadne .....	101
5.4.1	Prelaz do cirkularne ekonomije .....	102
5.5	Zaključci .....	104
5.6	Reference .....	104
<b>6</b>	<b>INFORMATIČKI ALATI U UPRAVLJANJU VODNIM RESURSIMA .....</b>	<b>107</b>
6.1	Uvod .....	107
6.2	Prikaz odabranih programa .....	108
6.2.1	HEC-SSP (Statistical Software package) .....	109

6.2.2	HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) .....	110
6.2.3	HEC-RAS (River Analysis System) .....	111
6.2.4	HEC-WAT (Watershed Analysis Tool).....	112
6.2.5	Hydrus .....	114
6.2.6	Epanet .....	116
6.2.7	SWMM (Storm Water Management Model) .....	118
6.2.8	WEAP (Water Evaluation And Planning) .....	120
6.3	Zaključak .....	123
6.4	Reference .....	124
<b>7</b>	<b>INOVACIJA U SEKTORU VODA – MODEL UPRAVLJANJA PROCESOM OBNAVLIJANJA CIJEVNE VODOVODNE MREŽE PRIMJENOM FUZZY LOGIKE I FUZZY ODLUČIVANJA .</b>	<b>125</b>
7.1	Uvod .....	125
7.2	Algoritam postupka rangiranja, ključne aktivnosti.....	126
7.2.1	Definiranje zona (ili dionica) kao alternativa .....	126
7.2.2	Izbor atributa od značaja za rangiranje.....	127
7.2.3	Selekcija atributa i kriterija; Mamdani metod .....	128
7.2.4	Bellman-Zadeh metod odlučivanja .....	130
7.2.5	Numerički primjer primjene kod rangiranja alternativa za obnavljanje.	131
7.2.6	Prijedlozi područja za primjenu modela .....	139
7.3	Zaključna razmatranja .....	142
7.3.1	Kritički osvrt na fuzzy koncept .....	144
7.4	Bibliografija.....	145



## PREGOVOR

Ova knjiga je nastala u okviru projekta SWARM (**S**trengthening of master curricula in **w**ater resources **m**anagement) finansiranog od strane Erasmus+ CBHE KA2 programa Evropske unije. Projekat SWARM sprovodi konzorcijum sačinjen od sedam visokoškolskih obrazovnih institucija sa Zapadnog Balkana i od šest članica programskih zemalja: Univerzitet u Nišu, Univerzitet u Novom Sadu, Univerzitet u Kosovskoj Mitrovici, Univerzitet Crne Gore, Univerzitet u Sarajevu, Univerzitet Džemal Bijedić u Mostaru, Visoka tehnička škola strukovnih studija – Leposavić, University of Natural Resources and Life Sciences – Vienna, Norwegian University of Life Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy – Sofia, University of Rijeka - Faculty of Civil Engineering, Universidade de Lisboa, i Javno vodoprivredno preduzeće "Vode Vojvodine".

Osnovni cilj projekta SWARM je edukacija stručnjaka za upravljanje vodnim resursima na Zapadnom Balkanu u skladu sa nacionalnim i politikama Evropske Unije. Ovaj cilj je dalje raščlanjen na sledeće specifične ciljeve:

- Poboľšati nivo kompetencija i veština u visokoškolskim ustanovama kroz razvoj novih i inovativnih diplomskih (master) programa u oblasti upravljanja vodnim resursima u skladu sa Bolonjskom deklaracijom i sa nacionalnim standardima za akreditaciju.
- Osmisliti i implementirati sedam novih, najsavremenijih laboratorija na partnerskim visokoškolskim ustanovama sa Zapadnog Balkana, u saradnji sa partnerima na projektu iz programskih zemalja.
- Razviti i implementirati LLL (Life Long Learning – učenje tokom celog života) program za sektor voda u skladu sa Okvirnom direktivom EU o vodama.

Ovaj priručnik je proizvod poslednjeg navedenog specifičnog cilja i namenjen je kao podrška programa učenje tokom celog života. Za određivanje tema iz oblasti upravljanja vodnim resursima sprovedena je obimna anketa zaposlenih u sektoru voda na Zapadnom Balkanu. U anketi je učestvovalo ukupno 1136 ispitanika. Na osnovu dobijenih odgovora, definisane su aktuelne teme iz oblasti upravljanja vodnim resursima, koje su označene kao najpoželjnije za usavršavanje profesionalaca iz sektora voda. Priručnik treba da posluži kao osnova za zaposlene u sektoru voda koji će pohađati kurseve, koje će organizovati visokoškolske ustanove sa Zapadnog Balkana, kao učesnici u projektu SWARM. Pored toga, priručnik može da posluži i svim zainteresovanim za sektor voda kao osnova za pribavljanje aktuelnih informacija o zakonskim okvirima, tehničko-tehnološkim procesima, informatičkim alatima, prilagođavanju klimatskim promenama, ograničene raspoloživosti vodnih resursa, upravljanja kvalitetom atmosferskih voda, korišćenju upotrebljenih voda, upravljanju rizikom od poplava i suša, kao i inovativne tehnike u upravljanju vodnim resursima.

Marković Đurica

Gocić Milan





# 1 UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA I PRILAGOĐAVANJE KLIMATSKIM PROMENAMA

Emina Hadžić, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Hata Milišić, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Suvada Šuvalija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Suada Džebo, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu  
Ammar Šarić, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

## Apstrakt

Klimatska varijabilnost značajno utječe na raspoloživost i na kvalitet vodnih resursa, te utječe na povećanje broja i magnitude hidroloških eksterma. Važnost proučavanja varijabilnosti i promjene klime, kako bi se utvrdio njihov utjecaj na okoliš općenito, pa samim tim i na čovjeka i gospodarstvo, predstavlja izazov koji će društva, bilo zajedno, na međudržavnom nivou ili pak pojedinačno morati rješavati. S tim u vezi, u ovom poglavlju će se govoriti o značaju integralnog upravljanja vodnim resursima i primjeni nekih inovativnih rješenja, kako bi se smanjili negativni učinci po društvo.

Poseban osvrt će se dati na Evropsku politiku u sektoru voda i klimatskih promjena. U zadnjem poglavlju će se dati nekoliko primjera novog pristupa u upravljanju urbanim vodama, kao i prilagodbi infrastrukturnih sistema klimatskim promjenama.

## 1.1 Uvodna razmatranja

Klimatska varijabilnost ima značajan utjecaj kako na raspoloživost tako i na kvalitet vodnih resursa, te utječe na povećanje broja i magnitude hidroloških eksterma. Važnost proučavanja varijabilnosti i promjene klime, kako bi se utvrdio njihov utjecaj ne samo na vode, već i na okoliš općenito, pa samim tim i na čovjeka, predstavlja izazov koji će društva, bilo zajedno, na međudržavnom nivou ili pak pojedinačno morati rješavati. Kako bi se utvrdio stepen ranjivosti društva i odredile strategije i planovi prilagodbe na prognoziranje klimatske promjene, neophodno je već sada primjeniti, u punom smislu te riječi, održivo gospodarenje vodnim resursima.

Obzirom da ne postoji jedinstvena definicija pojma Integralno upravljanje vodnim resursima, često se koristi definicija Global Water Partnership (GWP), po kojoj je pojam **“Integralno upravljanje vodnim resursima (eng. Integrated Water Resources Management – IWRM) proces koji promovira koordinirani razvoj i upravljanje vodama, zemljištem i ostalim povezanim resursima, u sve cilju maksimiziranja nastalog ekonomskog i društvenog bogatstva na pravičan način, bez ugrožavanja održivosti vitalnih ekosistema”**. Ovakav pristup integralnom upravljanju vodnim

resursima omogućava upravljanje i razvoj vodnih resursa na uravnotežen i održiv način, uzimajući u obzir društvene, ekonomske i okolišne faktore i interese.

Možemo zasigurno potvrditi činjenicu da je u prošlosti, upravljanje vodama bilo predvidivo, čak prema nekim autorima i konzervativno u pogledu klimatskih promjena. Tradicionalno planiranje vodoprivrednih sistema bilo je bazirano na historijskim hidrološkim i klimatološkim podacima, pretpostavljajući njihovu stacionarnost kroz vrijeme. Međutim, već izvjesno vrijeme je nemoguće pristupiti planiranju vodnih resursa sa ovim pretpostavkama. U svim novijim analizama i prognozama koje se odnose na korištenje, zaštitu vodnih resursa i zaštitu od štetnog djelovanja voda, mora se analizirati i utjecaj varijabilnosti klime, odnosno dugoročnih klimatskih promjena prema različitim scenarijima.

Postojeći način upravljanja vodnim resursima od neodržive proizvodnje i potrošnje treba postepeno mijenjati, počevši od sistematskog pristupa izradi smjernica, strategija i politika integriranog i cjelovitog upravljanja vodnim resursima, u skladu s ciljevima održivog razvoja. Klimatske promjene predstavljaju rastuću prijetnju i bit će izazov cijelom čovječanstvu u razdoblju do kraja 21. stoljeća. Postoji znanstveni i politički konsenzus da se klimatske promjene u značajnoj mjeri već događaju. Potvrđen je usvajanjem niza međunarodnih dogovora i sporazuma (uključujući Pariški sporazum o klimatskim promjenama koji je na snazi od 4. novembra 2016. godine).

Učinci klimatskih promjena ovise o čitavom nizu parametara pa je intenzitet utjecaja različit ovisno o geografskom položaju (Slika 1.1). Ranjivost privrede na učinke klimatskih promjena, posebno vodoprivrede, poljoprivrede, šumarstva, energetike, ribarstva i turizma, negativno se može odraziti i na ukupni društveni razvoj, posebice na ranjive skupine društva. Zbog toga je veoma važno pravovremeno sprovoditi mjere prilagodbe na uočene klimatske varijabilnosti. Zasigurno je da će trošak ulaganja u mjere prilagodbe klimatskim promjenama danas, smanjiti troškove saniranja mogućih šteta u budućnosti. Pri tome su naročito interesantne inovativne mjere koje pridonose jačanju otpornosti na klimatske promjene te ujedno doprinose smanjenju emisije stakleničkih plinova (eng. adaptation-mitigation co-benefits). Kada govorimo o vodnim resursima, treba nagasiti da se očekuje da će se učinci klimatskih promjena u budućnosti povećavati, uključujući poplave i suše, te zakiseljavanje vode i tla, te podizanje nivoa mora.

## 1.2 Voda i klimatske promjene – političko okruženje

### 1.2.1 Definicija klimatskih promjena

Klima je promjenljiva, mijenjala se oduvijek na mnogim nivoima, od globalnog, regionalnog pa do lokalnog nivoa. Imajući to u vidu možemo reći da je prilagodba

čovjeka na ove promjene samim tim stara kao i ljudska civilizacija. Klima nekog mjesta se definiše na osnovu srednjih vrijednosti, ekstrema i drugih statističkih parametara meteoroloških uslova, tokom nekog vremenskog intervala (mjeseci, godine). Na nju

## Climate change hotspots

### Change in annual precipitation by the 2050s

- Increase
- Decrease

Temperature increase by 1.7-2.3°C by 2050 across the region (depending on the model and scenario)

### Present risks intensified by climate warming

- Risk of forest fires
- Risk of desertification
- Risk of decreasing farming productivity and risk of failures of rain-fed crops
- Sea level rise impacts on coastal erosion and salt water intrusion

### Risk of floods

- Drought and heat waves

### Projected change in mean seasonal and annual river flow between 2071-2100 and the reference period 1961-1990

- Increase
- Stable
- Decrease

\* This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSC 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo Declaration of Independence.  
Sources: Global Risk Data Platform (<http://www.preventionweb.net/english/misg/>); European Environment Agency (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-change-in-mean-seasonal-and-annual-river-flow-between-2071-2100-and-the-reference-period-1961-1990>); Climate Wizard (<http://www.climatewizard.org/>); The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (REC) (<http://www.rec.org/topics/area.php?id=11&section=Events&event=12>).



Map produced by ZOI Environment Network, May 2012.

Slika 1.1 – Lokacije najvećih klimatskih promjena u regiji Zapadni Balkan (Izvori: Svjetska banka, Ujedinjene nacije, 2011.)

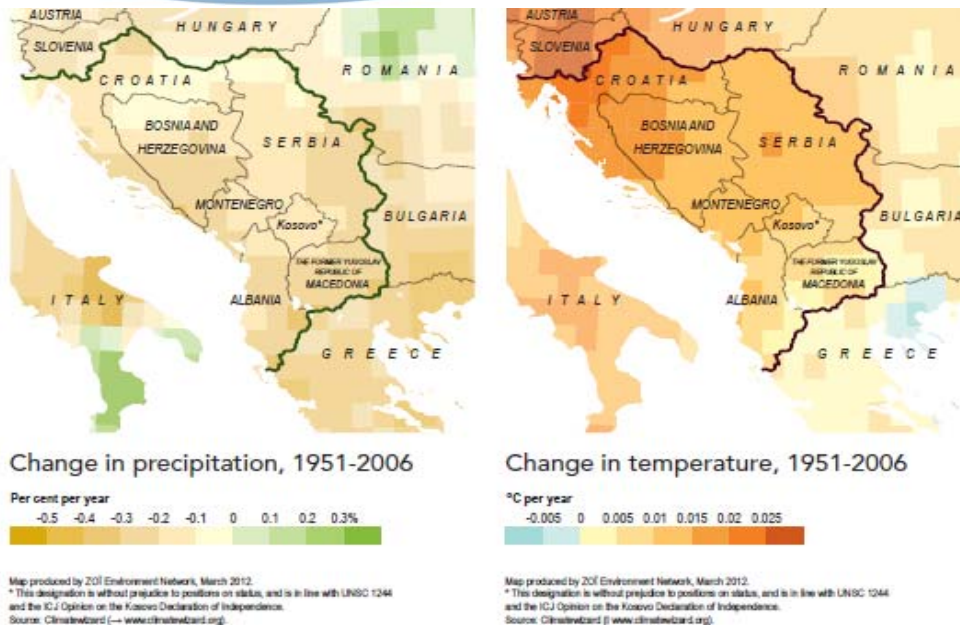
utječe sveukupni klimatski sistem koji je sačinjen od atmosfere, hidrosfere, kriosfere (led), tla i biosfere. Klima je samo “vanjska” manifestacija složenih i nelinearnih procesa unutar klimatskog vrlo složenog dinamičkog sistema u kome učestvuju i jedni na druge djeluju: atmosfera, oceani, ledeni i snježni pokrivač, procesi na tlu (litosfera) i biosfera, uključujući čovjeka.

Elementi klime koji se uzimaju u obzir pri njenom definiranju su insolacija, temperatura zraka, pritisak zraka, smjer i brzina vjetrova, vlažnost zraka, padavine, naoblaka i snježni pokrivač, a mijenjaju se pod utjecajem klimatskih faktora ili modifikatora (geografska širina, reljef, raspodjela kopna i mora, morske struje, nadmorska visina, rotacija, revolucija, atmosfera, udaljenost od mora, jezera, tlo i biljni pokrov, te utjecaj čovjeka). Statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima i duže, nazivaju se klimatskom promjenom. Klima se može mijenjati kroz neko duže razdoblje, pa je veoma važno razlikovati promjenu klime nekog područja od varijabilnosti klime unutar određenog klimatskog razdoblja (Slika 1.2).

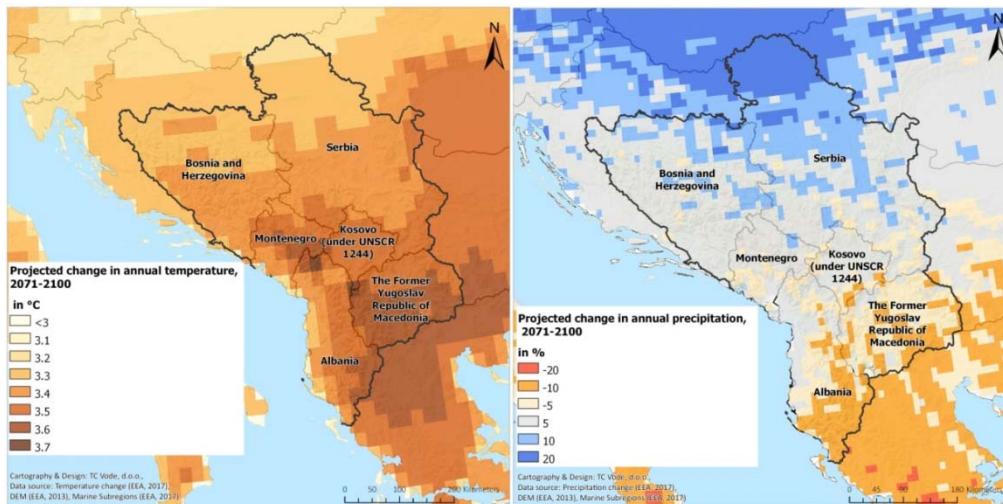
O promjeni klime možemo govoriti samo onda kada nastupi značajna i trajna promjena u statističkoj razdiobi klimatskih elemenata (ili vremenskih pojava), obično u razdoblju od nekoliko dekada pa sve do nekoliko miliona godina (Slika 1.3).

Uzroci promjene klime se dijele na prirodne i antropogene. Prirodni astronomski uzroci su vezani za promjene u Sunčevom zračenju, promjeni Zemljine orbite, dok su prirodni geofizički uzroci vezani za vulkanske erupcije, a gledano na geološkoj vremenskoj skali i tektonski poremećaji. Zračenje Sunca se kroz neko duže razdoblje malo mijenja, a prema dosadašnjim spoznajama varijacije Sunčevog zračenja imaju mali utjecaj na globalnu klimu. Astronomski faktori vezani su uz Milankovićeve cikluse (teoriju koja tumači pojavu ledenih doba kao posljedicu Zemljinih astronomskih kretanja). Milanković (1879-1958) je kroz svoja istraživanja otkrio da su periodične promjene ekscentriciteta Zemljine putanje i nagiba Zemljine osi uzrok dugoročnih klimatskih promjena, tj. nastanka i nestanka ledenih doba (Milankovićevi ciklusi). Ustanovio je osnovni period od približno 100 000 godina i sekundarne periode od približno 400 000 i 125 000 godina, u kojima zbog promjene ekscentriciteta Zemljine putanje nastaju značajne promjene primljene količine Sunčeva zračenja. Osim toga našao je i period promjene nagiba Zemljine osi od približno 41 000 godina, koji dovodi do smanjenja Sunčeva zračenja u višim geografskim širinama.

Ljudski utjecaj na klimu se najlakše može sagledati kroz razne oblike ljudskih aktivnosti, kao što su urbanizacija, krčenje šuma (deforestacija), te povećanje obradivih površina. Uslijed potrošnje fosilnih goriva (u proizvodnji energije, saobraćaju, poljoprivredi, itd.) ljudi doprinose povećanju koncentracije ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), aerosola i drugih plinova u atmosferi i tako utječu na jačanje efekta staklenika, što posljedično dovodi do globalnog zagrijavanja i smanjenja ozonskog omotača.

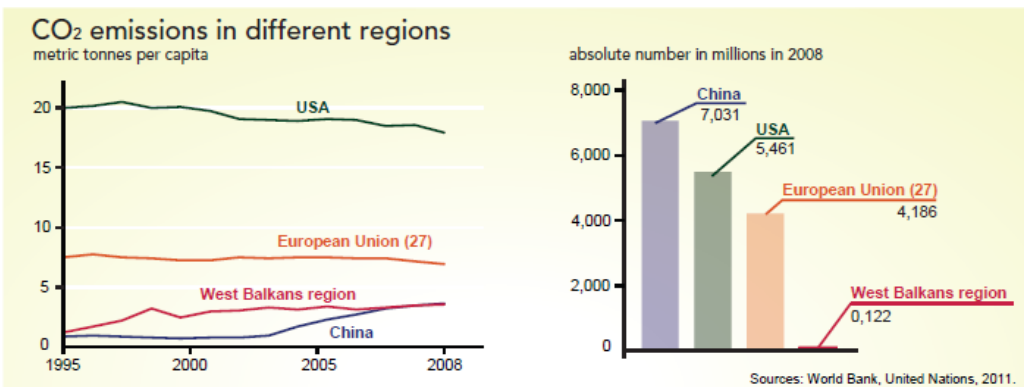
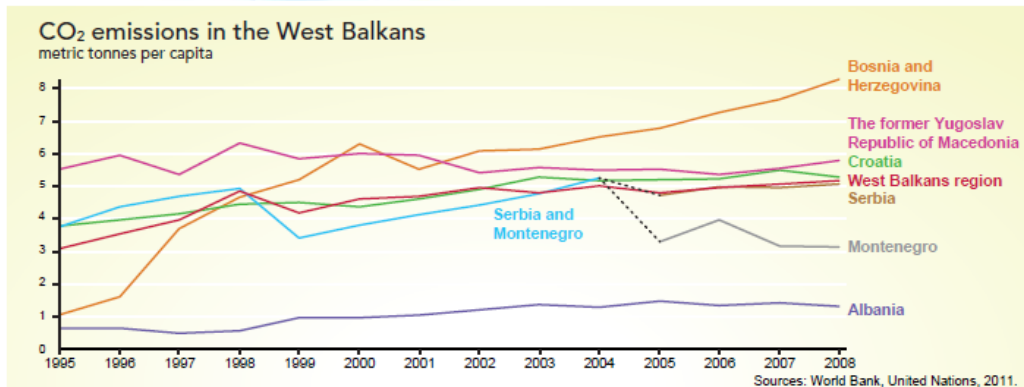


Slika 1.2 – Klimatske promjene u regiji Zapadni Balkan (Izvori: Svjetska banka, Ujedinjene nacije, 2011.)



Slika 1.3 – Promjena godišnje temperature (lijevo) i količine padavina (desno) u periodu 2071–2100 u usporedbi s početnim periodom 1971–2000 (Globevnik, L. I ostali, 2018)

Napomena: Ove karte prikazuju projicirane promjene u godišnjoj temperaturi i padavinama u periodu 2071–2100 u usporedbi s osnovnim periodom 1971–2000 za scenarij emisije RCP8.5. Simulacije modela temelje se na prosjeku višemjesečnog skupa mnogih različitih RCM simulacija iz EURO-CORDEX20 inicijative. Izvor podataka: EEA, 2017a (Promjene temperature i padavina).



Slika 1.4 – Emisija CO<sub>2</sub> u različitim regijama (Izvori: Svjetska Banka, Ujedinjene Nacije, 2011.)

Prema IV Izveštaju IPCC (IPCC, 2007), od sredine prošlog stoljeća, tačnije od 70-tih godina se utjecaj čovjeka na porast srednje temperature na Zemlji izravno povezuje sa njegovom djelatnošću. Naime, globalna srednja koncentracija stakleničkih gasova kao što su karbon dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), dušikov oksid (N<sub>2</sub>O) je porasla uslijed ljudskih djelatnosti (Slika 1.4). Tako se od polovine 20. vijeka termin klimatske promjene koristi skoro pa isključivo kada se govori o promjenama klime nastalim kao rezultat čovjekovih aktivnosti koje najčešće negativno utiču na ekosisteme. Međutim, pri tome ne treba zaboraviti niti utjecaj ostalih faktora koji doprinose klimatskih promjena.

Kroz Prvi izvještaj Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC, 1990) je praktično postignut globalni konsenzus o dejstvu čovjeka na klimu, a ujedno je to bila i osnova za Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama. S tim u vezi je i definicija klimatskih promjena koja je prihvaćena Okvirnom konvencijom Ujedinjenih nacija o promjeni klime (UN konvencija o klimatskim promjenama – UNFCCC,1992). Međutim, ideja da čovječanstvo vrlo vjerovatno ima utjecaj na globalnu srednju klimu koja se razlikuje od prirodne varijabilnosti u sezonskim i



desetogodišnjim vremenskim intervalima (IPCC, 2007) izazvala je zabrinutost zbog naše ranjivosti na različite aspekte ove klimatske varijabilnosti.

### 1.2.2 Posljedice klimatskih promjena

Postepeno zagrijavanje atmosfere izaziva brojne i dalekosežne posljedice za cjelokupnu ljudsku zajednicu. Ljudska civilizacija je i pored snažnog tehnološkog razvoja i dalje suštinski vezana za prirodne sisteme i direktno zavisi od procesa koji se u njima odvijaju i u konačnici još uvijek nedovoljno otporna na ekstremne varijabilnosti klime. Direktno posljedice klimatskih promjena kao što je porast temperature, topljenje leda, porast nivoa mora i okeana i izmjena režima padavina mogu prouzrokovati značajne probleme u funkcionisanju ljudskog društva. Proizvodnja i dostupnost hrane i vode, zdravlje ljudi, transport, snabdijevanje energijom, samo su neki od elemenata na kojima je zasnovano funkcionisanje ljudskih zajednica, a koji su zavisni od klimatskih uslova i koji mogu biti značajno destabilizovani klimatskim promjenama. Može se reći, uz srednji nivo pouzdanosti, da je učestalost suša i poplava porasla u nekim dijelovima svijeta i da je takav trend povezan sa klimatskim promjenama (IPCC, 2012). Prema klimatskim prognoznim scenarijima, vrlo je vjerovatno da će čovječanstvo ubuduće biti izloženo sve većem riziku od ovakvih pojava. Kada bi trenutno i došlo do drastičnog smanjenja emisija gasova staklene bašte, efekti emisija iz prošlosti osjećali bi se još dugi niz godina.

Praktično, klimatske promjene ne mogu biti zaustavljene u kratkom roku. Prognoze su da će emisija gasova staklene bašte rasti i u narednih nekoliko decenija, tako da je još dugi niz godina nemoguće očekivati pozitivne efekte mitigacionih mjera (IPCC, 2007). Iz tog razloga se u posljednje vrijeme na međunarodnom planu posebna pažnja daje mjerama adaptacije, odnosno mjerama prilagođavanja na klimatske promjene. Adaptacije podrazumijevaju pronalaženje načina da se smanji osjetljivost prirodnih sistema i ljudskih zajednica na klimatske promjene. Adaptacije u suštini predstavljaju povećanje tolerantnosti na klimatske promjene. Prilikom svih analiza mogućih mjera za adaptaciju na klimatske promjene mora se uzeti u obzir da su sva ova predviđanja vezana za brojne nepouzdanosti.

Ove nepouzdanosti proizvod su korištenja različitih metoda za predviđanje (različitih modela, izbora scenarija, izbora vremenskih perioda za verifikaciju i prognozu, izbora metoda spuštanja rezultata modeliranja sa globalnog na regionalni nivo, i slično), ali i nepouzdanosti podataka (nedovoljnog broja i kvaliteta pojedinih podataka, neusaglašenosti različitih studija i slično). Međutim, takođe se mora uzeti u obzir da te nepouzdanosti nisu istog reda veličine.

Na primjer, dosta je velika pouzdanost predviđanja da će prosječne i sezonske temperature rasti, a znatno manja da će doći do smanjivanja padavina na prosječnom godišnjem, dok je posebno neizvjesno kakva će promjena biti na sezonskom nivou. S obzirom na brojne nepouzdanosti, poželjno je da mjere koje bi se primjenjivale u cilju

adaptacije na potencijalne klimatske promjene ne izazivaju neželjene posljedice u slučaju odstupanja od predviđenih promjena. Drugim riječima, poželjno je primjenjivati takve mjere koje bi smanjivale rizik od klimatskih promjena, ali bi imale i druge pozitivne efekte na društvo, ekonomiju ili životnu sredinu.

### 1.2.3 Međunarodna klimatska politika

Početak rješavanja problema klimatskih promjena u okviru Ujedinjenih nacija vezan je za 1972. godinu, kada je u Stokholmu održana Prva konferencija o razvoju i zaštiti životne sredine. Potom je 1979. godine u Ženevi održana Svjetska konferencija o klimi. Prvi međunarodni naučni skup na ovu temu organizovan je 1988. godine u Torontu u Kanadi, kada su države pozvane na smanjenje emisije gasova staklene bašte do 2005. godine za 20% od nivoa na kome su bile te godine. Generalna skupština Ujedinjenih nacija je te, 1988. godine, proglasila klimatske promjene „zajedničkom brigom čovječanstva“, kada je osnovano i Međuvladino tijelo za klimatske promjene (IPCC). Zadatak ovoga tijela bio je izrada izvještaja o stanju stvari povodom klimatskih promjena, njenih uzroka i posljedica kao i ohrabivanje država i međunarodne zajednice u dogovaranju mjera i poteza povodom smanjenja emisija gasova staklene bašte i ovladavanja klimatskim promjenama.

Druga konferencija Ujedinjenih nacija o razvoju i zaštiti životne sredine održana je 1992. godine u Rio de Žaneiru, kada je donijeta Konvencija o klimatskim promjenama (UNFCCC – Unated Nation Framework Convention on Climate Change). Konvencija teži regulisanju negativnih uticaja klimatskih promjena. Ona je u početku bila međunarodno-pravno neobavezujući ugovor, čiji je cilj bio da se koncentracija gasova staklene bašte stabilizuje na nivo koji će dozvoliti ekosistemima da se prirodno prilagode na klimatske promjene, tako da proizvodnja hrane ne bude ugrožena, a da bude omogućen razvoj u održivom pravcu. Konvencija je 2011. godine postala pravno obavezujući međunarodni dokument. Poslije njenog potpisivanja i ratifikacije postala je dio unutrašnjeg prava u 194. države u svijetu.

Države potpisnice preuzele su određene obaveze, koje moraju da ispune. U članu 4. Konvencije govori se o zajedničkim, ali i različitim odgovornostima država, što u suštini predstavlja preporuku državama da treba da smanje emisiju štetnih gasova u odnosu na količinu koju su ranije ispuštale u atmosferu onoliko koliko mogu sebi da dozvole u tom trenutku.

Konvencija o klimatskim promjenama dopunjena je Kjoto protokolom, koji je usvojen 1997. godine u japanskom gradu Kjoto. Protokol je stupio na snagu 2005. godine. Njime se nameće obaveza smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte (GHG) izražene u procentima u odnosu na referentnu 1990. godinu za 38 industrijski razvijenih zemalja, uključujući i 11 zemalja sa ekonomijom u tranziciji Centralne i Istočne Evrope.

## 1.3 Klimatske promjene – EU vodni aspekt

### 1.3.1 Politički okvir za klimatske promjene u EU

EU je ratifikovala Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o klimatskim promjenama (UNFCCC) 1992. i Kjoto protokol 1998. godine. U skladu s Kjotskim protokolom, EU je usvojila cilj smanjenja emisija za 20% do 2020. U 2015. godini, Europska unija je ratificirala Pariški sporazum i priopćila nacionalni doprinos (NDC) u skladu s Pariškim sporazumom od najmanje 40% domaćeg smanjenje emisije gasova staklene bašte do 2030. u odnosu na 1990.

Evropska unija razvila je set strateških i zakonskih dokumenata koji se tiču klimatskih promjena. Dokument koji se direktno odnosi na ovu problematiku jeste Bijeli papir EU o adaptacijama na klimatske promjene. Ovim dokumentom EU je postavila okvir za rješavanje problema adaptacije na nivou zajednice i ujedno obavezala svoje članice da ozbiljno i strateški pristupe rješavanju ove problematike. Klimatske promjene imaju značajne negativne socioekonomske posljedice i jedan od bitnih ciljeva EU jeste unapređenje održivog upravljanja prirodnim resursima, sa fokusom na funkcionalnost različitih ekosistema. Ova generalna prijetnja zahtijeva prilagodljiv način upravljanja, koji omogućava uključivanje svih važnih sektora, prvenstveno poljoprivrede, upravljanja vodama, šumarstva, zaštite prirode, javnog zdravlja i energetike.

Naučni podaci govore da se mora djelovati odmah, jer će ekstremne vremenske prilike, suše i toplotni talasi koji su prouzrokovani klimatskim promjenama u budućnosti biti još intenzivniji. Jedan od regiona koji je prepoznat kao osjetljiv na klimatske promjene jeste region Jugoistočne Evrope. Do sada je pokrenuto nekoliko regionalnih inicijativa kako bi se pojačali kapaciteti u borbi protiv klimatskih promjena u ovom dijelu Evrope. Prije svega postalo je jasno da mjere ublažavanja nisu dovoljne i da je praktično nemoguće zaustaviti klimatske promjene u kratkom roku. Iz tog razloga neophodno je razvijati i primjenjivati adaptivne mjere kako bi se ublažili efekti klimatskih promjena. Adaptacije polako zauzimaju mjesto među prioritetima u globalnoj politici pa se nameće potreba svim zemljama da izrade procjene osjetljivosti na klimatske promjene i odgovarajuće planove adaptacija.

Takve ciljeve postavila je i Evropska unija u svojim strateškim dokumentima vezanim za klimatske promjene. Kako su zemlje jugoistočne Evrope jasno opredjeljene ka članstvu u Evropskoj uniji, svakako da će u skorije vrijeme morati da posebnu pažnju posvete izradi odgovarajućih dokumenata i razvoju svojih adaptivnih kapaciteta. Procjena ranjivosti na klimatske promjene i planiranje adaptacija izuzetno su složeni procesi koji zahtijevaju analize svih sektora društva i učešće brojnih stručnjaka i ostalih zainteresovanih strana.

### 1.3.2 Voda politika u EU

Okvirna direktiva o vodama (Direktiva 2000/60/EC Evropskog Parlamenta i Vijeća - ODV) je nastala kao rezultat napora Evropske komisije da kreira dokument koji će obezbijediti savremenu integralnu zaštitu voda i dugotrajno održivo upravljanje vodama. Za evropski prostor ujedno je i najznačajniji dokument, osmišljen da poboljša i integriira način na koji se upravlja vodnim tijelima unutar zemalja Evropske Unije i zemalja pristupnica. Ona predstavlja okvir za djelovanje Evropske Zajednice na području politike voda.

Zbog naraslih okolišnih problema, te promjena koje se očituju kroz degradaciju kvaliteta voda i promjena u raspoloživosti njenih količina, kroz ovu direktivu je predloženo rješenje o održivom upravljanju vodama u sklopu održivog razvoja. Pristup kojim se to želi osigurati jeste integralno upravljanje vodama. Koncept integralnog upravljanja vodama zasniva se na dokumentima kao što su: zaključci Dablinske konferencije o vodi i okolišu (1992.), preporuke međunarodnih konferencija u Rio de Janeiru i Rimu (1992.), te Konvencija o zaštiti i upotrebi prekograničnih vodotoka i međunarodnih jezera (Helsinki, 1992.).

ODV predviđa jasan plan za postizanje dobrog stanja svih vodnih tijela pri čemu su mehanizmi i specifične mjere potrebne za postizanje „dobrog stanja” ostavljeni na odluku svakoj državi članici EU-e i biti će odgovornost nadležnih vlasti imenovanih na državnom nivou. Evropski parlament i Vijeće Evropske unije su 23. septembra 2007. godine donijeli Direktivu o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima (Engl. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks). Cilj Direktive je uspostavljanje okvira za procjenu i upravljanje rizicima od poplava, kako bi se smanjile štetne posljedica po zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i privrednu aktivnost. Direktiva je proizašla kao kontinuitet Evropske Direktive o vodama, jer je uočena potreba popunjavanja praznine nastale u ODV, koja nije dala adekvatan značaj ovoj važnoj i nezaobilaznoj oblasti integralnog plana upravljanja vodnim resursima.

Još jedna vrlo važna EU Direktiva, između niza ostalih je i Nitratna direktiva 91/676/EEC koja ima za cilj zaštitu kvaliteta vode smanjenjem zagađenja podzemnih i površinskih voda nitratima iz poljoprivrednih izvora. Cilj je promocija dobrih praksi u poljoprivrednoj proizvodnji. Takođe, Nitratna direktiva čini dio ODV. Direktiva o kvalitetu vode za piće 98/83/EC odnosi se na kvalitet vode namjenjene za ljudsku potrošnju da bi se zaštitilo zdravlje ljudi. Direktiva Savjeta koja se odnosi na prečišćavanje urbanih otpadnih voda 91/271/EEC usvojena je početkom 1990-ih godina radi zaštite životne sredine od izliva urbanih otpadnih voda, kao i izliva iz određenih industrijskih sektora.

## 1.4 Klimatske promjene i uticaj na vode

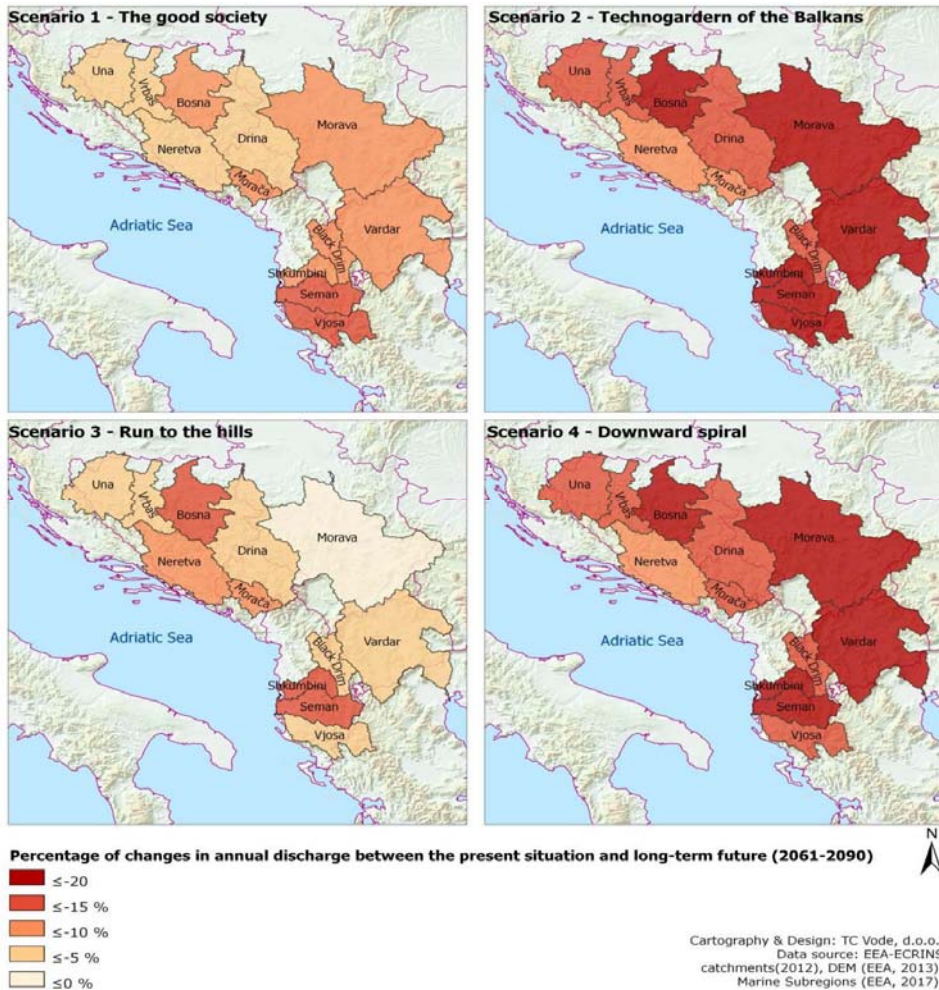
Voda je preduvjet za život na zemlji i ključna je za održivi razvoj. Nesumnjivo je jasno, bez obzira na činjenicu koliki je udio čovjeka u procesu globalnog zatopljanja, posebice u urbanim sredinama, da globalna klimatska kriza povećava varijabilnost u vodenom ciklusu i utječe na kvalitetu vode. Te promjene nesrazmjerno utječu na bogata i razvijena društva, te siromašna i nerazvijena, pa sam tim i više ranjiva društva. One zavise od brojnih faktora koji tome doprinose, uključujući porast stanovništva, GDP, urbanizaciju, promjene u korištenju zemljišta, smanjenje kvalitete tla, degradaciju okoliša, gubitak biološke raznolikosti i dr. Utjecaji klimatskih promjena vrlo su promjenjivi i neujednačeni. Neke regije proživljavaju dugotrajne periode suše, druge sve jače i česte poplave i oluje, dok se neke suočavaju s obje krajnosti. Utjecaji koji nastaju uslijed porasta nivoa mora utječu na obalna područja. Istovremeno, povećana potražnja za vodom, povećani pritisci na vodne resurse, porast zagađenja, povećanje potrebe za energijom i hranom dovode do postepenih težih kompromisa za ovaj ograničeni i dragocjeni resurs, posebno u područjima svijeta koja su već suočena sa vodenim stresom. Iz tih se razloga često se kaže da se klimatske promjene najviše osjete direktno kroz vodu.

### 1.4.1 Utjecaji klimatskih promjena na vode

Klimatske promjene utječu na integralno upravljanje vodama kako sa stanovišta raspoloživosti resursa tako i sa stanovišta korištenja voda u širem smislu. Utjecaj klimatskih promjena na hidrološki režim je, za sada, vrlo teško kvantificirati, odnosno razlučiti od utjecaja drugih antropogenih aktivnosti na slivovima (urbanizacija, obrana od poplava, neodgovarajuća tehnološka rješenja, dinamičan razvoj i sl.). Ipak, bez obzira na razlog, određene promjene se događaju te ukoliko se nastave, mogu dovesti u pitanje raspoloživost voda za različite namjene te održanje ekološke funkcije voda. Ovakva situacija nameće stroži okvir upravljanja vodama odnosno postavlja kao imperativ, dogovor o novim zajedničkim kriterijima i ciljevima održivog upravljanja vodama.

U državama članicama EU, razmatranje klimatskih promjena u velikoj mjeri je predstavljeno na kvalitativan način kada su u pitanju procesi upravljanja riječnim slivovima, u okviru prvog ciklusa upravljanja riječnim slivovima (RBM, River Basin Management) predviđenim Okvirnom direktivom o vodama (WFD,). Prijedlog za praktičnu politiku (Policy Paper) na temu upravljanja vodama u prvom ciklusu upravljanja riječnim slivovima stavio je poseban naglasak na obezbjeđivanje da postavljeni Programi mjera budu dovoljno prilagodljivi za buduće klimatske uslove (tzv. „climate-check“ Programa mjera, koji se vrši na osnovu raspoloživih znanja, informacija i podataka).

Za 2. i 3. ciklus upravljanja riječnim slivovima očekuje se da klimatske promjene budu potpuno integrirane u proces upravljanja riječnim slivovima. Kada su stvari tako postavljene, pristup prilagođavanja kroz upravljanje riječnim slivom u okviru WFD-a podrazumijeva 1) efikasno dugoročno praćenje (da bi se identifikovali indikatori klimatskih promjena kako bi se moglo reagovati u dogledno vrijeme), 2) procjenu mogućeg dodatnog uticaja klimatskih promjena na već postojeći antropogeni pritisak, i 3) uključivanje ovih informacija u formiranje mjera (posebno za predložene mjere koje će imati dugoročniji uticaj).



Slika 1.5 – Postotak promjene godišnjeg pražnjenja između sadašnje situacije (1970–2000) i dugoročne budućnosti (2061–2090) u odabranim slivovima (Globevnik, L. i ostali, 2018))

Dakle, u najmanju ruku se očekuje da države članice jasno demonstriraju kako su projekcije klimatskih promjena razmotrene i u procjeni pritiska i uticaja, i u programima praćenja, i u izboru mjera. Što se tiče Direktive o poplavama, klimatske

promjene trebalo bi da budu razmatrane još u prvom ciklusu planiranja rizika od poplava u okviru preliminarne procjene rizika od poplava, a na osnovu dostupnih informacija, kao i u narednim ciklusima planiranja, prilikom obavljanja revizije i ažuriranja preliminarne procjene rizika od poplava i planova upravljanja rizikom od poplava.

Također, mora se imati u vidu da pojedine studije ukazuju na moguću povećanu učestalost bujičnih poplava na manjim slivovima, s tim da je stepen pouzdanosti ovih predviđanja takođe prilično nizak, prije svega zbog problema prelaska sa globalnih na regionalne modele i preciznosti ovog postupka kada su u pitanju mali slivovi (Slika 1.5). Dosadašnje analize raspoloživosti količina voda za različita korišćenja imaju malu pouzdanost prognoze trendova, ali generalno se može reći da većina modela predviđa smanjenje količina voda na ovim prostorima kao posljedicu povećanja prosječnih temperatura i smanjivanja padavina. Ovo se posebno odnosi na ljetnje mjesece kada se očekuje značajnije smanjivanje raspoloživih količina voda.

Predviđeno povećanje korišćenja voda zbog klimatskih promjena, kao i eventualno smanjivanje padavina, a samim tim i proticaja u vodotocima, dovešće naročito u ljetnjem, malovodnom periodu do povećanja pritisaka na vodna tijela površinskih voda po pitanju njihovog kvaliteta. Ovi pritisci najznačajniji su za vodna tijela koja su u ovom trenutku, zbog prirodnih karakteristika, u malovodnom, uglavnom ljetnjem periodu izuzetno siromašna vodom.

#### 1.4.2 Adaptacije na klimatske promjene

Prilagodba klimatskim promjenama podrazumijeva poduzimanje određenog skupa aktivnosti s ciljem smanjenja ranjivosti prirodnih i društvenih sistema na klimatske promjene, povećanja njihove sposobnosti oporavka nakon učinaka klimatskih promjena, ali i iskorištavanja potencijalnih pozitivnih učinaka koji takođe mogu biti posljedica klimatskih promjena. Primjeri mjera prilagodbe su učinkovitije korištenje vodnih resursa; prilagođavanje građevinskih propisa budućim klimatskim uvjetima i ekstremnim vremenskim prilikama; izgradnja obrane od poplava; razvijanje i/ili odabir usjeva otpornih na sušu; prilagođavanje šumarskih praksi manje osjetljivih na oluje i požare; te oslobađanje kopnenih koridora kako bi se smanjio pritisak na vrste i olakšala njihova migracija. Prilagodba znači predviđanje negativnih učinaka klimatskih promjena i poduzimanje odgovarajućih mjera za sprječavanje ili smanjivanje štete koju mogu prouzročiti te iskorištavanje prednosti.

Zbog kompleksnosti klimatskih utjecaja, prilagodbu je potrebno strateški planirati na svim nivoima upravljanja: lokalnom, regionalnom, nacionalnom, EU i međunarodnom nivou. Stoga je od prioritetne važnosti pokrenuti društveni proces prihvatanja koncepta prilagodbe klimatskim promjenama, utvrditi koji učinak klimatske promjene imaju, utvrditi stepen ranjivosti i odrediti prioritetne mjere. Drugim riječima,

potrebno je strateški pristupiti procesu prilagodbe klimatskim promjenama. Da bi se to postiglo Strategija prilagodbe ima za cilj smanjiti ranjivost prirodnih sistema i društva na negativne utjecaje klimatskih promjena, povećati sposobnost oporavka nakon učinaka klimatskih promjena, iskoristiti potencijalne pozitivne učinke koji također mogu biti posljedica klimatskih promjena.

Osnovne mjere prilagodbe odnose se na izradu osnovnih planskih dokumenata u oblasti voda. Ovim mjerama se obezbjeđuje usklađivanje svih ostalih mjera u pojedinačnim granama sektora voda. Posebne mjere za prilagodbe date su za tri osnovne oblasti, za oblast korišćenja voda, za oblast odbrane od voda i za oblast zaštite voda. Vizija je stvoriti otpornost na klimatske promjene. Da bi se to postiglo Strategija prilagodbe postavlja ciljeve:

- smanjiti ranjivost prirodnih sistema i društva na negativne utjecaje klimatskih promjena;
- povećati sposobnost oporavka nakon učinaka klimatskih promjena;
- iskoristiti potencijalne pozitivne učinke, koji također mogu biti posljedica klimatskih promjena;
- Ona određuje prioritete mjere i koordinirano djelovanje kroz akcijske planove te praćenje učinka mjera.

S tim u vezi potrebno je: jačati i razvijati upravljačke mjere u cilju racionalizacije potrošnje vode i njezinom višekratnom korištenju; favorizirati korištenje alternativnih izvorišta voda; sprovesti prostorno-planske mjere u funkciji smanjivanja rizika i štetnih posljedica poplava na ugroženim područjima; vršiti monitoring i modeliranje projekcija mogućih promjena; donositi pravnu regulativu iz domene osiguranja prilagodbe klimatskim promjenama; potencirati strukturalne mjere/rješenja smanjenje gubitaka vode u vodovodnim sistemima); planirati izgradnju i revitalizaciju objekata (akumulacija) za prostornu i vremensku preraspodjelu voda; izvršiti pravovremeno rezerviranje prirodnih prostora i građevina s retencijskim prostorima za kontrolirane prihvate poplavnih voda, vršiti kontrolu oborinskog otjecanja na urbanim prostorima i slično.

## 1.5 Doprinos boljem upravljanju vodama: Iskustva nekih zemalja Evrope

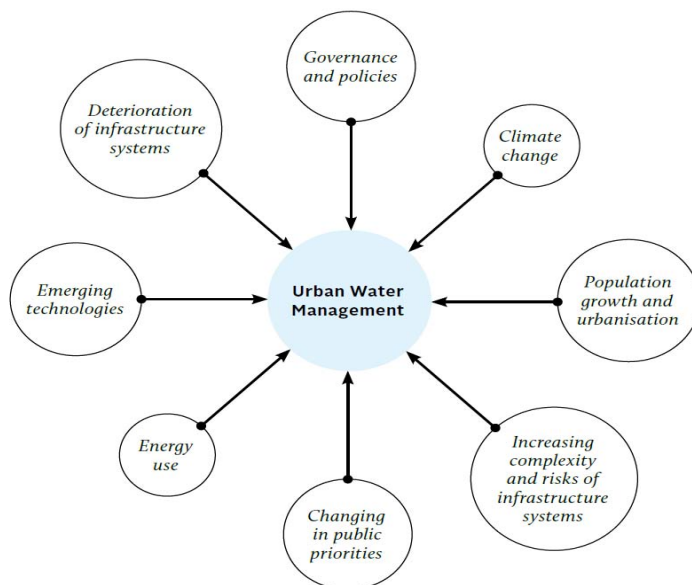
### 1.5.1 Upravljanje urbanim vodama – novi pristupi

Novi pristupi upravljanja urbanim vodama koji se razvio kao odgovor na klimatske promjene uključuje „veće poštivanje“ prirodnih zakonitosti, tj. vraćanje prirodnom hidrološkom ciklusu kroz rješenja iz prirode. Cilj je oponašanje prirodnog hidrološkog režima određenog područja koje se urbanizira, na način da se u što većoj mjeri oborinske vode zadrže na slivnom području, ponovno koriste i prirodno infiltriraju.



Ovakvim integralnim pristupom nužno je uključiti različite struke s ciljem definiranja što kvalitetnijih rješenja. Pored stručnjaka iz oblasti hidrotehnike, trebaju biti uključeni i stručnjaci iz područja urbanizma, arhitekture, agronomije-hortikulture, hidrogeologije, prometa, okoliša, sanitarnog inženjerstva, i drugi.

Sve je veći izazov u velikim gradovima upravljati vodama, to jest obezbjediti sigurno vodosnabdijevanje i odvođenje otpadnih voda, upravljati otpadom, zaštititi se od štetnog djelovanja velikih voda i efikasno koristiti vode uz stvaranje sigurnog i ugodnog okruženja. S obzirom da više od polovine stanovništva planete živi u urbanim područjima i predviđa se daljnji brzi rast, gradovi nužno trebaju novi pristup u upravljanju vodama. Slika 1.6 daje prikaz raznih faktora koji utiču na upravljanje vodama.



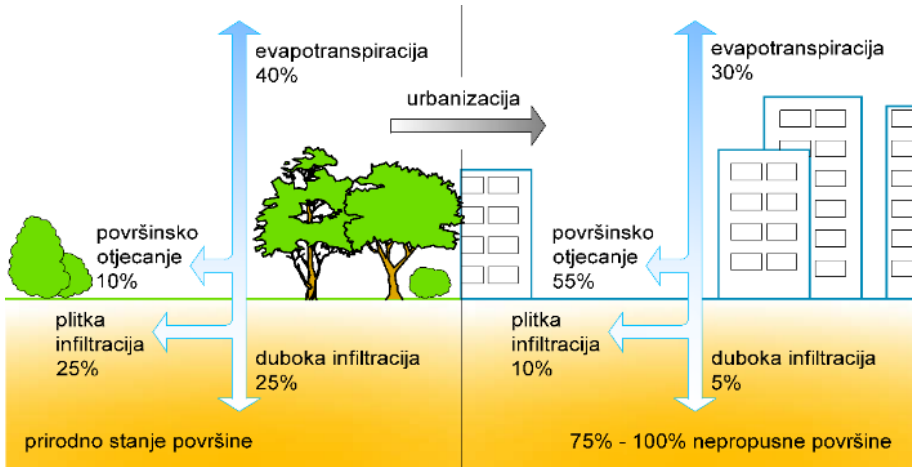
Slika 1.6 – Uticaji – problematika i budući izazovi na upravljanje vodama (Howe i ostali, 2012)

Promjene unutar urbanih sredina uslijed klimatskih promjena i ljudskih aktivnosti, kao i svih ostalih prikazanih uticaja su dugoročne, a mogu biti i trajne, i ogledaju se u slijedećem: Manja transpiracija zbog smanjenih zelenih površina; Brže isparavanje sa nepropusnih površina, nego sa propusnih; Smanjenje infiltracije; Kraće zadržavanje manjih količina vode u depresijama i barama; Poremećaji prirodnih ekoloških lanaca zbog sušenja bara i močvara; Povećano i ubrzano otjecanje oborinskih voda u usporedbi s prirodnim, to jest česta plavljenja, odroni, te klizišta.

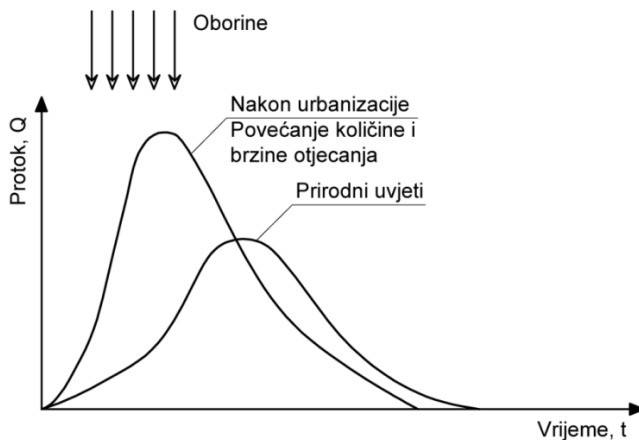
Slike 1.7 i 1.8 daju prikaz uporedbe različitih promjena u oticanju u prirodnoj i urbaniziranoj sredini. Vezano za problematiku zagađenja voda, intenziviranu antropogenim faktorima, treba posebno istaknuti negativan utjecaj urbanizacije na moguće efekte samopročišćavanja zagađene vode. Naime, uslijed smanjene

infiltracije koja je uzrokovana nepropusnim površinama urbane sredine zagađena voda ne prolazi kroz tlo, pa su umanjeni i efekti pročišćavanja vode filtriranjem kroz poroznu sredinu tla.

Oborinske vode s krovnih površina uobičajeno sadržavaju niske koncentracije zagađivača koji uglavnom potječu od atmosferskog taloga i ispuštanja ili razlaganja građevinskog materijala (Zimmer et al., 2008). Nasuprot tomu, oborinske vode s prometnica, parkirališta, radionica za servisiranje vozila i sl., često sadržavaju visoke koncentracije različitih hemijskih zagađivača.



Slika 1.7 – Promjene u otjecanju na prirodnoj (lijevo) i urbaniziranoj (desno) slivnoj površini (Jotte i ostali, 2017)



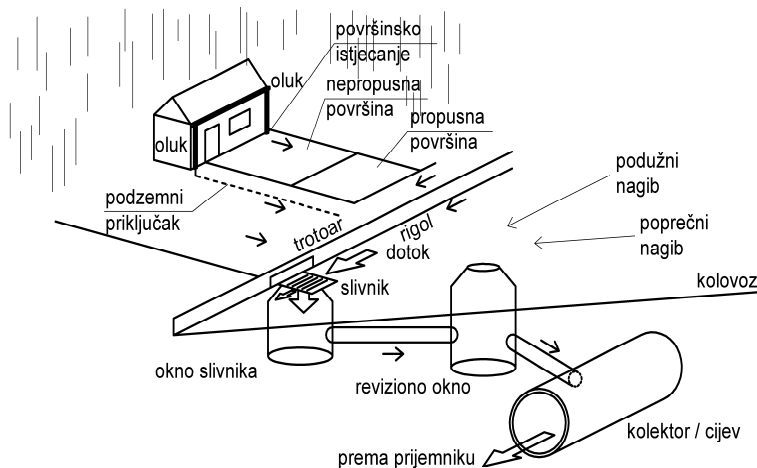
Slika 1.8 – Posljedice urbanizacije na hidrogram otjecanja (Despotović, 2009)

Adekvatno upravljanje vodama podrazumijeva poznavanje režima oborina i otjecanja s nekog sliva, ali i predviđanje utjecaja, odnosno posljedica urbanizacije i klimatskih promjena. Sve ovo pred inženjere hidrotehnike postavlja sve složenije zadatke planiranja, projektiranja, građenja, pogona i održavanja hidrotehničkih građevina i

sistema odvođenja oborinskih voda kojima se ove negativne posljedice urbanizacije i klimatskih promjena nastoje ublažiti.

### Klasični pristup upravljanja urbanim oborinskim vodama

Klasični pristup sistema odvođenja oborinskih voda obuhvata mjere i objekte za usmjeravanje, prihvatanje i provođenje površinskog otjecanja. Ti objekti su oluci, rigoli, slivnici s oknima, okna za reviziju, kaskade, preljevi, cijevi, kolektori, ispusti, retenzije (Slika 1.9) i dr. Ovi elementi povezani su s prirodnim elementima, prijemnikom, nagibom terena, depresijama i sl. Cilj je spriječiti lokalno plavljenje, ali i postići sanitarni i estetski učinak (zaštiti zdravlje i izlijevanje i zadržavanje raznih zagađivača). Zadaća sistema je prihvatiti površinsko otjecanje i uvesti ga u oborinske kolektore, te u što kraćem vremenu ispustiti u nizvodnu cijev/prijemnik. Klasični koncept odvođenja oborinskih voda (mješoviti i/ili separativni) prvenstveno razmatra pitanje količine oborinskih voda, ali ovi sistemi mogu imati i objekte za predtretman (taloženje nanosa, odvajanje ulja/masti sa zagađenih površina), pogotovo u zaštićenim vodonosnim područjima.



Slika 1.9 – Osnovni elementi klasičnog sistema odvodnje (Despotović, 2009)

Postojeći kanalizacijski sistemi su vrlo često zastarjeli i nemaju dovoljan kapacitet za sigurno primanje i provođenje povećanih količina oborinskih voda. Ove povećane količine oborinskih voda su prvenstveno posljedica urbanizacije (smanjenje vodopropusnih površina) i klimatskih promjena (učestalije kiše većeg intenziteta).

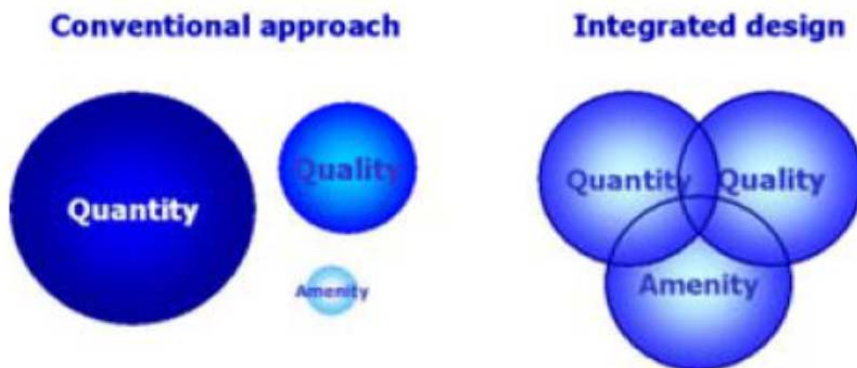
To za posljedicu ima pojavu učestalijih poplava u urbanim sredinama, a vrlo često i klizišta, te odrona. Površine različite namjene u urbanoj sredini imaju značajan utjecaj i na pogoršanje kvalitete oticaja oborinskih voda. To je dodatni negativni utjecaj urbanizacije, o kojem također treba voditi računa pri upravljanju oborinskim vodama. Ukratko, urbanizacijom se povećava količina i brzina otjecanja, a istovremeno snižava

kvaliteta oborinskih voda, te ugrožava sanitarni aspekt, posebno kada se koristi mješoviti sistem. Primjena klasičnog sistema odvođenja oborinskih voda u urbanim sredinama neće rezultirati razvojem zdravog i održivog urbanog prostora niti će dugoročno moći kvalitetno odgovoriti izazovima vezanim za negativne posljedice klimatskih promjena i intenzivne urbanizacije.

Novi pristup upravljanja vodama – doprinos boljem upravljanju

Savremeni koncepti odvođenja i upravljanja oborinskim vodama daju rješenja za prethodno postavljene ciljeve i doprinos su za bolje i efikasnije upravljanja vodama. Promjene režima oborina i otjecanja, kao i pogoršanje kvalitete, nameću potrebu mijenjanja pristupa u upravljanju, odnosno odvođenju i tretmanu oborinskih voda. Prema novim pristupima, pod upravljanjem oborinskim vodama se podrazumijevaju mjere, objekti i sistemi kojima se u urbanim sredinama oborinske vode čuvaju, zadržavaju, pročišćavaju i ispuštaju, kako bi se ublažile posljedice izmijenjenog hidrološkog ciklusa i pogoršanog kvaliteta voda.

Za novi pristup upravljanja oborinskim vodama, pored količina, analizira se zagađenje oborinskih voda i posljedice njihova ispuštanja u prirodu. Novi pristupi i tehnike integriraju kontrolu kvaliteta i kvantiteta/količina oborinskih voda, ali i potrebu ugodnosti u smislu postizanja dobrog ekološkog statusa (Slika 1.10).

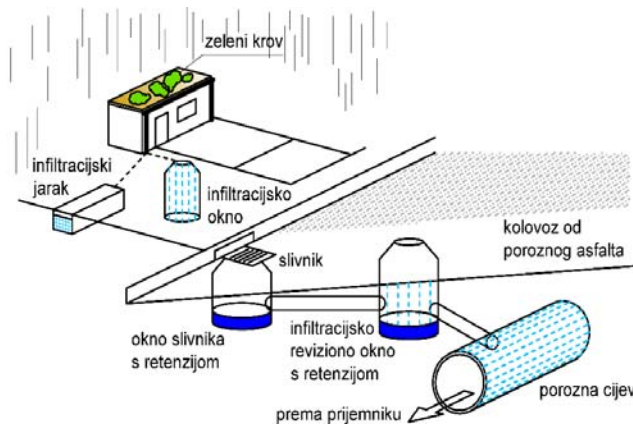


Slika 1.10 – Pristup održivijem pristupu upravljanja vodama (Jotte i ostali, 2017)

U razvijenim zemljama, u zadnjim godinama primjenjuju se novi pristupi, odnosno tehnike upravljanja oborinskim vodama, kao što su Low Impact Development (LID), Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Water-Sensitive Urban Design (WSUD), Sponge City, najbolje prakse upravljanja (BMP) i drugi slični pristupi. U navedenim sistemima upravljanja oborinskim vodama koriste se objekti za ublažavanje maksimuma i produženje koncentracije oticaja hidrograma direktnog otjecanja (Slika 1.11), ali istovremeno su to objekti i za tretman zagađenja oborinskih voda. Prema tome, ovi pristupi dozvoljavaju kontrolu i količine i kvaliteta vode na izvoru nastajanja i na lokalnom nivou.

Osnovni cilj novih trendova u upravljanju oborinskim vodama je korištenje objekata / elemenata koji služe za usporavanje i tretman površinskog otjecanja na izvoru, odnosno prije njegovog dospijanja u kanalizacijski sistem. Cilj je zadržati oborinsku vodu izvan kanalizacijskog sistema kako bi se smanjila prelijevanja i količine netretirane oborinske vode koja se ispušta u površinske vode. Ovo je inovativni pristup koji se oslanja na ekološka načela da treba planirati i projektovati odvodnju prema prirodnom načinu otjecanja, na izvoru, koristeći ravnomjerno raspoređivane decentralizovane mikro sisteme odvodnje i prečišćavanja (zelene krovove, zatravljene rigole, jarke, propusno popločavanje i propusne asfalte i sl.).

Korištenjem ovih sistema mehaničkim i biološkim mehanizmima obezbjeđuje se kontrola proticaja, zadržavanje, filtracija, infiltracija i tretman voda. Treba napomenuti da se ovim sistemima, koji u velikoj mjeri koriste zelene površine (travu i odgovarajuće biljke, cvijeće i sl), u velikoj mjeri postiže i estetki efekat – ugodno okruženje.



Slika 1.11 – Osnovni elementi savremenog sistema upravljanja oborinskim vodama u urbanim sredinama (Despotović, 2009)

Na temelju praćenja komponenti hidrološkog ciklusa, protoka i kvalitete oborinskih voda, uspostavlja se kontrola plavljenja radi pretvaranja površinskog otjecanja u „dobitak“ u gradskom hidrološkom ciklusu. Ideja je da se svaka kap kiše čuva kako ne bi bila zaprljana i odmah provedena cijevima, čime se ublažavaju negativne posljedice klimatskih promjena i urbanizacije na mikroklimu grada. Također uslov za adekvatno smanjenje oticaja atmosferskih voda osim čuvanja, odnosno zadržavanja, jeste i korištenje vode, na primjer za kasnije navodnjavanje čime se povećava i evapotranspiracija.

Naredno poglavlje daje neka dobra iskustva, koja mogu poslužiti kao model u cilju usvajanja doprinosa koje nude novi pristupi upravljanja vodama.

## 1.5.2 Održivo upravljanje vodama u urbanim sredinama - Iskustva iz Evrope

SWICH (Sustainable Water Management Improves Tomorrows Cities Helth) projekat finansiran od EC (Evropske Komisije) uključio je nove pristupe u područje održivog upravljanja vodama upravo gradova, gdje su izazovi upravljanja najveći. Ovo upravljanje se često naziva i integrirano upravljanje urbanim vodama (IUWM-Integrated Urban Water Management). Ovaj ambiciozni projekat (period trajanja 2006 – 2011) imao je za cilj upravo da promoviše održive-nove alternative upravljanja vodama. Platforma ovog projekta uključuje različite institucije, odnosno zainteresovane strane (dionike-stakeholders) – opštine, komunalna preduzeća, univerzitete, a nekada i nevladine organizacije, kako bi zajedno razmišljali, djelovali i učili, te u integriranom pristupu davali rješenja koja će se primjenjivati u praksi i odgovoriti izazovima promjenjenog hidrološkog režima i pogoršanog kvaliteta vode. Institucije sektora voda moraju se prilagoditi nastalim promjenama, kao i daljnjim promjenama koje se mogu očekivati u budućnosti (Final Report, SWITCH). Novi pristupi upravljanja trebaju se prilagoditi svim prethodno navedenim aktualnim uticajima i posljedicama tih uticaja koji se često ne mogu pouzdano predvidjeti. Ta nesigurnost posljedica traži strateško razmišljanje, te strateško i fleksibilno planiranje i odlučivanje, prilagođeno specifičnim okolnostima prostora na koji trebaju biti primjenjeni novi pristupi planiranja.

Tabela 1.1 – Prioritetni problemi vezani za vode u nekim evropskim gradovima

Grad	Prosječne godišnje padavine (mm)	Prioritetni problem vezani za vode
Zaragoza (Španija)	318	Upravljanje potražnjom vode; koristeći vodu za poboljšanje urbanog okruženja
Lodz (Poljska)	599	Restauracija zagađenih i zatrpanih rijeka kao dijela aktivnosti revitalizacije; odlaganje kontaminiranog mulja iz obrade otpadnih voda; flash poplave
Birmingham (Engleska)	662	„Budući“ rizici: klimatske promjene; povećanje nivoa podzemnih voda; poplave
Hamburg (Njemačka)	773	Preuređenje obalnih lokacija (posebno otoka Wilhelmsburg); zaštitu od poplava

Najbolje prakse upravljanja oborinskim vodama, koje će dati doprinos upravljanju, preporučuju održiva rješenja. Naime, cilj je integracija sa postojećom infrastrukturom (konvencionalnog-klasičnog pristupa upravljanja) i procjena učinkovitosti novih

pristupa u specifičnim okolnostima (okolnostima specifičnim u određenoj zemlji, gradu, njegovoj klimi, specifičnoj, odnosno aktualnoj problematici vezano za kontrolu uslova oticanja vode i očuvanja kvaliteta voda).

Specifične okolnosti, odnosno prioritetna problematika vezana za vode, identificirana za neke Evropske gradove kroz projekat SWITCH, navedena je u Tabeli 1.1.

Općina Zaragoza, grad na sjeveru Španije, ima iskustvo više od 20 godina na poboljšanju upravljanja vodama, i u tom smislu nije bilo očiglednih potreba za velikim promjenama u njihovom upravljanju. Očekivalo se da SWITCH pruži dodatni podsticaj procesima koji su već uspostavljeni i stvori sinergiju sa specifičnim inicijativama vezanim za vodu, koje se istodobno provode, poput Expo-a i uspostavljanja Ureda Ujedinjenih naroda za potporu Međunarodnoj deceniji vode. Zaragoza ima mnogo toga za pokazati u pogledu prošlih i sadašnjih praksi upravljanja vodama. Lokalni dionici su SWITCH projekt smatrali važnim podsticajem radu na sekcionalizaciji i istraživanju mjera upravljanja potražnjom vode. Iako je stvarni doprinos rezultatima istraživanja ostao ograničen, SWITCH je pokazao dodatnu motivaciju za općinske službenike da poboljšaju upotrebu podataka o istraživanju u operacijama vodovodne mreže i da planiraju mjere upravljanja potražnjom vode.

U Lodzu, grad u Poljskoj, fokus je bio na obnovi rijeka koje su zagađene, degradirane i čak zakopavane kako se grad razvijao. Ključni akteri bili su lokalni vlada, komunalna preduzeća, univerzitet i stručni istraživački institut. Uspješna realizacija ovog projekta jeste djelomično revitaliziran koridor jedne rijeke u gradu, čime je postignuto ugodnije i privlačnije okruženje za stanovništvo i budući razvoj grada. Kroz aktivnosti projekta načela upravljanja su ugrađena u odgovorne gradske institucije, koje će u budućnosti biti odgovorne za nastavak i povećavanje revitalizacije ("oživljavanja") rijeka po gradu. Ideja povezivanja obnovljenih riječnih koridora i drugih otvorenih zelenih prostora u "plavo-zelenu mrežu" je sada prepoznata kao dio strategije planiranja grada.

U gradu Birminghamu (Engleska) su aktivnosti usmjerene na buduće rizike, poput klimatskih promjena, ali i implikacije porasta nivoa podzemnih voda. Neki partneri, uključeni u projekat su gradsko vijeće, vodoprivreda, agenciju za zaštitu okoliša, regulatorna agencija, savez potrošača i profesionalne asocijacije - udruženja. Neki specifični ishodi suradnje navedenih aktera/učesnika projekta s razvojnim agencijama bili su uticaji na planove preuređenja glavnog lokaliteta u gradu kroz široku upotrebu zelenih i smeđih krovova.

Hamburg je grad u Njemačkoj, s najvećim riječnim ostrvom u Evropi. Projekat SWITCH je upravo bio fokusiran na poboljšanju planiranja na području ovog riječnog ostrva. Aktivnostima projekta okupljen je širok spektar sudionika sa ostrva za izradu plana upravljanja vodama koji je podigao nivo diskusija o budućem razvoju otoka. Nažalost,

zbog kašnjenja u aktivnostima izvan djelokruga SWITCH-a, realizacija predviđenih aktivnosti bila je nemoguća.

Berlin je također grad koji je bio dio SWITCH projekta. Iskustva, odnosno dostignuća iz Berlina mogu se smatrati kao dobar model za održivo upravljanje vodama u urbanim sredinama. Naime lekcije naučene iz Berlina mogu se prenijeti na druge gradove, ovisno o lokalnom kontekstu (specifičnim okolnostima u njima). Ova iskustva odnose se na: Sužavanje nedostataka (praznina) u upravljanju vezano za administraciju; Zatvaranje ciklusa urbanih voda; Realizaciju integralnog upravljanja vodama u stvarnosti; Stavljanje u fokus upravljanja potražnjom vode.

*Sužavanje nedostataka (praznina) u upravljanju vezano za administraciju:* U Berlinu administrativna struktura je primjer gde su nacionalna, savezna i lokalna administrativna strukture iste. Takva struktura može pružiti idealno okruženje za rješavanje lokalnih situacija i problema. U takvom uređenju, zakoni i politike direktno su vezane za gradski kontekst, a ne za podnacionalni.

To osigurava djelotvoran okvir za upravljanje gradskim vodama uvažavajući lokalne specifičnosti (uslove). Na državnom nivou pažnju treba usmjeriti na usklađivanje lokalnih i regionalnih strategija.

*Zatvaranje ciklusa urbanih voda:* Slučaj Berlina pokazuje da je moguće da je grad samoodrživ u održavanju svojih vodnih resursa primjenom potrebnih tehničkih i mjera politike. Ovisno o geološkim i klimatskim uvjetima, zatvoreni vodni ciklus može se realizovati na urbanom nivou. To istovremeno zahtijeva prilagođavanje određenih zakona i uredbi i visok nivo političkog, tehničkog i financijskog opredjeljenja (posvećenosti) iz gradske uprave.

*Realizacija integralnog upravljanja vodama u stvarnosti:* Berlin je uspio kombinirati nekoliko aspekata planiranja korištenja zemljišta, očuvanja prirode, kao i upravljanje vodama na integrirani način. Iako integracija više sektora dovodi do složenosti, ona također pruža i bolje koristi za grad u cjelini – doprinosi efikasnijem upravljanju vodama. Nekoliko primjera integriranih rješenja koja bi mogla biti prenosiva u druge gradove su: (i) infiltracija oborinskih voda koja znači obogaćivanje resursa podzemnih voda (i količinom i kvalitetom); (ii) zeleni krovovi i zelene fasade uvode se radi poboljšanja urbane biološke raznolikosti kao i za smanjenje i kontrolu otjecanja oborinskih voda u gradu; (iii) Prihranjivanje podzemnih voda obalnom filtracijom sa tretiranim otpadnim vodama čime su vodni resursi pod kontrolom (uravnoteženi - balansirani).

*Stavljanje upravljanja potražnjom u fokus:* Efikasne strategije upravljanja potražnjom u Berlinu rezultirale su smanjenjem gradske ukupne potrošnja vode za 50% u periodu od dvadeset godina. Ove strategije koje mogu biti model za ostale gradove, fokusirane



su na četiri aspekta: navođenje korisnika vode da plaćaju odgovarajuću cijenu za ponuđene usluge; pokretanje velikih kampanja za podizanje svijesti šire javnosti; privremeno subvencioniranje opreme za uštedu vode i efikasnije smanjivanje curenja i gubitaka na vodovodnoj mreži.

### 1.5.3 Studija slučaja – prilagodba infrastrukturnog sistema klimatskim promjenama

Kao jedna od glavnih ljudskih aktivnosti, saobraćaj, a time i saobraćajna infrastruktura, direktno je izložen negativnom utjecaju velikih voda. Jedan od glavnih ciljeva mnogih zemalja u svijetu trenutno je podizanje otpornosti saobraćajne mreže na klimatske promjene u cjelini, pri čemu su poplave u većini slučajeva najveći problem. Svijest o ovom problemu u Bosni i Hercegovini posebno je povećana nakon katastrofalnih poplava 2014. godine koje su pogodile gotovo sve dijelove države, ali i regiona.

Glavni koraci u procjeni rizika i upravljanju njima su: identifikacija opasnosti, analiza rizika, ocjena rizika i upravljanje rizicima. Ovakva analiza primijenjena je na mreži magistralnih cesta Federacije Bosne i Hercegovine kojom upravlja JP Ceste FBiH u okviru projekta "Mainstreaming Climate Resilience Risk in Road Management in Bosnia and Herzegovina" finansiranog od strane Svjetske Banke.

Metodologija prilagodbe cestovne infrastructure otpornosti na poplave sastojala se iz sljedećih koraka:

1. Identifikacija indikatora opasnosti, elemenata izloženih riziku i stepenu ranjivosti,
2. Uspostava graničnih vrijednosti za sistem bodovanja svakog indikatora,
3. Razmotiriti da li treba primijeniti težinske faktore,
4. Ocjena indikatora za svaku dionicu unutar mreže cesta na osnovu podataka o vremenu i klimatskim projekcijama te ocjeni stručnjaka,
5. Normalizacija bodova za opasnosti, elemente izložene riziku i stepenu ranjivosti,
6. Određivanje ukupnog broja bodova za rizik od poplava na način da se množe vrijednosti iz prethodnog koraka,
7. Mapiranje dobijenih bodova koristeći GIS platformu što omogućava identifikaciju najugroženijih dionica cestovne mreže.

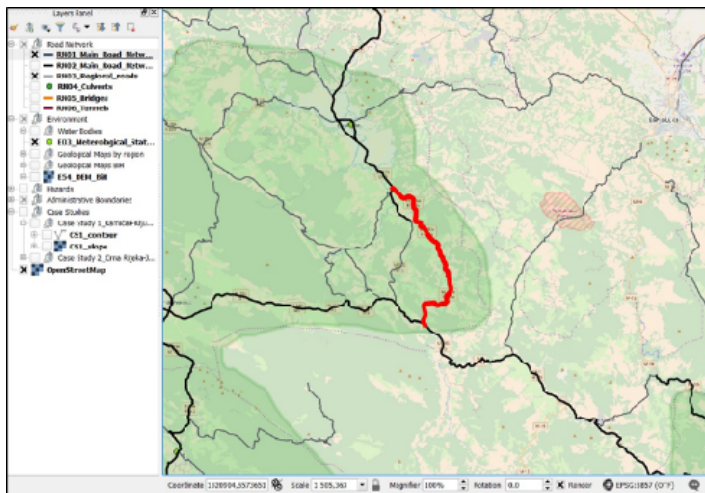
Rizik je definiran kao proizvod opasnosti, elemenata izloženih riziku i ranjivosti. Za svaku komponentu određen je niz relevantnih indikatora koji su prema svojoj važnosti bodovani ocjenama od 1 do 10, a na osnovu numeričkih granica utvrđenih od strane eksperata. Kompletna analiza zasnovana je na velikom broju prikupljenih skupova podataka o cestovnoj mreži, konfiguraciji terena, lokaciji vodotoka, geološkom

sastavu tla, prethodnim poplava te pokazateljima vremena za dugi vremenski period (minimalno 50 godina).

Za ocjenu rizika odabrani su sljedeći indikatori:

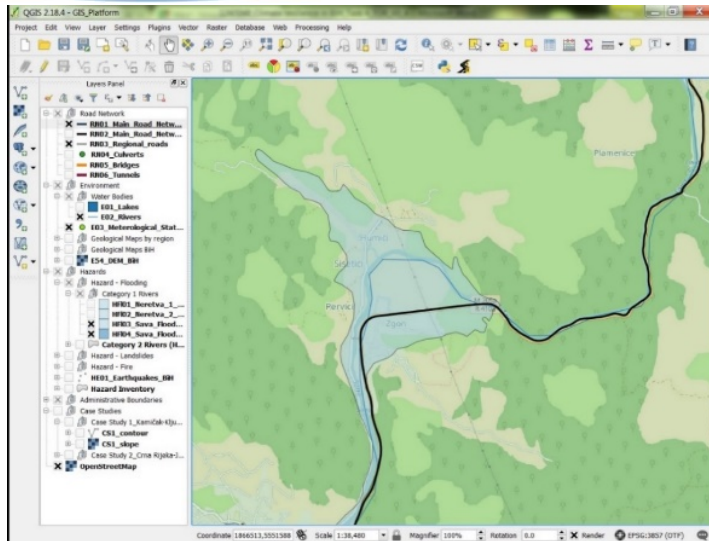
1. Opasnosti: broj dana u kojima su dnevne padavine bile veće od 40mm u toku posljednjih 10 godina, prosječna mjesečna količina padavina zadnjih 30 godina, procjena budućih godišnjih padavina, lokacija dionice unutar plavne zone, postojanje odbrane od poplave, visinski položaj ceste, blizina ceste rijeci, postojeće stanje riječnog korita, stanje propusta
2. Elementi izloženi riziku: imovina – propusti, manji i veći objekti
3. Ranjivost: prosječni godišnji dnevni saobraćaj (PGDS), postojanje alternativnih pravaca, strateška važnost razmatrane dionice unutar cijele mreže cesta.

Prikazana metodologija primijenjena je na jednoj od dionica magistralne ceste. Svi prethodno navedeni indikatori bodovani su na osnovu prikupljenih podataka od relevantnih službi (upravitelj cesta, hidro-meteorološki zavod, geodetska uprava, ministarstvo prostornog uređenja, lokalne zajednice) te je dobijena ukupna ocjena rizika od poplava za konkretno područje. Primijenjen je polu-kvantitativni pristup analize rizika jer su za ocjenu indikatora korišteni podaci različitih mjerenja te ocjene eksperata. Na narednim slikama dat je prikaz dijela analize pomenute dionice te odnos različitih skupova podataka u GIS platformi.

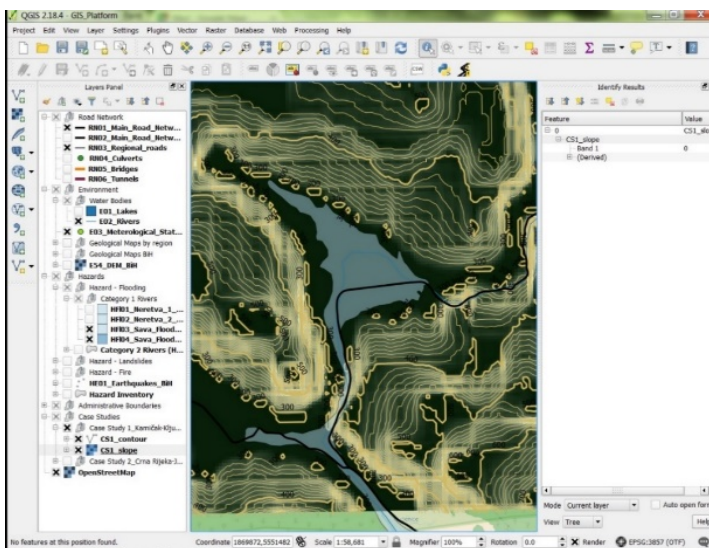


Slika 1.12 – Područje analize – dionica M15-004 (Bosna i Hercegovina)

Predložena metodologija primjenjiva je na kompletnu cestovnu mrežu te u kombinaciji sa procjenama ostalih opasnosti (prije svega klizišta čija pojava često prati pojavu poplava) moguće je dobiti prikaz najugroženijih dionica te pravovremeno reagovati u smislu njene zaštite, regulacije i zaštite vodotoka, osiguravanja alternativnih pravaca i sl.



Slika 1.13 – Prikaz odnosa plavne zone i trase dionice M15-004 (Bosna i Hercegovina)



Slika 1.14 – Prikaz odnosa plavne zone i visinskog položaja terena i trase dionice M15-004 (Bosna i Hercegovina)

## 1.6 Zaključna razmatranja

Važnost proučavanja varijabilnosti i promjene klime, kako bi se utvrdio njihov utjecaj prije svega na vodne resurse, a zatim i na okoliš općenito, pa samim tim i na čovjeka, predstavlja izazov koji će društva, bilo zajedno, na međudržavnom nivou ili pak pojedinačno morati rješavati. Kako bi se utvrdio stepen ranjivosti društva i odredile

strategije i planovi prilagodbe na prognozirane klimatske promjene, neophodno je već sada primjeniti, u punom smislu te riječi, održivo gospodarenje vodnim resursima.

Ranjivost gospodarstva na učinke klimatskih promjena negativno se može odraziti i na ukupni društveni razvoj, posebice na ranjive skupine društva. Zbog toga je veoma važno pravovremeno sprovoditi mjere prilagodbe na uočene klimatske varijabilnosti. Zasigurno je da trošak ulaganja u mjere prilagodbe klimatskim promjenama danas, smanjit će trošak saniranja mogućih šteta u budućnosti. Pri tome su naročito interesantne inovativne mjere koje pridonose jačanju otpornosti na klimatske promjene.

Obzirom da su urbane sredine osjetljive na varijabilnost klime, novi pristupi upravljanja vodama koji uključuju veće poštivanje prirodnih zakonitosti, tj. vraćanje prirodnom hidrološkom ciklusu kroz rješenja iz prirode, mogu doprinjeti ublažavanju negativnih efekata klimatskih promjena. Integralnim pristupom nužno je uključiti različite struke s ciljem definiranja što kvalitetnijih rješenja.

## 1.7 Literatura

- Anke Herold et al, 2019: EU Environment and Climate Change Policies - State of play, current and future Challenges, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies European Parliament. <http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>
- Despotović, J. (2009) Kanaliziranje kišnih voda. Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Srbija, 418 str.
- Dworak, et al, 2007: WFD and Bioenergy production at the EU Level, A review of the possible impact of biomass production from agriculture on water EEA, 2007. Climate change and water adaptation issues. EEA Technical Report No. 2/2007, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Dworak, Thomas; Anna Leipprand 2007: Climate Change and the EU Water Policy. Including Climate Change in River Basin Planning. Support to the CIS working group on Climate change and Water. Ecologic Institute: Vienna, Berlin.
- Eisenreich, S.J. 2005: Climate Change and the European Water Dimension, European Commission- Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- European Commission, 2003: COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC), Guidance Document No 11, Planning Processes
- Globevnik, L., et al, 2018, Outlook on Water and Climate Change Vulnerability in the Western Balkans, ed. Künitzer, A., ETC/ICM Technical Report 1/2018, Magdeburg: European Topic Centre on inland, coastal and marine waters, 86 pp.
- Howe C.A., Butterworth J., I.K. Smout, A.M. Duffy and K. Vairavamoorthy, (2012) Sustainable Water Management in the City of the Future - Findings from the SWITCH Project 2006-2011.

- IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007: Synthesis Report [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm) (2013)
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Jotte, L., Raspati, G., Azrague, K. (2017) Review of stormwater management practices. Klima 2050 Report No 7, SINTEF Building and Infrastructure, Trondheim, Norveška, p.50.
- Jusić S., Hadžić E. i Milišić H. (2019) – „Urban Stormwater Management New Technologies” – 5th International Conference "NEW TECHNOLOGIES, DEVELOPMENT AND APPLICATION", NT-2019 Sarajevo, 27th-29th June 2019 Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo. BiH. LNNS 76 Springer Link <http://link.springer.com>
- Marković Đ., Plavšić J., Ilich N. & Ilic S. 2015 Non-parametric Stochastic Generation of Streamflow Series at Multiple Locations. Water Resources Management, 29(13), 4787-4801.
- Mirko Kulić, Nedeljko Stanković, Albina Abidović: Uloga međunarodnih institucija u prevenciji i saniranju posledica katastrofa, Zbornik radova sa III međunarodnog naučnog skupa "Katastrofe-prevencija i saniranje posljedica" - Tom I, Evropski Univerzitet Brčko distrikt, Brčko, 2015.
- Prit Salian, Barbara Anton, ICLEI European Secretariat Making urban water management more sustainable: Achievements in Berlin SWITCH - Managing Water for the City of the Future.
- Reeves, S., Peeling, J., Winter, M., Ghataora, G., & Dzebo, S. (2018). Mainstreaming climate resilience risk in road management in Bosnia and Herzegovina. Washington: World Bank.
- The Federal Interagency Stream Restoration Working Group-FISRWG 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group. GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3.
- Wilby, R.L., H.G. Orr, M. Hedger, D. Forrow, M. Blackmore 2006 : Risks posed by climate change to the delivery of Water Framework Directive objectives in the UK. Environment International, Vol. 32, Issue 8, December 2006, p. 1043-1055.
- Zimmer C.A., Heathcote I.W., Whiteley H.R. and Schroeter H. (2008) – „Low-Impact\_Development Practices for Stormwater: Implications for Urban Hydrology“. Canadian Water Resources Journal, Vol. 32(3) p.193-212.

**Web stranice:**

<http://seerural.org/wp-content/uploads/2018/02/NRM-Report-Serbian-Final.pdf>

<http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>

[http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/cva\\_srbija\\_srpski.pdf](http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/cva_srbija_srpski.pdf)

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/eu-adaptation-policy/sector-policies/water-management>

<https://www.prilagodba-klimi.hr/>

<http://www.unfccc.int/2860.php>

[http://www.unep.at/documents\\_unep/ENVSEC/Climate\\_Change/Climate-change-west-balkans.pdf](http://www.unep.at/documents_unep/ENVSEC/Climate_Change/Climate-change-west-balkans.pdf)

## 2 VODA–OGRANIČEN RESURS

Jelena Đokić, Visoka tehnička škola strukovnih studija Leposavić  
Predrag Stanojević, Visoka tehnička škola strukovnih studija Leposavić

### Apstrakt

Zemlja ima ograničenu količinu sveže, upotrebljive vode. Srećom, voda se prirodnim putem reciklira (sakuplja, prečišćava i distribuira) kroz hidrološke cikluse. Ljudi su razvili određene tehnologije kako bi ubrzali ovaj proces. Međutim, zbog više različitih faktora (suše, poplave, porast stanovništva, zagađenja itd.), snabdevanje vodom ne može uvek na adekvatan način zadovoljiti potrebe zajednice. Očuvanjem voda možemo doprineti tome da zalihe sveže vode biti uvek dostupne svima, kako sada tako i u budućnosti. U ovom poglavlju predstavljen je nivo problema manjka voda na globalnom nivou, u EU i u regionu Zapadnog Balkana. Procene Evropske komisije i Evropske agencije za životnu sredinu (EEA) ukazuju na brojne probleme, uglavnom vezano za ekološki status površinskih i podzemnih voda. Očekuje se povećanje od 10% potrošnje vode za potrebe navodnjavanja u svim zemljama zapadnog Balkana. Veliki je takođe i uticaj urbanizacije na upravljanje vodnim resursima, posebno u regionu Zapadnog Balkana. Mere očuvanja voda razvijaju se u dva smera: sistematske mere u svrhu razvijanja tehnologija uštede voda, merenje i korišćenje tarifa, kontrola isticanja s jedne strane, i pojedinačnih mera u pravcu promena životnih navika stanovništva. Samo zajedničke akcije mogu dovesti do održivog upravljanja oskudnim vodnim resursima.

### 2.1 Uvod

Problem nedostatke kao i bezbednost voda bili su i ostaće ključno pitanje za životnu sredinu od globalnog značaja. Bezbednost voda definisana je programom Ujedinjenih nacija za vodu kao "kapacitet stanovništva da očuva održivi pristup odgovarajućim količinama vode prihvatljivog kvaliteta za održavanje životnih uslova, dobrobiti ljudi kao i društveno-ekonomskog razvoja, zaštite od zagađenja koja se prenose vodom i nesreća vezanih za vode, i za očuvanje ekosistema u klimi mira i političke stabilnosti". Manjak vode je nedostatak dovoljnih količina upotrebljive vode. Čista voda i poboljšanje sanitarnih uslova predstavljeni su u cilju br. 6 od ukupno 17 ciljeva održivog razvoja koje su Ujedinjene Nacije predložile 2015. godine.

Sve zemlje na Balkanu već pokušavaju da se usklade sa ciljevima održivog razvoja i započele su sa uvođenjem mera iz ciljeva 6 i 17 u svoju stratešku dokumentaciju, strategije i planove.

### 2.2 Vodni resursi u svetu, Evropi i na zapadnom Balkanu

#### 2.2.1 Problem manjka vode u svetu

Nestašica vode nastaje u situacijama kada nema dovoljno vode da istovremeno podrži potrebe ljudi i potrebe ekosistema za vodom (White, 2014). To se najčešće dešava kao

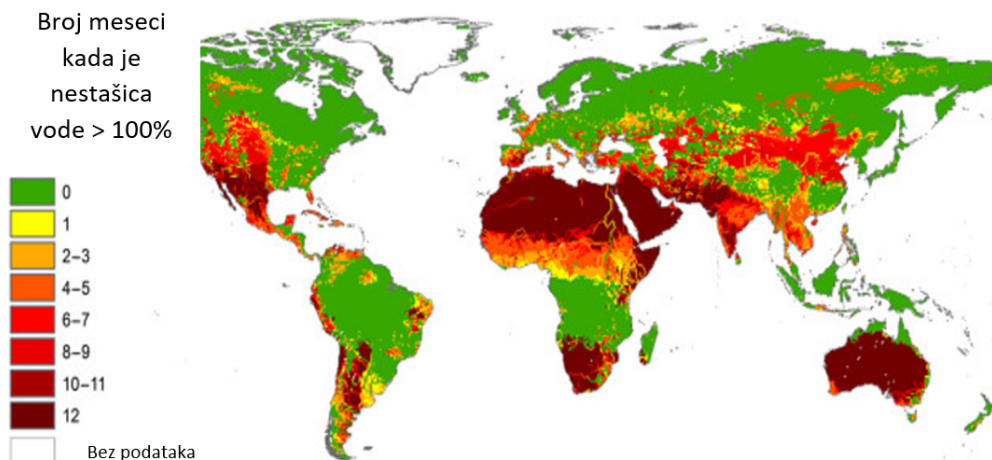
posledica osnovnog nedostatka vode (tj. fizičkog nedostatka vode), ali može nastati i iz nedostatka odgovarajuće infrastrukture koja bi omogućila pristup onome što bi se inače moglo smatrati dovoljno raspoloživim vodnim resursima, što je poznato i kao ekonomska nestašica vode. Fizička nestašica vode može se javiti kao posledica prirodnih pojava (npr. nedovoljna količina padavina, suše), kao i ljudskog uticaja (npr. opustinjavanje, skladištenje voda; Pereira et al., 2009; White, 2014), mada ti uticaji često idu jedni uz druge. Na primer, proces opustinjavanja često započinje kao posledica prekomerne upotrebe voda u periodima privremenih suša. Ključna razlika između ovih različitih procesa je u stepenu trajnosti i reverzibilnosti istih. U slučaju suša i prekomernih upotreba voda, na primer, uticaji mogu biti privremeni; međutim, oni koji nastaju kao posledica nedovoljnih količina padavina i opustinjavanja najverovatnije su nepovratni (Water, 2006). Kako Pereira et al. (2009) ističu, ta je razlika često predmet zabune kada govorimo o nestašici vode i njenim uticajima, ali može biti važna za razumevanje kako učinka tako i mogućnosti ublažavanja negativnih posledica.

Manjak voda utiče i na ljudsku populaciju i prirodne ekosisteme na svim kontinentima (Slika 2.1). Na primer, nedavne procene pokazuju da otprilike 4 milijarde ljudi najmanje mesec dana godišnje živi u uslovima nestašice vode, pri čemu je otprilike pola milijarde ljudi izloženo nestašicama vode velikih razmera tokom cele godine (Mekonnen i Hoekstra, 2016). Ove su brojke skoro dvostruko veće od ranijih procena, delom uzimajući u obzir to što je tokove potrebno zadržati u rekama radi održavanja ekosistema koji zavise od istih, kao i roba i usluga koje oni pružaju ljudima. Predviđa se da će u većini regiona, mada ne i u svim, klimatske promene još više imati uticaja na pogoršanje nestašica voda (Gosling i Arnell, 2016). Ove procene naglašavaju ogroman globalni uticaj nestašica voda na životni vek ljudi i prirodne sisteme, dok su mnogi globalni programi poput programa Ujedinjenih Nacija usredsređeni na poboljšani pristup ljudi vodama, u okviru oblasti održivijih ekosistema. Iz globalne perspektive, u prošlosti je mnogo manje pažnje posvećivano nestašici voda i uticaju nestašica voda na životnu sredinu (Mekonnen i Hoekstra, 2016), iako su potrebe za ekološkim tokovima sada uključene u procenu nedostatka vode kako na globalnom nivou tako i na nivou slivova (Liu et al., 2016; Mekonnen i Hoekstra, 2016).

## 2.2.2 Manjak vode u zemljama EU

Manjak vode i suša postali su rastući problemi u mnogim delovima Evrope u poslednjih 30 godina, a koštali su stotine milijardi evra. Vladama su potrebni podaci i indikatori kako bi uspostavili efikasne sisteme za rano upozoravanje. Zajednički istraživački centar Komisije pokrenuo je Evropsku opservatoriju za sušu radi nadgledanja kretanja i objavljivanja predviđanja putem Interneta, istovremeno ohrabrujući države članice da opasnost od suše unesu u svoje planove upravljanja rečnim slivovima, RBMP.





Slika 2.1 – Mapa koja prikazuje globalnu raspodelu regiona pogođenih manjkom vode. Preuzeto od Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2016. Četiri milijarde ljudi se suočava sa velikim nestašicama vode. Sci. Adv. 2.

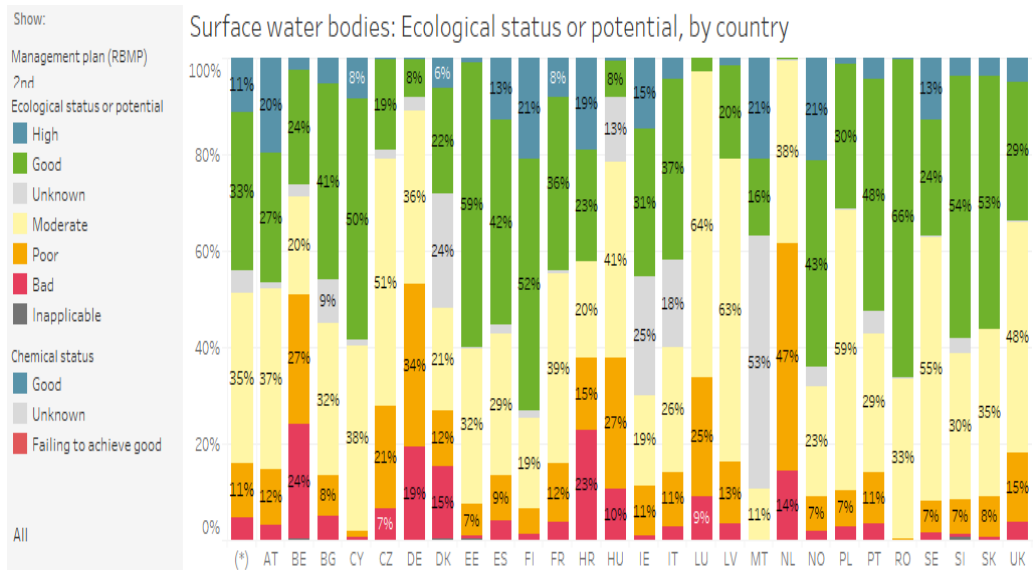
Ali voda je i dalje pod sve većim pritiskom potražnje domaćinstava, ekonomskih aktivnosti, urbanog razvoja i klimatskih promena. Prave se brane radi proizvodnje energije, voda se zagađuje hemikalijama, ograđuje se zaštitnim barijerama i odvodi u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih površina. Procene Evropske komisije i Evropske agencije za životnu sredinu (EEA) ukazuju na brojne probleme:

- Ukoliko se ne preduzmu ozbiljnije mere, 47% površinskih voda EU neće u zadatom roku ispuniti propisano ekološko stanje (sl. 2.2);
- Postoji dosta nedoumica u vezi sa hemijskim stanjem površinskih voda zbog nedostatka informacija;
- Očekuje se da je oko 25% podzemnih voda lošeg hemijskog stanja;
- 60% evropskih gradova prekomerno koristi resurse podzemnih voda i 50% vlažnih područja je ugroženo.

Na slici 2.2. prikazano je ekološko stanje ili potencijal vodnih resursa svih država članica EU, od vodnih tela sa visokom i dobrim potencijalom (plava i zelena boja) do vodnih tela lošeg ili slabijeg stanja (narandžasta i crvena boja). Šezdeset posto teritorije EU nalazi se u prekograničnim rečnim slivovima. Hidrološki ciklusi su toliko povezani da upotreba zemljišta u jednoj zemlji može uticati na padavine van granica iste. Štaviše, evropsko tržište, zajedničke politike EU i politike država članica imaju značajan uticaj na stanje voda. Stoga, potrebno je preduzeti mere na nivou cele EU kako bi se suočili sa vodenim izazovima 21. veka.

Evropska komisija je 2007. usvojila saopštenje o suši i nestašici vode i (WS&D) 1. U saopštenju se identifikuju sedam područja politike na koje treba obratiti pažnju ukoliko Evropa želi da nastavi da se kreće u smeru ekonomije koja na efikasniji način

koristi vodu. Shodno tome, razvijene su mere ublažavanja posledica i primenjena su ograničenja kako bi se ograničila upotreba vode (FR), navodnjavanja (RUM, ŠVE, KIP) i transporta (HOL) u nekim državama članicama pogođenim nestašicom. Šest država članica saopštilo je da nisu doživele sušu ili nestašicu vode (AUS, BEL, EST, IRS, LUKS, SLO), a isto se odnosi i na Švajcarsku (ŠVA). Ove informacije država članica treba sagledati u vezi sa izveštajem o stanju životne sredine iz 2010. godine Evropske agencije za životnu sredinu, u kom se kaže, „osim u nekim severnim i retko naseljenim zemljama koje poseduju obilje resursa, nestašica vode se javlja u mnogim oblastima Evrope, a posebno na jugu, koji se suočava sa kritičnom kombinacijom ozbiljnog nedostatka i velike potražnje za vodom”.



Slika 2.2 – Status voda shodno planovima rečnih slivova država članica EU, procenjeno od strane Komisije – ekološko stanje površinskih vodnih tela

### 2.2.3 Manjak vode na zapadnom Balkanu

Manjak vode je problem, naročito leti i u južnim delovima Zapadnog Balkana, kao i u priobalnim zonama i na ostrvima. Zemlje u regionu dele mnoge rečne slivove kao i veliki deo svojih vodnih resursa. U nastavku sledi kratak pogled na region.

Prognoza je Evropske agencije za životnu sredinu (EEA) da će se potreba za vodom za navodnjavanje u poljoprivredi povećati u Evropi, jer zemlje u ovom regionu doživljavaju uticaje klimatskih promena, uključujući nestašicu vode u letnjim mesecima. Sličan trend se može primetiti u mnogim delovima Zapadnog Balkana, a posebno u Albaniji i bivšoj jugoslovenskoj Republici Makedoniji, koja već uveliko zavisi od navodnjavanja.

Ove prognoze takođe ukazuju na smanjenje upotrebe vode za proizvodnju električne energije, što je trend koji se može primetiti i na Zapadnom Balkanu prevashodno zbog modernizacije elektrana. Dostupne projekcije o potrošnji vode za različite scenarije prikazane su u nastavku u Tabeli 2.1.

U Tabeli 2.1. prikazani su rezultati direktnog modelovanja za zemlje Zapadnog Balkana dobijeni na osnovu WaterGAP modela i scenarija „GEO-4“ u prvoj fazi SCENES projekta „Scenario stanja voda za Evropu i susedne države“. Prema prvoj bezbednosnoj simulaciji, očekuje se povećanje potrošnje voda od 10% za potrebe navodnjavanja u svim zemljama zapadnog Balkana. Najveće promene (više od 50%) očekuju se u sektoru domaćinstava Srbije i Crne Gore, iu proizvodnji električne energije za Bosnu i Hercegovinu i Bivšu jugoslovensku Republiku Makedoniju. Prema prvom scenariju održivosti, očekuje se smanjenje potrošnje vode za više od 50% za struju i potrebe domaćinstava, kao i smanjenje u svrhu navodnjavanja i proizvodnje.

Evropsko zakonodavstvo i politika će podržati pristup rečnih slivova u upravljanju vodama na osnovu Okvirne uredbe o vodama. Međunarodni okviri za sliv Dunava i Save takođe promovišu ovaj pristup. EU i nacionalna zakonodavstva će postaviti nove zahteve za kvalitetom pitke vode i prečišćavanje otpadnih voda.

Ostala područja politike imaju takođe važan uticaj. Na primer, poljoprivredna politika će uticati na potražnju vode koju ovaj sektor nameće. U nekoliko zemalja, energetske politike predlažu povećanje energije dobijene iz hidro-centrala, a to će svakako uticati na slatkovodne sisteme.

## 2.1 Potražnja za vodom

Rastuće ekonomije u regionu (Svetska banka, 2017b) najverovatnije će koristiti sve više resursa - bilo da su u pitanju obnovljivi biološki resursi, bilo da su to neobnovljive zalihe minerala, metala i fosilnih goriva. Očekuje se da bi to povećalo pritisak na lokalne prirodne resurse i povećalo količinu uvezenih resursa (DG TRADE, 2017) u regionu. Povećana zavisnost od trgovine i neobezbeđen pristup regionalnim resursima mogu dovesti do povećanja tenzija u pogledu konkurentskih potraživanja zaliha resursa ili indirektno do ograničenih trgovinskih tokova.

Ovu bi implikaciju moglo dodatno pogoršati veći rast globalne populacije (GMT 1 „Različiti globalni trendovi stanovništva“), dovodeći do radikalnih izmena u obrascu potrošnje, a time i potražnje za resursima. Očekuje se da će povećanje globalne ekonomske proizvodnje i globalna ekspanzija srednje klase doprineti ubrzanju globalne upotrebe/potrošnje resursa (GMT 5 „Nastavak ekonomskog rasta?“) čime se uvećava mogućnost nesigurnosti i sukoba u vezi sa resursima.

Tabela 1. Procentualne izmene u potrošnji vode za zemlje zapadnog Balkana u poređenju sa baznom godinom (2000), sa dva različita scenarija za 2030.

Država	Sektor							
	El. energija		Proizvodnja		Navodnjavanje		Potrebe domaćinstava	
	Bezbednost na prvom mestu	Održivost na prvom mestu	Bezbednost na prvom mestu	Održivost na prvom mestu	Bezbednost na prvom mestu	Održivost na prvom mestu	Bezbednost na prvom mestu	Održivost na prvom mestu
Albanija	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Smanjenje > 50%	Povećanje > 10%	Smanjenje > 10%	Povećanje > 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Povećanje > 10%	Smanjenje > 50%
Bosna i Hercegovina	Povećanje > 50%	Smanjenje > 50%	Povećanje > 50%	Povećanje > 25%	Povećanje > 10%	Povećanje > 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Smanjenje > 50%
Hrvatska	Povećanje > 10%	Smanjenje > 50%	Povećanje > 50%	Povećanje > 50%	Povećanje > 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Smanjenje > 50%
Bivša jugoslovenska Republika Makedonija	Povećanje > 50%	Smanjenje > 25%	Povećanje > 25%	Povećanje > 25%	Povećanje > 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Smanjenje > 50%
Srbija i Crna Gora	Povećanje > 25%	Smanjenje > 50%	Smanjenje > 50%	Smanjenje > 50%	Povećanje > 10%	Bez ili sa manjim promenama +/- 10%	Povećanje > 50%	Smanjenje > 50%

Izvor: CESR (2007), SCENES – Scenario stanja voda za Evropu i susedne zemlje. D.3.1. rezultati direktnog modelovanja, Kassel.

Sa povećanjem potražnje, raste i konkurencija među resursima u sektorima voda, energetike, poljoprivrede, stoke, šumarstva, rudarstva, saobraćaja i ostalim sektorima, sa nepredvidivim uticajima na životnu sredinu.

Tabela 2.2 – Ukupna potrošnja vode za piće po potrošaču (Spark)

Ukupna potrošnja vode za piće po potrošaču:	%
Tuširanje	35%
Voda za toalet	21%
Pranje veša	17%
Pranje ruku, umivanje	7%
Pranje sudova	5%
Čišćenje stana	5%
Voda za piće i kuvanje	3%
Ostalo	7%

Tabela 2.3 – Rezultati terenskog istraživanja o upotrebi vode na severu Kosova\* (Ibar", 2014)

Svrha vode:	Količina (L/stanovnik/dan)	
	Prosek	Vodovod "JKP Vodovod Ibar"
Voda za piće i kuvanje	2-5	3
Pranje ruku, umivanje	5-20	7
Tuširanje	20 - 60	40
Pranje sudova	5-10	5
Pranje veša	10-30	20
Čišćenje stana	3-5	10
Voda za toalet	20-50	40
Navodnjavanje bašte		5
Ostalo		20
<b>Ukupno:</b>		<b>150</b>

Među obnovljivim izvorima, voda je možda najvažniji strateški resurs u regionu. Očekuje se da će se konkurencija za vodom povećavati jer će potražnja najverovatnije porasti usled posledica klimatskih promena (Adelphi, 2013). Očekuje se da će upotreba vode u poljoprivredi porasti jer će usevima biti potrebno više vode zbog toplijih, sušnih, dužih leta (UNDP, 2013, Custović i dr. 2012) što dovodi do povećanja broja i veličine navodnjavanih površina.

Prekomerna eksploatacija vodnih resursaprepoznata je kao značajan pritisak koji dolazi od stranesektora za proizvodnju električne energije (JRC, 2014), a takvi se pritisci mogu uvećati u bliskoj budućnosti.

U nastavku su prikazane tabele koje pokazuju rezultate istraživanja o procentualnoj potrošnji vodepo potrošaču (Tabela 2.2) i o upotrebi vode za piće, odnosno koliko se litara prosečno, i u koje sve svrhe, voda za piće koristi na severu Kosova\* (Tabela 2.3).

### 2.1.1 Dostupnost sveže vode

Manjak vode posledica je nekoliko međusobno povezanih faktora. Upotreba vode na globalnom noviou uvećana je šest puta u poslednjih 100 godina i nastavlja neprestano da raste brzinom od oko 1% godišnje (Organizacija Ujedinjenih Nacija za vodu, 2018). To je posledica rasta stanovništva, ekonomskog razvoja i promene obrazaca potrošnje. Možemo predvideti da će globalna potražnja za vodom i dalje rasti zajedno sa stalnim rastom stanovništva i ekonomskim razvojem. Iako je potražnja rasla, količina lokalne dostupne slatke vode smanjena je kroz globalne klimatske promene, što ilustruje prethodno citirano istraživanje. Tu kao primer imamo snažne, duge suše koja su zahvatile nekoliko regiona u svetu. Osim toga, zagađenje vode je dovelo do smanjenja kvaliteta vode u mnogim regionima, što dalje smanjuje količinu dostupne čiste vode.

### 2.1.2 Uticaj urbanizacije na upotrebu i upravljanje vodama

Gradovi koji se ubrzano razvijaju opteretili su socijalne službe, uključujući tu i preduzeća za vodosnabdevanje, a budući da se širenje gradova odvija i uz putnu infrastrukturu gde se već došlo do vrednog poljoprivrednog zemljišta, naročito poljoprivrednog zemljišta koje se navodnjava, i time preseko ruralnu infrastrukturu kao što su pojasi navodnjavanja, čime se iskomplikovalo dalje pružanje usluga. Iako je pružanje usluga uspelo da obezbedi skoro pa univerzalan pristup vodi, posledice su značajne i uticale su i na upravljanje gradskim vodama (odvod nakon nevremena, zaštita od poplava) i na upravljanje seoskim vodama (održivi pristupi, područja neprekidnog navodnjavanja).

Javna preduzeća za vodosnabdevanje koriste veliku količinu vode za snabdevanje pijaćom vodom, za domaćinstva i druge potrebe potrošača preduzeća za vodosnabdevanje, kao i za sanitarne potrebe. Time se direktno i indirektno podržavaju svi sektori usluga a, naročito građevinska, rudarska, proizvodna i druge industrije. Poljoprivreda je još jedan veliki korisnik, gde je trenutno upotreba vode smanjena zbog razorene infrastrukture i zaostalih ulaganja u modernizaciju poljoprivrednog sektora. Određene količine voda se u poljoprivredi koriste i od padavina, a što opet u velikoj meri zavisi od promenljive klime. U sektoru za navodnjavanje, zahvat voda i produktivnost su sve veći. Sa intenziviranjem poljoprivrede povećavaće se potrebe za navodnjavanjem. U energetsom sektoru

voda se delom koristi za dobijanje električne energije putem hidroelektrana, a važna je i za hlađenje termoelektrana. U industriji, voda se koristi za proizvodnju i hlađenje opreme. Količina vode koja se koristi u nekom sektoru nije u korelaciji sa njenim uticajem na bezbednost vode. Veoma zahtevan i neefikasan sistem navodnjavanja može vrlo malo doprineti ukupnom BDP-u i ostaviti neki veliki trag, dok visoko produktivni intenzivni sistem ima jako pozitivan uticaj na uvoz, radna mesta i ukupni BDP. Hidroelektrana ne troši vodu, ali postavlja određene zahteve kada se radi o tokovima reka. Optimizacija upotrebe voda zahteva razumevanje i optimizaciju vodnih resursa kako bi se što je više moguće uvećale usluge socijalne, ekonomske i zaštite životne sredine.

### 2.1.3 Upravljanje vodnim resursima

Nestašica vode, bez obzira da li je u pitanju prekomerno crpljenje rezervi podzemnih voda ili zagađenje postojećih površinskih vodnih resursa, samo će se uvećavati kao problem. Upotreba voda najveća je u poljoprivredi i trenutno iznosi preko 70%. U većini zemalja, politika podrške proizvodnji još uvek je dominantna. Ovaj okvir podstiče prekomernu upotrebu i neefikasnost, te ne uspeva da reši štetu nastalu po životnu sredinu koja je posledica kontaminiranog odvoda. S povećanjem stanovništva, rivalitet između upotrebe voda i regulacije otpadnih voda razvijace se u izuzetno važnom smeru. Indija i Kina su se već suočile u više navrata oko odluka vezano za useve gajene u vodi ili naseljavanja stanovništva. Pravosudna politika kojom bi se rešavala vlasništva nad površinama i podzemnim vodama u više država mora postati prioritet pre nego što voda postane roba poput nafte. Poboljšana cenovna struktura, trgovačke dozvole, primenjivi vladini propisi i održivije upravljanje poljoprivrednim vodama neophodni su za rešavanje krize nestašice voda. Takve inicijative se takođe moraju sprovesti kako na lokalnom tako i na nacionalnom nivou.

Nestašica vode i potreba za očuvanjem resursa prepoznati su širom sveta kao izazov bliske budućnosti.

Konzervacija i održiva upotreba voda u životnoj sredini će se sve više primenjivati u upravljanju vodnim bilansom, posebno tamo gde su vodni resursi ograničeni a područja izložena sušama. U Australiji, SAD i suvim delovima jugoistočne Engleske radi se na usvajanju mera za ograničavanje potražnje. U Engleskoj je akcenat stavljen na ograničenje merenja potreba domaćinstava, postavljanje opreme za uštedu vode i na povećanje mera za smanjenje isticanja i gubitaka. U SAD, kako to zahteva Zakon o sigurnoj pijaćoj vodi iz 1996, američka EPA je 1998. objavila nacrt uputstava dobavljačima vode za 'planiranje konzervacije voda', tj. nacrt mera za podsticanje ekonomičnosti u pogledu korišćenja voda. Uputstva predlažu tri uzastopna nivoa pristupa. Prvi nivo obuhvata univerzalna merenja, kontrolu gubitaka (tj. smanjenje isticanja/curenja i smanjenja otpada) i javnu edukaciju.

Drugi i treći nivo uključuju mere kao što su revizija voda, kontrola pritiska, ponovna upotreba i recikliranje i integrisano upravljanje resursima. Međutim, naglasak na ograničenju potražnje ne mora nužno biti primenjivan u svim zemljama, gde neka javna komunalna preduzeća ne žele da merenjem ograniče potražnju industrijskim potrošačima i domaćinstvima sa visokim dohotkom; uplate koje oni vrše čine značajan deo prihoda javnih komunalnih preduzeća i potrebne su im radi unakrsnog finansiranja snabdevanja, gde jedan deo odlazi besplatno kroz hidrantsku mrežu ili tamo gde se daje po nižim cenama grupama sa niskim prihodima. Uslovi i odredbe koje usvoji svako javno komunalno preduzeće variraju. Tamo gde su rezerve veće, može biti manje podsticaja za očuvanje voda.

U mnogim zemljama moralo je biti usvojeno ograničeno vreme isporuke kako bi se sprečilo da potrošnja i gubici premašuju dostupne zalihe. Merenje je usvojeno u istu svrhu, ali ono mora biti efikasno kako bi imalo nekog efekta. Periodični prekidi u snabdevanju donose mnoge probleme. Potrošači čuvaju vodu onda kada je snabdevanje u toku, a zatim odbacuju neiskorišćeni ostatak već sa dolaskom sledeće količine vode, verujući da je nova količina vode „svežija“. Potrošači dalje ostavljaju otvorene slavine kako ne bi propustili novu isporuku vode, čime omogućavaju izlivanje rezervoara s vodom. Prekidi u snabdevanju otežavaju otkrivanje mesta isticanja voda i čine otežanim sprečavanje gubitaka potrošača. Obično se sati isporuke moraju smanjiti na najviše 4 sata ujutro i 4 sata uveče, a često i manje, kako bi se potrošnja kontrolisala. U određenoj meri, periodični prekidi u snabdevanju rade na štetu komunalnih preduzeća, zbog većih rasipanja potrošača, kao i teškoća prilikom održavanja sistema u dobrom stanju; u slučaju da se glavna mreža isprazni, tada kontaminirana podzemna voda može ući u cevi i ugroziti zdravlje potrošača. Situaciju često pogoršava gubitak prihoda zbog teškoća s merenjem i prikupljanjem prihoda. Ipak, mnoga komunalna preduzeća širom sveta morala su da usvoje periodične prekide u snabdevanju.

Mere očuvanja voda koje mogu biti efikasne tokom 24-časovnog snabdevanja uključuju:

- izricanje privremenih zabrana upotrebe vode za pranje vozila, punjenje bazena i rezervoara, kao i upotreba creva i opreme za prskanje vode i zalivanje bašti tokom suša ili nedostatka zaliha.
- dobar publicitet može postići privremeno i kratkoročno smanjenje potražnje, možda čak i do 10%;
- doziranje zaliha za domaćinstva može smanjiti prekomernu potrošnju, posebno onih voda koja se koriste za travnjake i bašte, pod uslovom da tarifna struktura predviđa finansijsku kaznu onda kada potrošnja premaši razumnu količinu;
- promocija upotrebe vodoinstalacijakoje štede vodu
- korišćenjem kontrole pritiska radi smanjenja isticanja i produžavanja radnog veka cevi, čime se poboljšava pouzdanost mrežnih kontrolnih ventila koji mogu raditi u



njihovom predviđenom rasponu, smanjujući na taj način gubitak otpada zbog neispravnosti ventila;

- održavanje operativnih pritisaka na minimumu potrebnom za održavanje nivoa usluga, čime se smanjuje višak potrošnje vode;
- Limiteri protoka i regulatori na servisnim cevima mogu ograničiti potrošnju, ali nisu uvek efikasni. Ukoliko su postavljeni prenisko, potrošači ostavljaju otvorene slavine za punjenje rezervoara koji zatim prelivaju. Njih je takođe moguće zaobići kako bi se došlo do što boljeg snabdevanja.

Tabela 2.4. ispod prikazuje sumirane mogućnosti i ograničenja tehnologija koje štede vodu, merenja i tarifa i smanjenja isticanja, tri glavne mere upravljanja potrošnjom.

Tabela 2.4 – Mere očuvanja vode

Komponenta	Mogućnosti	Ograničenja
Tehnologije uštede vode	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Efikasniji uređaji radi niske i ultra-niskepotrošnje vode</li> <li>•Standardi i propisi će omogućiti izuzetne uštede</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Regulisanje novih instalacija i modifikacija starih</li> <li>•Ne sprečava prekomernu upotrebu</li> <li>•Potrebno je vreme za promociju i razvoj</li> <li>•Malo je verovatno da će biti 100% prihvaćeno</li> </ul>
Merenja i tarife	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Smanjuje potražnju, kratkoročno i dugoročno</li> <li>•Potrošači odgovorni za njihov uticaj na životnu sredinu</li> <li>•Naplata stvarnih troškova korišćenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kako bi bilo efikasno, potrebnije primeniti oba</li> <li>•Mogućnost plaćanjai potreba održavanja zaliha potrošačima sa niskimprimanjima i ugroženih potrošača</li> <li>•Troškovi instalacije brojača za vodu i održavanje na duži vremenski period</li> </ul>
Kontrola isticanja/curenja	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Proaktivno upravljanje može umanjiti gubitke na ekonomskiprihvatljiv nivo isticanja (ELL)</li> <li>•Kratkoročno lokalno rešenje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Umanjenje na ekonomski prihvatljiv nivo isticanja voda jesamo kratkoročna pobeda, nakon čega se ograničava uticaj na resurse</li> <li>•Ušteta zavisi od održavanja nivoa isticanja voda na ekonomski prihvatljiv nivo isticanja/smanjenjaisticanja</li> <li>•Da li je ELL optimalan nivo?</li> </ul>

Komercijalna i institucionalna potražnja može biti ograničena merenjem svih potrošača: ivelikih i malih prodavnica, kancelarija i drugih poslovnih prostora. Gubici u vodoinstalacionih potrošača koja nisu domaćinstva često su veliki jer niko ko radi u tim prostorijama nije odgovoran za plaćanje naknada za vodu, a prostorije istih su često prazne van radnog vremena. Zabeleženo je mnogo slučajeva da je protok tokom noći i vikenda u prostorijama kada nema nikoga na poslu gotovo jednako visok kao i dnevni protok onda kada je tamo prisutno osoblje, posebno u vladinim kancelarijama

nekih zemalja. Proizvođači često nisu ni svesni potencijalne finansijske uštede koju mogu postići usvajanjem mera za uštedu vode, pri čemu niža potrošnja umanjuje i njihove troškove kupovine vode i troškove ispuštanja otpadnih voda.

Procena budućih potreba razvijenih zemalja može se izvesti kombinovanjem predviđenih trendova rasta stanovništva i rasta potrošnje po glavi stanovnika, uz primenu mera zaštite vodotokom predviđenog perioda. Trendovi predstavljaju gornju granicu prognoze. Mere konzervacije će doneti niz ostvarenih prognoza pod uslovom da postoji politička i društvena volja za uštedom vode i usvajanjem realnih tarifa za vodu, i pod uslovom da preduzeće za vodosnabdevanje može da reši, a smatra se da može, sistemske gubitke i isticanjevoda.

### 2.1.4 Mere očuvanja voda– individualni pristup

Očuvanje voda uključuje promenu naših navika. Pošto su se mnoge od ovih navika razvijale tokom celog života, teško ih je sada promeniti. Ljudi se mogu aktivirati u pravcu očuvanju voda tako što će početi sa jednostavnijim merama, a zatim postepeno preduzimati naprednije korake za smanjenje potrošnje vode. Najjednostavnije navike uključuju isključivanje vode onda kada se ista ne koristi. Kada je voda potrebna za ispiranje posuđa, može se držati u sudoperi, i ne dozvoliti da teče neiskorišćena niz odvod.

Svaki pojedinac jednostavno može da koristi manje vode. Na primer, neki ljudi koriste crevo za „pranje“ trotoara a isto tako nam metla u tom slučaju može poslužiti za isti posao. Ljudi mogu da skrate vreme tuširanja ili da smanje količinu vode koju koriste tokom kupanja.

Druge metode konzervacije vode mogu u početku zahtevati više napora i sredstava, ali dugoročno će uštedeti novac i resurse. Na primer, domaćinstva mogu da instaliraju tuševeniskog protoka sa manjim otvorima na koji način će umanjiti protok vode i povećati pritisak. Zatvorena flaša, napunjena kamenčićima zauzima malo mesta u vodokliću, a smanjuje količinu vode koja nam je na raspolaganju za ispuštanje u odvod.

U nastavku su date preporuke o merama koje možemo preduzeti na individualnom nivou kako bismo doprineli očuvanju voda (Tabela 2.5).

Tabela 2.5. Mere konzervacije vode na individualnom nivou

1. Koristite metlu umesto creva za pranje trotoara i ulica.
2. Kada perete automobil, koristite crevo sa mlaznicom za uključivanje/isključivanje ili koristite kantu sa vodom za ispiranje.
3. Travnjak navodnjavajte ujutru ili uveče, kada voda neće tako brzo da ispari. Postarajte se da vodu usmerite ka vegetaciji a ne ka ulici ili trotoaru. Ako ste u prilici,

sakupite kišnicu za zalivanje travnjaka.
4. Ako morate koristiti vodu pre nego se zagreje, sačuvajte hladnu vodu u nekoj flaši kako biste je kasnije iskoristili za ispiranje posuđa ili pranje povrća i ruku.
5. Kada ručno perete sudove, napunite sudoperu vodom za ispiranje umesto što puštate vodu da ističe.
6. Popravite isticanje/curenje vode.
7. Instalirajte tuš mlaznicu niskog protoka.
8. Isključite protok vode onda kada je ne koristite. Ne ostavljajte vodu da teče dok perete zube. Isključite protok vode u periodu između sapunjanja i ispiranja ruku.
9. Mašine za veš i pranje posuđa koristite samo onda kada su potpuno pune.
10. Držite flašu sa hladnom pijaćom vodom u frižideru umesto što puštate vodu da teče dok ne postane dovoljno hladna.
11. Ograničite tuširanje na 5 minuta ili manje.
12. Tuširanje umesto kupanja.

## 2.2 Zaključak

Manjak vode i potreba za očuvanjem prirodnih resursa prepoznati su širom sveta kao izazovi za blisku budućnost. Konzervacija i ekološki održiva upotreba voda će se sve više primenjivati u upravljanju vodnim bilansom, naročito u područjima sa ograničenim vodnim resursima ili područjima sklonim sušama. Oblast upravljanja vodnim resursima uključivala je 'planove konzervacije vode', tj. mera za podsticanje ekonomičnosti prilikom korišćenja vode. Postoje mogućnosti i ograničenja u vezi sa tehnologijama uštede vode, kao što su merenje, tarife i smanjenje isticanja, što su tri osnovne mere upravljanja potrošnjom. Primena tehnologija za uštedu vode neće zaustaviti prekomernu potrošnju, ali merenja i tarife hoće. Isticanje vodama moraju biti svedenona minimum. Ove tri mere kolektivno će efikasno doprineti poboljšanju upravljanja oskudnim vodnim resursima. Ali one moraju imati konsenzus međustanovništvom na koje će se te mere odnositi. Međutim, konzervacija vodnih resursa započinje na individualnom nivou, promenom navika i podizanjem svesti.

## 2.3 Literatura

Arnell, N.W., Gosling, S.N. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change* 134, 387–401 (2016) doi:10.1007/s10584-014-1084-5

Mekonnen and Hoekstra Four Billion people facing severe water scarcity, *Sci. Adv.* 2016; 2: e150032

“World Bank. 2018. Water Security Outlook for Kosovo. © World Bank.”

- European Commission” A Water Blueprint for Europe” Luxembourg: Publications Office of the European Union 2013 , ISBN 978-92-79-30543-6 , doi:10.2779/12145
- Adelphi, 2013, Climate Change and Security in the OSCE Region: Scenarios for Action and Cooperation.
- Balkan Green Foundation, 2016, Western Balkans Sustainable Policies towards EU Integration: A snapshot of the energy developments in the Western Balkans countries.
- Custovic, H., Đikić, M., Ljusa, M., & Zurovec, O., 2012, Effect of climate changes on agriculture of the western Balkan countries and adaptation policies. *Poljoprivredni Saopštenja*, 58(2), 127.
- DG GROWTH, 2017, [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en).
- DG TRADE, 2016, EU Trade flows and balance. [http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc\\_111477.pdf](http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc_111477.pdf).
- DG TRADE, 2017, Western Balkans trade statistics: [http://ec.europa.eu/trade/policy/countries-and-regions/regions/western-balkans/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/trade/policy/countries-and-regions/regions/western-balkans/index_en.htm).
- EC, 2016, European Union, Trade in goods with Western Balkans 6. [http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc\\_111477.pdf](http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2006/september/tradoc_111477.pdf).
- EEA, 2010, Environmental trends and perspectives in the Western Balkans: towards sustainable consumption and production. EEA Report No 1/2010, EEA, Copenhagen.
- EEA, 2015, Projected changes in annual mean temperature and annual precipitation.
- EEA, 2015, SOER: Countries and regions. Kosovo.
- EEA, 2015, SOER 2015 — The European environment — state and outlook 2015; country briefing: Albania <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/countries/albania>.
- EEA/Eionet, 2017, Mapping Europe's environmental future: understanding the impacts of global megatrends at the national level. Eionet Report, No 1/2017.
- Environment Security Initiative, UNEP, 2011, Climate change adaptation in South Eastern Europe.
- Eurostat, 2015, Water statistics.
- FAO, 2014, The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture.
- García-Ruiz, J.M., J.I. López-Moreno, S.M. Vicente-Serrano, T. Lasanta-Martínez, and S. Baguería, 2011, Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, 105(3-4), 121-139.
- GIWEH, 2011, Water Resources Management in the Western Balkan Region – Case study of Macedonia, Albania, Kosovo (under UNSCR 1244) and Montenegro. <http://balwois.com/wp-content/uploads/2014/01/110101-Water-Resources-Management-Western-Balkan.pdf>.

Global Environment Facility International Waters, Transboundary Waters Assessment Programme (GEF TWAP), 2016, Transboundary River Basins Status and Trends.

Globevnik, L., Snoj L., Šubelj, G., Kurnik, B., 2018, Outlook on Water and Climate Change Vulnerability in the Western Balkans, ed. Künitzer, A., ETC/ICM Technical Report 1/2018, Magdeburg: European Topic Centre on inland, coastal and marine waters, 86 pp.

Pereira, J. M.; Tarre, R. M.; Macedo, R.; Rezende, C. de P.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M., 2009. Productivity of *Brachiaria humidicola* pastures in the Atlantic forest region of Brazil as affected by stocking rate and the presence of a forage legume. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 83 (2): 179-196

C White - Global water: Issues and insights, 2014 - oopen.org

## 3 UPRAVLJANJE RIZIKOM OD SUŠA I POPLAVA

Mladen Milanović, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

Milan Gocić, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

Slaviša Trajković, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

### 3.1 Uvod

Poplave i suše kao prirodne nepogode izazivaju ogromne štetne ekonomske, ekološke i socijalne posledice. U novije vreme ove nepogode su učestalije sa većim i pogubnijim posledicama (Burton et al., 1978). Tradicionalni pristupi upravljanja poplava i sušama nisu iskorenili ove nepogode niti je smanjena ranjivost od budućih pojava. Ogromne štete koje izazivaju ove katastrofe jasno ukazuju na potrebu primene novog pristupa, na upravljanje rizikom od poplava i suša (Kundzewicz, 2004).

Kako su obe ove prirodne nepogode usko povezane sa vodom u prvom delu razmatrane su evropske politike koje utiču na upravljanje poplavama. U drugom poglavlju analizirano je upravljanje rizikom od poplava, uticaji i prilagođavanje klimatskim promenama i smanjenje rizika od katastrofa. Suše spadaju među najskupljim katastrofama gde početak, kraj i granice zahvatanja nije lako odrediti, pa su shodno tome posledice suša i nestašica vode razmatrane su u trećem poglavlju. U četvrtom delu predstavljen je primer dobre prakse u sprečavanju i upravljanju nedostatkom vode, poplavama i sušama.

### 3.2 Evropske politike koje utiču na upravljanje poplavama

Evropska unija pridaje veliki značaj problemima vezanim za upravljanje vodama i zaštitu kvaliteta voda. Stoga je donela pravni okvir za zaštitu i upravljanje vodama a to je pre svega Okvirna direktiva za vode (2000/60/EC) (Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, 2000). Okvirna direktiva za vode je bazni dokument koji propisuje uspostavljanje okvira za delovanje Evropske Unije u oblasti politike voda. Upravljanje vodnim područjima, po ovoj direktivi, vrši se na osnovu Plana upravljanja sa programom mera koji objedinjava zaštitu životne sredine, ekonomske i sociološke aspekte u cilju postizanja održivog razvoja.

Okvirna direktiva je osnov i za prekograničnu saradnju među državama u okviru međunarodnih vodnih područja u Evropi. Zemlje članice i kandidati za EU, prema Direktivi, obavezne su da: zaustave dalje uništavanje vodnih tela, povećavaju i obnove stanje vodnih kao i kopnenih ekosistema i močvara koje direktno zavise od vodnih

ekosistema. Takođe, potrebno je da se smanji zagađenje podzemnih voda i da se spreče dalja zagađenja, a njenim sprovođenjem bi se takođe trebali ublažiti uticaji poplava i suša.

Sve zemlje članice moraju identifikovati rečne slivove unutar svoje zemlje i odrediti za svakog od njih, vodno područje. Za reke koje protiču kroz više zemalja moraju se uspostaviti međunarodna vodna područja. Takođe, prema Direktivi mora se napraviti Plan upravljanja rečnim slivom za svako vodno područje.

Poseban značaj Direktive ogleda se u zaštiti i efikasnom korišćenju voda, jer daje odgovore na sve izazove vezane za vodne resurse. Okvirnu direktivu o vodama bliže određuju i dopunjuju druge direktive: Direktiva o podzemnim vodama, Direktiva o kvalitetu vode za piće, Direktiva o vodi za kupanje, Direktiva o zaštiti voda od nitrata iz poljoprivrednih izvora, Direktiva o prečišćavanju komunalnih otpadnih voda, Direktiva o standardima kvaliteta životne sredine u oblastima politike voda i Direktiva o proceni i upravljanju rizicima od poplava (Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, 2006; Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, 1998; Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 considering the quality of bathing water, 1976; Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 considering the protection of water against pollution caused by nitrates from agricultural sources, 1991; Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 considering urban wastewater treatment, 1991; Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, 2008; Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, 2007).

Kako se pokazalo da je nemoguća potpuna zaštita od poplava pažnja se pomerala od zaštite ka upravljanju rizicima od poplava. Poplave, a posebno suše po svojoj prirodi nisu regionalno ograničene pojave već često zahvataju i više država, pa se samim tim javila potreba za uvođenjem zajedničkog okvira u upravljanju rizicima kojim bi se povećala otpornost država na prirodne katastrofe. Takođe, uočeno je da različito i neefikasno upravljanje rizikom od nepogoda, posebno u prekograničnom kontekstu, može da ugrozi dugoročne ciljeve Evropske unije za održivi razvoj. Prva Direktiva koja se posebno bavi poplavama donesena je 2007. godine. To je Direktiva o proceni i upravljanju rizicima od poplava (2007/60/EC) koja ima za cilj da proceduralnim obavezama podstakne minimalni zajednički okvir za upravljanje poplavama svih članica zajednice (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, 2007). Neke evropske zemlje već su primenile Direktivu o poplavama u svom zakonodavstvu.

Direktiva uspostavlja okvir za procenu i upravljanje rizicima od poplava, sa ciljem smanjivanja štetnih posledica na ljudsko zdravlje, životnu sredinu, kulturno nasleđe i privrednu aktivnost. Ovom direktivom predviđena je izrada Planova upravljanja rizicima od poplava koji predstavljaju krovni akt u borbi protiv rizika od poplava. Donošenje Plana mora da se sprovodi postupno, sa prethodno potrebnim dokumentima i propisima. Ovakav pristup omogućuje da sama izrada Plana postaje proces koji se obavlja u redovnim ciklusima svakih šest godina.

Izradi Plana upravljanja rizicima u područjima sa značajnim rizikom od poplava prethodi preliminarna procena rizika od poplava, priprema karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava.

Izrada **Prethodne procene rizika od poplava** je obaveza svake članice za svako vodno područje ili deo međunarodnog vodnog područja koji je na njihovoj teritoriji.

Prethodna procena rizika od poplava mora minimum da sadrži:

- karte vodnog područja sa topografijom i načinom korišćenja zemljišta
- opis istorijskih poplava koje su imale značajne štetne uticaje
- opis poplava koje se u budućnosti mogu desiti i procenu mogućih štetnih posledica na ljudsko zdravlje, životnu sredinu, kulturno nasleđe i privrednu aktivnost.

Na osnovu prethodne procene rizika od poplava države članice će za svako vodno područje odrediti oblasti za koje su mogući značajni rizici od poplava.

Za ove oblasti detaljno se utvrđuju opasnosti i rizik od poplava, odnosno izrađuju se:

- karte ugroženosti od poplava i
- karte rizika od poplava

**Karte ugroženosti od poplava** obuhvataju oblasti koje mogu biti poplavljene prema raznim scenarijima verovatnoće:

- poplave male verovatnoće pojave
- poplave srednje verovatnoće pojave
- poplave velike verovatnoće, ako je potrebno

U ovim kartama preciziraju se granice poplave, dubina vode i brzina ili protok vode.

**Karte rizika od poplava** prikazuju moguće štetne posledice na poplavljenom području i posebno sadrže broj ugroženih stanovnika i vrste privrednih aktivnosti u potencijalno ugroženim oblastima.

Završni akt je priprema i izrada **Plana upravljanja rizicima od poplava** a u skladu sa prethodno usvojenim dokumentima. Plan se donosi na nivou vodnog područja. Plan sadrži i program mera koji je fokusiran na sprečavanje, zaštitu i sisteme ranog



upozoravanja od poplava. Merama se promoviše održivo korišćenje zemljišta i kontrolisano plavljenje određenih oblasti u slučaju poplave.

Bitno je naglasiti da Direktiva ne postavlja nikakve prioritete, već države članice odlučuju koje mere i aktivnosti će uključiti u svoje planove upravljanja rizikom od poplava (Moster and Junier, 2009).

Države članice moraju organizovati aktivno učešće javnosti, odnosno preliminarnu procenu rizika, karte ugroženosti od poplava, karte rizika od poplava i planove upravljanja rizicima učiniti dostupnim za javnost. Izrada i preispitivanje pobrojanih akata mora se uskladiti sa Direktivom 2000/60/EC.

### 3.3 Upravljanje rizikom od poplava, adaptacija na klimatske promene i smanjenje rizika od katastrofa

#### 3.3.1 Upravljanje rizikom od poplava

Pod rizikom od poplava podrazumeva se verovatnoća pojave poplave i mogućih štetnih uticaja na ljude, materijalna dobra, privredu i životnu sredinu. Princip upravljanja rizikom od poplava bazira se na konceptu preduzimanja mera i aktivnosti kojima se primenjuje politika smanjenja rizika, odnosno sprovodi se smanjenje mogućih štetnih posledica od poplava. Bitno je naglasiti da poplave nije moguće u potpunosti eliminisati ali se njihovi uticaji mogu smanjiti kroz razumevanje i upravljanje rizikom od poplava.

Kako bi uspostavila okvir za upravljanje rizicima od poplava EU je donela Direktivu 2007/60/EC (23.oktobra 2007. godine) (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, 2007). Osnovni cilj ove Direktive o proceni i upravljanju rizicima od poplava je smanjenje štetnih posledica poplava na ljudsko zdravlje, životnu sredinu, infrastrukturu i privrednu delatnost.

Prema preporuci Evropskog ekonomskog i socijalnog saveta (Opinion of the European Economic and Social Committee on the Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Flood risk management – Flood prevention, protection and mitigation, 2005), pri izboru mera za smanjenje rizika od poplava potrebno je pridržavati se sledećih kriterijuma:

- zaštita od poplava ne sme dovesti do pogoršanja hidrološke situacije na drugim mestima,

- u skladu s principom održivog razvoja, prednost dati akciji obnavljanja rečnih slivova i prirodnim merama koje sadrže plavnu vodu unutar određenog područja bez prouzrokovanja štete i
- prednost treba dati merama koje mogu ponuditi sinergiju sa drugim ciljevima održivog razvoja.

Zaštita od poplava u Republici Srbiji pravno je uređena Zakonom o vodama (Zakon o vodama, 2018). Ovim Zakonom je pravno uređeno upravljanje rizikom od štetnog dejstva vode koje obuhvata: izradu preliminarne procene rizika od poplava, izradu planova za upravljanje rizicima od poplava, izradu opšteg plana i operativnih planova odbrane od poplava, sprovođenje redovne i vanredne odbrane od poplava i zaštitu od erozije i bujica.

Na osnovu zakonodavne regulative u Srbiji izdvajaju se osnovni ciljevi upravljanja rizicima od poplava:

- izbegavanje novih rizika,
- smanjenje postojećih rizika,
- osnaženje otpornosti društva na poplave,
- pojačanje svesnosti o poplavama i
- princip solidarnosti.

Upravljanje rizikom od poplava vrši se Planom upravljanja rizikom od poplava koji se izrađuje na osnovu preliminarne procene rizika, karata ugroženosti i karata rizika od poplava. Plan sadrži ciljeve upravljanja, prioritete, potrebne mere i način njihovog sprovođenja.

Planom upravljanja rizikom od poplava, u zavisnosti od okolnosti, donosi se kombinacija strukturnih i nestrukturnih mera. U grupu strukturnih mera spadaju vodni objekti izgrađeni radi regulisanja vodnog režima, odnosno one mere koje predstavljaju rekonstrukciju i modernizaciju postojećih pasivnih sistema odbrane, kao što je izgradnja novih nasipa, uređenje vodotokova, izgradnja i održavanje akumulacija, retenzija, kanala (Nacionalni program upravljanja rizikom od elementarnih nepogoda, 2014).

Ranija iskustva u borbi sa poplavama, uz primenu inženjerskih strukturnih rešenja, nisu učinila da ranjivost od poplava nestane i dovela su do svesti da nema sigurne zaštite, a samim tim i do promene paradigme sa borbe protiv poplava na suživot i upravljanje poplavama (Kundzewicz, 2004).

Nestrukturne mere predstavljaju dodatak strukturnim merama. Mere kao što su osiguranja, predviđanja, upozorenja, planiranja zemljišta, obnavljanja močvara mogu smanjiti gubitak života i imovine usled poplava (Bonacci, 2008). U novije vreme od nestrukturnih mera ističu se mere zelene infrastrukture kojima se voda prirodno zadržava i drenira u urbanim sredinama.

### 3.3.2 Adaptacija na klimatske promene

Pod klimatskim promenama podrazumeva se promena klime koja je direktno ili indirektno uslovljena ljudskim aktivnostima koje izazivaju promene u sastavu globalne atmosfere. Štaviše, sve ljudske aktivnosti (koje utiču na klimu) se superponiraju sa prirodnim kolebanjima klime i zato može da se kaže da su klimatske promene nešto što se dešava sada i u svim regionima sveta (Zakon o potvrđivanju Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o promeni klime, sa aneksima, 1997). Pod uticajem klimatskih promena izazvanih ljudskim aktivnostima, dolazi do povećanja učestalosti, intenziteta, trajanja i prostornog obima ekstremnih vremenskih događaja kao što su ekstremne padavine i toplotni talasi. Posledice ovakvih događaja mogu biti katastrofalne poplave u jednim i učestalije i dugotrajnije suše u drugim regionima.

Projekcije klimatskih promena vezane za Evropu govore da će južna i jugoistočna Evropa biti žarište klimatskih promena, jer će ti regioni biti najviše pogođeni štetnim posledicama (Climate change poses increasingly severe risks for ecosystems, human health and the economy in Europe, 2017). Štetni uticaj klimatskih promena u Srbiji vidi se pre svega po posledicama poplava i suša. Nedostatak vode, koja je vitalni faktor u proizvodnji, mogao bi da dovede do gubitaka u poljoprivredi (što se direktno vidi preko uticaja klimatskih promena na vodni bilans), zdravstvu, turizmu i ostalim sektorima koji zavise od vode (High and Dry – Climate Change, Water and the Economy, 2016). Pored direktne štete od ekstremnih klimatskih događaja značajni su i uticaji na povećanju ranjivosti proizvodnje hrane, na prirodne resurse, na degradaciju i dezertifikaciju tla.

Upravljanje klimatskim promenama podrazumeva mere ublažavanja i mere prilagođavanja. Prema (Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 2007), pod prilagođavanjem klimatskim promenama podrazumeva se: "Prilagođavanje prirodnog ili ljudskog odgovora sistema na stvarne ili očekivane klimatske promene ili njihove efekte, kako bi se umanjila šteta ili iskoristile novonastale mogućnosti".

Međunarodna zajednica svesna odgovornosti i opasnosti koje proizvode klimatske promene donela je više akata koje je i Republika Srbija verifikovala i prihvatila obaveze koje iz njih proističu:

- Zakon o potvrđivanju Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o promeni klime (Zakon o potvrđivanju Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o promeni klime, sa aneksima, 1997)
- Zakon o potvrđivanju Kjoto protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o promeni klime (Zakon o potvrđivanju Kjoto protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o promeni klime, 2007)

- Zakon o potvrđivanju Sporazuma iz Pariza (Zakon o potvrđivanju Sporazuma iz Pariza, 2017).

U ispunjenju obaveza prema potpisanim međunarodnim ugovorima Republika Srbija donela je nacrt Zakona o klimatskim promenama, kojim je uređen sistem za smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i kojim je definisan sistem prilagođavanja na izmenjene klimatske promene (Nacrt zakona o klimatskim promenama, 2019). Ovim Zakonom predviđena je izrada Programa prilagođavanja na izmenjene klimatske uslove, koji pored ostalog pruža poseban osvrt na (Nacrt zakona o klimatskim promenama, 2019):

- analizu osmotrenih promena klime,
- prikaz očekivanih promena klime,
- analizu uticaja promene klime na sektore i sisteme i
- predlog mera prilagođavanja na izmenjene klimatske uslove.

Zakonom je predviđeno da se Program prilagođavanja na izmenjene klimatske uslove ostvaruje donošenjem sektorskih strategija, planova koji posebno sadrže i:

- opis specifičnih mera sa liste prioriternih,
- područja na kojima je specifična mera planirana, sa objašnjenjima,
- vremenski okvir za sprovođenje mera,
- analizu troškova i koristi od sprovođenja mera, način finansiranja mera i
- način i metodologiju monitoringa i evaluacije sprovođenja mera.

Zakonom je planirano da se kao vid kontrole, svake četvrte godine podnose, nadležnom Ministarstvu, izveštaj o sprovedenim merama prilagođavanja od strane organa i organizacija zaduženih za izradu i sprovođenje sektorskih dokumenata.

### 3.3.3 Smanjenje rizika od katastrofa

Smanjenje rizika od katastrofa podrazumeva prepoznavanje rizika od katastrofa, smanjenje uzročnih činilaca, ublažavanje posledica i obnovu nakon katastrofe, kao i poboljšavanje sistema ranog upozoravanja i povećanje otpornosti pojedinca i lokalne zajednice. Princip smanjenja rizika od katastrofa je zapravo sistem koji svoj rad (cilj) bazira na analizama i smanjenju uzročnih faktora katastrofa, a samim tim i na smanjenju šteta prouzrokovanih prirodnim opasnostima kao što su poplave i suše.

Smanjenje rizika od katastrofa u Republici Srbiji pravno je regulisano Zakonom o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama (Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama, 2018). Ovim zakonom omogućuje se stvaranje jedinstvenog integrisnog sistema smanjenja rizika od katastrofa sa efikasnim reagovanjem i otklanjanjem posledica u slučaju katastrofa. Ujedno, ovakav sistem predstavlja deo sistema nacionalne bezbednosti Srbije.

Organizacija sistema za smanjenje rizika od katastrofa definisana je Zakonom, i sastoji se od elemenata: smanjenje rizika od katastrofa, prava i obaveze građana i pravnih

lica, dok je u kategoriji funkcionisanja sistema obuhvaćeno upravljanje vanrednim situacijama, rano upozoravanje, obaveštavanje, uzbuđivanje, zaštita i spasavanje ljudi i materijalnih dobara i inspeksijski nadzor. Takođe, Zakonom su predviđene obaveze po pitanju izrade: procene rizika od katastrofa, plana smanjenja rizika od katastrofa i plana zaštite i spasavanja.

**Procenom rizika od katastrofa** identifikuju se vrste i priroda pojedinih rizika od nastupanja katastrofa, stepen ugroženosti, faktori koji ih uzrokuju ili uvećavaju stepen moguće opasnosti i posledice koje mogu nastupiti po život i zdravlje ljudi, životnu sredinu, materijalna i kulturna dobra. Procenu rizika može da donese republika, pokrajina, lokalna samouprava, privredna društva, zdravstvene ustanove i obrazovne ustanove.

**Plan smanjenja rizika od katastrofa** sadrži konkretne preventivne, organizacione, tehničke, finansijske i druge mere koje su nadležni državni organi, na osnovu procene pojedinih rizika, dužni da preduzmu u budućem periodu u cilju smanjenja rizika od katastrofa. Planovi smanjenja rizika od katastrofa donose se za period od tri godine.

**Plan zaštite i spasavanja Republike Srbije** sadrži sledeće celine: rano upozoravanje, mobilizaciju i aktiviranje, zaštitu i spasavanje, mere civilne zaštite i upotrebu snaga i subjekata zaštite. Plan zaštite i spasavanja izrađuje se na osnovu procene rizika i usvaja najkasnije 90 dana nakon usvajanja procene rizika, takođe redovno se usklađuje sa izmenama procene rizika. Plan se donosi svake treće godine a po potrebi se ažurira. Planove mogu da donesu republika, pokrajina i lokalna samouprava.

Bitno je naglasiti da Zakon omogućuje uvođenje Registra rizika od katastrofa kao jednu interaktivnu, elektronsku i geografsko-informacionu bazu podataka za teritoriju Republike Srbije, gde će biti sadržani fizičko-geografski podaci o prostoru zahvaćenom rizikom, o ranjivosti stanovništva i objekata, o ranijim katastrofama i podaci o opisu i karakteristikama opasnosti. Zakonom je predviđeno da nadležno Ministarstvo vodi jedan ovakav Registar. Takođe, Zakonom je predviđeno i određivanje zona neposrednog rizika, odnosno geografsko prostorne celine u kojima postoji visok stepen izvesnosti da može da nastupi katastrofa. U zonama neposrednog rizika zabranjene su aktivnosti koje mogu da izazovu nove ili uvećaju postojeće faktore rizika, kao što je divlja gradnja u područjima gde postoji opasnost od katastrofa.

### 3.4 Izazov od nestašice vode i suše

Voda održava život, ekosisteme, reguliše klimu i predstavlja jedan od najvažnijih resursa koji mora da se štedi i da se njime efikasno upravlja kako bi se postigao održivi razvoj. Nedostatak vode se javlja kao rezultat prirodne hidrološke varijabilnosti. Značajan uticaj na manjak vode ima ekonomska politika, planiranje i upravljanje

vodama i otpornost društva na promenu ponude i potražnje, tj. problem nedostatka vode intenzivira se povećanom potrošnjom, pogoršanjem kvaliteta i smanjenjem dostupnosti vode. Nedostatak pijaće vode je najveća pretnja s kojom se suočava čovečanstvo, što za posledicu ima nezadovoljenu potražnju, tenzije među korisnicima, prekomerni zahvat podzemnih voda i nedovoljni dotok vode u prirodno okruženje.

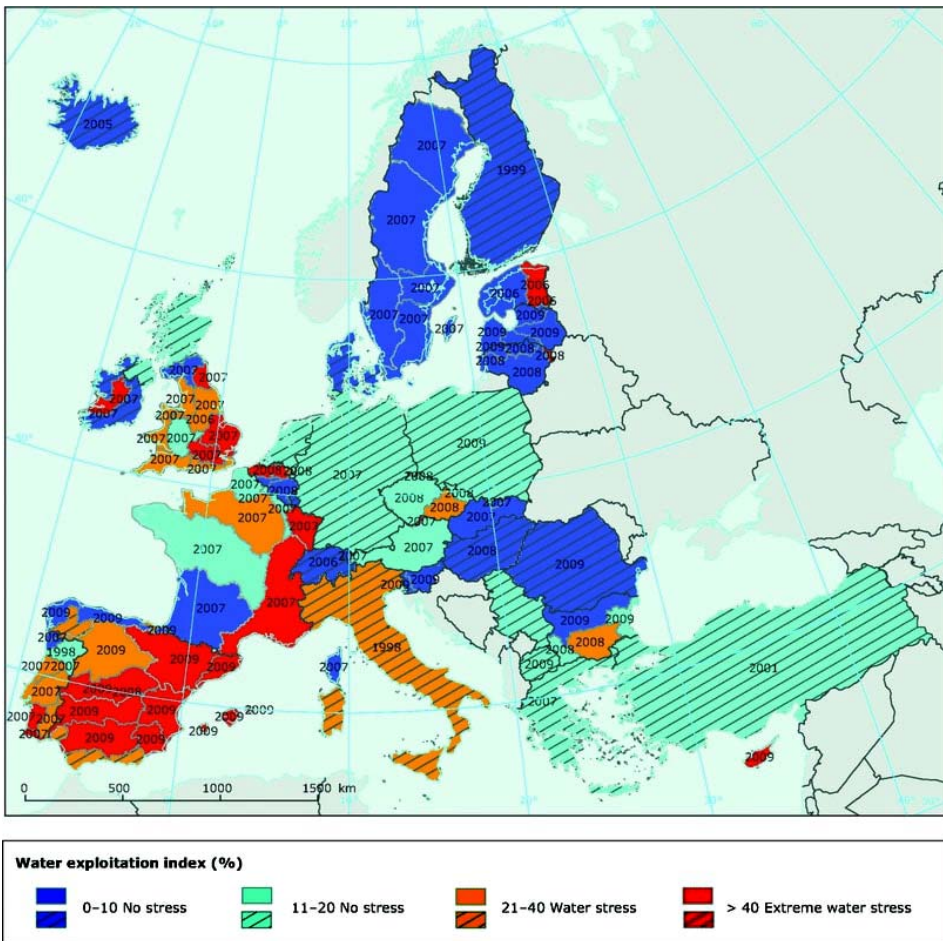
Projekcije klimatskih promena pokazuju veću učestalost ekstremnih događaja i porast temperature. Češće i jake suše i poplave imaju izražen uticaj na dostupnost vode posebno u područjima sa navodnjavanom proizvodnjom (Coping with water scarcity - an action framework for agriculture and food security, 2012). Ubrzana urbanizacija i koncentracija gradova u blizini obala, gde su zalihe slatke vode ograničene ili su dostupne uz velike troškove, predstavljaju nov izazov za snabdevanje pijaćom vodom i vodom za druge gradske potrebe. Smatra se da će se potrošnja vode u javnosti, industriji i poljoprivredi povećati za 16 % do 2030. godine (Report reveals large water saving potential in Europe, 2007). Posebno je osetljiv sektor poljoprivrede gde nedostatak vode ima najveću važnost. Zato je važno da se vodom u poljoprivredi efikasno upravlja kako bi se postigla stabilnost u proizvodnji.

Seckler et al. (1998) nedostatak vode dele u dve grupe i to kao (Secker et al., 1998): fizički i ekonomski nedostatak. Fizički nedostatak ogleda se u nedostatku vode za sve potrebe za vodom, dok ekonomski nastaje usled nedovoljnog ulaganja u vodu. Kao posledice ovih nedostataka, u prvom slučaju dolazi do degradacije životne sredine i opadanja nivoa podzemnih voda dok u drugom dolazi do nerazvijenosti vodne infrastrukture.

Organizacija za hranu i poljoprivredu (Food and Agriculture Organization - FAO) pri Ujedinjenim Nacijama definiše nestašicu vode kao višak potrošnje vode u odnosu na dostupnost vode (Coping with water scarcity - an action framework for agriculture and food security, 2012). Prema preporukama FAO države se moraju fokusirati na prevenciju u suočavanju s pretnjama od suša i nedostatka vode, pri čemu se posebno naglašava da ukoliko se pravilno utvrde, mnogi uzroci manjka vode mogu se predvideti i ublažiti. FAO predlaže šest osnovnih principa koje je moguće primeniti u različitim socio-ekonomskim okruženjima i koji predstavljaju polaznu osnovu za efikasnu i održivu strategiju suočavanja sa nedostatkom vode (Coping with water scarcity - an action framework for agriculture and food security, 2012):

- Sve strategije mora da se zasnivaju na jasnom razumevanju uzroka i posledica nedostatka vode,
- Proceniti koristi i troškove i koristiti sistematske i sveobuhvatne kriterijume za odlučivanje u delu voda,
- Osigurati pravi nivo upravljanja vodama i institucionalni kapacitet,
- Prilagoditi odgovore vezane za vodu lokalnim uslovima,
- Uskladiti politike za vodu, poljoprivredu i hranu i
- Predvideti promene adaptivnim upravljanjem.

Pokazatelj raspoloživosti vode, odnosno pritiska na održivo korišćenje obnovljivih vodnih resursa predstavlja indeks eksploatacije vode (Water Exploitation Index - WEI) koji predstavlja odnos ukupne godišnje količine zahvaćenih voda i obnovljivih vodnih resursa. Zahvaćeni vodni resursi obuhvataju ukupnu godišnju zapreminu zahvaćene površinske i podzemne vode dok obnovljivi vodni resursi obuhvataju zapreminu rečnog oticaja (padavine umanjene za stvarnu evapotranspiraciju), promenu zapremine podzemnih voda (interni dotok) i zapreminu stvarnog dotoka površinskih i podzemnih voda iz susednih zemalja i to kao prosek za najmanje 20 uzastopnih godina. Pri analizi indeksa smatra se da vrednost od 20 % predstavlja granicu upozorenja.



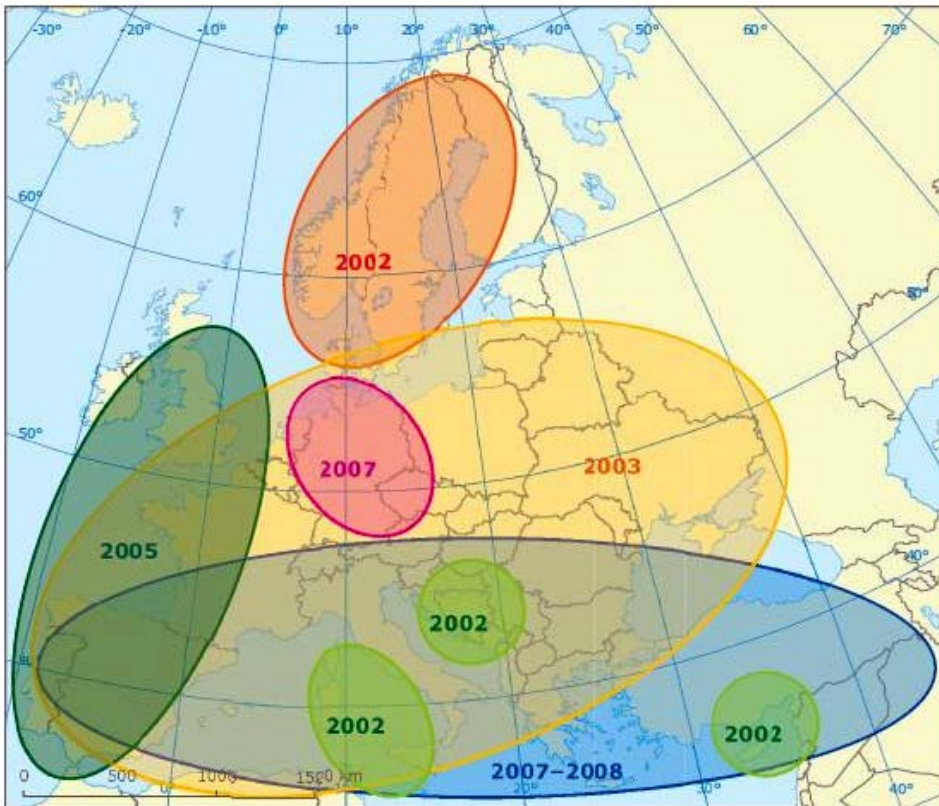
Slika 3.1 - Indeks eksploatacije vode u Evropi (Werner and Collins, 2012)

Ukoliko je vrednost WEI indeksa veća od 20 % znači da je vodni resurs pod stresom (simptomi oskudice ili nedostatka vode) a ukoliko je vrednost indeksa iznad 40 %, onda je to zona sa ekstremnim vodnim stresom i vrednost indeksa upozorava na neodrživu upotrebu vodnog resursa. Na slici 3.1 prikazan je indeks eksploatacije vode za zemlje članice evropske agencije za životnu sredinu (Sanz and Gawlik, 2014). Sa

slike 3.1 vidi se da Srbija nije pod stresom (WEI = 11 - 20 %), dok rezultati indeksa variraju (od stanja bez stresa do ekstremnog vodnog stresa) kod ostalih evropskih zemalja, što dovodi do zaključka da je distribucija vode u EU neravnomerna i da pre svega zavisi od geografije terena i klime. Bitno je naglasiti da je kod pojedinih zemalja WEI indeks sračunat i prikazan na nivou vodnog područja, na slici to je prostor bez šrafure, čime su preciznije određene oblasti sa vodnim stresom, kao na primer u Velikoj Britanji, Španiji, Portugaliji i Francuskoj.

Štaviše, analiza WEI indeksa jasno pokazuje da manjak (stres usled nedostatka vode) doživljavaju različite države a ne samo mediteranska regija. Ozbiljnost nestašice vode ilustruje i činjenica da nestašica vode zahvata najmanje 11 % stanovništva i 17 % teritorije EU (Sanz and Gawlik, 2014). Bitno je naglasiti da, pored količina vode bitan je i kvalitet vode jer od toga zavisi i upotreba i troškovi eksploatacije vode.

Suša je prirodna karakteristika promenljivosti klime koja nastaje usled deficita padavina u dužem vremenskom periodu. Tokom poslednje dve decenije suše su premašile bilo koji drugu prirodnu katastrofu po broju i učestalosti pojave (Bryant, 2005).



Slika 3.2 - Nedavne ekstremne suše na teritoriji Evrope i oblasti koje su pogodile (Tallaksen et al., 2011)



Suše su različitim intenzitetom i prostornim zahvatanjem pogađale pojedine delove EU. Naime, počevši od 1980. godine suše u Evropi su postale sve učestalije, pri čemu je teritorija zahvaćena njima sve veća a posledice su se utrostručile (Werner and Collins, 2012). Na slici 3.2 prikazane su značajnije suše u poslednje dve decenije koje su se dešavale u Evropi.

U Srbiji najjače suše zabeležene su u toku poslednje dve decenije. Značajne suše zabeležene su 2000. godine, zatim 2003. i 2007. godine. Obeležja ovih suša su drastično odsustvo padavina i veliki broj dana sa ekstremno visokom temperaturom u vegetacionom periodu. Karakteristična je suša iz 2011. godine koja je pri kraju vegetacionog perioda postala ekstremno jaka kada je zabeleženo 39 tropskih dana. Jaka suša zadesila je Srbiju 2012. godine kada je juli mesec bio najtopli od kad se registruju meteorološki podaci. Procenjeno je da je 2012. godine šteta od suše bila dve milijarde evra (Petrović and Grujović, 2015).

EU je oskudicu vode i suše definisala kao jedan od glavnih prioriteta politike zaštite životne sredine (Stein et al., 2016). Shodno tome, ciljevi politike suše na nivou EU uključuju:

- promovisanje upravljanja rizikom od suše,
- promovisanje pripremljenosti za sušu i mere ublažavanja i planiranja i
- razmatranje alata za finansijsku pomoć.

Kako bi dostigla planirane ciljeve EU formirala je 2007. godine Komunikaciju komisije evropskom parlamentu i savetu, pod nazivom “Rešavanje problema nestašice vode i suše u Evropskoj uniji” (Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, 2001). U Komunikaciji je ukazana važnost analize stanja i prilagođavanja klimatskim promenama. Naglašena je potreba prelaska sa upravljanja krizom suše na upravljanje rizikom od suše i da je za uspešno rešavanje uticaja suše potreban integrisani pristup upravljanja vodama. Naime, sve učestalije suše i teže posledice koje proizvodi ova prirodna nepogoda tokom poslednje dve decenije, motivisalo je EU da od pretežno kriznog pristupa učini značajna poboljšanja i pređe na preventivni pristup, odnosno upravljanje rizikom od suše. U Komunikaciji je identifikovan niz akcija koje treba preduzeti na nivou EU i na nacionalnom nivou.

### 3.5 Dobre prakse i naučene lekcije širom Evrope u prevenciji i upravljanju nestašicom vode, poplavama i sušama

Jasno je da ne postoje univerzalno prihvatljive prakse upravljanja rizikom od elementarnih nepogoda kao što su poplave ili suše (Environmental aspects of integrated flood management – case studies, 2017). Svaka država uređuje principe upravljanja rizikom prema lokalno hidro-klimatskom, topografskom i društveno-ekonomskom okruženju, a sve prema svojim mogućnostima i prioritetima.

### 3.5.1 Upravljanje slivom reke Save

Kao dobra praksa u upravljanju i sprečavanju poplava uzet i razmatran je primer Upravljanja slivom reke Save. Upravljanje slivom reke Save predstavlja primer prekogranične saradnje zemalja kroz koje protiče reka Sava sa osnovnim ciljem da na održivi način omogući plovidba, zaštita ekološkog sistema i zaštita od štetnog dejstva vode. Tabela 3.1 prikazuje deo teritorija zemalja koje pripadaju slivu reke Save.

Tabela 3.1 – Deo teritorija zemalja koje pripadaju slivu reke Save (Flood Risk Management Plan for the Sava River Basin, 2018)

	SL	HR	BA	RS	ME	AL
Ukupna površina zemlje [km <sup>2</sup> ]	20.273	56.542	51.129	88.361	13.812	27.398
Udeo nacionalne teritorije u području sliva reke Save [%]	52.80	45.20	75.80	17.40	49.60	0.59
Površina zemlje u području sliva reke Save [km <sup>2</sup> ]	11.734	25.373	38.349	15.147	6.929	179
Udeo sliva reke Save [%]	12.01	25.97	39.25	15.50	7.09	0.18

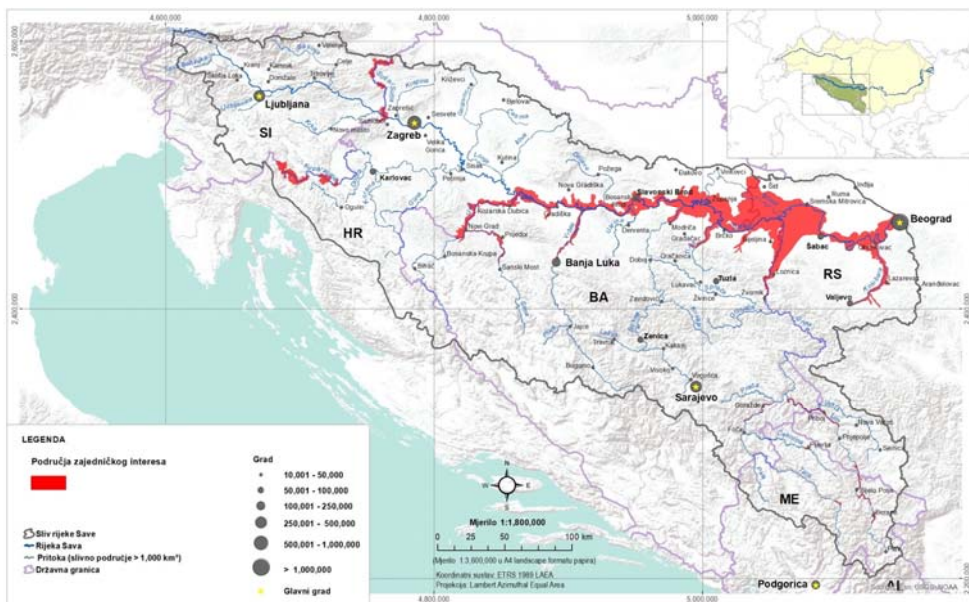


Slika 3.3 – Topografija sliva reke Save

Uviđajući veliki značaj i vrednost sliva reke Save zemlje kroz koje protiče Sava - Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Slovenija i Srbija potpisale su Okvirni sporazum o slivu reke Save u Ljubljani 2004. godine (Zakon o ratifikaciji Okvirnog sporazuma o slivu reke Save, Protokola o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu reke Save i Sporazuma o izmenama Okvirnog sporazuma o slivu reke Save i Protokola o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu reke Save, 2004). Topografija sliva reke Save data je na slici 3.3.

Osnovni cilj Sporazuma je uspostavljanje režima plovidbe rekom Savom, održivo upravljanje vodama i preduzimanje mera za sprečavanje i smanjivanje štetnih posledica od poplava, leda i suša. Kako je Sava deo sliva reke Dunav, gde se primenjuju više međunarodnih pravnih režima u delu vodnog prava i prava zaštite životne sredine i gde vladaju propisi Evropske unije, Okvirni sporazum je sve akte Evropske Unije vezane za Dunav morao da uzme u obzir. Da bi se osigurala primena ugovorenog Sporazuma osnovana je međunarodna komisija za sliv reke Save tzv. Savska komisija.

Uzimajući u obzir Direktivu 2007/60/EC, članice su izradile jedinstveni Plan upravljanja rizicima od poplava u slivu reke Save (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, 2007). Izradi Plana prethodila je izrada Predhodne procene rizika od poplava, Karata opasnosti od poplava i Karata rizika od poplava. Pri definisanju ovih elemenata težilo se primeni nacionalnih metodologija.



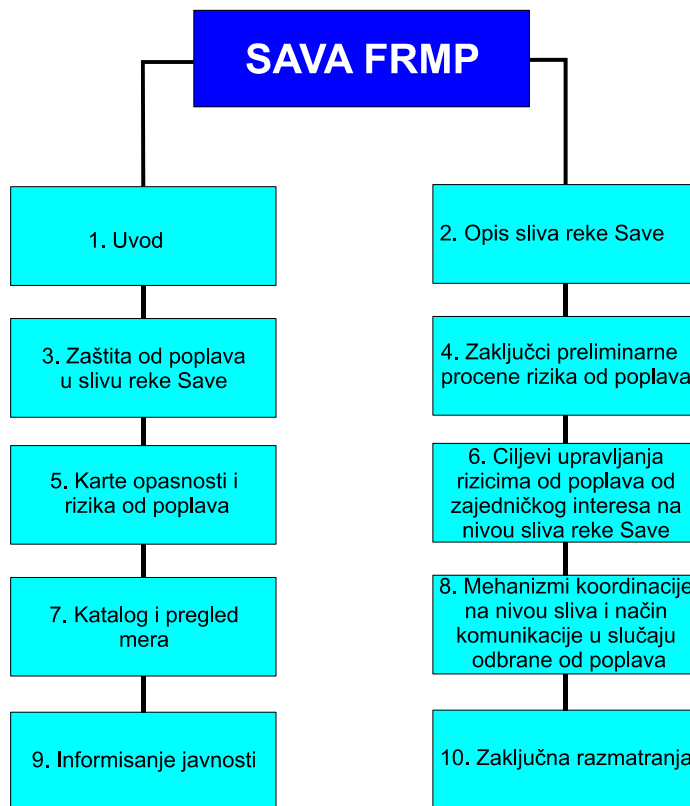
Slika 3.4 – Područja zajedničkog interesa za zaštitu od poplava na slivu reke Save (Flood Risk Management Plan for the Sava River Basin, 2018)

Na osnovu Predhodne procene rizika od poplave, svaka strana je, na delu sliva reke Save na svojoj teritoriji, identifikovala područja za koja zaključuje da potencijalni značajni rizik od poplava postoji ili bi se mogao smatrati verovatnim da se dogodi. Sumarni rezultati pokazali su da postoji 21 područje od zajedničkog interesa za zaštitu od poplava na slivu reke Save, za koje je svaka strana Sporazuma imala obavezu da pripremi mape poplava, slika 3.4.

Karte opasnosti od poplave na nivou sliva reke Save su pripremljene za sledeće scenarije:

- poplave sa srednjom verovatnoćom pojave (povratni period od 100 godina) i
- poplave sa malom verovatnoćom pojave, koje odgovaraju scenarijima ekstremnih događaja.

Karte rizika od poplava su pripremljene na osnovu informacija koje prikazuju potencijalne štetne posledice povezane sa dva spomenuta scenarija poplava.



Slika 3.5 – Struktura Plana upravljanja rizicima od poplava u slivu reke Save (Program for development of Flood Risk Management Plan in the Sava River Basin, 2017)

Treba naglasiti da ključni elementi koje sadrže Karte rizika od poplava su:

- opis geografskog područja koje bi moglo biti poplavljeno pri različitim scenarijima na osnovu karata opasnosti od poplave i
- opis potencijalnih štetnih posledica poplava na osnovu karata opasnosti od poplava za gornje scenarije za sliv reke Save.

Pri izradi Plana upravljanja rizicima od poplava u slivu reke Save, potpisnice Sporazuma, radi uniformnosti, bile su dužne da se pridržavaju uputstava iz Programa izrade plana upravljanja rizicima od poplava u slivu reke Save, koji je usvojen 2017. godine (Program for development of Flood Risk Management Plan in the Sava River Basin, 2017). Struktura Plana data je na slici 3.5.

Plan upravljanja rizikom sadrži i priloge kojima su detaljno pojašnjene pojedine aktivnosti:

- Prilog 1: Popis nadležnih tela vlasti i institucija nadležnih za sprovođenje Protokola uz Okvirni sporazum
- Prilog 2: Popis mutirateralnih bilateralnih sporazuma za sliv reke Save
- Prilog 3: Predlozi elemenata zajedničke metodologije za izradu karata opasnosti i rizika od poplava
- Prilog 4: Predlog elemenata korišćenih u izradi karata opasnosti od poplava prema nacionalnim metodologijama
- Predlog 5: Pregled mera
- Prilog 6: Karte
- Prilog 7: Literatura

Plan upravljanja rizicima od poplava definiše ciljeve upravljanja rizikom od poplave od zajedničkog interesa na nivou sliva reke Save (Flood Risk Management Plan for the Sava River Basin, 2018). Ciljevi Plana upravljanja rizicima od poplava, od zajedničkog interesa za sliv reke Save su usaglašeni sa ciljevima Dunavskog plana upravljanja rizikom od poplava i to su:

- izbegavanje novih rizika od poplava,
- smanjenje postojećih rizika od poplava za vreme i nakon poplava,
- jačanje otpornosti,
- jačanje svesti o rizicima od poplava i
- primena principa solidarnosti.

Plan sadrži i mere za postizanje zadatih ciljeva, način koordinacije na nivou sliva i način zajedničkog delovanja strana u vanrednim situacijama odbrane od poplava.

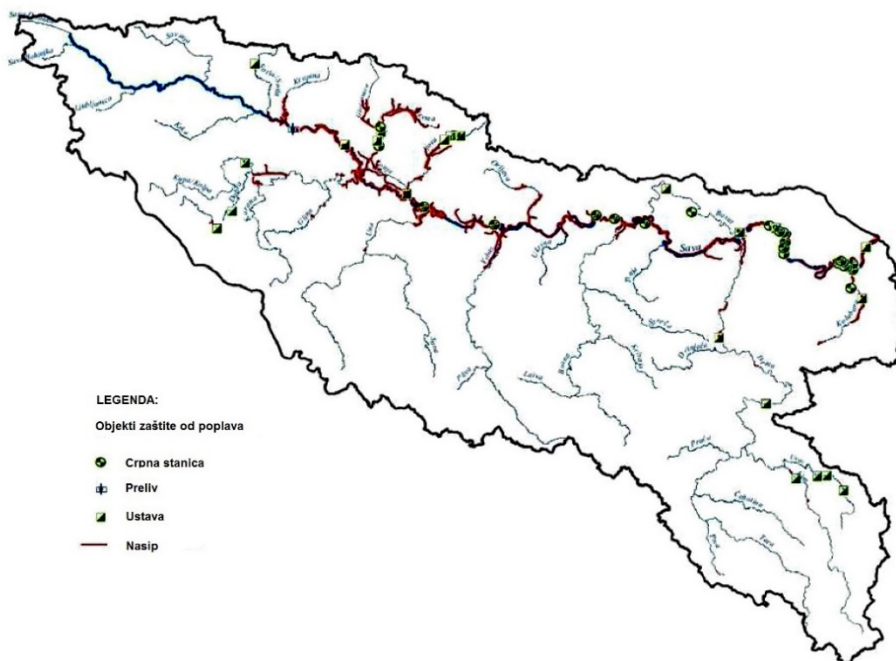
Planom upravljanja rizicima od poplava dat je i katalog i pregled mera za smanjenje mogućih štetnih posledica poplava po zdravlje ljudi, životnu sredinu, privrednu aktivnost i pregled mera za smanjivanje verovatnoće nastanka poplava, slika 3.6.

Predložene su mere koje su grupisane u 4 grupe:

- regulisanje korišćenja zemljišta i prostorno planiranje,
- uspostavljanje ranijih i formiranje retenzionih kapaciteta,
- strukturne mere i
- nestrukturne mere.

Prema uputstvima Evropske komisije mere iz kataloga su razvrstane u okviru 5 aspekta: prevencija poplava, zaštita od poplava, pripravnost, oporavak i preispitivanje.

Za rešavanje specifičnih zadataka vezanih za upravljanje rizicima od poplava formirane su stalne stručne grupe za upravljanje Planom, za GIS i za hidološka i meteorološka pitanja.



Slika 3.6 – Mere za zaštitu od poplava na slivu reke Save (Flood Risk Management Plan for the Sava River Basin, 2018)

Planom upravljanja detaljno je preciziran način finansiranja predloženih mera.

Jačanje svesti o izloženosti i ranjivosti rizicima od poplava je ključni korak u izgradnji otpornosti. Efikasna rešenja za jačanje otpornosti treba da ojačaju kapacitete i da povećaju razumevanje javnosti kako bi bila brža i fleksibilnija u slučaju katastrofe.

### 3.5.2 Primena Direktive o poplavama u šest evropskih država

Praksu upravljanja rizicima od poplava u pojedinim državama moguće je sagledati na osnovu implementacije Direktive (2007/60/EC) koju je zakonodavac EU izričito izabrao kao pravni instrument. Primenom principa adaptivnog pristupa upravljanju (regulator se prilagođava sistemu kojim se upravlja i čiji parametri se menjaju ili su inicijalno

nezavisni) analizirano je sprovođenje Direktive o poplavama na nacionalnom nivou u Belgiji (Flamanska regija), Engleskoj, Francuskoj, Holandiji, Poljskoj i Švedskoj (odabrane su zemlje sa različitim rizikom od poplava, geografskim položajem i pravnim sistemom) (Priest et al., 2016).

U radu (Priest et al., 2016), izvršena je analiza primene Direktive o poplavama u zakonodavstvu država u delu voda i u nacrtima planova za upravljanje rizicima od poplava (Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, 2007), i to fokusiranjem na sledeća pitanja:

1. Koji je cilj politike EU o riziku od poplave i kako je ona dizajnirana da odgovara pravnom okviru EU?
2. Kako je Direktiva o poplavama implementirana i integrisan u zakonski i postojeći pristup upravljanja rizikom od poplava unutar svake zemlje? Koje promene u upravljanju rizikom od poplava su rezultirale?
3. U kojoj meri je Direktiva o poplavama uspeła da promoviše adaptivno upravljanje i pojačanu društvenu otpornost na poplave? Koje preporuke mogu da se daju za poboljšanje otpornosti na nacionalnom nivou i na nivou EU?

Analiza je dopunjena intervjuima profesionalno zainteresovanih strana. Nadalje, razmatrani su i konkretni primeri u praksi da bi se istakli dobri ili loši slučajevi primene Direktive.

Opšti zaključak analize je da je učinak primene Direktive promenljiv i čak problematičan u delu reka sa međunarodnim slivom. Identifikovane su mogućnosti ali i prepreke za efikasniji uticaj na otpornost od poplava. Ukazano je da je moguće ojačati primenu Direktive čvršćom saradnjom i pružanjem veće snage nadležnim vlastima posebno u međunarodnim rečnim slivovima. Bitno je naglasiti da je Direktiva pozitivno uticala na planiranje upravljanju rizikom od poplava, a posebno je uticao obavezujući šestogodišnji ciklus planiranja.

### 3.6 Zaključak

Prirodne nepogode kao što su poplave i suše ne mogu se sprečiti i događaće se i u budućnosti. Iako su u hidrološkom smislu ove dve pojave nezavisne, voda se javlja kao njihov glavni uzročnik. Razumevanje uzajamnog odnosa između poplava i suša, je od značaja za efikasno održivo očuvanje vode a samim tim i za upravljanje rizikom od poplave i suše.

Upravljanje poplavama i sušama nakon njihove pojave zamenjuje princip upravljanja rizikom od poplava i suša. Paradigma borba protiv poplava i suša kao neefikasna prelazi na suživot sa katastrofama i upravljanje rizikom.

Prema zakonskoj regulativi upravljanje rizikom od poplava vrši se planom upravljanja kojim se obezbeđuje smanjivanje mogućih štetnih posledica na zdravlje ljudi, životnu sredinu i privredu. Planove izrađuju ovlašćena pravna lica i njihov kvalitet zavisi od kvaliteta podloga odnosno od preliminarne procene rizika i karata ugroženosti i karata rizika od poplava kojima je sistemski sagledan rizik. Uspešno upravljanje rizikom od suša podrazumeva predviđanje suše, praćenje, procenu uticaja i efikasno reagovanje. Upravljanje rizikom podrazumeva niz aktivnosti i mera koje se obavljaju sve vreme, bez obzira da li se desila katastrofa.

### 3.7 Literatura

- Bonacci O. 2008 Water related risk management. *Vodoprivreda*, 40, 167-174.
- Bryant E. 2005 *Natural Hazards*. Cambridge University press, ISBN 978-0-521-53743-8, Cambridge, United Kingdom.
- Burton J., Kates R.W., White G.F. 1978 *The environment as Hazards*. Oxford University Press, New York.
- Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, Edited by Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J. and Hanson C.E., ISBN 978 0521 88010-7, 1-987, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Climate change poses increasingly severe risks for ecosystems, human health and the economy in Europe. European Environment Agency, 2017, 1-8.
- Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, Commission of the European Communities, 2001, Brussels.
- Coping with water scarcity - an action framework for agriculture and food security. Food and agriculture organization of the United Nations, 2012, ISBN 978-92-5-107304-9, 38, Rome, 1-79.
- Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Union L330, 1998, 1-32.
- Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 considering the protection of water against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official Journal of the European Union L375, 1991, 1-31.
- Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 considering urban wastewater treatment. Official Journal of the European Union L135, 1991, 40-52.
- Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 considering the quality of bathing water. Official Journal of the European Union L31, 1976, 1-32.
- Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy. Official Journal of the European Union L348, 2008, 84-97.



- Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union L288, 2007, 27-34.
- Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. Official Journal of the European Union L372, 2006, 19-31.
- Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy, Official Journal of the European Communities L 327/1, 2000, 1-72.
- Environmental aspects of integrated flood management – case studies. World Meteorological Organization, 2017, Geneva, Switzerland, 1-60.
- Flood Risk Management Plan for the Sava River Basin. Western Balkans Investment Framework, 2018, 1-89.
- High and Dry – Climate Change, Water and the Economy. World Bank Group, Water Global Practice, 2016, Washington, 1-69.
- Kundzewicz Z.W. 2004 Floods and flood protection: business-as-usual? Proceedings of the UNESCO/IAHS/IWHA symposium held in Rome, December 2003, IAHS Publication 286, 201-209.
- Moster E. and Junier S. 2009 The European Flood Risk Directive: Challenges for Research. Hydrology and Earth System Sciences Discussion, 6, 4961-4988.
- Nacionalni program upravljanja rizikom od elementarnih nepogoda. Vlada Republike Srbije, 2014, Beograd, Srbija.
- Nacrt zakona o klimatskim promenama. Vlada Republike Srbije, 2019, Beograd, Srbija.
- Opinion of the European Economic and Social Committee on the Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Flood risk management – Flood prevention, protection and mitigation. European Economic and Social Committee, Flood risk management NAT/263, 2005, Brussels.
- Petrović G. and Grujović M. 2015 Ekonomske štete od elementarnih nepogoda u Srbiji i Šumadijskom okrugu. Ekonomski signali 10 (2), 99-107.
- Priest S.J., Suykens C., van Rijswick H.F.M.W., Schellenberger T., Goytia S., Kundzewicz Z.W., van Doorn-Hoekveld W.J., Beyers J.-C., Homewood S. 2016 The European Union approach to flood risk management and improving societal resilience: lessons from the implementation of the Floods Directive in six European countries. Ecology and Society, 21 (4):50, 1-16.
- Program for development of Flood Risk Management Plan in the Sava River Basin. International Sava River Basin Commission, 2017, 1R-44-O-17-20/1-2, Zagreb, Croatia, 1-31.
- Report reveals large water saving potential in Europe. European Commission report IP/07/1276, 2007, Brussels.

- Sanz L. A. and Gawlik B. M. 2014 Water Reuse in Europe: Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. European Commission, JRC Science and Policy Reports, ISBN 978-92-79-44399-2.
- Secker D., Amarasinghe U., Molden D., de Silva R., Barker R. 1998 World Water Demand and Supply 1990 to 2025: Scenarios and Issues. Research Report 19, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Stein U., Özerol G., Tröltzsch J., Landgrebe R., Szendrenyi A., Vidaurre R. 2016 European Drought and Water Scarcity Policies. Governance for Drought Resilience, editors: Bressers H., Bressers N., Larrue C., ISBN 978-3-319-29669-2, 17-43, Springer International Publishing AG Switzerland.
- Tallaksen L.M., Stahl K., Wong G. 2011 Space – time characteristics of large – scale droughts in Europe derived from streamflow observations and watch multi – model simulations. Water and Global Change, Technical Report 48, 1-16.
- Werner B. and Collins R. 2012 Towards efficient use of water resources in Europe. European Environment Agency Report 1, ISBN 978-92-9213-275-0, Copenhagen, Denmark.
- Zakon o potvrđivanju Kjoto protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o promeni klime. Službeni glasnik Republike Srbije – Međunarodni ugovori br. 88/07, 2007, 1-27.
- Zakon o potvrđivanju Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o promeni klime, sa aneksima. Službeni list Savezne Republike Jugoslavije – Međunarodni ugovori br. 2/97, 1997, 1-23.
- Zakon o potvrđivanju Sporazuma iz Pariza. Službeni glasnik Republike Srbije – Međunarodni ugovori, br. 4/17-91, 2017.
- Zakon o ratifikaciji Okvirnog sporazuma o slivu reke Save, Protokola o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu reke Save i Sporazuma o izmenama Okvirnog sporazuma o slivu reke Save i Protokola o režimu plovidbe uz Okvirni sporazum o slivu reke Save. Službeni list Srbije i Crne Gore – Međunarodni ugovori br. 12/04, 2004, 1-17.
- Zakon o smanjenju rizika od katastrofa i upravljanju vanrednim situacijama. Službeni glasnik Republike Srbije, br. 87/18, 2018.
- Zakon o vodama. Službeni glasnik Republike Srbije br. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018, 2018, 1-60.



## 4 UPRAVLJANJE KVALITETOM ATMOSFERSKIH VODA

Goran Sekulić, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore  
Ivana Ćipranić, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore

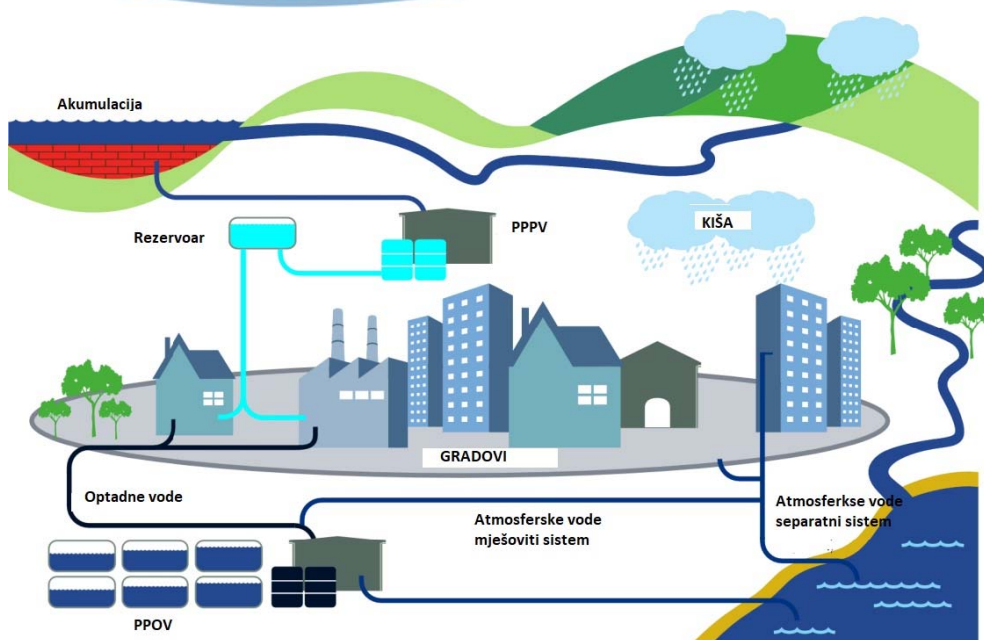
### Apstrakt

Planska izgradnja gradova ne može se zamisliti bez sistema atmosferske kanalizacije koji služi za zaštitu od kišnih voda i projektuju se i gradi u okviru urbanizacije i izgradnje naselja. Istraživanja kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih i suburbanih slivova ukazuju na prisutvo širokog spektra zagađenja koje se može pojaviti u tim vodama. Zbog velikih razlika u kvalitetu kišnog oticaja po slivovima, ili unutar jednog sliva po sezonama, još uvijek nije usvojen jedinstveni pristup i zakonska regulativa u pogledu mjera za zaštitu prijemnika od zagađenja koje nosi kišni oticaj. Ovim radom daje se pregled mogućih mjera i tehničkih rješenja kojima se problem upravljanja kvalitetom kišnog oticaja može na zadovoljavajući način riješiti, čime se prije svega obezbjeđuje očuvanje i zaštita kvaliteta životne sredine.

### 4.1 Uvod

Uticaj urbanizacije na prirodni hidrološki ciklus se ogleda u povećanju površinskog oticaja, smanjenja infiltracije i evapotranspiracije. Povećanje oticaja podrazumjeva i veću verovatnoću plavljenja prije svega urbanih prostora. Urbanizacija takođe utiče na smanjenje zaliha vode u podzemlju i na kvalitet svih voda, površinskih i podzemnih.. Kako bi se prije svega zaštitili postojeći vodni resursi u urbanim sredinama i smanjio rizik od štetnog dejstva voda, neophodno je integralno upravljanje gradskim vodama. Važna komponenta u ovom procesu je upravljanje kišnim oticajem a posebno njegovim kvalitetom. Na urbanim površinama se iz atmosfere talože produkti sagorjevanja, materije nastale habanjem djelova vozila, produkti industrijskog zagađenja i dr. Tokom padavina ove materije bivaju odvojene od podloge i transportovane oticajem, pri čemu je kvalitet oticaja narušen u odnosu na prirodno stanje. Obezbeđenje zaštite životne sredine mora sadržati tretiranje kišnog oticaja, uključujući sve tehničke mjere koje tome doprinose kao što je npr. izgradnja rasteretnih preliva u mješovitom kanalizacionom sistemu i sl. Krajnji cilj upravljanja kvalitetom kišnog oticaja je prije svega smanjenje negativnih uticaja od ljudskih aktivnosti.

Ovo podrazumjeva da se primjenom odgovarajućih mjera negativni uticaji nepovoljnog kvaliteta kišnog oticaja kontrolišu, kako ne bi prelazili neke granične vrijednosti koje ugrožavaju opstanak i vodnih tijela koja su po pravilu mjesta prijema.



Slika 4.1 – Tipični ciklus kruženja urbanih voda

#### 4.1.1 Problematika kvaliteta kišnog oticaja

Da bi se smanjili ili eliminisali negativni uticaji otpadnih voda na vodoprijemnike i životnu sredinu uopšte, neophodno je prije ispuštanja otpadne vode u vodoprijemnik izvršiti njeno prečišćavanje. Zadatak prečišćavanja je da se u određenom stepenu izdvoje zagađujuće materije iz otpadne vode. Stepenn prečišćavanja otpadnih voda definiše se odgovarajućim administrativnim mjerama u cilju zaštite životne sredine, dok se njegovo ostvarenje postiže primjenom različitih postupaka za prečišćavanje tih voda. Sprovođenje ovih mera kontrolišu nadležne institucije.

Za otpadne vode iz domaćinstava (sanitarne vode), ustanova i industrije koje su priključene na javnu kanalizaciju za sakupljanje upotrebljenih voda postoji jasna procedura kontrole njihovog sakupljanja, tretmana i ispuštanja u prirodne tokove. Definisane su vrijednosti maksimalnih dozvoljenih koncentracija za glavne zagađivače koji se javljaju u upotrijebljenim vodama, kao što su različiti oblici organskog zagađenja (izraženi preko petodnevne biohemijske potrošnje kiseonika - BPK<sub>5</sub> i hemijske potrošnje kiseonika - HPK), suspendovane materije, jedinjenja azota i fosfora.

Navedene vrijednosti maksimalno dozvoljenih koncentracija nažalost ne mogu se primjeniti na izlive kišnih voda. Teškoće u uspostavljanju zahtjeva u pogledu zahtjevanog kvaliteta kišnog oticaja prije ispuštanja su uzrokovane slučajnim karakterom pojave kišnog oticaja, velikim promjenama proticaja, različitim

zagadenjima koja se mogu javiti i velikim varijacijama koncentracija zagadenja, kako prostorno po slivu, tako i po vremenu. Glavni izvori zagadenja atmosferskih voda su vozila, taloženje iz vazduha, i same padavine. Drugi mogući izvori koji se rjeđe javljaju su slučajna prolijevanja goriva, ulja i maziva i zagadenja prilikom saobraćajnih nesreća. Osim toga, zagadenja sa saobraćajnica nastaju pri održavanju kao što je posipanje pijeskom i solju, ili upotrebom herbicida za sprječavanje rasta korova. Kako se može vidjeti sva ova zagadenja imaju nesumljivo slučajni karakter.

Različite površine slivova različito se ponašaju kada je u pitanju uticaj atmosferskog oticaja sa njih. Kod nepropusnih površina prvi talas oticaja nosi najviše zagadenja, jer voda u početku spira nečistoće akumulirane na nepropusnoj površini (kolovoz, trotoari, krovovi, i sl.). Intenzitet kiše u tom slučaju nema veliki uticaj na količinu spranog zagadenja. Karakteristična zagadenja u tom slučaju su suspendovane materije, teški metali i povremeno ulja, dok je sadržaj BPK<sub>5</sub> i nutrijenata obično relativno nizak. Kod većine propusnih površina (travnjaci, zemljište) ne postoji izrazita pojava početnog vrlo zagadenog oticaja, već količina zagadenja prvenstveno zavisi od intenziteta i trajanja kiše. Karakteristična zagadenja su suspendovane materije, BPK<sub>5</sub> i nutrijenti.

Tabela 4.1 – Tipična godišnja opterećenja zagadenjem od oticaja sa jedinice površine različitih namjena, izražena u kg/ha.god (Hvitved-Jacobsen i sar. 2010)

Parametar	Tip površine - način korišćenja zemljišta						
	Komercijalna	Stanovanje (gustina)	Stanovanje (srednja gustina)	Stanovanje (velika (niska gustina)	Industrija	Putevi	Parkirališta
<b>TSS</b>	1100	450	270	10	550	1000	450
<b>TP</b>	1,7	1,1	0,4	0,05	1,5	1,0	0,8
<b>TKN</b>	7,5	4,7	2,8	0,3	3,7	8,9	5,7
<b>BPK<sub>5</sub></b>	70	30	15	1	-	-	53
<b>HPK</b>	470	190	60	10	230	-	300
<b>Pb</b>	3,0	0,9	0,06	0,01	0,2	5,0	0,9
<b>Zn</b>	2,3	0,8	0,1	0,05	0,4	2,3	0,9
<b>Cu</b>	0,4	0,03	0,03	0,01	0,1	0,4	0,07

Dosadašnja istraživanja kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih i suburbanih slivova Ispitivanja kvaliteta kišnog oticaja obuhvataju zahvatanje i laboratorijske analize niza uzoraka kišnog oticaja tokom trajanja kiše i oticanja. Pored ovoga potrebno je mjeriti i intenzitet kiše na razmatranom slivu i proticaj kišne vode na mjestu uzorkovanja. Kao rezultat ispitivanja formiraju se dijagrami na kojima se prikazuje zavisnost od vremena sledećih veličina: proticaja (hidrogram oticaja), koncentracije pojedinih zagadenja i masenog protoka zagadenja (polutogrami). Za pravilnu analizu i interpretaciju

rezultata potrebno je poznavati parametre razmatranog sliva (upotreba zemljišta, tipovi zemljišta, i dr.). Istraživanja kvaliteta kišnog oticaja ukazuju da postoji veliko rasipanje rezultata u zavisnosti od lokacije. Relativno veliko rasipanje rezultata pojedinih zagadenja može se objasniti prisustvom industrijskih postrojenja u oblasti gdje se mjerenja sprovode, korišćenjem sredstava protiv mraza tokom zimskih mjeseci, i nizom drugih faktora. Primjer izmjerenih parametara kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih slivova prema ispitivanjima u SAD je dat u Tabeli 4.1. ukazuju na najčešće prisustvo sledećih zagadenja :

- organska zagadenja, iskazana kao BPK<sub>5</sub>, prisutna su u niskim koncentracijama kod oticaja sa urbanih površina i saobraćajnica, ali njihova koncentracija može biti povišena ukoliko površinski oticaj potiče sa ruralnog zemljišta (zelene površine, njive);
- suspendovane materije se smatraju najviše izraženim zagadenjem u kišnom oticaju jer su prisutne u značajnim koncentracijama, a njihova koncentracija zavisi od korišćenja zemljišta na slivu i karakteristika kiše (intenzitet, trajanje);
- teški metali, kao što su bakar, olovo, kadmijum, nikl, hrom i cink su prisutni u kišnom oticaju u širokom opsegu koncentracija, njihova koncentracija pokazuje dobru korelaciju sa koncentracijom suspendovanih materija, a prvenstveno zavisi od načina korišćenja zemljišta na slivu, gdje se visoke koncentracije obično javljaju u oticaju sa saobraćajnica;
- ulja i masti su samo povremeno prisutna u kišnom oticaju i njihovo prisustvo je pokazatelj akcidentnih zagadenja (curenje ulja i goriva iz motornih vozila, spiranje ulja sa površina u industrijskim postrojenjima na kojima je došlo do nekontrolisanog izlivanja ulja);
- jedinjenja azota i fosfora su prisutna u oticaju ukoliko postoji veće spiranje sa zelenih površina.

Zbog velikih razlika u kvalitetu kišnog oticaja po slivovima, ili unutar jednog sliva po sezonama, još uvek nije usvojen jedinstveni pristup i zakonska regulativa koja bi jasno regulisala zahtjeve u pogledu mjera za zaštitu vodoprijemnika od zagadenja koje nosi kišni oticaj. Ova oblast je predmet intenzivnog istraživanja na nizu eksperimentalnih i urbanih slivova u svijetu, a dosadašnji rezultati ukazuju na sledeće:

- Kvalitet kišnog oticaja prvenstveno zavisi od načina korišćenja zemljišta i tipova površina zastupljenih na slivu.
- Koncentracija zagadenja u kišnom oticaju je često najveća na početku oticaja (tzv. prvo spiranje - "first flush"), mada ima rezultata koji pokazuju da ovo nije uvijek slučaj.
- Koncentracija i maseni pronos zagadenja sa jednog sliva prvenstveno zavisi od intenziteta kiše (veći intenzitet kiše - intenzivnije spiranje - veći maseni pronos zagadenja).

- Kako dobar dio zagađenja koje kišni oticaj spira sa terena potiče od čestica prisutnih u vazduhu, koje se talože po površini terena, ispitivanja ukazuju na to da kvalitet kišnog oticaja može zavisi i od vremenskog perioda između dvije kišne epizode, ili ukupnog vremena bez kiše tokom razmatranog perioda.

Tabela 4.2. Opsezi koncentracija pojedinih parametara zagađenja u kišnom oticaju sa urbanih slivova prema rezultatima ispitivanja u SAD (Metcalf and Eddy, 2002).

Parametar	Koncentracija
Ukupne suspendovane materije (mg/l)	67-101
BPK5 (mg/l)	8-10
HPK (mg/l)	40-73
Koliformne bakterije (broj/100 ml)	10000-100000
Ukupni Kjeldal azot (mgN/l)	0,43-1,00
Nitrati (mgN/l)	0,48-0,91
Ukupni fosfor (mgP/l)	0,7-1,66
Bakar (mg/l)	0,027-0,033
Olovo (mg/l)	0,030-0,144
Cink (mg/l)	0,135-0,226

Važno je napomenuti da zagađenja transportovana kišnim oticajem potiču iz rasutih (difuznih) izvora zagađenja. Stoga, jasno je da se smanjenje emisije zagađenja od kišnog oticaja može postići samo kombinacijom različitih mjera koje obavezno uključuju mjere za smanjenje količine zagađenja na mjestu njegovog nastanka, odnosno: uređenje površina na slivu, smanjenje erozije zemljišta, smanjenje emisije u atmosferu zagađenja iz motornih vozila i drugih izvora, i druge mjere. Takođe, mogu se primjenjivati i uređaji za tretman kišnice prije izlivanja u vodoprijemnike, ali njihov efekat će biti dobar samo ako je prethodno detaljno ispitan kvalitet kišnog oticaja sa sliva, određeni trenutni i dugoročni (kumulativni) efekti zagađenja iz kišnog oticaja na vodoprijemnik, a uređaj za prečišćavanje je prilagođen specifičnostima oticaja i zahtjevima zaštite vodoprijemnika na konkretnom razmatranom slivu.

Kada je u pitanju uticaj kvaliteta atmosferskih voda na vodoprijemnike kao dva posebno negativna uticaja ističu se toksičnost po živi svijet u prijemnicima i pojava cvjetanja algi u stajaćim vodama, usled povećanog priliva nutrijenata koji su prisutni u atmosferskim vodama.

U periodu 90-ih godina prošlog vijeka u svijetu je pokrenut veći broj nacionalnih programa za kontrolu atmosferskih izvora zagađenja prirode, što je rezultiralo uvođenjem niza novih tehničkih mjera koje osiguravaju povećan nivo zaštite od negativnog djelovanja atmosferskih dotoka sa saobraćajnica.

Ova iskustva potrebno je prenijeti u našu sredinu, tako što će se u jednom dijelu pretočiti u odgovarajuće zakonske odredbe, a u drugom uvesti u postupke planiranja, projektovanja i izvođenja saobraćajnica.



## 4.2 Strategija zaštite

Ako se žele štititi površinske i podzemne vode od zagađenja atmosferskim vodama najpre se mora utvrditi njihovo tačno porijeklo. Sledeći korak koji se mora procijeniti su vrste i obim ostalih mogućih iznenadnih zagađenja u slivu (prolivanje opasnih supstanci iz poljoprivrede, industrije, domaćinstava i sl). Za svako od mogućih zagađenja treba utvrditi vjerovatnoću njegove pojave i procjenu mogućeg uticaja. Na osnovu tako napravljene analize može se procijeniti važnost pojedine vrste zagađenja, odnosno ukupna vjerovatnoća pojave zagađenja u slivu.

Ako se vjerovatnoća akcidenta želi smanjiti tehničkim mjerama, onda će se prvo razmotriti mjere za one vrste akcidenta koje imaju najveće negativno djelovanje i najveću vjerovatnoću pojave. Ako se problem rješava po načelima metode korist-troškovi, tada će se za poznatu sumu novca projektovati one zaštitne mjere koje će dati najveći doprinos sigurnosti.

Ako se radi o saobraćajnici onda nije svejedno je li ista gradska, prigradska, ruralna ili u tzv "netaknutoj prirodi". U prva tri slučaja udio iznenadnog zagađenja sa saobraćajnice u vjerovatnoći iznenadnog zagađenja cijelog sliva, biće manji ili veći, a u četvrtom gotovo isključivi dio. Iz toga proizilazi da će povećanje sigurnosti od iznenadnog zagađenja sa saobraćajnice u prva tri slučaja dati manji doprinos ukupnoj sigurnosti, nego u četvrtom slučaju.

Ako bi postojala mogućnost da se svaki projekat sagledava u integralnom smislu i ako bi se određeni iznosi investicija za povećanje sigurnosti mogli trošiti prema metodi koristi i troškova (moguće i za neki drugi potencijalni izvor zagađenja), tada bi se u smislu zaštite dobili najbolji rezultati. Kako takav način finansiranja nije praksa a ne postoji baza podataka i priznata metodologija kojom bi se mogla u ovom slučaju definisati metoda koristi i troškova, preostaje da se definiše po određenim kriterijumima minimum tehničkih zahtjeva u pogledu sigurnosti od iznenadnog zagađenja sa saobraćajnice. Ovi minimalni zahtjevi opet bi trebali biti posljedica analize povećanja sigurnosti u odnosu na cijenu koštanja.

## 4.3 Tretman atmosferskih voda

Zbog prirode atmosferskih voda da se javljaju povremeno i u velikim količinama u poređenju sa drugim vrstama otpadnim vodama, teško je primijeniti poznate klasične postupke prečišćavanja. Posebno je to teško kad se radi o zagađenim atmosferskim vodama sa saobraćajnica izvan naseljenih mjesta.

U gradskim sredinama moguće je atmosferske vode, nezavisno od primenjenog sistema kanalizacije, prečistiti na gradskim uređajima za prečišćavanja otpadnih

voda, obično u kombinaciji s građevinama za regulaciju dotoka. Mogu se primijeniti gotovo sve tehnologije primarnog, sekundarnog i tercijarnog prečišćavanja. U skladu sa zadatim standardima i kriterijumima konačnog ispuštanja otpadnih voda u prirodne prijemnike, određuje se udio od ukupnih padavina koji će se na uređaju prečistiti. Po pravilu na prečišćavanje se odvodi tzv. prvi, najopterećeniji atmosferski dotok vode dok se ostali dio skreće mimo uređaja i bez tretmana se uvodi u prijemnike. Praksa na postrojenjima je da se kroz sve faze tretmana provodi obično atmosferska voda jednaka tzv. sušnom dotoku, a mehanički se prečišćavaju i veći dotoci od njega. Osnovni razlog ovoj praksi je prije svega cijena koštanja tretmana, jer dodatno hidrauličko opterećenje postrojenja bitno povećava cijenu njegove izgradnje i održavanja. Vrlo često se praktikovala izgradnja kišnih retenzionih bazena ispred postrojenja za prečišćavanje čime je omogućeno da se sistemom prečišćavanja obuhvate one količine prvog, nazagađenijeg talasa atmosferske vode.

Atmosferske vode sa površina, uglavnom saobraćajnica, koje se nalaze izvan naseljenih područja se po pravilu ne priključuju na gradske sisteme kanalizacije pa ni na uređaje za tretman voda. Izgradnja klasičnih uređaja, koji podrazumjevaju sve faze tretmana, bila bi teško primjenljiva zbog nekontinualnosti dotoka vode na njih, nemogućnosti održavanja bioloških procesa i prije svega njihove evidentne ekonomske neisplativosti. Zbog toga je za tretman atmosferskih voda sa površina izvan naselja potrebno primijeniti postupke koji su prilagodljivi slučajnoj prirodi pojave padavina različitim klimatskim i hidrogeološkim uslovima terena a koji su uz to efikasni, pouzdani i jeftini u građenju, pogonu i održavanju.

#### 4.4 Metode za kontrolu količine i kvaliteta kišnog oticaja

Kontrola kvaliteta kišnog oticaja podrazumjeva i mjere koje se odnose na prethodnu kontrolu količina oticaja, kao bitne mjere ukupnog procesa kontrole njegovog kvaliteta. Kontrola količina otekle kišne vode obuhvata (Woods-Ballard i sr. 2007) sledeće:

1. Infiltracija - procjeđivanje vode kroz tlo kao mjera smanjenja količina otekle vode površinom. Ovo rješenje je vrlo prihvatljivo kad nivo podzemne voda nije previsok i kada nema rizika od njenog zagađivanja. Efikasnost infiltracije naravno prevashodno zavisi od granulometrijskog sastava tla u koje se voda infiltrira..
2. Retenziranje - zadržavanje vode predstavlja prihvatanje ili usporavanje kišnog oticaja pomoću suvih depresija, jezera ili posebno izgrađenih podzemnih objekata. Ove metode smanjuju vrh poplavnog talasa, ali ne smanjuju količine otekle vode.
3. Prevođenje vode na kontrolisani način iz sliva u sliv, odnosno sa jednog na drugo mjesto površinskim kanalima, kolektorima ili rovovima.
4. Korišćenje atmosferskih voda za navodnjavanje, pranje ulica ili u druge svrhe, u zavisnosti od lokalnih uslova. Pri tome se mora uzeti u obzir mogućnost obezbjeđenja prostor za zadržavanje vode, pouzdanost i aspekti kvaliteta vode.

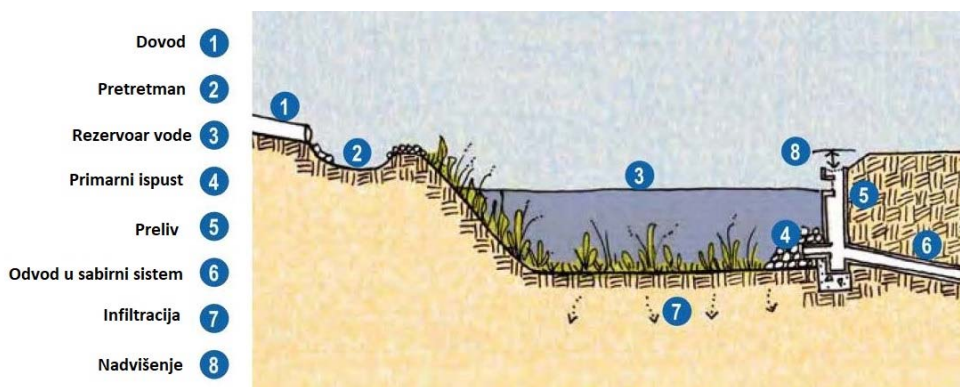
Tabela 4.3 – Preporučene tehnike prečišćavanja obzirom na vrstu zagađenja

ZAGAĐENJE	MEHANIZAM PREČIŠĆAVANJA
Nutrijenti , fosfor, azot	Taloženje, biodegradacija, precipitacija, denitrifikacija
Sedimenti, suspendovane materije	Taloženje, filtracija
Ugljovodnici	Biodegradacija, fotoliza, filtracija, adsorpcija
Metali, olovo, bakar, cink, živa, kadmijum, hrom, aluminijum	Taloženje, adsorpcija, filtracija, precipitacija, upijanje od biljaka
Pesticidi	Biodegradacija, adsorpcija, isparavanje
Hloridi	Prevenција
Cijanidi	Isparavanje, fotoliza
Čvrsti optad	Fizičko uklanjanje - redovno održavanje
Organske materije	Taloženje,filtracija,biodegradacija

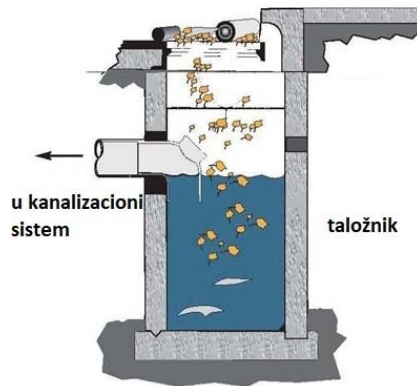
Kontrola kvaliteta otekle vode postiže se primenom različitih metoda. U zavisnosti od kriterijuma, neke metode prečišćavanja treba koristiti prije drugih, a metode se mogu kombinovati na više načina. Sledeća tabela daje pregled preporučenih tehnika prečišćavanja obzirom na vrstu zagađivača koji se može pojaviti u atmosferkom oticaju.

Najčešće korišćene metode koje se mogu praktično primjenjivati i u našoj praksi prikazane su u nastavku.

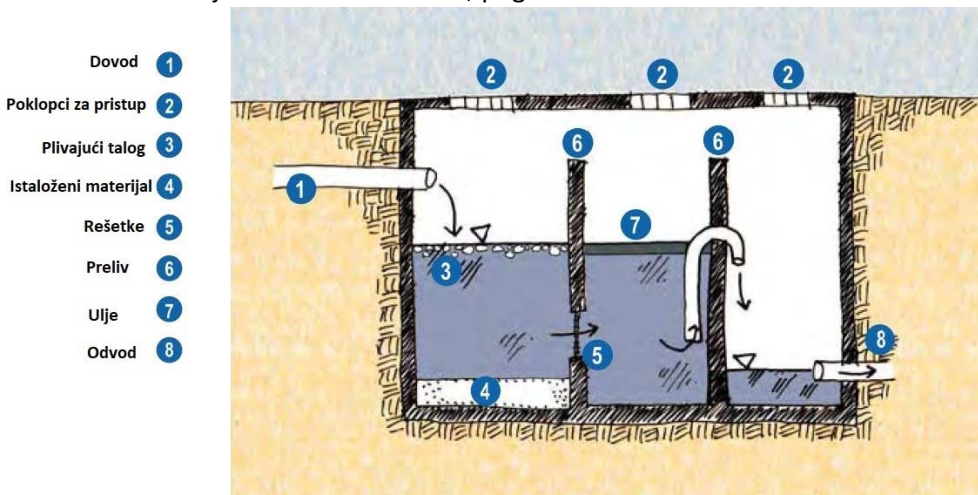
1. **Taloženje** je jedan od primarnih načina prečišćavanja kišnih voda. Najveći dio zagađenja u oticaju je vezan za suspendovane čestice, te se njihovim taloženjem značajno može smanjiti količina zagađujućih materija u oticaju.



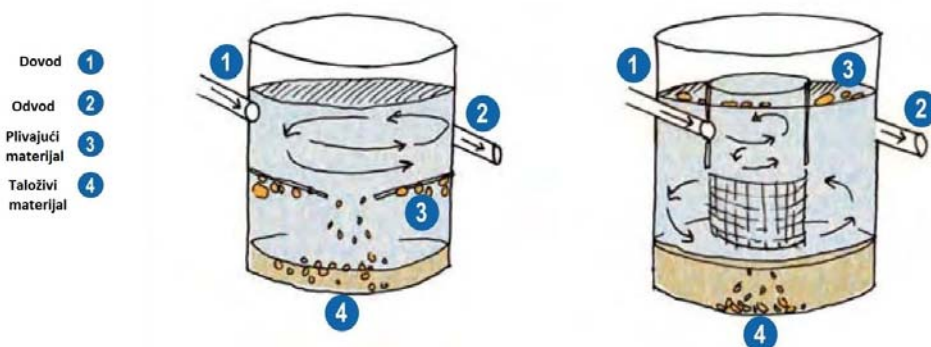
Slika 4.2 – Sedimenti bazen za prihvat atmosferskog oticaja – Zadržava najkrupnije sedimente, primjenjuje se za slivove veće od 5 ha, zagađenja se zadržavaju u sedimentu i mogu se ponovo pokrenuti.



Slika 4.3 – Taložnik u oknu atmosferske kanalizacije - koristi se na saobraćajnicama, za manje slivove od 1 – 2 ha , pogodno za urbane sredine.

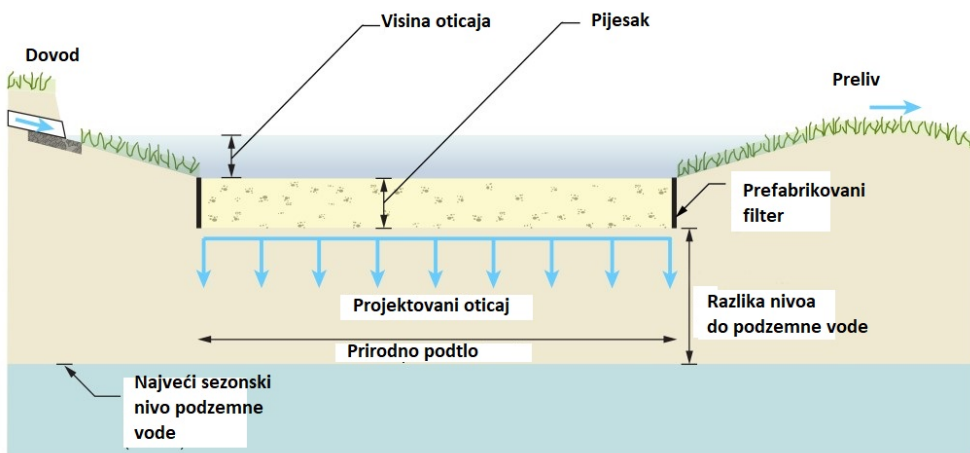


Slika 4.4 – Separator ulja i masti, - pogodan za tretman jako opterećenih atmosferskih voda zagađenjem sa saobraćajnih površina ili prostora sa kojih može doći do izlivanja naftnih derivata. Primenjuje se za manje slivove do 2,5 ha.

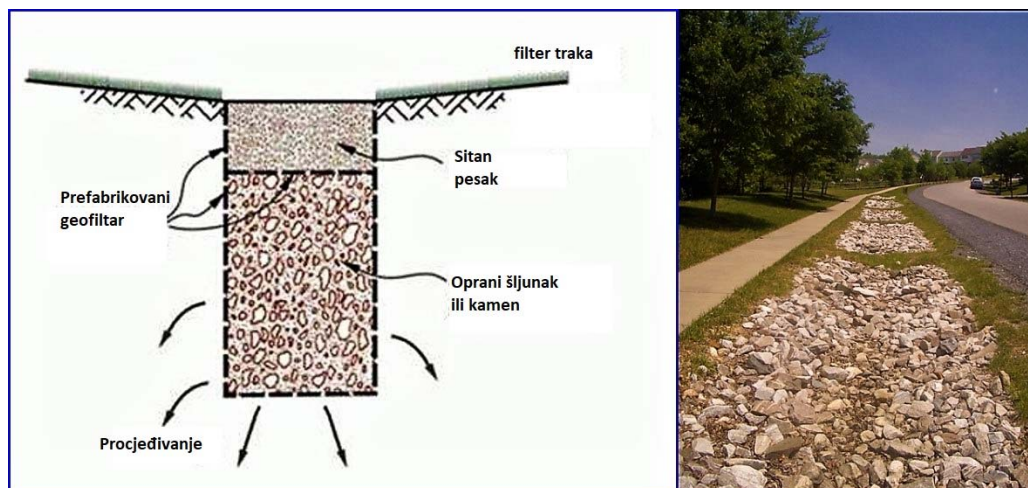


Slika 4.5 – Šema funkcionisanja hidrodinamičkog separatora (SFPUC, 2009).

2. **Filtracija i biofiltracija** kroz zemljište, agregat ili vještačke materijale (geotekstil) uklanja zagađene materije filtracijom i u filterskom materijalu se mogu odigrati biohemijski procesi i ukloniti organske materije i nutrijenti

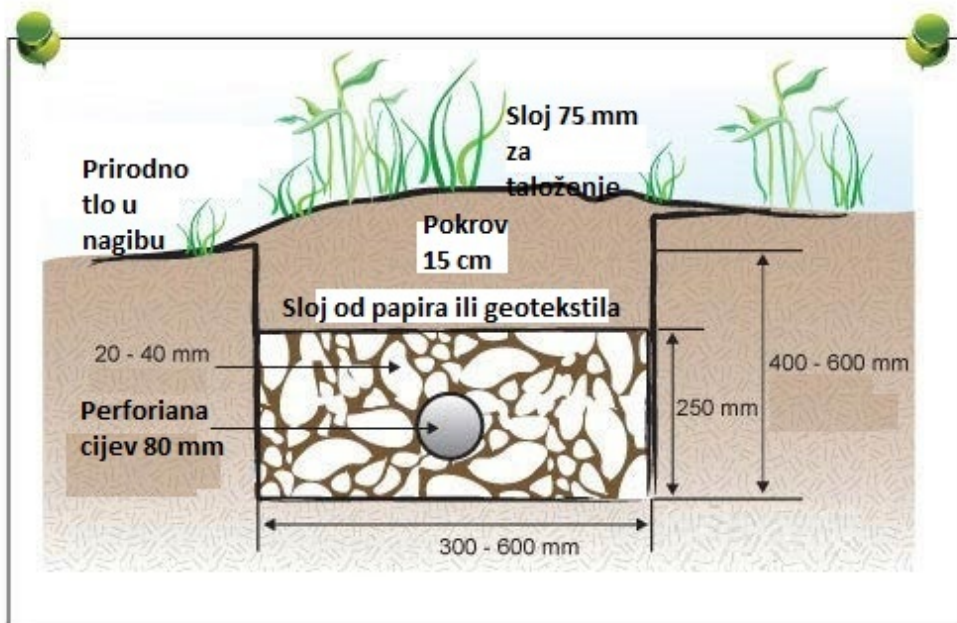


Slika 4.6 – Infiltracioni bazen, pogodno za uklanjanje nekih rastvorenih zagađivača, za područja sa umerenom propustljivošću, za gradske prostore površine <5 ha



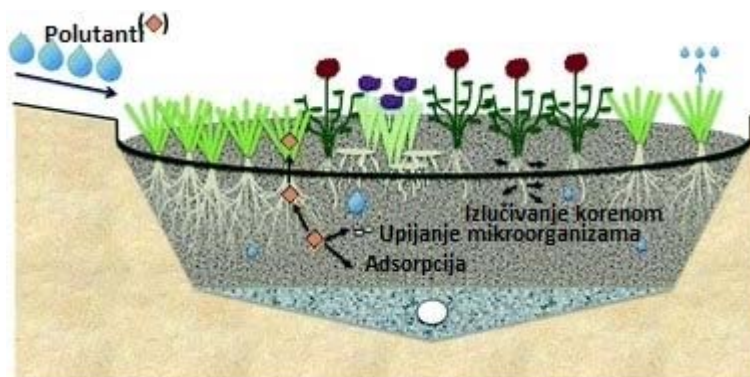
Slika 4.7 – Infiltracija kroz pijesak i šljunak – pogodno za područja sa umerenom propustljivošću, uklanja sitnije čestice i neke rastvorene zagađivače. Primjenjuje se u gradskim sredinama, pogodno i za prijem voda sa krovova za površine manje od 2 ha.

3. **Absorpcija** predstavlja vezivanje zagađenja za površinu čvrstih čestica. Materijal kroz koji protiče zagađena voda vremenom je zasićen nečistoćom pa može doći do prekida procesa adsorpcije. Postoje različiti mehanizmi sorpcije (Woods-Ballard i sr. 2007).



Slika 4.8 – Rov za apsorpciju – pogodan za atmosferske vode sa povećanim sadržajem organskog opterećenja, za slivne površine manje od 2 ha.

4. **Biodegradacija** predstavlja biološki proces, gdje se mikrobiološke zajednice formiraju u okviru zemljišne sredine i biodegradabilne organske materije (ulja, masti, i dr.) i koriste kiseonik i nutrijenata iz voda koja se infiltrira.

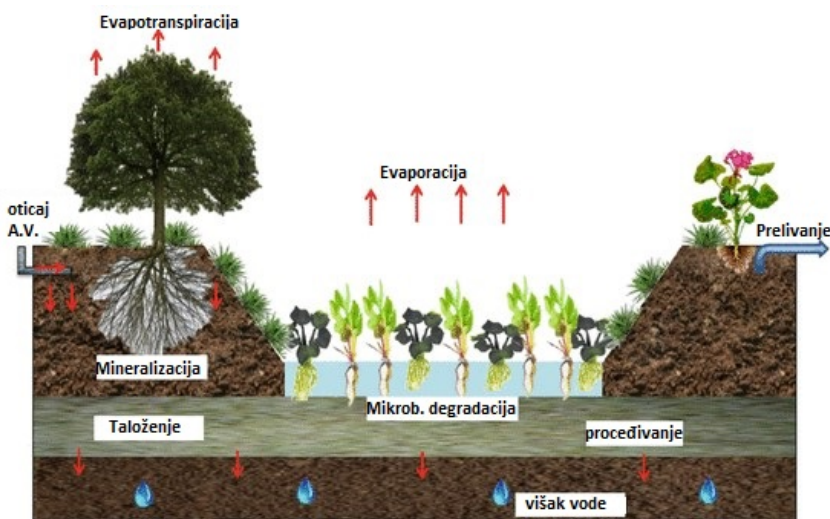


Slika 4.9 – Šema procesa biodegradacije materija koje dopjevaju sa atmosferskom vodom

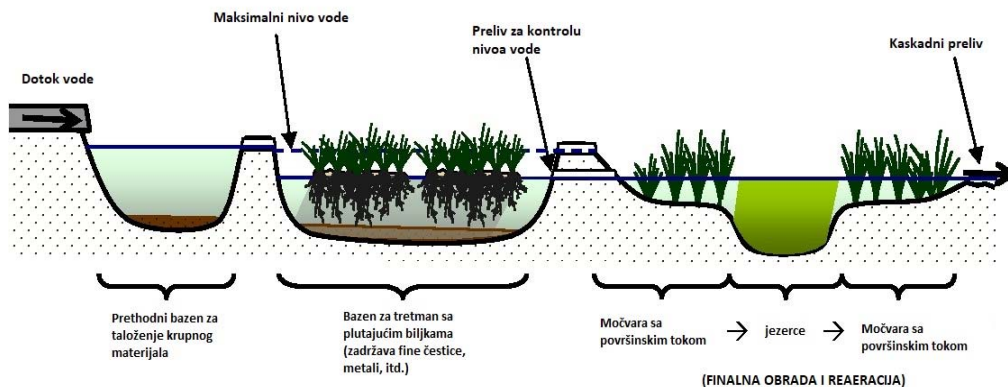


Slika 4.10 – Šema bioretencione uvale sa osnovnim elementima sistema – obavlja fizički, hemijski i biološki tretman atmosfere vode, pogodan za urbane prostore, za slivove veličine do 5 ha.

5. **Upijanje biljaka** - biljke u jezerima i barama koriste određena jedinjenja iz vode u procesu fotosinteze. Ovim putem se izvajaju iz vode jedinjenja fosfora i azota i ugrađuju u biomasu, uz upijanje i drugih materija (sulfati, teški metali). Spada u tercijarni stepen tretmana opterećenih atmosferskih voda.

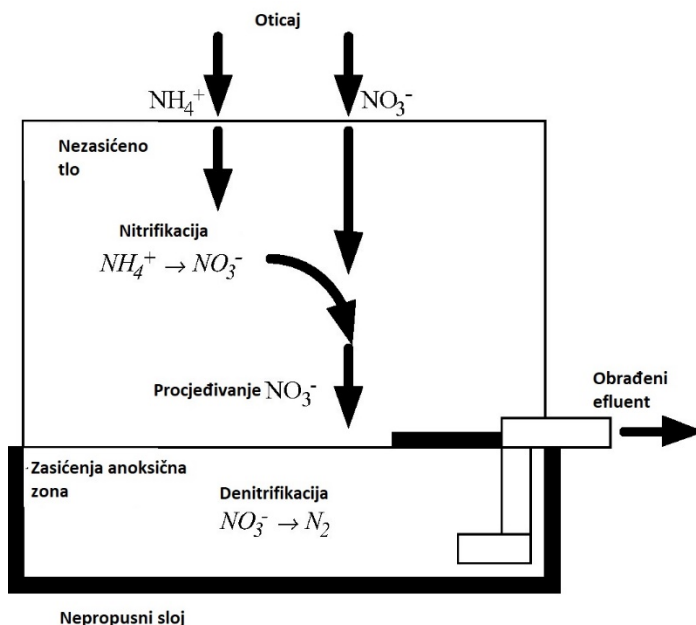


Slika 4.11 – Šema prečišćavanja atmosfere vode u procesu prečišćavanja biljkama



Slika 4.12 – Šema sistema vještačkih močvara koji uključuje više faza obrade ispuštenih atmosferskih voda u nju. Zadržavaju sitnije taloge i hranjive sastojke, imaju visoku efikasnost zadržavanja za različite vrijednosti dotoka, moguća valorizacija kao novi tip staništa raznih biljnih i životinjskih vrsta, pomažu zadržavanje poplavnog talasa. Opšte primenljivo za slivove od 5–10 ha

6. **Nitrifikacija** je proces gdje amonijak i amonijum joni biokemijskom oksidacijom uz prisustvo određenih bakterija formiraju nitrate.

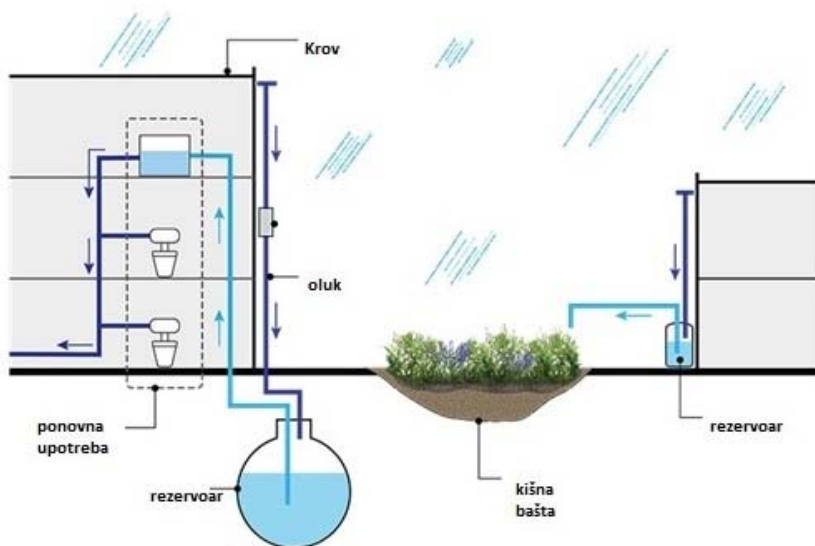


Slika 4.13 – Šema modifikovane biodegradacije za proces denitrifikacije azota

U svijetu je sve više prisutan, može se reći inovativan pristup upravljanja atmosferskim vodama, koji se oslanja na principe projektovanja koji će biti što bliži prirodnim uslovima oticanja. Ovaj pristup polazi od principa ravnomjerne raspodjele atmosferskog oticaja njegovim usmjeravanjem na decentralizovane mikro sisteme



odvodnje, koristeći se tehnikama koje predviđaju zadržavanje vode u retenzijama, infiltraciju u podzemlje, evaporaciju, i filtraciju i drugo. Ovim pristupom se želi postići što bolja i brža integracija atmosferskih voda u okolni prirodni prostor u urbanoj sredini a i šire. Kao osnov ovo pristupa tretiraju se zelene površine koje čine neizostavni dio sistema odvodnje i koje doprinose smanjenju površinskog oticaja atmosferskih voda povećanjem infiltracije i usporavanjem vršnog dotoka u atmosferske kanale ili prijemnike. Pored efekta na količine oticaja atmosferskih voda zelene površine postižu i značajan efekt prečišćavanja tih voda. Neka istraživanja pokazuju da se na njima mogu postići sledeći efekti: suspendovane čestice: 97%, fosfor: 35-65 %, azot: 33-66 %, bakar: 36-93%, olovo: 24-99%, cink: 1-99%, ulja i masti: 99%, bakterije: 70%.



Slika 4.14 – Sistem za prikupljanje kišnice sa krova, koja se čisti pomoću biofiltracije i skladišti za navodnjavanje zelenila ili vrta, smanjuje upotrebu pijaće vode, smanjuje količine atmosferske vode koje odlaze u sistem kanalizacije, pogodno za lokacije na kojima infiltracija vode nije pogodna opcija

Zelene površine se mogu smjestiti u pojasu saobraćajnica i parkirališta, 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 na različitim drugim nivoima slobodnog prostora.

Među stanovništvom bi trebalo promovisati ideju o korišćenju atmosferskih voda za potrebe domaćinstva (ispiranje nužnika, zalivanje travnjaka i vrtova). Na području, gdje god je to moguće, trebalo bi potencirati rješenja odvodnje kišnice sa krovova i dvorišta, bez odvoda ili sa redukovanim odvodom izvan parcele. Time bi se smanjilo opterećenje sistema atmosferske kanalizacije i popravio i njihov kvalitet. Tehnike i tehnologije koje se u tu svrhu mogu primijeniti najbolje se primjenjuju u naseljima sa

individualnim gradnjom i dvorištima. Neka od njih su kišni vrtovi, podzemne retenzije, zeleni zidovi, zeleni krovovi i dr. Bilo bi vrlo dobro kad bi njihova primjena tehnika postala obavezna kod urbanističkog planiranja i izgradnje novih naselja.

## 4.5 Zaključak

Ubrzana i nekontrolisana urbanizacija naselja nameće i potrebu kontrole količine i kvaliteta atmosferskih voda. Kontrola kvaliteta atmosferskih voda može da se postigne pomoću različitih metoda koje manje ili više efikasno rešavaju taj problem. Količina zagađenja koje se spira sa kišnim oticajem zavisi od karakteristike površina, postojanje zagađivača (saobraćaj, industrija, i dr.) kao i od brojnih hidroloških i meteoroloških faktora. U zavisnosti od kriterijuma, neke metode prečišćavanja treba koristiti prije drugih, a metode se mogu kombinovati na više načina. Velika prostorna i vremenska promjenljivost svih parametara površinskog oticaja, kao i činjenica da zagađenje koje se spira oticajem potiče iz rasutih izvora zagađenja, predstavlja teškoću u uspostavljanju jednostavnih pravila i zahtjeva u pogledu kontrole i smanjenja zagađenja koje se pojavljuje sa atmosferskim vodama.

## 4.6 Reference

- CM (2009). City of Melbourne. WSUD Guidelines. Applying the Model WSUD Guidelines. [Online] City of Melbourne. Available at: [http://www.melbourne.vic.gov.au/Sustainability/SavingWater/Documents/WSUD\\_Guidelines.PDF](http://www.melbourne.vic.gov.au/Sustainability/SavingWater/Documents/WSUD_Guidelines.PDF)
- CSQA (2003). Stormwater Best Management Practice Handbook. [Online] California Stormwater Quality Association. Available at: <http://www.cabmphandbooks.com/>
- Despotović J., Kanalisanje kišnih voda, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2009.
- Đukić A., Ljubisavljević D. (2011) Upravljanje kvalitetom kišnog oticaja – mogućnosti i ograničenja, Zbornik radova sa konferencije Voda 2011, SDZV, Beograd, 2011.
- EC (2012). Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing. [Online] European Commission. Available at: [http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_en.pdf)
- Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J., Nielsen A. (2010) Urban and Highway Stormwater Pollution-concepts and Engineering. CRC Press. Taylor&Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- NSWEPA (1997). Managing Urban Stormwater: Treatment techniques. [Online] New South Wales Environment Protection Authority. Available at: <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/stormwater/usp/treattech.pdf>
- USEPA (2008). Managing wet weather with green infrastructure. Action Strategy 2008, United States Environmental Protection Agency
- USEPA (2013b). SUSTAIN. System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration Model. United States Environmental Protection Agency., 20 May, [Online]. Available: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/sustain/>.



## 5 TRETMAN OTPADNIH VODA I PONOVRNO KORIŠĆENJE TRETIRANE VODE

Srđan Kovačević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,  
Maja Petrović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,  
Dejan Ubavin, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,  
Nemanja Stanisavljević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,  
Igor Peško, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,

### Apstrakt

Primarni cilj tretmana otpadnih voda je uklanjanje organske materije i drugih zagađujućih supstanci iz otpadnih voda, bez ugrožavanja zdravlja ljudi i zagađenja životne sredine. Tretirana otpadna voda predstavlja alternativni izvor vode, posebno u oblastima gde je voda u nestašici. Tretirana otpadna voda može da nađe primenu u industriji, kao i za vodosnabdevanje, čime se nadomešta deficit vode. Glavni cilj upravljanja vodama u oblastima koja nemaju dovoljno resursa vode je postizanje balansa između potreba i dostupnih količina vode. Princip cirkularne ekonomije nudi novi način sagledavanja odnosa između tržišta, korisnika i prirodnih resursa, promovišući održivu i efikasnu politiku i praksu upravljanja vodama. U radu je prikazan pregled tretmana otpadnih voda kao i iskustva i trenutno stanje ponovnog korišćenja tretirane otpadne vode.

### 5.1 Uvod

Postoje dve osnovna cilja prečišćavanje otpadnih voda. Prvi je sanacija najvećeg broja naselja i posledična potreba za bezbednim ispuštanjem prečišćenih otpadnih voda u životnu sredinu, u skladu sa propisima. U smislu zaštite životne sredine, u većini sušnih i poluaridnih područja, voda u rekama bi mogla biti i sama prečišćena, posebno u donjem delu rečnog sliva.

Druga svrha prečišćavanja otpadnih voda je ponovna upotreba otpadnih voda nakon prečišćavanja, što predstavlja relativno nov koncept u mnogim zemljama, iako se empirijski praktikuje duže od 5000 godina i "de facto" predstavlja prirodni fenomen u rečnim slivovima širom sveta [1,2].

Ukupna zapremina kućnih otpadnih voda koja se svakodnevno generiše na svetskom nivou procenjuje se na između 680 i 960 miliona m<sup>3</sup> [1], dok se mali procenat prečišćava, a još manji procenat podleže ponovnoj upotrebi.

U okviru Globalnog izveštaja o vodama (GIV) Ujedinjenih nacija, iz 2017. godine, zaključeno je da je ponovna upotreba otpadnih voda još uvek neiskorišćeni izvor vode koji bi pomogao u prevazilaženju problema nedostatka i zagađenosti voda.

Svetski Ekonomski Forum (SEF) je vodnu krizu (dostupnost / nedostatak / upravljanje) naveo kao globalni rizik sa najviše potencijalno negativnog uticaja. Sprovedenje melioracije i ponovne upotrebe vode je ključni faktor za ostvarenje održivog upravljanja vodnim resursima. Ponovna upotreba otpadnih voda može zadovoljiti različite potrebe: navodnjavanje, industrija, proizvodnja vode za piće i ljudska upotreba.

Ponovna upotrebe prečišćenih / prerađenih otpadnih voda datira iz 20. veka, nakon primene pročišćavanja otpadnih voda u velikom obimu, kao i nakon povećanja broja stanovništva u gradovima. Trenutno su velike količine prečišćenih otpadnih voda dostupne za ponovnu upotrebu, a očekuje se da će se količine povećavati i u budućnosti [3].

Brzo narušavanje kvaliteta i smanjenje količine vode postalo je globalno pitanje sa porastom ljudske populacije, proširenjem industrijskih i poljoprivrednih aktivnosti, kao i usled klimatskih promena koje prete da prouzrokuju velike promene hidrološkog ciklusa [4]. Nema sumnje da će ponovno korišćenje otpadnih voda biti važna komponenta održivog upravljanja vodnim resursima [5].

Tokom 2015. godine, količina ponovno upotrebljene vode u Evropskoj uniji (EU) procenjena je na 1,100 miliona m<sup>3</sup> / god, što čini oko 2,4% prečišćenih gradskih otpadnih voda i <0,5% godišnjeg utroška sveže vode u EU [6].

Ponovna upotreba vode u Evropi i na Mediteranu [7], jasno potvrđuje da otpadne vode, postoje u praktično svim izvorštima vode. Kao rezultat toga, uspostavljanje planiranih i kontrolisanih sistema ponovne upotrebe otpadne vode je neophodno kako bi se osigurala bezbedna upotreba reciklirane vode. Smatra se da ponovna upotreba vode za navodnjavanje ili u industrijske svrhe ima manji uticaj na životnu sredinu i niže troškove, ali se koristi u ograničenom obimu u Evropi.

## 5.2 Procesi tretmana otpadne vode

Sistemi za prečišćavanje otpadnih voda imaju tendenciju imitiranja bioloških, fizičkih i hemijskih prirodnih procesa. Razlike između objekata za tretman otpadnih voda uslovljene su vrstama korišćenih tehnologija, intenzitetom primene, kao i mogućim kombinacijama tehnologija.

Procesi se mogu klasifikovati i prema tipu mikrobiološke kulture: suspendovani ili fiksni. Fiksni procesi i tehnologije (kultura raste preko čvrstog materijala) obično su efikasniji od suspendovanih procesa. Suspendovane tehnologije zahtevaju više energije za održavanje kontakta između mikroorganizama i hranljivih materija. Ekstenzivni sistemi koriste biohemijske reakcije sa relativno niskom brzinom, a efikasnost se obično poboljšava povećanjem hidrauličkog vremena zadržavanja i

zauzimanjem velikih površina. Suprotno tome, intenzivni sistemi dostižu velike brzine biohemijske reakcije preferirajući reakcije sa dodatkom kiseonika, reaktivno ili uz primenu mešanja (mehaničko ili vazduh / kiseonik pod pritiskom), a jedna od glavnih prednosti intenzivnih sistema je relativno dobar odnos efikasnost / zapremina.

U radu su razmatrane tri osnovne vrste tretmana otpadnih voda:

1. Sekundarni tretmani posle kojih se može dobiti tretirana voda pogodna za ponovnu upotrebu;
2. Tercijarni tretmani bez dezinfekcije, sa krajnjim proizvodom koji omogućuju ponovnu upotrebu;
3. Potpuni tercijarni tretmani, uključujući pred-tretman pre dezinfekcije i samu dezinfekciju.

U svakom slučaju ponovna upotreba tretirane otpadne vode mora slediti standarde ili preporuke na različitim administrativnim nivoima, ali se u poslednje vreme pojavljuju i novi preventivni pristupi zasnovani na proceni rizika.

### 5.2.1 Konvencionalni sekundarni tretman

Konvencionalna postrojenja sa aktivnim muljem (KPAM) našla su široku primenu i predstavljaju „standardnu tehnologiju“ za obradu komunalnih otpadnih voda. KPAM sistemi se sastoje od prethodnog tretmana, primarnog taloženja, reaktora sa aktivnim muljem i sekundarnog taloženja sa muljem za recirkulaciju. Za tretiranje viška mulja koristi se sistem koji uključuje kombinaciju procesa zgušnjavanja, vrenja i uklanjanja vode. KPAM su dizajnirana tako da uklanjaju uglavnom organske materije i do izvesne mere hranjive materije (azot i fosfor). KPAM prati postupak dezinfekcije kako bi se sprovela inaktivacija patogena. Performanse KPAM variraju u zavisnosti od organskog opterećenja, u rasponu od 85 do 97 % u smislu efikasnosti uklanjanja petodnevne biološke potrošnje kiseonika (BPK<sub>5</sub>). Ostali sekundarni biološki procesi visoke brzine uključuju filtere ili biofiltere, oksidacione jarke i rotirajuće biološke kontaktore [8, 9].

Razvijeni su i inovativni biološki procesi koji uključuju membranski biološki reaktor (MBR), biološke aerisane filtere (BAF), biološki reaktor sa pokretnim slojem (MBBR) i reaktor granuliranog mulja. Navedene tehnologije se već primenjuju u sistemima za prečišćavanje otpadnih voda u celini kako bi zamenili KPAM, i omogućavaju smanjenje količine mulja, istovremeno produkujući visok kvalitet vode. Na kraju, inženjerski ali i prirodni postupci obrade otpadnih voda kao što su lagune i stabilizaciona jezera mogu se koristiti kao alternativa KPAM posebno u slučaju malih zajednica [10].

Tabela 5.1 – Uobičajene tehnologije za napredni sekundarni tretman otpadnih voda pre dezinfekcije [3]

TIP SISTEMA	TEHNOLOGIJA	KOMENTAR
FIZIČKI	Naknadno taloženje	Sarevanje, lagune, taložnici...

	Koagulacija-flokulacija	Treba dodati supstance koje reaguju. Potrebno je dobro mešanje.
	Filtracija	Membranske tehnologije (nano i ultrafiltracija, reversna osmoza), ekstenzivni sistemi sa filterima (pesak, organska materija, ugallj, višeslojni filtri ...)
	Desalinizacija	Obično su membranske tehnologije (reversna osmoza, povratna elektrodijaliza)
HEMIJSKI (BEZ DEZINFEKCIJE)	Koagulacija-flokulacija	Treba dodati supstance koje reaguju. Potrebno je dobro mešanje.
	Tehnologije sa fiksiranim biofilmom (e.g. lagune, infiltraciona jezera)	Transformacija hranljivih sastojaka (uglavnom N oblika), hemikalija i organskih materija (u zavisnosti od redoks stanja)
MIKROBIOLOŠKI	Lagune za dozrevanje	Taloženje, alge rastu ubrzanim tempom.
	Ekstenzivni sistemi (sem laguna)	Površinska i dubinska filtracija u sistemima sa peskom, zemljom, supstratom. Aktivna uloga fiksnih biofilmova. Transformacija N oblika u zavisnosti od aerobnih, anoksičnih ili anaerobnih uslova
KOMBINOVANI	MBR (Membransko biološki reaktori)	Kombinuje klasični i aktivirani talog (biološki reaktor) i u istom rezervoaru membransku tehnologiju za odvajanje aktivnog taloga mulja)

Izbor tehnologije koja će se koristiti u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda zavisi od velikog broja okolnosti. Visoko-tehnološki objekti adekvatniji su za velike gradove, a sistemi zasnovani na prirodnim tehnološkim postupcima za sela i male gradove. Sistem podrške pri odlučivanju (SPPO) razmatra nekoliko aspekata koji određuju na kom području bi trebalo izgraditi postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda i koju tehnologiju bi trebalo koristiti (Tabela 5.1). Uzimajući u obzir sve relevantne i dostupne informacije, SPPO predlaže nekoliko tehnologija, na osnovu znanja stručnjaka i prethodnog iskustva.

Program / model se poboljšava sa novim informacijama koje se dobijaju tokom vremena i sa rezultatima koji se dobijaju izgradnjom novih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Postupci prečišćavanja generišu različite količine nus-produkata u zavisnosti od početne koncentracije više komponenti prisutnih u otpadnim vodama. Deo nus-produkata koji može da potiče iz procesa koagulacije / flokulacije, naziva se hemijskim muljem ili se može formirati primenom mikrobioloških tehnologija tretiranja (aktivni mulj i slično). Obe vrste mulja odvajaju se od vode upotrebom filtracije i odvajanjem taloga i sadrže organsku materiju različitog porekla (gradska otpadna voda, otpadna voda iz poljoprivrede, mešana otpadna voda) zagađujuće supstance, kao i reagense koji se koriste u procesu tretmana.

Tabela 5.2 – Uslovi koje treba uzeti u obzir u sistemu podrške pri odlučivanju (SPPO) prilikom prečišćavanja otpadnih voda [11].

Uslovi koje treba uzeti u obzir /komentari i objašnjenja		Remarks
Karakteristike otpadnih voda	Zavisí od porekla: urbane, industrijske, poljoprivredne, mešavine.	Opterećenje otpadne vode / varijacije u količini zagađujućih supstanci utiču na konačnu vrstu tretmana koji će se primeniti.
Količina vode koja se tretira	Zavisí od komunalne i industrijske upotrebe vode i ekonomije društva.	Obično se kvantifikuje kao ekvivalentni stanovnik (npr.). Protok može biti, nedeljni, mesečni i godišnji obrazac u vezi sa aktivnostima stanovništva i klimom.
Važeća pravila i propisi	Evropska direktiva za otpadne vode, nacionalna i lokalna pravila i uredbe. Ponovna upotreba tretirane otpadne vode nije definisana u EU, ali postoji u zakonu nekih zemalja.	Definiše konačni kvalitet tretirane vode (koja se treba zbrinuti) i ponovo proizvedene vode (koja se može ponovo koristiti).
Dostupna tehnologija	Zavisí od tehnološkog i ekonomskog kapaciteta. Primena najbolje raspoložive tehnologije (BAT).	Pogledi korišćenja su konzervativni u pogledu tehnologije.
Integracija sa okolinom	Zavisí od tehnologije, specifične lokacije objekta i upravljanja objektom.	Prirodni sistemi su pogodniji za integraciju sa okolinom. Osjetljivost korisnika / lokalna vlast.
Ekonomija	Kapacitet za adekvatan rad i održavanje sistema. Ograničenje finansijske sposobnosti / određuje izbor tehnologije.	Teoretski svi troškovi trebaju biti uključeni u cenu vode. Ponekad je takav pristup nemoguć.
Socijalno prihvatanje	Zavisí od lokacije i karakteristika objekta i nivoa obrazovanja zajednice ljudi	Pod uticajem političkih zahteva i zahteva krajnjeg tržišta.
Centralizacija/decentralizacija	Nekoliko gradova deli postrojenje za tretman otpadnih voda / svaki grad ima svoje postrojenje.	Može da zavisi od inženjera koji projektuju i vremena za izgradnju.
Kvalitet efluenta	Zavisí od smernica za obradu i ponovnu upotrebu otpadnih voda, koje mogu definisati zakonski prihvaćene tehnologije i aktivnosti stanovništva.	Potrebno je izvršiti veliki broj analiza, ali SSP i HACCP pristupi mogu smanjiti broj analiza.
Upravljanje nutrijentima	Ako se voda treba ispustiti u osetljiva područja ili koristiti za ponovno punjenje u procesu tretmana, može biti potrebno smanjenje sadržaja nutrijenata.	Intenzivni sistemi za smanjenje koncentracije nutrijenata mogu biti skupi u pogledu potrošnje energije.
Mogućnosti za ponovnu upotrebu	Potrebni krajnji kvalitet utvrđen je zakonodavstvom. Količina raspoloživih resursa (osim reciklirane vode) određuje uspešnost ponovne upotrebe.	Postoji nekoliko mogućih upotreba - poljoprivreda, industrija i infiltracija u podzemne vode su najčešće.



Recikliranje: industrije, velike građevine, druge strukture	Označava namensku upotrebu (npr. u industriji) sa definisanim potrebnim kvalitetom za svaku svrhu korišćenja.	Može biti sukcesivna upotreba unutar objekta ili van procesa: hlađenje, navodnjavanje, punjenje bojlera.
Dostupna površina	Tehnologija prilagođena okolini objekta. Tehnologije koje zahtevaju velike površine objekata se ne mogu primeniti tamo gde je zemljište skupo.	Lokacija izgradnje objekta utiče na izbor tretmana (npr. urbanizovana područja gde je objekat unutar zgrade).

## 5.2.2 Napredni tercijarni procesi tretmana

Za potrebe ponovne upotrebe otpadnih voda dizajnirani su napredni postupci za uklanjanje zagađujućih supstanci u kojima su i dalje prisutni delovi primarnih i sekundarnih tretmana [12-17]. Međutim, kada je potrebno da se dobije tretirana otpadna voda visokog kvaliteta, neophodno je poboljšati primarni i sekundarni tretman (npr. dodavanjem koagulanta ili flokulanta, povećati vreme zadržavanja čvrstih materija i uklanjanje hranljivih materija). Na osnovu brojnih dostupnih tehnologija za tercijarno prečišćavanje otpadnih voda, mogući su i različiti postupci, čija kombinacija garantuje ispunjavanje visokih standarda kvaliteta čak i za direktnu upotrebu otpadnih voda za piće. Najčešći postupci tercijarnog tretmana prikazani su u Tabeli 5.3.

Uklanjanje nutrijenata može se ostvariti primenom bioloških postupaka tretmana (nitrifikacija i denitrifikacija). Za uklanjanje biološkog fosfora potreban je anaerobni reaktor kao prvi biološki reaktor u sistemu tretmana, što dovodi do porasta broja organizama koji vezuju fosfor. Hemijsko uklanjanje fosfora temelji se na procesu taloženja upotrebom koagulanata na bazi aluminijuma ili gvožđa. Primenom ovog postupka može se postići visoko uklanjanje (95%), ali rezultira većom proizvodnjom mulja i povezanim troškovima odlaganja mulja [9]. Ukupna suspendovana materija (USM) se može efikasno ukloniti granuliranom podlogom (često filtriranjem kroz pesak) ili koagulacijom (obično uključuje flokulaciju, taloženje i peščane filtere).

Procesi na bazi membrana (mirkofiltracija / ultrafiltracija, MF / UF, MBR) su takođe vrlo efikasni (nanofiltracija / reverzna osmoza (NF / RO) koji su selektivniji od MF / UF i koriste se za tretiranje vode sa veoma niskim nivoom zamućenja). Među naprednim procesima oksidacije (NPO), ozonizacija je najefikasnija, dok procesi na bazi UV-a nisu efikasni za tretiranje vode sa visokim sadržajem USM. Jedini postupak koji efikasno uklanja USM je NF / RO [8].

Patogeni organizmi se u određenoj meri mogu ukloniti primenom nekoliko procesa, ali za ponovnu upotrebu otpadne vode nakon tretmana neophodna je upotreba fizičko-hemijskih procesa (hlorisanje, hloramiranje, ozonizacija, NPO), kao i membranski procesi pri čemu prirodni sistem (rečna obalska filtracija, lagune i

močvare) mogu igrati važnu ulogu [11, 18, 19]. Takođe, metali se mogu delimično ukloniti primenom nekoliko procesa, ali najefikasnije uklanjanje se postiže koagulacijom / taloženjem ili NF / RO [8, 9]. Uklanjanje emergentnih zagađujućih supstanci (EZS) je veoma izazovno zbog njihove polarnosti i pojave u tragovima. Mnogi procesi tretmana otpadnih voda imaju ograničenu mogućnost uklanjanja EZS, dok su drugi procesi, poput granuliranog aktivnog uglja (GAU) ili adsorpcije aktivnim ugljem (AAU), NPO i RO veoma efikasni [13]. Pored toga, drugi postupci tretmana koncentrišu ciljnu supstancu u rezidual, kao što je mulj, ili mulj od pranja filtera GAU / AAU, koncentrat / slani rastvor. Kao rezultat toga, izbor postupka tretmana može uticati na troškove tretmana [13], a proizvedena voda može da sadrži toksične nus-prodakte [20].

### 5.3 Napredni tretmani otpadnih voda i ponovna upotreba

Realna upotreba reciklirane otpadne vode se takođe oslanja na druge vrste naprednih tehnika koje nisu povezane sa tehnološkim pristupima. Osnovne vrste ponovno upotrebljene tretirane otpadne vode sa osnovnim karakteristikama prikazane su u tabeli 5.3. Tabela 5.4. predstavlja prikaz namene tretirane otpadne vode i glavne probleme.

U južnoj Evropi voda se pretežno koristi za navodnjavanje u poljoprivredi i za potrebe urbane i životne sredine, dok se u severnoj Evropi voda ponovo koristi uglavnom za gradsku, ekološku ili industrijsku upotrebu [21].

Važan deo novih istraživačkih oblasti je uključivanje sistema procene i upravljanja rizikom, kao što su analiza opasnosti i kritične kontrolne tačke (eng. *Hazard Analysis Critical Control Point*, HACCP) i planiranje sanitarne bezbednosti (eng. *Sanitation Safety Planning*, SSP). Ostali novi pristupi ponovnoj upotrebi otpadnih voda uključuju [3]:

- Vezu voda-energija prilikom prečišćavanja otpadnih voda, a posebno za postupke ponovne upotrebe;
- Vezu trećeg nivoa voda-energija-hrana, pošto se tretirana otpadna voda najčešće koristi u poljoprivredi za navodnjavanje;
- Upravljanje hranljivim supstancama u tretiranoj otpadnoj vodi koja se koristi za navodnjavanje, umanjujući gubitak energije i pojavu problema tokom upravljanja hranljivim materijama;
- Varijacije klasičnog pristupa tretmana, kao što su promene dizajna laguna (kameni filtri, smanjenje neiskorišćenih zona), kombinacija tehnika laguna (vertikalno uz dodatno horizontalno u nizu) sa peskovitim filterima (infiltracija-perkolacija) i promene distribucije vode u reaktorima (prema gore);
- Promene u postupcima dezinfekcije.

Kako bi se kontrolisalo navodnjavanje i utvrdilo da li tretirana otpadna voda odgovara zahtevima kvaliteta za potrebe ponovnog korišćenja sa prihvatljivim rizikom neophodno je udružiti nekoliko pristupa. Jedan od glavnih problema u pogledu kontrole kvaliteta je dostupnost podataka u realnom vremenu: najčešće rezultati laboratorijskih ispitivanja stižu do postrojenja nekoliko dana nakon uzimanja uzorka, osim u slučaju podataka dobijenih „*in situ*“. To znači da su analitički podaci uglavnom korisni za utvrđivanje istorije performansi uređaja za prečišćavanje, umesto da adekvatno i blagovremeno služe za potrebe upravljanja performansama postrojenja u realnom vremenu.

Tabela 5.3 – Glavne vrste ponovno upotrebljene tretirane otpadne vode, karakteristike, problemi [3]

NAMENA	PODTIP	DODATNA DEFINICIJA	TIP PRIMENE	POD TIP	KOMENTARI
Navodnjavanje	Poljoprivreda	Tip kulture takođe može definisati način upotrebe (npr. drveće, zelena salata, stočna hrana)	Lokalno navodnjavanje	Kap po kap, pod zemljom, perforirane cevi	Problemi povezani sa: -Salinitet vode za navodnjavanje; -Prskalice: emisija aerosola - Toksičnost nepoželjnih sastojaka
				Kap po kap na površini, perforirane cevi	
			Površinsko navodnjavanje	Plavljenje, brazde Prskalice	reciklirane vode i nakupljanje toksika u matricama životne sredine -Propusnost tla / podzemlja, - Oticaj
	Urbano (ne za piće)	Ne zahteva se kvalitet vode za piće	Parkovi i vrtovi (javni i privatni), čišćenje ulica, pranje automobila i sl.		-Uobičajeno je prisustvo grupa rizika, -Očekuje se kontakt sa ljudima svih uzrasta i u svim uslovima (bez izuzetka)
	Rekreacija		Golf tereni, bazeni, parkovi i dr.	Uglavnom prskalice	Kontakt sa krajnjim korisnikom (sunčanje, igranje dece, aerosoli) Prisutno osoblje za navodnjavanje „Edukacija“ korisnika
		Sportski tereni	Kontakt sa kožom	- Rizik zavisi od kontakta sa krajnjim	

					korisnicima i vrste sporta -Osjetljiva je veštačka trava
Uređenje prostora	Navodnjavanje zelenih površina	Van naselja	Sve vrste sistema za navodnjavanje	N.P.	Može da uključuje gašenje požara - Održavanje groblja, autoputeva
	Vodna tela u urbanim sredinama	Razgledanje, veslanje	N.P.	N.P.	--Mogu nastati urbani ekosistemi (vodozemci, ribe, ptice, kućni ljubimci)
Obnavljanje vodnih tela	Reke(potoci)	Tekuće vode	Ispuštanje	N.P.	Razblaživanje / obrnuto razblaživanje (više vode u okolini od ponovo upotrebijene) -Može se koristiti za gradsku drenažu
	Stajaće vode	Lagune, jezera i močvare	Direktno ili indirektno ispuštanje	N.P.	Često se koristi za održavanje / podizanje nivoa vode
	Akviferi	N.P.	N.P.	N.P.	-
Infiltracija u podzemne vode	Direktno	Prihranjivanje generalno, Protiv intruzije morske vode, Skladištenje	Injektiranje u akvifere	Pumpanje i injekcioni bunari	- Rizik uveliko zavisi od upotrebe podzemne vode
	Indirektno na površini		Površinska infiltracija	Lagune, infiltraciona jezera, navodnjavanje	- Rizik uveliko zavisi od upotrebe podzemne vode
	Indirektno preko drugih vodnih tela		Povezanost ostalih vodnih tela i akvifera	Propusnost se može povećati	- Ne može smatrati ponovnom upotrebom; iako je uključeno u nekoliko pravila
Vodosnabdevanje za piće	Direktno iz efluenta	Kombinacija sistema tretmana	N.P.	Primenjuje se koncept barijera	- Češće se praktikuje u slučaju ekstremnih suša (vremenskih ili strukturalnih) - Samo deo snabdevanja je reciklirana voda
	Iz vodnih tela	Iz svih delova sveta	N.P.	N.P.	- Ne može smatrati ponovnom upotrebom; iako je uključeno u nekoliko

					pravila
Industrija	Hlađenje	Sa i bez prisustvom vazduha	Transfer pare	Nekoliko tipova	-Legionella glavni problem u teoriji
	Procesi	Voda može da se nađe u proizvodu	U reaktorima i ostalim	N.P.	Voda može da se nađe u krajnjem proizvodu
	Čišćenje	–	Oprema ta pranje	–	-Zahteva se dezinfekcija

N.P. = nije primenljivo

Tabela 5.4 – Namena tretirane otpadne vode i glavni problemi [3]

TIP	PROBLEM	U VEZI SA	KRAJNI KORISNIK/KOMENTAR
Poljoprivreda	Zaslanjenost	Zemljište i biljke	Skupo, rigorozni standardi
	Oboljenja biljaka	Biljni patogeni	Utiče na useve
	Toksičnost	Akumulacija toksina u matricama	Prenos na krajne korisnike
Urbano (ne za piće)	Zagađenje životne sredine	Aerosoli, oticaj, zdravlje životinja	Uglavnom za navodnjavanje, ali i za čišćenje i industrijsku upotrebu
Industrija	Zaslanjenost	Obim	Za hlađenje, čišćenje i procese ...
	Zdravlje ljudi	Aerosoli, patogeni	
Rekreacija	Zdravlje ljudi	Aerosoli, unos	Navodnjavanje (golf tereni, parkovi ...), bazeni
Obnavljanje vodnih tela	Zagađenje životne sredine	Patogeni, toksini, nutrijenti	Povećanje količine vode u susednim vodnim telima
Infiltracija u podzemne vode	Zagađenje	Hemikalije, fizičko zagađenje, mikroorganizmi	Korišćenje vode nekoliko puta
Voda za piće	Zagađenje podzemnih voda	Bezbednost vode za piće	Direktna ponovna upotreba, Voda za piće

## 5.4 Ciljevi i zahtevi u pogledu regulative koja se odnosi na korišćenje tretirane otpadne

U pogledu pravila i propisa o ponovnoj upotrebi tretirane otpadne vode, treba razmotriti nekoliko aspekata. Pre svega, pitanje ko izdaje dokument (pravilo) i gde ga treba primeniti. Pored obaveznih pravila, poput Južne Afrike, Namibije, Tunisa, Alžira, Izraela, Jordana, Grčke, Italije, Francuske, Španije, Portugalije, nekoliko nacionalnih i međunarodnih organizacija je objavilo preporuke. Pored ovih treba pomenuti Svetsku Zdravstvenu Organizaciju (eng. *World Health Organisation*, WHO), Organizaciju za hranu i poljoprivredu ((eng. *Food and Agricultural Organisation*, FAO), Svetsku banku, Međunarodnu organizaciju za standardizaciju (eng. *International Organisation for Standardization*, ISO) i američku agenciju za zaštitu životne sredine (eng. *Environmental Protection Agency*, EPA).

U maju 2018. godine, Evropska komisija predložila je nova pravila za podsticanje i olakšavanje ponovne upotrebe vode za navodnjavanje. Ključni dokumenti:

- Predlog uredbe o minimalnim zahtevima za ponovnu upotrebu vode i anekse;
- Procena uticaja - sažeti i analitički modeli koji se koriste u pripremi procene uticaja;
- Procena uticaja na istraživanje i inovacije;
- Izveštaj o proceni teritorijalnog uticaja;
- Izveštaj JRC-a o minimalnim zahtevima kvaliteta za ponovnu upotrebu vode u navodnjavanju i punjenje vodonosnika.

Glavni problem ponovne upotrebe otpadnih voda ili njihovog ispuštanja u životnu sredinu, je bezbednost. Kako bi se obezbedio visok stepen sigurnosti postoji nekoliko opcija, od kojih je osnovna primena postojećih zakona o prečišćavanju otpadnih voda, koji definišu zahtevani kvalitet prerađene otpadne vode. Zakoni o ponovnoj upotrebi utvrđuju različite standarde kvaliteta vode koja se ponovno koristi i koja se može koristiti u različite svrhe. Najčešća primena tretirane otpadne vode, u dosadašnjoj praksi, je za potrebe navodnjavanja (uključujući poljoprivredu) [22, 23].

Efikasnost tretmana meri se konačnim kvalitetom vode ili poređenjem početnog kvaliteta sa konačnim, uzimajući u obzir nekoliko, definisanih, parametara koji su uglavnom povezani sa biološkim kvalitetom, ne zaboravljajući „nastajuće“ zagađujuće supstance i druge hemikalije. To se naziva „validacija“ tretmana, a ponekad se pojavljuje i u regulativi, kao i u nacrtu koji je izdao Zajednički istraživački centar (eng. *Joint Research Centre*, JRC) [24] za pripremu EU propisa o ponovnoj upotrebi.

Mnogi gradovi ostaju bez opcija usled čega dolaze do zaključka da je upotreba gradske tretirane otpadne vode visokog kvaliteta mnogo jeftinija od drugih alternativa [25]. Iako je nedostatak vode i potreba za vodosnabdevanjem u sušnim i polusušnim

regionima doveo do ponovne upotrebe kao alternativnog načina snabdevanja vodom; još uvek postoji mnogo programa ponovne upotrebe vode, na primer u Sjedinjenim američkim državama (SAD), koji su pokrenuti kao odgovor na rigorozne i skupe zahteve za uklanjanjem hranljivih materija (uglavnom azota i fosfora) iz otpadnih voda koje potencijalno sadrže emergentne supstance i mikropolutante [26]. Zabrinutost za životnu sredinu zbog negativnih uticaja usled povećanog ispuštanja hranljivih materija u obalne vode rezultovalo je smanjenjem broja ispusta na Floridi i u Kaliforniji, kao i u Velikoj Britaniji i Evropi [27].

Iako je nedostatak vode i potreba za vodosnabdevanjem u sušnim i polusušnim regionima pokrenulo pitanja ponovne upotrebe tretirane otpadne vode i alternativnog snabdevanja vodom, još uvek postoji mnogo programa ponovne upotrebe tretirane otpadne vode. Na primer, u Sjedinjenim američkim državama, koji su pokrenuti kao odgovor na rigorozne i skupe zahteve za uklanjanje nutrijenata (uglavnom azota i fosfora) prilikom ispuštanja otpadnih voda u površinske vode, a koje mogu potencijalno da uključuju i zagađivače i mikro zagađivače, kada su recipijenti predviđeni za upotrebu vode za piće [23].

Zabrinutost za životnu sredinu zbog negativnih uticaja i povećane emisije nutrijenata u obalske zone mora, rezultira obavezanim smanjenjem emisije ispuštanja nutrijenata u okeane na Floridi i Kaliforniji u Sjedinjenim američkim državama, ali i brojnim lokacijama u Velikoj Britaniji i Evropi [24].

U Evropi, praksa korišćenja tretiranih otpadnih voda za navodnjavanje useva ima trend rasta i naročito je dobro uspostavljena u mediteranskim zemljama kao što su Španija, Italija, Kipar i Grčka. Za ostrva i primorske regije reciklaža otpadne vode omogućuje produženu i efikasniju upotrebu slatke vode izbegavajući ispuštanje u more. U Gran Kanariji, na primer, 20 % vode koja se koristi u svim sektorima dobija se iz prečišćenih otpadnih voda [7]. Na Kipru, ciljevi ponovne upotrebe tretirane otpadne vode za 2014. godinu iznosili su oko 28 % potrebe za vodom u poljoprivredi u 2008. godini [28].

#### 5.4.1 Prelaz do cirkularne ekonomije

Kružna ekonomija predstavlja poslovni model koji omogućava ekonomski rast, istovremeno minimizirajući količinu izvornih resursa koji se koriste. Kako se mnoge države i korporacije kreću od linearnog prema kružnim modelima proizvodnje i potrošnje, postoji dovoljno dokaza koji pokazuju potrebu za novom politikom i regulativom kako bi se ekonomije mogle odvojiti od ekonomske putanje koja narušava životnu sredinu i prelazi na „čistu“. Iako se ponovna upotreba vode suočava sa brojnim preprekama, od percepcije javnosti do cene i tehnoloških, bezbedonosnih i regulatornih izazova [29], pojavljuju se geografske i sektorske strategije koje podupiru

kružnu ekonomiju i imaju potencijal da transformišu neke od glavnih prepreka za ponovnu upotrebu vode. Nove smernice o integrisanju ponovne upotrebe vode u Planiranje i upravljanje vodama u kontekstu Okvirne direktive o vodama (eng. *Water Frame Directive*, WFD) koja je u skladu sa akcionim planom EU za kružnu ekonomiju. Najbrži rast globalne upotrebe vode je u proizvodnji. Dok mnoge industrije još uvek upravljaju vodom i otpadom, druge su postale primeri dobre prakse kružne ekonomije s obećavajućim napretkom u dobrom upravljanju vodom u proizvodnom lancu, posebno među malim i srednjim preduzećima. Neke industrije su pokazale sposobnost recikliranja i ponovne upotrebe vode da bi postigle nultu neto potrošnju vode, dok druge teže da dokažu nultu zagađenje.

Iz perspektive kružne ekonomije, ponovna upotreba tretirane otpadne vode je dobitna opcija. Potpuni ciklus upravljanja otpadnom vodom je kritična komponenta ciklusa od izvora do distribucije, sakupljanja (kanalizacioni sistemi ili sistemi na licu mesta) i tretmana do odlaganja i ponovne upotrebe, uključujući vodu, nutrijente i povrat energije. Inicijative po pitanju kružne ekonomije imaju za cilj zatvaranje ciklusa i produžavanje životnog veka resursa i materijala kroz duže korišćenje, ponovnu upotrebu i preradu [31].

Voda je u najvećem broju slučajeva besplatna, mada sve češća naplata ukazuje na nestašicu vode, odražavajući njene potencijalne koristi za različite korisnike i za različite svrhe, i oportunitetni trošak koji je povezan sa upotrebom za jednu svrhu (npr. poljoprivredu), a ne za nešto drugo (npr. urbana namena ili hidroelektrane). Stope naplate mogu biti različite među korisnicima površinskih i podzemnih voda (npr. ako je vodostaj reke nizak ili nivo podzemne vode brzo pada), ali se često primjenjuju na oba jer su ova dva resursa međusobno zavisna i njima bi trebalo upravljati na jedinstven način. Naplata takođe varira u zavisnosti od sezonskih varijacija raspoloživosti vode. Visina naplate za zahvatanje zavisi od hidroloških procena, potražnje, alternativnih upotreba, troškova razvoja alternativnih izvora vode itd.

Smisao ponovne upotrebe tretirane otpadne vode uslovljen je poređenjem troškova alternativnih postupaka upravljanja vodama (npr. novi sistem za vodosnabdevanje) i troškova ne sprovođenja promena u upravljanju vodama. Usled širokog spektra postupaka za tretman otpadnih voda koji su potencijalno ugrađeni u sistem ponovne upotrebe tretirane otpadne vode radi ispunjavanja specifičnih ciljeva kvaliteta vode za predviđenu upotrebu i rešavanje lokalnih ograničenja specifičnih za lokaciju, teško je dati opšte okvire o troškovima ponovne upotrebe vode.

Znatan deo vode za navodnjavanje u južnoj Evropi, a posebno u regionu zapadnog Balkana, ilegalno je uzemljen, na primer, iz bunara podzemnih voda. Bavljenje ovom kratkoročnom i neodrživom praksom, motivisanom ekonomskim razmatranjima, je od velike važnosti posebno u oblastima gde se predlažu programi ponovne upotrebe



vode. Planirana ponovna upotreba vode dovodi u pitanje tradicionalni okvir raspodele vode, strukture finansiranja, obezbeđenje zahtevanog standarda kvaliteta vode i usklađenost sa propisima. Ova pitanja moraju biti rešena i zahtevaju pravilno upravljanje [32].

Bilo da se tretirana otpadna voda koristi za piće ili ne, postoji nekoliko faktora koji utiču na troškove programa ponovne upotrebe tretirane otpadne vode. Oni uključuju lokaciju izvora tretirane otpadne vode (tj. postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda), infrastrukturu za prečišćavanje, kvalitet vode u postrojenju, zahteve korisnika za korišćenje, prenos i pumpanje, vremenske potrebe i potrebe za skladištenjem, energetske potrebe, odlaganje mulja, kao i dozvole za izgradnju i troškove.

## 5.5 Zaključci

Proteklih decenija sve veća pažnja usmerena je na potrebu za jeftinijim, održivijim i efikasnijim postupcima tretmana otpadnih voda koje su zasnovane na osnovnim načelima zaštite životne sredine. Eliminacijom ispuštanja komunalne otpadne vode, opštine ili vodovodne kompanije mogu da izbegnu ili umanje potrebu za skupim procesima prečišćavanja ili da održe nivo opterećenja otpadnim vodama uz proširenje kapaciteta. Zbog nedoslednog nacionalnog zakonodavstva širom Evrope i ograničene svesti javnosti o stvarnim rizicima i koristima, ponovna upotreba tretirane otpadne vode predstavlja skupu alternativu, podložnu nepoverenju šire javnosti i potencijalnim preprekama prilikom slobodnog kretanja poljoprivrednih proizvoda koji se navodnjavaju tretiranom otpadnom vodom što predstavlja dodatni rizik koji umanjuje potencijal za buduće investicije i ulaganja. Recikliranje i ponovna upotreba vode mogu pomoći kako bi se zatvorio ciklus vode, pružajući održivu alternativu za eksploataciju izvornih resursa. Međutim, ako su resursi jeftini, odbacivanje društva je veće, bez konkretnog razloga za sinergijom. Prelaz u kružnu ekonomiju može da podstakne efikasnije korišćenje vode, a u kombinaciji sa snažnim podsticajima za inovacije, može poboljšati sposobnost privrede da se nosi sa neravnotežom između ponude i potražnje vode.

## 5.6 Reference

- [1] Lautze J., Stander E., Drechsel P., da Silva A.K., Keraita B (2014) 2014. Global experiences in water reuse. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE), doi:10.5337/2014.209
- [2] Salgot M, Oron G, Cirelli GL, Dalezios NR, Díaz A, Angelakis AN. (2016) Criteria for wastewater treatment and reuse under water scarcity. In Handbook of drought and water scarcity Vol. 2: Environmental impacts and analysis of drought and water scarcity. Edited by Kalavrouziotis IK, Angelakis AN, USA: CRC Press, 263–280.

- [3] Salgot M., and Montserrat F. (2018) Wastewater treatment and water reuse, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 64–74, DOI:10.1016/j.coesh.2018.03.005.
- [4] Asano T, Burton FL, Leverenz H, Tsuchihashi R, Tchobanoglous G: *Water reuse: issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill; 2007.
- [5] *Water for people water for life: the United Nations World Development report*. Barcelona: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization World Water Assessment Programme; 2003.
- [6] Paul Jeffrey, Marie Raffin, Alfieri Pollice, Yvan Poussade, Emmanuel Van Houtte, Jordi Bacardit, Kristell Le Corre Pidou (2018) *Water Reuse Europe Review 2018*, Water Reuse Europe, ISBN: 978-1-5272-2364-6
- [7] *Mediterranean wastewater reuse report produced by the Mediterranean Wastewater Reuse Working Group (MED WWR WG)*. November 2007.  
[http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/med\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/med_final_report.pdf). Accessed 12 January 2015.
- [8] Hendricks D. (2011) *Fundamentals of water treatment unit processes, physical, chemical and biological*. IWA Publishing. ISBN 978-1-4200-6191-8.
- [9] Metcalf & Eddy. (2002) Inc., Tchobanoglous George, Burton Franklin L: *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 4th ed. McGraw-Hill.
- [10] Crites RW, Middlebrooks EJ, Bastian RK. (2014) *Natural wastewater treatment systems*. 2nd ed. CRC Press; March 14, 549 pp, ISBN 9781466583269.
- [11] Díaz A., Folch M., Salgot M. (2013) *Wastewater reuse: the economic cost of complying regulations*. 2013 3rd international conference on water economics, statistics and finance Marbella, Spain
- [12] GEC (2005) *Water and wastewater reuse. An environmentally sound approach for sustainable urban water management*. United Nations Environment Programme.
- [13] Roccaro P., Sgroi M., Vagliasindi F.G.A. (2010) *Removal of xenobiotic compounds from wastewater for environment protection: treatment processes and costs*. *Chem Eng Trans*, 32, 505–510.
- [14] Bui X.T., Vo T.P.T., Ngo H.H., Guo W.S., Nguyen TT (2016) *Multicriteria assessment of advanced treatment technologies for micropollutants removal at large-scale applications*. *Sci Total Environ*, 563–564, 1050–1067.
- [15] Ioannou-Ttofa L., Michael-Kordatou I., Fattas S.C., Eusebio A., Ribeiro B., Rusan M., Amer A.R.B., Zuraiqi S., Waismand M., Gilron J., Fatta-Kassinos D. (2017) *Treatment efficiency and economic feasibility of biological oxidation, membrane filtration and separation processes, and advanced oxidation for the purification and valorization of olive mill wastewater*. *Water Res* 2017, 114, 1–13.
- [16] Moreira F.C., Soler J., Alpendurada M.F., Boaventura R.A.R., Brillas E., Vilar V.J.P. (2016) *Tertiary treatment of a municipal wastewater toward pharmaceuticals removal by chemical and electrochemical advanced oxidation processes*. *Water Res* 2016, 105, 251–263.

- [17] WHO (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. II Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gsuweg2/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/)
- [18] Pecson B.M., Triolo S.C., Olivieri S., Chen E.C., Pisarenko A.N., Yang C-C. (2017) Reliability of pathogen control in direct potable reuse: performance evaluation and QMRA of a full-scale 1 MGD advanced treatment train, *Water Res*, 122, 258–268.
- [19] Soller J.A., Eftim S.E., Nappier S.P. (2018) Direct potable reuse microbial risk assessment methodology: sensitivity analysis and application to State log credit allocations, *Water Res.*, 128, 286–292.
- [20] Sgroi M., Vagliasindi F.G.A., Snyder S.A., Roccaro P. (2018) N-Nitrosodimethylamine (NDMA) and its precursors in water and wastewater: a review on formation and removal. *Chemosphere*, 191, 685–703.
- [21] Angelakis A.N. and P. Gikas (2014) Water reuse: Overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states, *Water Utility Journal*, 8: pp. 67-78,
- [22] World Health Organization, (2015) Sanitation safety planning. Manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta WHO, Geneva, Switzerland.
- [23] ISO International Standard Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects – 4 parts (2015 and 2016) Reference numbers ISO 16075-1 to 3:2015; 4:2016, Geneva, Switzerland.
- [24] Alcalde-Sanz L., Gawlik B.M. (2017) JRC science for policy report: Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge Towards a legal instrument on water reuse at EU level European Union, Luxembourg.
- [25] R. Newcombe, (2009) Municipal water reuse market set for explosive growth.
- [26] W. Tao, K. Sauba, K.P. Fattah, J.R. Smith. (2016) Designing constructed wetlands for wastewater reclamation.
- [27] Davidson K., Gowen R.J., Harrison P.J., Fleming L.E., Hoagland P., Moschonas G. (2014) Anthropogenic nutrients and harmful algae in coastal waters, *Journal of Environ Management*, 146, 206-216
- [28] European Environmental Agency (2012) EEA report no 12/2012. European Environmental Agency; 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe — an indicator-based report.
- [29] WWI Overcoming the global barriers to water reuse (2017) Available at: <http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-25/issue-4/editorial-focus/water-reuse/overcoming-the-global-barriers-to-water-reuse.html>
- [30] Drewes J.E., Reinhard M., Fox P. (2003) Comparing microfiltration-reverse osmosis and soil-aquifer treatment for indirect potable reuse of water *Water Res*, 37 (15), 3612-3621.
- [31] Busch J., Dawson D., Roelich K. (2017) Closing the low-carbon material loop using a dynamic whole system approach *J Clean Prod*, 149, 751-761.
- [32] Drewes J.E., Hübner U., Zhiteneva V., Karakurt S (2017) Characterization of unplanned water reuse in the EU, Chair of Urban Water Systems Engineering Technical University of Munich.

## 6 INFORMATIČKI ALATI U UPRAVLJANJU VODNIM RESURSIMA

Đurica Marković, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini u Kosovskoj Mitrovici  
Jelena Đokić, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Prištini u Kosovskoj Mitrovici

### Apstrakt

U ovom poglavlju predstavljeni su najčešće korišćeni softveri za modeliranje i simulaciju u oblasti upravljanja održivim vodnim resursima. Autori su istakli nekoliko besplatnih softvera koji su dostupni na internetu. Skup programa koji je razvio Hidrološki inženjerski centar: HEC-HMS (sistem hidrološkog modeliranja) je program koji simulira kompletne hidrološke procese dendritičnih vodovodnih sistema; HEC-RAS (sistem za analizu reka) je program koji omogućava jednodimenzionalni protok u stacionarnom toku, jednodimenzionalne i dvodimenzionalne proračune nestabilnog toka, proračune transporta sedimenata i kvalitet vode; HEC-SSP (Statistički softverski paket) je program za statističku analizu hidroloških podataka; HEC-VAT (Alat za analizu vodostaja) je integralni alat koji omogućava multidisciplinarnim timovima da sprovedu studije o vodnim resursima. U HEC-HMS-u padavine se raspoređuju između tri receptora: vegetacije, zemlje i vodnog tela, a postoji i softverski paket za simuliranje kretanja vode, toplote i rastvarača u zasićenim medijumima. Hidrus program se koristi za proračun hidrauličkih svojstava zemljišta i upijanje vode preko biljaka. EPANET je program za hidraulično modeliranje distribucije pitke vode unutar cijevnih mreža pod pritiskom, ali i za simulaciju transport hemijskih elemenata ili jedinjenja u distribucijskim mrežama ili za praćenje kvaliteta vode u vodovodnoj mreži. SWMM (Model upravljanja vodama u nepogodama) simulira količinu i kvalitet otpada. Konačno, VEAP je integralni sistem upravljanja vodnim resursima za upravljanje različitim izvorima snabdevanja (npr. rekama, potocima, podzemnim vodama, akumulacijama i postrojenjima za desalinizaciju); postrojenjima za preuzimanje, prenos i prečišćavanje otpadnih voda; potrebe ekosistema, potrebe za vodom i stvaranje zagađenja.

### 6.1 Uvod

Ogroman razvoj informatike poslednjih decenija omogućio je značajno korišćenje informatike privredi, nauci, obrazovanju itd, odnosno u svim sferama ljudskih aktivnosti. Upravljanje vodnim resursima je unapredilo svoju efikasnost primenom informatičkih alata. Ovo se može primetiti od trenutka kada se registruju informacije od značaja za vodne resurse, npr. merenje padavina ili vodostaja na nekom mernom mestu, gde se u svakom trenutku ove informacije registruju i prenose u neku centralnu bazu podataka i time postaju dostupne.

Pored uređaja kojim je omogućeno upravljanje vodnim resursima, veliki značaj imaju i odgovarajući programi koji omogućavaju njihovo efikasno upravljanje. Na tržištu postoji veliki broj različitih programa, za različite primene u upravljanju i korišćenju

vodnih resursa. Kako veliki broj tih programa može da bude usko specijalizovan, što može da znači i da su veoma kompleksni (što je uslovljeno i kompleksnom prirodom upravljanja vodnim resursima) većina tih programa se prodaje i mogu biti veoma skupi. Međutim, postoje i programi koji su razvijani za različite potrebe u okviru određenih državnih organizacija (npr. za zaštitu čovekove okoline i sl.) ili projekata (npr. onih koje je finansirala EU i na taj način uslovima učesnike projekta da nakon završetka projekta program bude javan i dostupan bez ograničenja) ili se upozorava onaj koji koristi takve programe da je omogućena njihova upotreba ukoliko se ne koriste za komercijalne svrhe, pa je na taj način omogućeno njihovo široko korišćenje bez narušavanja autorskih prava. Osnovna ideja je da se ovim radom prikažu neki od programa koji se često koriste u upravljanju vodnim resursima a dostupni su besplatno. Takođe, cilj je da se u najkraćem prikažu mogućnosti odabranih programa, kako bi se eventualni budući korisnici odlučili koji program bi mogao da im pomogne u njihovom profesionalnom radu. Zbog ograničenog prostora u ovom priručniku se neće dati kompletno uputstvo za korišćenje programa.

## 6.2 Prikaz odabranih programa

Trebalo bi navesti da je Inženjerski vojni korpus SAD (The U.S. Army Corps of Engineers (USACE)) u okviru svog dela za hidrologiju: hidrološki inženjerski centar (Hydrologic Engineering Center) razvio niz programa uz pomoć kojih se obrađuju i analiziraju podaci o vodnom resursu a na osnovu toga i definisanih potreba dalje vrše procene pojave, raspoloživosti, mogućnosti korišćenja vodnog resursa, odnosno njegovo upravljanje. USCAE je razvio veliki broj programa: **HEC-DSS** (Data Storage System) koji omogućava efikasno čuvanje i prikupljanje naučnih podataka; **HEC-EFM** (Ecosystem Functions Model) je osmišljen da se utvrde reakcije ekosistema na promene režima protoka reke ili močvarnog zemljišta; **HEC-FDA** (Flood Damage Reduction Analysis) je program koji omogućava sprovođenje integrisane hidrološke inženjerske i ekonomske analize tokom formulisanja i procene planova upravljanja rizikom od poplava; **HEC-FIA** (Flood Impact Analysis) je program koji pomaže u identifikaciji posledica jednog događaja plavljenja; **HEC-HMS** (Hydrologic Modeling System) je program koji simulira kompletne hidrološke procese dendritičnih vodnih sistema; **HEC-LifeSim** je program koji simulira procenu gubitka života sa osnovnom namerom da se simulira preraspodela stanovništva tokom evakuacije; **HEC-MetVue** (Meteorological Visualization Utility Engine) olakšava pregled i manipulaciju meteorološkim podacima i izvodi različite proračune i analize; **HEC-RAS** (River Analysis System) je program koji omogućava proračun jednodimenzionalnog stacionarnog protoka, jednodimenzionalne i dvodimenzionalne proračune nestabilnog protoka, proračune transporta sedimenata i kvaliteta vode; **HEC-ResPRM** (Prescriptive Reservoir Model program) omogućava optimizaciju upravljanja raspodelom vode iz

akumulacija čime pomaže u planiranju rada akumulacije i donošenju odluka; **HEC-ResSim** (Reservoir System Simulation) se koristi za modeliranje upravljanja raspodelom vode iz jedne ili više akumulacija za različite operativne ciljeve i ograničenja; **HEC-RPT** (Regime Prescription Tool) je program koji treba da olakša unos, pregled i dokumentovanje preporuka protoka u realnom vremenu; **HEC-RTS** (Real Time Simulation) je sveobuhvatan sistem za prikupljanje podataka i hidrološko modeliranje za podršku kratkoročnim odlukama za upravljanje vodama u realnom vremenu; **HEC-SSP** (Statistical Software Package) je program za statističku analizu hidroloških podataka; **HEC-WAT** (Watershed Analysis Tool) je integralni alat kojim se multidisciplinarnim timovima omogućava izvršavanje studija o vodnim resursima. Hidrus softverski paket se koristi za simuliranje kretanja vode, toplote i rastvarača u zasićenim medijumima. Hidrus program se takođe koristi za proračun hidrauličkih svojstava zemljišta i upijanje vode preko biljaka. .

Američka Agencija za zaštitu životne sredine (U.S. Environmental Protection Agency) je ovlašćena od američkih vlasti da zaštiti američke prirodne resurse: vodne resurse, zemlju i vazduh. U okviru njihovih zadataka su razvili i tehničku podršku koja olakšava razumno upravljanje ekološkim resursima, daje odgovore na pitanja kako zagađenje utiče na naše zdravlje, kako ga sprečiti ili umanjiti rizike zagađenja u budućnosti. Najpoznatiji i najčešće korišćeni programi EPA su Epanet (hidrauličko modeliranje vodovoda pod pritiskom) i SWMM (modeliranje oticaja sa urbanih površina, kao i tečenje u kanalima). VEAP je integralni sistem upravljanja vodnim resursima za upravljanje različitim izvorima snabdevanja (npr. rekama, potocima, podzemnim vodama, akumulacijama i postrojenjima za desalinizaciju); postrojenjima za preuzimanje, prenos i prečišćavanje otpadnih voda; potrebe ekosistema, potrebe za vodom i stvaranje zagađenja.

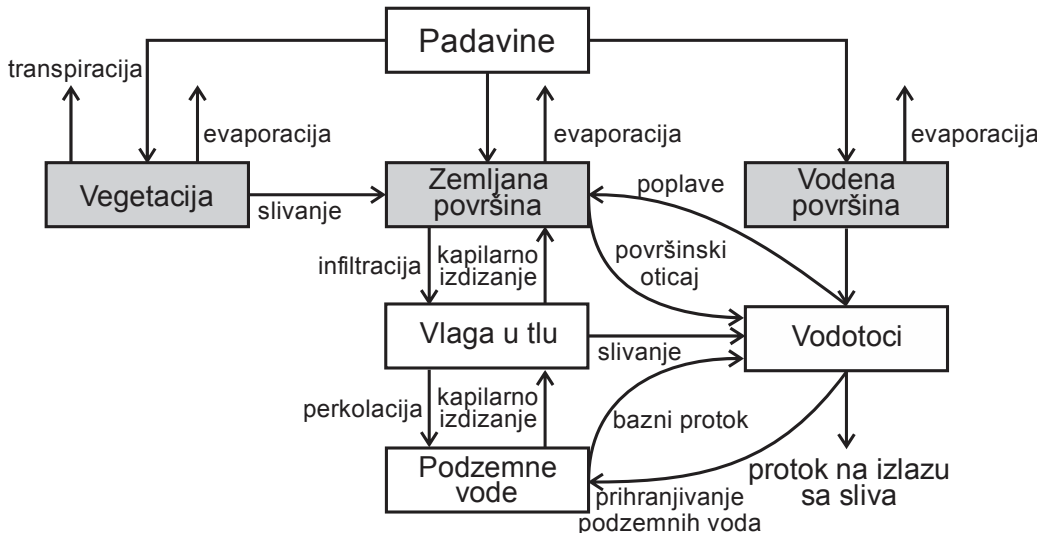
### 6.2.1 HEC-SSP (Statistical Software package)

Procene ekstremnih događaja određenog intervala ponovnog korišćenja koriste se u razne svrhe, kao što su projektovanje brana, kofera brana, mostova, razgraničenje poplavnih ravnica, projekti zaštite od poplava, baraža, a takođe i za utvrđivanje uticaja zadiranja poplavnog polja itd. Analiza frekvencija, ako se radi ručno, je opterećujuća, zamorna i ostavlja malo manevarskog prostora ako se na kraju računa primeti nešto pogrešno. Često je potrebno iznova izračunati. U skladu s tim, ovaj modul pokušava predstaviti neke statističke parametre, njegovu primenu u analizi frekvencije poplava, a nakon toga uvodi HEC-SSP softver koji nudi više funkcija za brzu i tačnu analizu frekvencija.

## 6.2.2 HEC-HMS (Hydrologic Modeling System)

Program **HEC-HMS** za hidraulično modeliranje sistema je program iz familije HEC programa koji služi za modeliranje procesa padavine-oticaј u dendritičnim slivovima. Program je napravljen da se može primeniti u najširem broju slučajeva: od različitih geografskih područja, od velikih do malih slivova, od prirodnih do urbanih slivova, za rešavanje različitih tipova problema. Programom **HEC-HMS** se dobijaju hidrogrami koji se mogu koristiti za studije raspoloživosti vode u razmatranim područjima, odvođenja vode u urbanim sredinama, prognoze protoka na vodotocima, budućeg uticaja urbanizacije, smanjenja štete od poplave, regulacije vodotoka u plavnom području i sl.

Pri modeliranju fizičkog sistema sliva u programu se koriste sledeći objekti: podsliv, veza, čvor, akumulacija, obilazni kanali, izvori i odvodi. Ovi objekti su povezani u jednom slivnom području da bi predstavili hidrološki model oticaja sa sliva. Proračun u programu se odvija od uzvodnog ka nizvodnom delu.



Slika 6.1 – Šematski prikaz procesa padavine-oticaј na slivu (Feldman A., 2000)

Na slici 6.1 je dat šematski prikaz procesa padavine-oticaј na slivu, kako se modelira programom **HEC-HMS** (Technical Reference Manual, Feldman A., 2000). Dep padavina završi na površini tla, vodenoj površini (reke, jezera) i vegetaciji. Jedan deo padavina isparava sa svih ovih površina, osim u slučaju olujnih epizoda kada nema isparavanja. Pored isparavanja, deo vode sa vegetacije se vraća kroz lišće u atmosferu transpiracijom. Deo vode koja je završila na površini ide u zemljište i čini infiltraciju, a deo ide u površinski oticaј direktno ka vodotocima. Iz površinskog sloja zemljišta, nakon njegovog zasićenja, dolazi do slivanja, delom dublje u tlo ka podzemnim akviferima, delom odmah ispod površine tla ka vodotocima. U zavisnosti da li su

vodotoci influentni ili efluentni, vrši se prihranjivanje vodotoka iz podzemnih voda – čineći bazni protok ili se vrši prihranjivanje podzemnih voda iz vodotoka.

**HEC-HMS** izračunava zapreminu oticaja sa sliva tako što prvo sračunava zapreminu vode koja je otišla intercepcijom, infiltracijom, ona koja isparava, koja odlazi transpiracijom i ostaje u tlu. Zatim se ta zapremina vode oduzima od zapremine pale vode na slivnu površinu. Svi ovi procesi zajedno čine zapreminu vode koja se naziva gubicima. U progamu se ovi gubici mogu modelirati na više načina: kao konstanta, SCS metoda (Soil Conservation Service), Green Ampt metoda i metoda obračunavanja vlage. Oticaj se može simulirati metodom jediničnog hidrograma.

Takođe, program koristi više metoda za određivanje baznog protoka u vodotoku: recesiona metoda koja daje eksponencijalno opadanje osnovnog toka iz jednog događaja ili više sekvencijalnih događaja; konstantna mesečna metoda; metoda linearnog rezervoara; nelinearna Boussinesq metoda čiji ali parametri se mogu proceniti na osnovu merljivih kvaliteta sliva.

Simulaciju tečenja u otvorenim kanalima se može izvršiti sa više metoda. Među spomenutim metodama su najčešće korišćena Muskingum metoda, Muskingum-Cunge metoda, metoda kinematičkog talasa, modifikovana Puls metoda.

U proračun se mogu uvrstiti i stajaće vode kao i kanali kojima se preusmeravaju tokovi za različite vodoprivredne potrebe.

Da se ne bi trošilo mnogo vremena dok se svi podaci sa velikim brojem hidroloških elemenata jednog slivnog područja ubace u program, **HEC-HMS** ima svoj GIS modul koji koristi već postojeće geometrijske podatke i podatke o nadmorskoj visini. Taj programski modul se zove Geospatial Hydrologic Modeling Extension, odnosno **HEC-GeoHMS**. Ovaj program se koristi za pripremu podataka modela koji će se koristiti u simulacijama programa **HEC-HMS**.

### 6.2.3 HEC-RAS (River Analysis System)

HEC-RAS je softver dizajniran za izvođenje jednodimenzionalnih ili dvodimenzionalnih hidrauličkih proračuna za punu mrežu prirodnih i izgrađenih kanala, područja obale ili poplavnih planova itd. Komponente za analizu reka obuhvataju: površinske profile vode s neprekidnim protokom, simulaciju nestabilnog protoka i proračune transporta sedimenata / pokretne granice.

HEC-RAS je numerički softver za hidrološke proračune. Široko se koristi u jednodimenzionalnom proračunu profila vodene površine u slučaju ustaljenih i nestabilnih režima toka reke. Pored toga, sadrži komponente za jednodimenzionalni proračun sedimenata za transport / pomičnu granicu i za kvalitet rečne vode. U radu, koji je ovde dat za ilustraciju (Kalaba I sradnici, 2013), komponenta stalnog protoka i



komponenta kvaliteta vode korišćene su za obavljanje početne analize temperature jednog kratkog dela reke Ibar. Konstantni jednodimenzionalni model protoka može izračunati subkritične, nadkritične i mešovite profile vodene površine. Softver HEC-RAS koristi se za numeričko izračunavanje. Ovaj softver se dugo koristi za jednodimenzionalne simulacije protoka reke. Nedavno je obogaćen komponentom za analizu kvaliteta rečne vode. Kao profesionalni softver i istovremeno jednostavan za rukovanje, HEC-RAS bi trebao poslužiti kao dobar alat za podešavanje hidrauličkog modela i inicijalne parametrijske analize temperaturne komponente modela kvaliteta vode. Da bi se izračunala nadmorska visina vode i linija energetskog stepena za dva susedna preseka, primenjuje se standardna stepena metoda energetske jednačine (Kalaba i sar. 2013). Kao primer, rezultati primene HEC-RAS u Analizi temperature reke Ibar nizvodno od jezera Gazivode prikazani su u daljem tekstu.

Tabela 6.1 – Temperatura vode reke Ibar između jezera Gazivode i sela Suvi Do (Kalaba et al. 2013)

Pozicija	Udaljenost od ispusta turbine km	Vreme (h)	Protok reke m <sup>3</sup> /s	Temperatura vazduha (C <sup>0</sup> )	Temperatura vode
Jezero Gazivode	-0.5	10.45	2	36.6/26.2	8.7
Ispust turbine	0	11.00	32	36.7/26.2	5.6
Brana pridvorica	+1.75	11.15	28	37.1/26.5	7.3
Brana Trepča	9.25	11.30	27	38.2/27.5	9.3
Suvi Do	16.75	12.00	27	39.6/30.8	14.2

#### 6.2.4 HEC-WAT (Watershed Analysis Tool)

**HEC-WAT** je program koji je razvijen za potrebe analiziranja projekata vezanih za vodne resurse, uključujući upravljanje rizikom od poplava, razmatrajući slivove kao hidrološke celine. Multidisciplinarno razmatranje procesa u slivu je rezultovalo da se više programa hidrološko inženjerskog centra (HEC) objedini u jednom programu. Tako su u programu **HEC-WAT** sadržani programi: **HEC-SSP** (statistička analiza podataka), **HEC-HMS** (hidrologija), **HEC-RAS** (hidraulika), **HEC-ResSim** (upravljanje raspodelom vode iz akumulacija), **HEC-FIA** (razmatranje posledica poplave) i **HEC-EFM** (analiza funkcija ekosistema). Da bi se uspešno koristio program **HEC-WAT** potrebno je poznavanje i razumevanje u radu sa spomenutim modulima programa, koji se mogu koristiti i kao zasebni programi. Opcija za analizu rizika od poplave u okviru programa **HEC-WAT** omogućava da se slivno područje analizira u sistemskom kontekstu koristeći analizu rizika, a takođe omogućava i donošenje odluka zasnovanih na riziku.

Cilj programa **HEC-WAT** je da pomogne stručnjacima da olakšaju sveobuhvatno razmatranje vodnih resursa i njihovo upravljanje. Ovo je omogućeno kroz program **HEC-WAT** kroz sledeće korake u njegovom radu: učitavanje slojeva zasnovanih na GIS-u; uspostaviti mreže vodotoka i njihove šeme; identifikovanje lokacija na kojima bi

modeli delili informacije; definisanje aplikacija za modeliranje i određivanje njihovog redosleda pri modeliranju; uvoz i uređivanje postojećih modela; razvijanje novih modela; organizovanje i razvijanje alternativnih rešenja, razmatrane periode analiza i izvođenje simulacija; pokretanje softverskih aplikacija za direktno upravljanje; i na kraju, pregled i poređenje alternativnih rezultata.

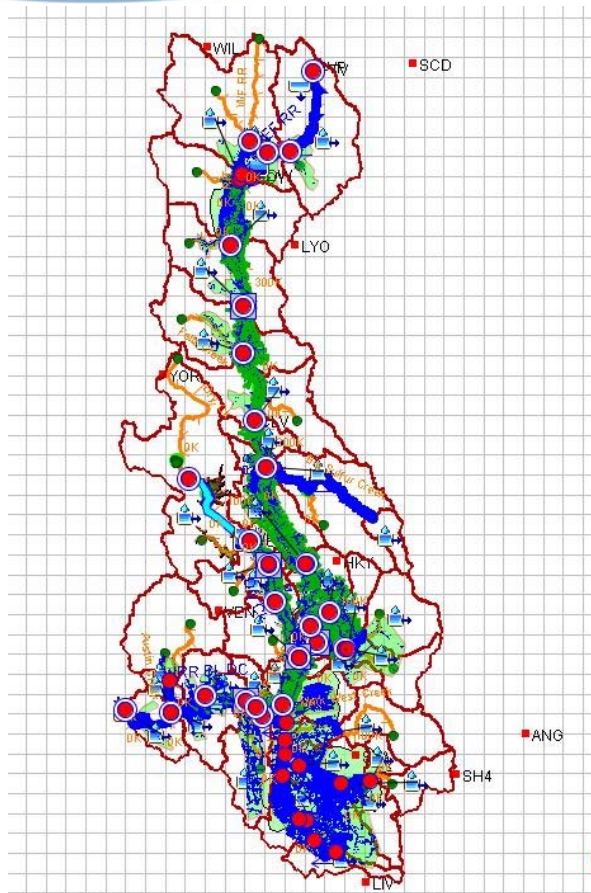
**HEC-WAT** je napravljen da omogućí korisnicima:

- Da se unos odgovarajućih podataka u svaki od programa modeliranja izvrši kroz **HEC-WAT** okvir, tj. kroz jedan program.
- Omogućava korišćenje analize kompromisa među svim alternativnim rešenjima pomoću programskih alata. Takođe, na kraju se lakše porede rezultati čime je omogućeno olakšano sprovođenje kompromisne analize.
- Olakšava definisanje alternativnih rešenja kroz šematske prikaze, identifikaciju i deljenje modela.
- Jednostavniju procena stanja razmatranih rešenja pregledom rezultata i izveštaja koje daje program **HEC-WAT**.
- Jednostavniji pregled rezultata modeliranja na svim modeliranim lokacijama bez direktnog saznanja kako pojedinačni modeli stvaraju te rezultate. Donosioci odluka mogu lakše da pregledaju rezultate prateći prikaz sistema, a ne da ih pregledaju u različitim delovima izveštaja.

Prilikom izrade studije odnosno modeliranja sa programom **HEC-WAT**, prvo je potrebno da se definišu koje su granice slivnog područja koje se razmatra, u datom području identifikovati sva merna mesta (padavine, protok,...), odrediti podslivove, odrediti područja u kojima se najčešće javljaju štete od poplava (centri pod uticajem od poplava), lokacije preduzetih mera u slivu (akumulacije, nasipi, ...), i tačke u kojima modeli mogu da dele podatke (zajedničke računске tačke), kao što je prikazano na slici 6.2.

Korišćenjem veza sa GIS programom vrši se geografsko referenciranje svih objekata koji su definisani u sistemu (studiji, modelu). Najbitnije je da se definišu vodotoci u slivu i podslivovima, sa svim objektima. Ovi vodotoci i objekti se prikazuju šematski, kao i mere smanjenja štete od poplava i mere zaštite životne sredine.

Prilikom simulacije treba imati u vidu da je potrebno definisati i period analize. Ovo je period koji može da obuhvati jedan ili više događaja u okviru životnog ciklusa za potrebe analize rizika od poplava. Međutim, ukoliko se prilikom analize ne vodi računa o životnom ciklusu (koji je obično oko 50 godina i odnosi se na objekte), kao ni o analizi štete, onda se za period analize može koristiti proizvoljni period, ali je najčešće to period od 100 ili 500 godina.



Slika 6.2 – Prikaz sliva reke Russian u Kaliforniji iz primera u programu HEC-WAT sa svim vezama ulaza u sistem (dotok, padavine-oticaaj) i izlaza iz sistema (korišćenje vode za razne potrebe) i sa kritičnim mestima u slivu u smislu rizika od poplava (preuzeto iz studije koja ide uz program)

Na kraju, kada se u potpunosti definiše vodoprivredni sistem u slivu, mogu se definisati različite upravljačke odluke radi poboljšanja određenih ciljeva. Na taj način može da se posmatra sistem npr. u slučaju izrade manje ili veće akumulacije na glavnom vodotoku, a zatim analiziraju prednosti i mane jednog i drugog rešenja sa različitih aspekata: snabdevanja naselja i industrije vodom, snabdevanja poljoprivrede vodom, korišćenje za elektroenergetske potrebe, uticaj datih rešenja na odbranu od poplava i sl.

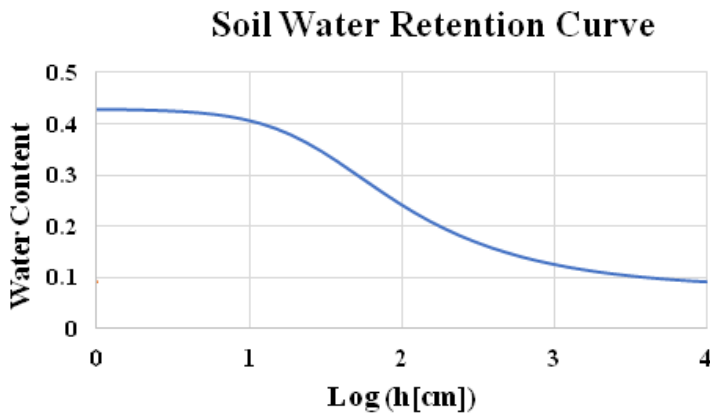
### 6.2.5 Hydrus

HIDRUS je vredan softverski paket za simulaciju kretanja vode, toplote i rastvora u zasićenim medijumima (Šimunek I saradnici, 2008). Softverski paket sastoji se od

računarskog programa i interaktivnog interfejsa zasnovanog na grafičkoj bazi. HIDRUS program numerički rešava Richardosovu jednačinu za promenljivo zasićene vodene i adekvatno-disperzione jednačine i za transport toplote i rastvora. Jednačina protoka sadrži termin "ispust" da bi se objasnio unos vode preko korena biljke. Jednačina prenosa toplote posmatra transport preko provođenja i konvekcije tekućom vodom. Jednačine transporta rastvora uzimaju u obzir advezivno-disperzni transport u tečnoj fazi, kao i difuziju u gasovitoj fazi. Jednačine transporta takođe uključuju odredbe za nelinearne neravnotežne reakcije između čvrste i tečne faze, reakcije linearne ravnoteže između tečne i gasovite faze, proizvodnju nula reda i dve reakcije razgradnje prvog reda. Pored toga, fizički neravnotežni transport rastvora se može izračunati pretpostavljanjem formulacije tipa dvo-poroznosti, koja razdvaja tečnu fazu na pokretne i nepokretne oblasti. Teorija vezanosti / odvajanja, uključujući teoriju filtracije, dodatno je uključena kako bi se omogućile simulacije transporta virusa, koloida i / ili bakterija.

#### Hidraulička svojstva tla

Grafikoni hidrauličnih funkcija nezasićenog tla (razne kombinacije pritiska, sadržaja vode, hidrauličke provodljivosti i kapaciteta vode u zemljištu) u profilu zemljišta prikazani su pomoću komande „Hidraulička svojstva zemljišta“ odeljka za obradu unosa HIDRUS-1D GUI (ili pomoću komande menija "Rezultati-> Svojstva hidrauličnog tla").



Slika 6.3 – Kriva zadržavanja vode u tlu (Šimunek et al, 2008)

Na slici 6.3 prikazana je kriva zadržavanja vode za odabrano tlo „ilovače“. Vodoravna osa je logaritam apsolutne vrednosti pritiska, predstavljajući tako matrice upijanja vode u odnosu na pF jedinice (logaritam ne može biti negativan broj). Vrednosti od 0, 1, 2, 3 i 4 prema tome predstavljaju pritisak glave jednak -1, -10, -100, -1000 i -10.000 cm, respektivno). Parcele koje koriste pF vrednosti često pružaju bolji prikaz cijele

krive zadržavanja vode tla, uključujući vrednosti blizu zasićenja (kao što su pritisci između -1 i -10 u ovom primeru).

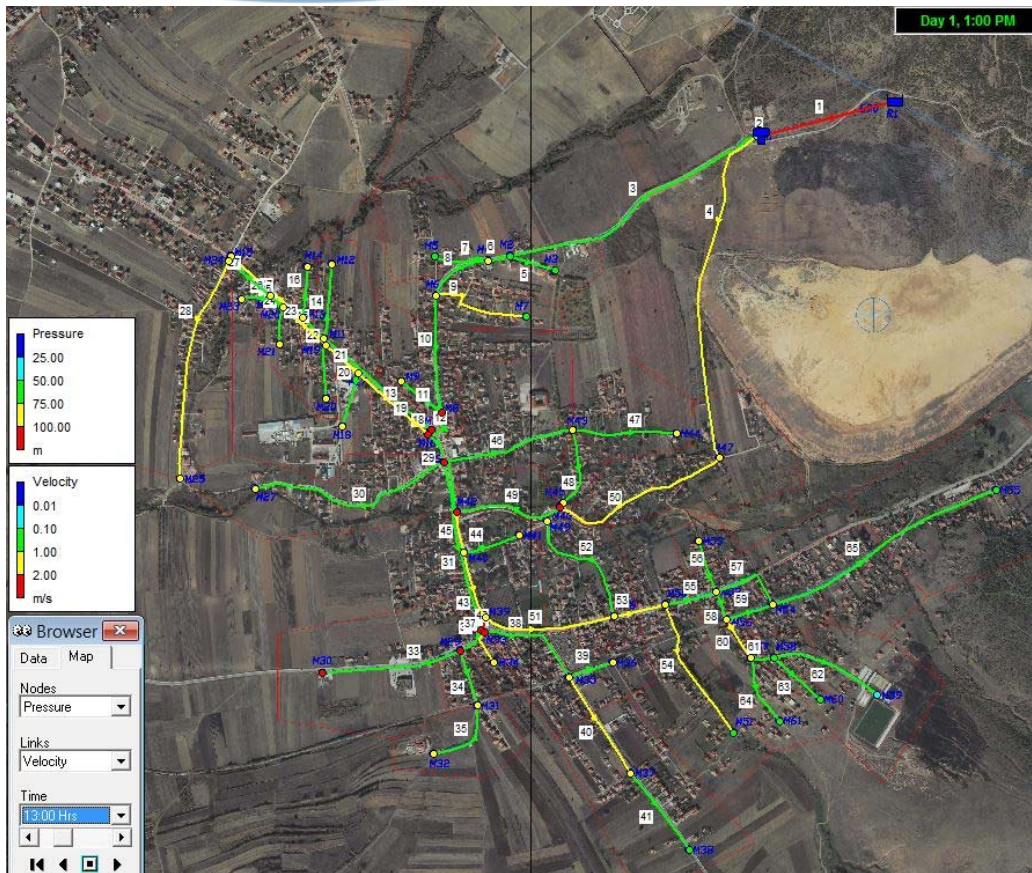
Naredba "Hidraulička svojstva tla" omogućava korisnicima da pregledaju zadržavanje vode u tlu i funkcije hidrauličke provodljivosti tla ili tla koja se proučavaju, među ostalim kombinacijama hidrauličkih svojstava tla (spiskovi sa uputstvom pružaju brojne mogućnosti grafikovanja, uključujući upotrebu redovne logaritamske skale) HIDRUS se može koristiti za analizu kretanja vode i rastvora u nezasićenim, delimično zasićenim ili potpuno zasićenim poroznim medijumima. Pojediniosti o različitim procesima i karakteristikama uključenim u HIDRUS nalaze se u Tehničkom priručniku [Šimunek et al., 2008].

### 6.2.6 Epanet

**Epanet** je program koji se koristi za hidrauličko modeliranje sistema za distribuciju pitke vode u cevovodima pod pritiskom. Pored toga, može se koristiti i za modeliranje transporta hemijskih elemenata ili jedinjenja u distributivnim mrežama, odnosno za praćenje kvaliteta vode u vodovodnoj mreži. Program **Epanet** nam koristi u poboljšanju razumevanja kretanja vode u distributivnom sistemu. Može nam koristiti za razne prikaze u analizi hidrauličkih komponenti vodovodnog sistema, kalibraciji hidrauličkog modela, analizi reziduala hlora u vodi i sl. **Epanet** nam može pomoći u proceni alternativnih strategija upravljanja sistemom, kao npr. pri promeni korišćenja izvora vode u sistemu sa više izvora, definisanje rasporeda punjenja i pražnjenja rezervoara u toku dana, ciljano čišćenje i zamena cevi itd (Rossman, L. 2000 Epanet 2 User's Manual).

Pri modeliranju vodovodne mreže se koriste sledeći tipovi objekata: čvorovi (spojevi cevi, izvorišta vode, rezervoari), veze (cevi, pumpe, zatvarači), oznake na mapi, vremenske šeme, krive i kontrolna pravila. Kada se napravi model koji sadrži spomenute elemente, program za unapred definisani vremenski korak može da prikaže zahtevanu potrošnju, kvalitet, protok, brzinu tečenja, pritisak, gubitke u svim cevima, čvorovima itd.

Kada se vodovodna mreža ispravno modelira, prilikom startovanja programske analize, dobija se poruka da li su svi elementi mreže pravilno modelirani, tj. da li ima grešaka u ulaznim podacima. Ukoliko greške postoje, program ih prijavljuje, tako da korisnik može prateći elemente u mreži da ih otkloni. Kada se otklone greške, dobija se poruka: **Run was successful**. Nakon toga se mogu vršiti razne analize vodovodne mreže i njenih elemenata, iscrtavati razni grafici, kao i izvršiti simulacija sistema za određeni vremenski period (npr. 3 dana) i dati vremenski korak (npr. 1 h). Tada se mogu vršiti različiti prikazi ponašanja sistema u toku vremena. Ovo nam omogućava detaljnu analizu sistema vodovoda.



Slika 6.4 – Simulacija pritiska u čvorovima i brzine u cevima tokom zadatog vremenskog perioda u intervalima od po 1 h (uradio Đ.Marković)

Hidrauličko modeliranje se izvršava veoma precizno, pri čemu nema ograničenja u broju cevi ili čvorova prilikom definisanja mreže. Pri modeliranju se prepoznaju različiti tipovi ventila: za zatvaranje, za regulaciju pritiska, za regulaciju protoka i sl. Gubici na trenje se mogu računati različitim formulama: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach-ovom ili Chezy-Manning-ovom formulom. Na osnovu krivih sa karakteristikama pumpe, može se sračunati energija koju pumpe troše za pumpanje, kao i njeni troškovi. Zahtevi za potrošnjom u čvorovima se mogu definisati da budu promenljivi tokom vremena. Pri modeliranju se mogu postaviti jednostavna ili složena pravila upravljanja sistemom, gde se npr. potrošnja može kontrolisati u zavisnosti od nivoa vode u rezervoaru.

U korisničkom uputstvu za program **Epanet** se daju osnovne karakteristike modela pri modeliranju kvaliteta vode u cevovodima:

- Omogućava modeliranje kretanja nereaktivnog trasera kroz mrežu tokom vremena;

- Omogućava modeliranje kretanja i ponašanja reaktivnog materijala: kako rastu reakcije (npr. prilikom dezinfekcije sa hlor-dioksidom javljaju se nus-proizvodi dezinfekcije) ili opadaju (npr. rezidual hlora) tokom vremena;
- Omogućava modeliranje starosti vode u mreži;
- Omogućava modeliranje reakcije kako u velikoj struji tako i na zidu cevi;
- Koristi kinetiku n-og reda za modeliranje reakcija u osnovnom protoku;
- Koristi kinetiku nultog ili prvog reda za modeliranje reakcija na zidu cevi;
- Koristi koeficijente brzine reakcije koji se mogu modifikovati po principu cev po cev;
- Omogućava da se koeficijenti brzine reakcije na zidu povežu sa hrapavošću cevi;
- Omogućava vremenski različite unose koncentracije ili mase na bilo kojoj lokaciji u mreži;

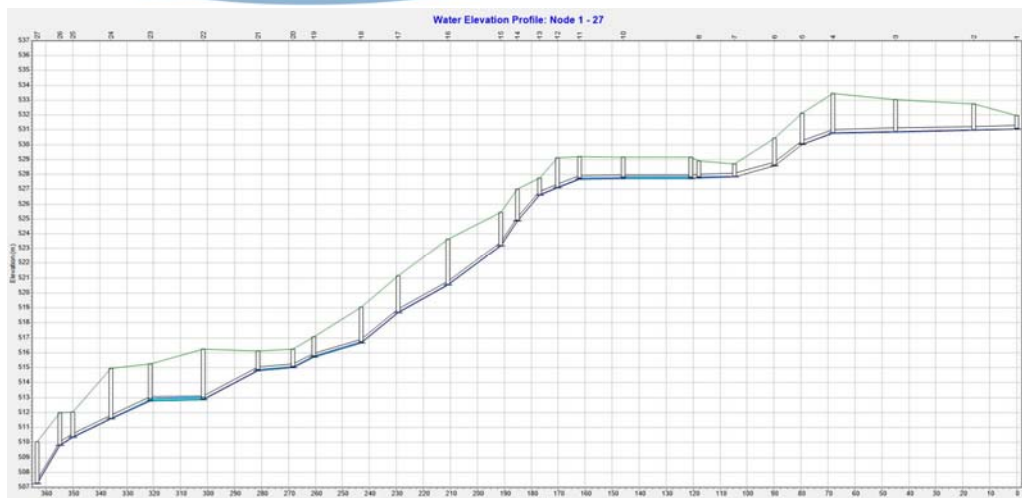
Za potrebe prikaza u ovom priručniku je izrađen hidraulički model vodovodne mreže u Gračanici (slika 6.4). Na slici se može videti da su u času povećane potrošnje vode brzine vode u cevima u preporučenim vrednostima, što ukazuje na dobro projektovanu vodovodnu mrežu, za zadata potrošnju.

### 6.2.7 SWMM (Storm Water Management Model)

Storm Water Management Model je alat koji je razvijan i poboljšavan još od prve verzije koja je napravljena 1971. godine. SWMM je fizički baziran model za simulaciju procesa padavine-oticaaj i omogućava hidrološko i hidrauličko modeliranje, kao i proračun kvaliteta kišnog oticaja. Programom se modeliraju oticaji prvenstveno iz urbanih područja i moguće je modelirati sledeće procese: površinski oticaj, infiltracija, podzemne vode, topljenje snega, propagacija hidrograma, površinsko retenziranje vode, propagacija zagađenja.

SWMM program se najčešće koristi za:

- projektovanje i dimenzionisanje komponenti sistema odvođenja voda pri kontroli poplava;
- određivanje veličine objekata za zadržavanje vode i njihovog korišćenja za kontrolu poplava i zaštitu kvaliteta vode;
- mapiranje poplavnih površina u sistemu prirodnih kanala;
- projektovanje kontrolnih strategija za smanjenje kombinovanih preliva kanalizacije u sistemu;
- procena uticaja priliva i infiltracije na prelive fekalne kanalizacije;
- generisanje opterećenja ne-tačkastih izvora zagađenja za studije raspodele opterećenja otpada;
- procena efikasnosti najboljeg praktičnog upravljanja za smanjenje opterećenja zagađivača u vlažnim vremenskim uslovima.



Slika 6.5 – Simulacija proticaja u glavnom kanalu u Zvečanu tokom zadatog vremenskog perioda u intervalima od po 1 h za zadato opterećenje (uradio Đ. Marković)

U programu se koriste tri modela za proračun infiltracije (Horton-ova jednačina, metoda Green-Ampt i metoda SCS (Soil Conservation Service)). Tečenje u mreži se može simulirati modelima ustaljenog tečenja, kinematskog i dinamičkog talasa. Koncept programa je takav da se slivne površine dele na podslivove koji gravitiraju određenom čvoru (šahti), odakle se dalje sprovode sistemom kanala. Pri modeliranju se koriste sledeći objekti, koji se mogu podeliti na: hidrološke (kišna stanica, podsliv, podzemne vode, naslage snega, jedinični hidrogram), hidrauličke (čvorovi, kolektori, izlivi, čvorovi za raspodelu proticaja, rezervoari za vodu, pumpe, regulatori proticaja), za kvalitet vode (zagađivač, korišćenje zemljišta), tretman vode (kontrola razvoja sa malim uticajem, funkcija tretmana vode) i na kraju objekti sa podacima (krive, vremenske serije, vremenska šema, kontrolna pravila).

Program **SWMM** uzima u obzir različite hidrološke procese koji stvaraju oticaj na urbanim površinama, kao što su (Mijić 2006):

- neravnomerne padavine;
- isparavanje sa stajaćih površinskih voda;
- akumuliranje i topljenje snega;
- zadržavanje vode u površinskim depresijama;
- infiltracija padavina u nezasićene slojeve zemljišta;
- procurivanje infiltrirane vode u slojeve sa podzemnim vodama;
- interakcija između kolektorskog sistema i podzemnih voda;
- metoda nelinearnog rezervoara za proračun površinskog tečenja.

Pored hidrološkog, program može vršiti i hidrauličko modeliranje, sa sledećim mogućnostima:



- program **SWMM** nema ograničenja u broju čvorova i cevi;
- korišćenje različitih oblika poprečnog preseka otvorenih i zatvorenih kolektora;
- modeliranje specijalnih elemenata kao što su rezervoari, objekti za tretman vode;
- objekti za raspodelu proticaja: pumpe, prelive i otvori;
- definisanje spoljnjih doticaja površinskog oticaja, podzemnih voda, infiltracije od padavina i proticaja za vreme sušnog perioda;
- modeliranje različitih režima tečenja;
- tečenje pod pritiskom i površinsko zadržavanje vode, i sl.

Na slici 6.5. je prikazana simulacija tečenja glavnog kanala u Zvečanu. Na slici se može videti da u času nakon kiše, kanalizacione cevi nisu preopterećene, što ukazuje na dobro projektovanu kanalizacionu mrežu, za zadate količine vode koja se odvodi tim cevima.

## 6.2.8 WEAP (Water Evaluation And Planning)

Ovaj program je uslovno besplatan. Neprofitne, vladine i akademske organizacije u zemljama u razvoju mogu dobiti licencu za program na 2 godine. Ostali korisnici moraju da plate licencu.

U današnje vreme kada je sve veći pritisak i potražnja za vodnim resursima, njihova raspodela između raznih korisnika, kao što su energetika, poljoprivreda, potrebe stanovništva za vodom, turizam, kao i zaštita životne sredine zahteva punu integraciju svih aspekata: raspoloživosti vode, potreba za vodom, kvalitet vode i ekološke potrebe. Za te potrebe je razvijen program za sistem evaluacije i planiranja korišćenja vode ili **WEAP**. Ovaj program predstavlja praktično ali robusno sredstvo kao pomoć donosiocima odluka pri integrisanom planiranju raspodele vode. **WEAP** može da reši širok spektar pitanja, npr. sektorske analize potražnje za vodom, očuvanje vode kao resursa, prava na vodu i prioritete pri raspodeli vode, simulacije protoka i podzemnih voda, upravljanje akumulacijama, proizvodnju hidroenergije i energetski zahtevi, praćenje zagađenja, potrebe ekosistema i analize koristi i troškova projekta.

Kako je cilj programa **WEAP** integralno upravljanje vodnim resursima, tako se svi problemi vezani za potrebe za vodom (npr. šeme korišćenja vode, efikasnost opreme, strategija za ponovnom upotrebom vode, troškovi i šema raspodele vode) posmatraju jednako kao i problemi vezani za vodosnabdevanje (npr. proticaj, rezervoari, transport vode, izvori podzemne vode). Takođe, integrisan je pristup prirodnih komponenti sa inženjerskim komponentama vodoprivrednog sistema. Ovakav sveobuhvatni pristup omogućava da se pri donošenju odluka i upravljanju vodoprivrednim sistemima uzmu u obzir svi faktori koji mogu imati bilo kakav uticaj na vodoprivredni sistem.

Pri korišćenju **WEAP** programa, potrebno je definisati vremenski okvir, prostornu granicu, komponente sistema. Proračuni postavljenog vodoprivrednog sistema daju pregled stvarnih potreba za vodom, opterećenja zagađenja, resursa i snabdevanje sistema vodom. Na osnovu raznih pretpostavki zasnovanih na politikama, troškovima, tehnološkom razvoju i drugim faktorima koji mogu da utiču na zagađenje, snabdevanje vodom i hidrologiju, kreiraju se razni scenariji. Nakon proračuna, scenariji se ocenjuju na osnovu više kriterijuma: obezbeđenja dovoljnih količina vode, troškova i dobiti, kompatibilnosti sa ciljevima zaštite životne sredine i osetljivosti na neizvesnost u ključnim varijablama.

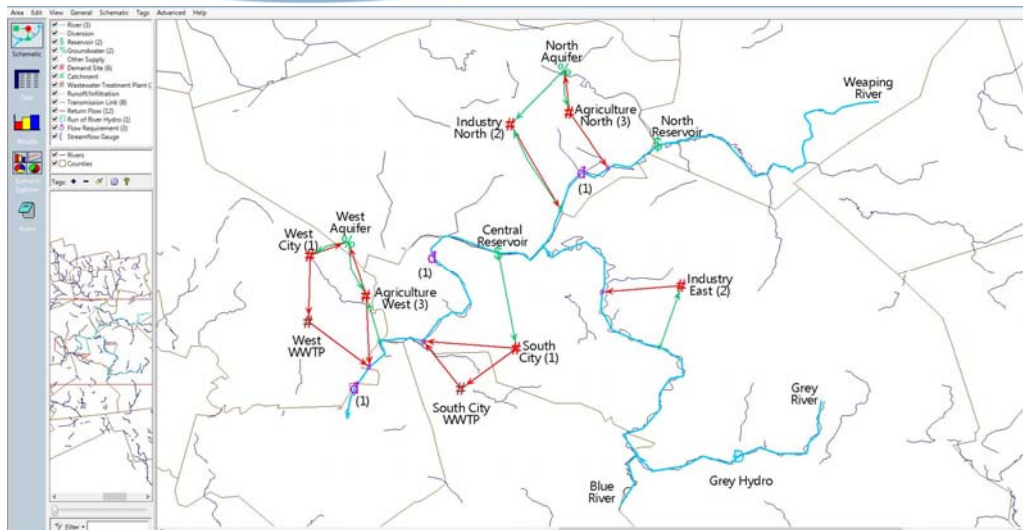
Pomoću **WEAP**-a se prvo kreira postojeće stanje vodoprivrednog sistema koji se proučava, kao što je prikazano na slici 6.6. Tada se na osnovu različitih ekonomskih, demografskih, hidroloških i tehnoloških trendova definiše referentni scenario. Nakon toga, može se razviti jedan ili više scenarija politike sa alternativnim pretpostavkama o budućem razvoju. Pored toga, korisnik može odrediti prioritete za dodelu vode za određene korisnike ili za određene izvore vode.

Scenariji mogu da se bave širokim spektrom pitanja „šta ako“, kao što su (Sieber&Purkey 2015): Šta ako se obrasci rasta stanovništva i ekonomskog razvoja promene? Šta ako su izmenjena pravila rada rezervoara? Šta ako je podzemna voda potpunije iskorišćena? Šta ako se uvede konzervacija vode? Šta ako se pooštre zahtevi ekosistema? Šta ako se dodaju novi izvori zagađenja vode? Šta ako se sprovede program recikliranja vode? Šta ako se primeni efikasnija tehnika navodnjavanja? Šta ako se promeni kombinacija poljoprivrednih kultura? Šta ako klimatske promene izmene hidrologiju? Ovi scenariji se mogu istovremeno gledati u rezultatima radi jednostavne poređenja njihovih efekata na vodoprivredni sistem.

Jedna od prednosti **WEAP**-a je ta što je prilagodljiv svim podacima koji su na raspolaganju za opisivanje sistema vodnih resursa, odnosno može da koristi dnevne, nedeljne, mesečne ili godišnje vremenske korake za opisivanje raspoloživih količina vode u sistemu kao i iskazanih potreba za vodom. Ova osobina znači da se može primeniti u različitim prostornim i vremenskim razmerama i omogućava analizu različitih skupova pitanja upravljanja vodama kako za male tako i za velike slivove.

**WEAP** se može koristiti za rešavanje sledećih pitanja (Sieber&Purkey 2015):

- Kako će zadržavanje i/ili skretanje voda nakon olujnih kiša uticati na postrojenja za vodosnabdevanje i prečišćavanje otpadnih voda?
- Kako će poboljšanja sistema za prikupljanje vode uticati na vodosnabdevanje i prečišćavanje otpadnih voda?
- Kako će modifikacije kombinovanih sistema za prelivanje kanalizacije uticati na prečišćavanje otpadnih voda?
- Kako se ponovo korišćene otpadne vode mogu koristiti za povećanje vodosnabdevanja?



Slika 6.6 – Prikaz vodoprivrednog sistema koji program WAEP isporučuje uz instalaciju (studija slučaja data uz program)

Između ostalog, program omogućava korisniku da razmatra sledeće (Sieber&Purkey 2015):

- infiltraciju i dotok iz podzemnih voda u kanalizacione sisteme. Ovi dotoci mogu da stvore reke i potoke uklanjanjem čiste vode iz sliva i dodatno opterećuju prečišćavanje otpadnih voda, zauzimajući dragocene kapacitete postrojenja i ograničavajući buduće kanalizacione priključke.
- infiltracione bazene i retenzije koje se često koriste u praksi upravljanja sistemom. One se mogu koristiti za kompenzaciju uticaja urbanizacije, gde se s jedne strane povećavaju zahtevi za vodom i potencijalno ugrožavaju snabdevanje vodom, a s druge strane ima više nepropusnih površina pa se mogu koristiti nakon većih padavina, da bi se sprečilo izlivanje prepunjenih lokalnih kanala. Oni takođe mogu poslužiti za ublažavanje zagađenja koje nije u tački izvora.
- prikaz korisničkih mera kao rezultate analize. To omogućava da se kao izlaz dobiju mere i kriterijumi performansi koje su specifične za lokaciju, a obično su vođeni ciljevima pojedinih studija, konfiguracijom sistema i lokalnim uslovima.
- politiku tarifnih cena za vodu kao sredstvo za upravljanje potrošnjom.
- kombinovane prelive u kanalizaciji, koji predstavljaju potencijalne rizike za javno zdravlje i život vode, jer mogu da ispuštaju direktno u vodotoke razne hemikalije i patogene koji izazivaju bolest.

## 6.3 Zaključak

Upotreba IT u upravljanju prirodnim resursima postala je nužnost u uslovima stalnog rasta stanovništva i klimatskih promjena. Potreba za slatkom vodom, proizvodnjom i prevozom pitke vode, prečišćavanjem otpadnih voda i konačnim ispuštanjem i zaštitom životne sredine važni su ne samo za naučnike i stručnjake za pejzažno planiranje višeg nivoa, već i za profesionalce u urbanističkom planiranju, vodosnabdevanju i prečišćavanju otpadnih voda, kao i profesionalci na lokalnom nivou. Profesionalci se upoznaju sa raznovrsnim raspoloživim programima za procenu, procenu i simulaciju količine i kvaliteta vodnih resursa. Oni mogu da odluče da neke od njih koriste u skladu sa svojim potrebama za simulaciju rizika od poplava, održivog korišćenja vodenih resursa i izračunavanja vode za piće ili za kanalizacione kapacitete u nekom gradskom području i modeliranja otjecanja iz urbanih područja i kanala. U tabeli je dat uporedni prikaz programa i oblasti primene.

Naziv programa	Oblast primene	Literatura
HEC-SSP	Statistička obrada podataka	
HEC-HMS	modeliranje procesa padavine-otica j u dendritičnim slivovima	Scharffenberg, Bill, Bartles, Mike, Brauer, Tom, Fleming, Matt, and Karlovits, Greg 2018; Feldman, Arlen 2000.
HEC-RAS	izvođenje jednodimenzionalnih ili dvodimenzionalnih hidrauličkih proračuna za mrežu prirodnih i izgrađenih kanala, obaloutvrda ili poplavnih područja	Kalaba et al., 2013
HEC-WAT	razmatranje procesa u slivu vezanih za vodne resurse, uključujući upravljanje rizikom od poplava	CEIWR-HEC 2017.
Hydrus	simuliranje kretanja vode, toplote i rastvora u zasićenim medijima	Šimunek et al. 2008
Epanet	hidrauličko modeliranje sistema za distribuciju pitke vode u cevovodima pod pritiskom	Rossmann, Lewis 2000.
SWMM	model za simulaciju procesa padavine-otica j i omogućava hidrološko i hidrauličko modeliranje, kao i proračun kvaliteta kišnog oticaja	Rossmann, Lewis 2010; Rossmann, Lewis 2016 I; Rossmann, Lewis 2016 II; Mijić, Ana 2006.
WEAP	integralno upravljanje vodnim resursima	Sieber, Jack, Purkey, David 2015.

## 6.4 Reference

- Scharffenberg, Bill, Bartles, Mike, Brauer, Tom, Fleming, Matt, and Karlovits, Greg 2018 Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC), Davis, California, US
- Feldman, Arlen (editor) 2000 Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC), Davis, California, US
- CEIWR-HEC 2017 HEC-WAT Watershed Analysis Tool User's Manual Version 1.0, U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC), Davis, California, US
- Rossman, Lewis 2000 Epanet 2 User's Manual, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, US.
- Rossman, Lewis 2010 Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, US.
- Rossman, Lewis 2016 Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, US.
- Rossman, Lewis 2016 Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, US.
- Rossman, Lewis 2016 Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, US.
- Mijić, Ana 2006 Primena programskog paketa SWMM za modeliranje oticaja sa urbanih slivova, Seminarski rad iz predmeta Parametarska hidrologija, Građevinski fakultet, Beograd.
- Sieber, Jack, Purkey, David 2015 WEAP Water Evaluation And Planning System User Guide for WEAP 2015, Stockholm Environment Institute, U.S. Center, US.
- Šimůnek, J., M. Sejna, M. Sakai, H. Saito, and M. Th. van Genuchten, The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media, Version 4.0x, *HYDRUS-1D Series 3*, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, USA, 2008.
- Kalaba D.V., Ivanović, I., Čikara, D., & Milentijević, G. (2014). The Initial analysis of the River Ibar temperature downstream of the lake Gazivode. *Thermal Science* 18(1), 73-80

## 7 INOVACIJA U SEKTORU VODA – MODEL UPRAVLJANJA PROCESOM OBNAVLJANJA VODOVODNE MREŽE PRIMJENOM FUZZY LOGIKE I FUZZY ODLUČIVANJA

Suad Špago, Građevinski fakultet Univerziteta “Džemal Bijedić” u Mostaru

### Apstrakt

U ovom poglavlju je primjenom fuzzy logike (Mamdani metod) razvijen model odlučivanja, kod upravljanja procesom obnavljanja vodovodne mreže. Fundamentalni atributi procjene - intenzitet otkaza i gubici vode - egzaktno su uvedeni kao varijable u proceduru logičkog zaključivanja pri formiranju kriterija procjene kao što je „brzina propadanja cijevi“, te kod „kriterija rizika“, kojim se procjenjuje rizik od posljedica kvarova i gubitaka vode (kao događaja) na sistemu.

Model donošenja odluka, kada su kriteriji odlučivanja dati kvalitativno, odnosno kada su njihove vrijednosti kvalificirane lingvističkim skalama, zasnovan na teoriji fuzzy skupova (Bellman-Zadeh), uvođenjem fuzzy logike je proširen i na kriterije koji su dati kvantitativno, a čije su numeričke vrijednosti ranije bile rezultat determinističkog ili stohastičkog modeliranja, uz korištenje oskudnih, nepreciznih ili subjektivnih ulaznih varijabli.

Koncept modela omogućava njegovu primjenu kod sličnih klasa problema odlučivanja kao što su: koju od savremenih metoda rekonstrukcije cijevi primijeniti, ili kako odabrati optimalne dionice cijevnih vodova kod projektovanja i dogradnje sistema vodovodne mreže.

### 7.1 Uvod

Kako bi kod upravljanja procesom obnavljanja sistema cijevne mreže, u odlučivanje bili uključeni svi relevantni faktori, donosioci odluke su u prilici da u proces donošenja odluka, kao kriterije, uključe i one koji se ne mogu na vjerodostojan način predstaviti binarnim, klasičnim skupovima. Da bi se ti kriteriji ravnopravno uveli u proces donošenja odluka predloženo je da se formulišu i predstave kao fuzzy skupovi, te na njih primijeni Bellman – Zadeh metod (Bellman i Zadeh, 1970.) za donošenje odluka u fuzzy okruženju.

Za kriterije kao što su npr.: *ostatak životnog vijeka dionice ili zone* i *pretpostavljena godina potpunog kolapsa dionice ili zone*, numeričke vrijednosti su određene primjenom matematskog modela kao prognostičkog aparata (determinističkog ili probablističkog), koji povezuje relevantne faktore trenutnog stanja cijevi i prognozira dinamiku procesa propadanja cijevi. Na osnovu uvida u metode (modele) procjene trenutnog stanja cijevi, kojim se, prema aktuelnoj praksi i istraživanju vrše prognoze procesa propadanja cijevi, zaključeno je da se radi o postupcima koji u sebi, također,

nose značajnu nepreciznosti i subjektivnost. S obzirom da kod izvođenja zaključaka iz nepreciznih, približnih ili subjektivnih premisa fuzzy logika postaje općeprihvaćen koncept, te uzimajući u obzir aktuelne rezultate istraživanja na polju procjene stanja cijevi, predložena je primjena Mamdani metoda (Mamdani, 1977) fuzzy zaključivanja kao okvirnog formalizma za model procjene stanja cijevi. Mamdani metod je primijenjen kod procjena stanja cijevi i procjena rizika, na osnovu intenziteta otkaza i gubitaka vode, kao dva najznačajnija indikatora stanja mreže o kojima su informacije dostupne sa najmanje dodatnih troškova u odnosu na sve druge navedene indikatore (TV inspekcija, laser, radar, ultrazvuk itd.). Predložena je i primjena Mamdani modela zaključivanja i kod procijenjivanja vrijednosti alternativa po finansijskim kriterijima.

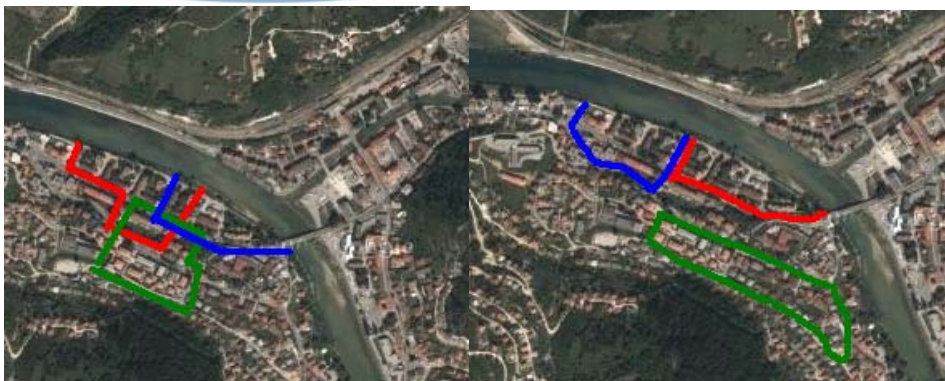
U ovom poglavlju je opisan postupak primjene fuzzy modela odlučivanja različito rangiranih kriterija, uključujući prethodnu primjenu fuzzy logičkog zaključivanja za dobivanje vrijednosti pojedinih kriterija.

## 7.2 Algoritam postupka rangiranja, ključne aktivnosti

### 7.2.1 Definiranje zona (ili dionica) kao alternativa

Postupak formiranja alternativa nije detaljnije obrađen u dostupnoj literaturi, ali se općenito smatra da je svaki sistem vodosnabdijevanja, za potrebe operativnog upravljanja, podijeljen na zone. Zone ili cijevne dionice, dijelovi sistema vodosnabdijevanja, od strane donosioca odluke definirane kao zasebne cijeline, predstavljaju alternative za rangiranje. Za definiranje zona ili dionica kao alternativa, donosilac odluke se rukovodi tehničkim, urbanističkim ili nekim drugim lokalnim uvjetima (kvalitetom podataka o stanju mreže, starosti, broju priključaka, parametrima pouzdanosti itd.), ali su za veličinu obuhvata alternative presudni finansijski aspekti, odnosno raspoloživa novčana sredstva. Napomenimo da alternative ne predstavljaju obavezno odvojene skupove, zone ili cijevne dionice, kao cjeline unutar urbane vodovodne mreže, kao na *slici 7.1.b.*, nego mogu biti definirane, kao na *slici 7.1.a.*, tako da se pojedine alternative na dijelovima mogu preklapati. U svakom slučaju ovdje se radi o višekriterijskoj analizi odluka (višekriterijsko odlučivanje) kod kojih je skup dopustivih rješenja diskretan, unaprijed određen i konačan.

Kako bi se alternative mogle porediti po nekom kriteriju u postupku rangiranja nužno je da postoje informacije o karakteristikama (kvantitativnim ili kvalitativnim) po tom kriteriju.



(a)

(b)

Slika 7.1 – Gradske zone kao alternative (a) koje se preklapaju i (b) koje su potpuno odvojene.

Izbor kriterija zavisi od kvaliteta i količine podataka o mreži na razmatranim dijelovima, alternativama, tako da formiranju kriterija, pored smjernica i preporuka (CARE-W) (Hertz, Baur, Lipkow & Kropp, 2003), prethodi analiza raspoloživih podataka.

## 7.2.2 Izbor atributa od značaja za rangiranje

Općenito, donosilac odluke raspolaže mnoštvom podataka o pojedinim alternativama koji čine njihove atribute razlikovanja, odnosno poređenja. U ovom koraku donosilac odluke, iz skupa atributa, o alternativama (zonama ili dionicama) u skladu sa ciljevima rangiranja, bira atribute koji su od značaja za konkretan problem rangiranja.

Za skup od  $n$  alternativa  $\{A_i\}_{i=1}^{i=n}$  i skup od  $m$ , karakteristika alternativa, atributa,  $\{a_j\}_{j=1}^{j=m}$ , iz skupa atributa izdvaja se  $k$  atributa koji su od značaja za postupak rangiranja, u skladu sa postavljenim ciljevima, dakle ukupan broj atributa koji se dalje razmatra je  $\{a_j\}_{j=1}^{j=k}$  gdje je  $k < m$ .

Donosilac odluke iz skupa bira one atribute za koje cijeni da su od značaja za poređenje alternativa u procesu odlučivanja, a prema specifičnim zahtjevima i cilju modela, u ovom slučaju to je definiranje prioriteta za obnavljanje unutar cijevne vodovodne mreže.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Postupak vrijedi za bilo koji zadatak rangiranja npr. rangiranje površina kao prioriteta za pošumljavanje, asfaltiranje, obnovu krovova, fasada, opasnost od požara, potrebe za vodom itd. Ili bilo koja vrsta rangiranja.



### 7.2.3 Selekcija atributa i kriterija; Mamdani metod

U skupu atributa, na osnovu kojih se vrši poređenje i rangiranje alternativa, razlikuju se oni koji se koriste kao kriteriji direktno ili indirektno. U skupu atributa  $\{a_j\}_{j=1}^k$  vrši se selekcija na: (1) atribute koji se direktno uzimaju kao kriteriji u procesu rangiranja i (2) atribute koji se kao varijable koriste u postupku modeliranja iz kojih se indirektno dobivaju kriteriji odlučivanja (npr. *brzina propadanja cijevi* je kriteriji koji se dobiva kroz proceduru zaključivanja čije su ulazne varijable atributi *starost* i *intenzitet kvarova* ili *gubici vode* ili *procjena stanja cijevi* na osnovu primjene neke od savremenih metoda procijenjivanja).

U modelima za indirektno dobivanje kriterija odlučivanja, vrijednosti atributa, kao varijabli, u sebi nose određenu subjektivnost ili su numerički podaci oskudni zbog čega deterministički ili probabilistički modeli stvaraju privid lažne preciznosti. Za prevazilaženje ovog problema uvedena je primjena fuzzy logičkog zaključivanja, Mamdani metod.

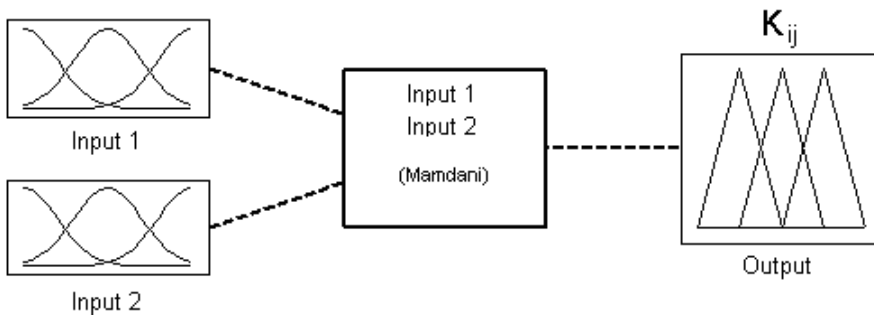
Fuzzy logičko zaključivanje kojim se, koristeći atribute kao varijable, dobivaju pojedine grupe kriterija provodi se na slijedeći način:

*Kriteriji procjene.* Procjene brzine propadanja u razmatranim zonama ili cijevnim dionicama (kao alternativama odlučivanja) primjenom fuzzy logike vrše se na osnovu raspoloživih informacija o otkazima, gubicima i o stanju cijevi, za sve zone ili dionice pojedinačno. Jedna ulazna varijabla se bira od: *procjene intenziteta otkaza* ili *procjene gubitaka vode* ili *procijenjenog stanja cijevi* (na osnovu od nekih metoda procjene TV inspekcija, elektromagnetno ili lasersko skeniranje, ispitivanje uzoraka itd.). Svi ovi procesi su, kao indikatori propadanja cijevi, zapravo funkcije vremena, druga ulazna varijabla za sve pojedinačno je *vrijeme*. Izlazna varijabla *brzina propadanja cijevi* na osnovu pojave otkaza, gubitaka ili procjene stanja, koja se dobiva nakon defazifikacije, predstavlja numeričku vrijednost pridruženu kriteriju procjene *brzina propadanja cijevi*.

Finansijski kriteriji. Mjera isplativosti zamjene pojedinih zona rezultat je postupka zaključivanja Mamdani metodom, gdje je cijena investicije jedna ulazna varijabla. Druga ulazna varijabla se bira od (prema raspoloživim podacima i mišljenju donosioca odluke): procenta obnavljanja mreže, broja priključaka u zoni, potrošnje vode u zoni itd. Izlazna varijabla fuzzy zaključivanja je numerička vrijednost mjere isplativosti (prema procentu obnavljanja mreže, prema broju priključaka, prema potrošnji vode u zoni itd) kao kriterija.

Kriteriji rizika. Ovi kriteriji uključuju rizik od posljedica događaja kao što su: kontaminacija vode, oštećenja objekata, oštećenja druge podzemne infrastrukture

(toplovođi, plinovodi, električna, telefonska i kablovska mreža), ugrožavanje saobraćaja, prekid isporuke vode korisnicima sa visokom osjetljivošću i sl., koje pojava otkaza ili gubici vode mogu uzrokovati na sistemu ili sistemskom okruženju. Jedna ulazna varijabla je svakako posljedica događaja, dok drugu ulaznu varijablu čini intenzitet otkaza ili gubici vode kao uzročnici događaja. Izlazna varijabla je rizik od specificiranog događaja (otkaza i/ili gubitaka) predstavlja numeričku vrijednost kriterija rizika. Opća šema procedure je data na Slici 7.2.:



Slika 7.2 – Šema Mamdani metode fuzzy zaključivanja sa dvije ulazne i jednom izlaznom varijablom (Mamdani, 1977).

Svaka od jednoznačnih, numeričkih vrijednosti izlaznih varijabli dobivenih defazifikacijom, metodom težišta, predstavlja numeričku vrijednost koja se pridružuje kriteriju pojedinačno za svaku alternativu (zonu ili cijevnu dionicu).

Atributi koji su iz skupa atributa izdvojeni i određeni kao kriteriji koji se direktno koriste u procesu rangiranja, mogu se generalno podijeliti na kvantitativne i kvalitativne. Kvantitativnim kriterijima se pridružuju numeričke vrijednosti dok se za kvalitativne kriterije definiraju fuzzy skupovi čije se vrijednosti funkcija pripadnosti  $\mu(x)$  izračunavaju i pridružuju kriteriju kao numeričke vrijednosti (Bellman-Zadeh metod).

Dobivene numeričke vrijednosti u daljem postupku su elementi *matrice odlučivanja* (matrice performansi).

### 7.2.3.1 Matrica odlučivanja; rangiranje kriterija

Svaka kolona matrice odgovara jednoj alternativu  $X_i$ , svaki red jednom kriteriju  $K_j$ , a element  $x_{ij} \in R$  predstavlja rejting (performansu) alternative  $X_i$  u odnosu na kriterij  $K_j$ . Za  $m$  kriterija ( $K_1, K_2, \dots, K_m$ ) i  $n$  alternativa ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) matrica  $R$  ima oblik (2). Relativna važnost kriterija odlučivanja se uvodi dodjeljivanjem težinskih koeficijenata  $w_j$  kriterijima  $K_j$  uz uvjet:

$$\sum_{j=1}^{j=m} w_m = 1 \tag{1}$$

$$R = \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ \vdots \\ K_{j-1} \\ K_j \\ K_{j+1} \\ \vdots \\ K_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2i} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{j-1,1} & x_{j-1,2} & x_{j-1,3} & \dots & x_{j-1,i} & \dots & x_{j-1,n} \\ x_{j,1} & x_{j,2} & x_{j,3} & \dots & x_{j,i} & \dots & x_{j,n} \\ x_{j+1,1} & x_{j+1,2} & x_{j+1,3} & \dots & x_{j+1,i} & \dots & x_{j+1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & x_{m,3} & \dots & x_{m,i} & \dots & x_{m,n} \end{bmatrix} \begin{matrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_{j-1} \\ W_j \\ W_{j+1} \\ \vdots \\ W_m \end{matrix} \quad (2)$$

### 7.2.4 Bellman-Zadeh metod odlučivanja

Promatrajući matricu odlučivanja  $R$  u kontekstu primjene Bellman – Zadeh metoda (Bellman & Zadeh, 1970) odlučivanja vrijednosti  $\{K_{1,j}\}_{j=1}^m$  su vrijednosti funkcija pripadnosti pojedinih alternativa  $X_i, i=1,n$  po prvom kriteriju  $K_i$ , odnosno ako se to zapiše u formi fuzzy skupova uključujući težine  $w_j^2$ , respektivno za sve kriterije do  $m$ -tog dobiva se:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{\mu_{K_1}^{w_1}(x_{11})}{X_1} + \frac{\mu_{K_1}^{w_1}(x_{12})}{X_2} + \dots + \frac{\mu_{K_1}^{w_1}(x_{1i})}{X_i} + \dots + \frac{\mu_{K_1}^{w_1}(x_{1n})}{X_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{K_1}^{w_1}(x_{1i})}{X_i} \\ K_2 &= \frac{\mu_{K_2}^{w_2}(x_{21})}{X_1} + \frac{\mu_{K_2}^{w_2}(x_{22})}{X_2} + \dots + \frac{\mu_{K_2}^{w_2}(x_{2i})}{X_i} + \dots + \frac{\mu_{K_2}^{w_2}(x_{2n})}{X_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{K_2}^{w_2}(x_{2i})}{X_i} \\ K_m &= \frac{\mu_{K_m}^{w_m}(x_{m1})}{X_1} + \frac{\mu_{K_m}^{w_m}(x_{m2})}{X_2} + \dots + \frac{\mu_{K_m}^{w_m}(x_{mi})}{X_i} + \dots + \frac{\mu_{K_m}^{w_m}(x_{mn})}{X_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{K_m}^{w_m}(x_{mi})}{X_i} \end{aligned} \quad (3)$$

Alternative odluke po Bellman-Zadeh metodu je data izrazom:

$$D = \bigcap_{j=1}^m K_j = \min \left( \min_{j=1,m} \left( \mu_{K_j}^{w_j}(x_{ij}) \right) \right) \quad (4)$$

$$D_1(X_1) = \min \left( \min_{j=1,m} \left( \mu_{K_j}^{w_j}(x_{1n}) \right) \right) = \mu_{D_1}(\tilde{x}_1)$$

$$D_2(X_2) = \min \left( \min_{j=1,m} \left( \mu_{K_j}^{w_j}(x_{2n}) \right) \right) = \mu_{D_2}(\tilde{x}_2) \quad (5)$$

<sup>2</sup> Težina  $w$  u eksponentu u jednačini ne označava operaciju stepenovanja, već index, odnosno da je funkcija pripadnosti  $\mu$  pomnožena težinom  $w$ .

$$D_n(X_n) = \min \left( \min_{j=1,m} \left( \mu_{K_j}^{w_j}(x_{mn}) \right) \right) = \mu_{D_n}(\tilde{x}_n)$$

pa je fuzzy skup odluka  $D$  dat sa:

$$D = \frac{D_1(X_1)}{X_1} + \frac{D_2(X_2)}{X_2} + \dots + \frac{D_n(X_n)}{X_n} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i(X_i)}{X_i} \quad \text{ili}$$

$$D = \frac{\mu D_1(\tilde{x}_1)}{X_1} + \frac{\mu D_2(\tilde{x}_2)}{X_2} + \dots + \frac{\mu D_n(\tilde{x}_n)}{X_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu D_i(\tilde{x}_i)}{X_i} \quad (6)$$

Odluka je alternativa  $X^*$  sa najvećom vrijednosti funkcije pripadnosti fuzzy skupu odluka  $D$ , pa možemo pisati da je (Bellman, Zadeh, 1970; Li, Yen, 1995):

$$D(X^*) = \max(D_1(X_1), D_2(X_2), \dots, D_n(X_n)) \quad \text{or}$$

$$\mu D(\tilde{x}^*) = \max(\mu D_1(\tilde{x}_1), \mu D_2(\tilde{x}_2), \dots, \mu D_n(\tilde{x}_n)) \quad (7)$$

Na Slici 7.3. je dijagram toka procedure provođenja predstavljenog modela. (Špago & Čatović, 2009).

## 7.2.5 Numerički primjer primjene kod rangiranja alternativa za obnavljanje

U nastavku je, na ilustrativnom primjeru, pokazan način primjene modela. Kao osnov koristi se primjer prezentiran u izvještaju CARE-W (Hertz, Baur, Lipkow, Kropp, 2003), s tim što je broj alternativa uvećan sa 4 na 7, a broj kriterija sa 7 na 10.

Najprije se iz skupa raspoloživih atributa formira lista onih od značaja za rangiranje alternativa  $\{A_i\}_{i=1}^{i=7}$ , odnosno rangiranje zona kao prioriteta za obnavljanje. Neka je

skup atributa dat sa  $\{a_j\}_{j=1}^{j=12}$  i neka su to:

$a_1$ : Cijena koštanja (€).

$a_2$ : Starost cijevi (god).

$a_3$ : Gubici vode ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{km}$ ,  $q_{\text{VR}}^3$ ).

$a_4$ : Intenzitet otkaza (broj otkaza/km/god).

$a_5$ : Procenat obnavljanja mreže (%).

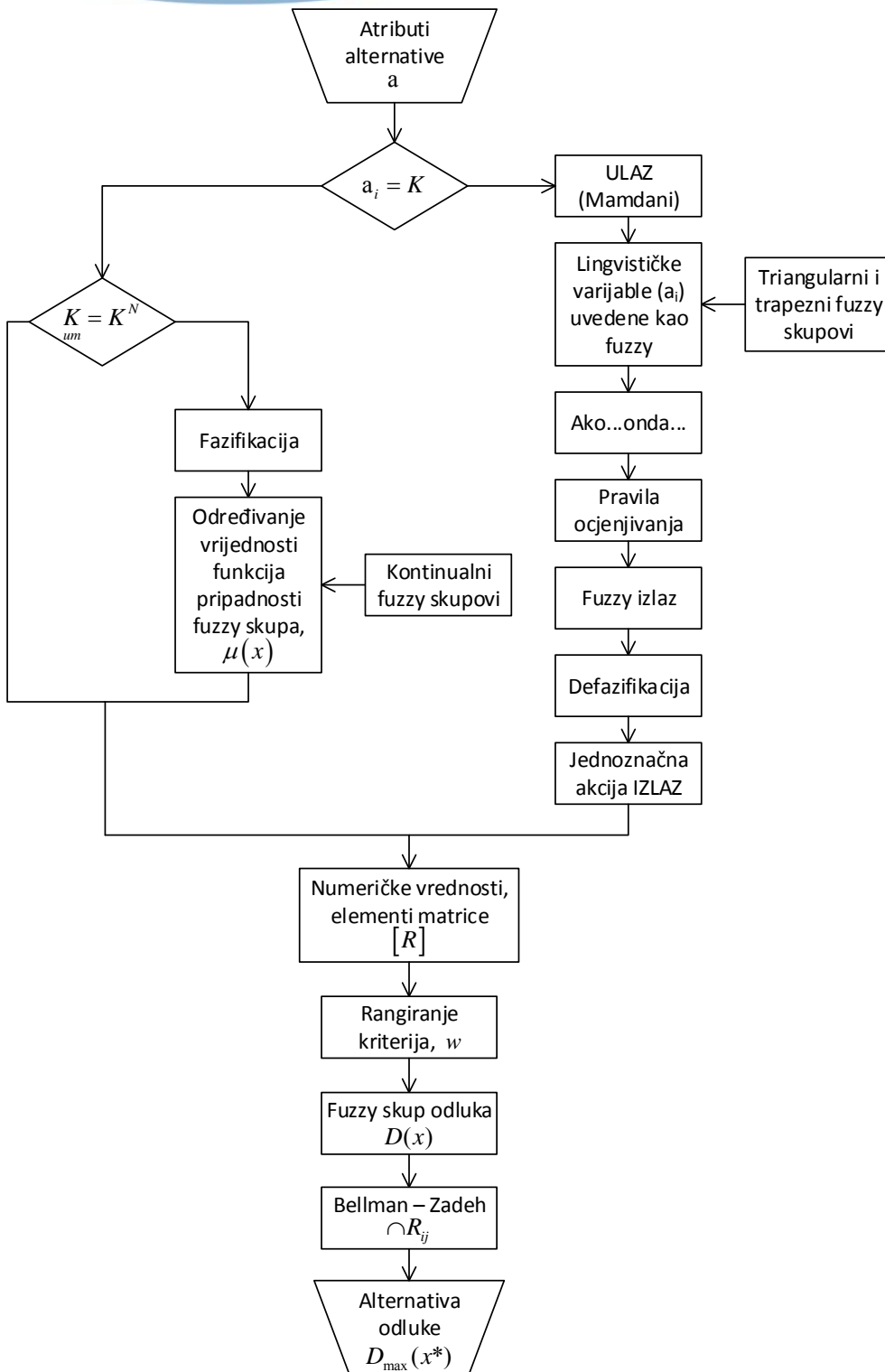
$a_6$ : Posljedice oštećenja objekata od otkaza (lingvistička kvalifikacija).

$a_7$ : Posljedice oštećenja objekata od gubitaka, curenja (lingvistička kvalifikacija).

$a_8$ : Posljedice oštećenja druge podzemne infrastrukture od otkaza (lingvistička kvalifikacija).

$a_9$ : Posljedice oštećenja druge podzemne infrastrukture od gubitaka, curenja (lingvistička kvalifikacija).

<sup>3</sup> DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas-und Wasserfaches e.V.)



Slika 7.3 – Dijagram toka fuzzy modela rangiranja alternativa za obnavljanje

$a_{10}$ : Procijenjeni broj nelegalnih priključaka (%).

$a_{11}$ : Broj pritužbi građana (lingvistička kvalifikacija).

$a_{12}$ : Broj korisnika (#).

U Tabeli 7.1 su date numeričke vrijednosti i lingvistička kvalifikacija atributa  $\{a_j\}_{j=1}^{12}$

za alternative  $\{A_i\}_{i=1}^7$ :

Tabela 7.1 – Kvalitativne i kvantitativne vrijednosti atributa aj za Ai kriterije.

	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>	<b>A<sub>7</sub></b>
$a_1$	1.1 ml €	1.15 ml €	1.2 ml €	1.4 ml €	1.6 ml €	2.4 ml €	3.2 ml €
$a_2$	40	38	40	45	42	45	50
$a_3$	0,28	0,30	0,32	0,29	0,31	0,34	0,36
$a_4$	0,11	0,13	0,12	0,14	0,12	0,13	0,145
$a_5$	1,2%	0,85%	0,5%	0,8 %	0,9%	1,4 %	1,6%
$a_6$	Srednje	Velike	Srednje	Male	Velike	Male	Velike
$a_7$	Velike	Male	Srednje	Vrlo male	Srednje	Vrlo male	Male
$a_8$	Srednje	Male	Velike	Srednje	Velike	Srednje	Srednje
$a_9$	Velike	Srednje	Male	Vrlo velike	Male	Velike	Velike
$a_{10}$	5 %	7 %	6 %	8 %	6 %	9 %	10 %
$a_{11}$	Veliki	Srednje	Male	Srednje	Veliki	Veliki	Vrlo veliki
$a_{12}$	1.500	1.320	1.600	2.100	2.450	3.200	3.800

Primjenjujući predloženi Mamdani metod zaključivanja u slijedećem koraku atributi  $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{12}\}$  se koriste kao ulazne varijable Mamdani metoda zaključivanja, a atributi  $\{a_{10}, a_{11}\}$  direktno kao kriteriji u procesu odlučivanja. Ukupan broj kriterija, nakon selekcije i primjene Mamdani metoda, je  $\{K_k\}_{k=1}^{k=10}$ .

Na *Slici 7.4* šematski je predstavljen postupak primjene Mamdani metode fuzzy zaključivanja, gdje se vidi koji od atributa su korišteni kao varijable za fuzzy logičko zaključivanje kako bi se dobili kriteriji odlučivanja, a koji atributi su korišteni direktno kao kriteriji odlučivanja.

Kriteriji odlučivanja su:

$K_1$ : Brzina propadanja procijenjena na osnovu gubitaka.

$K_2$ : Brzina propadanja procijenjena na osnovu intenziteta otkaza.

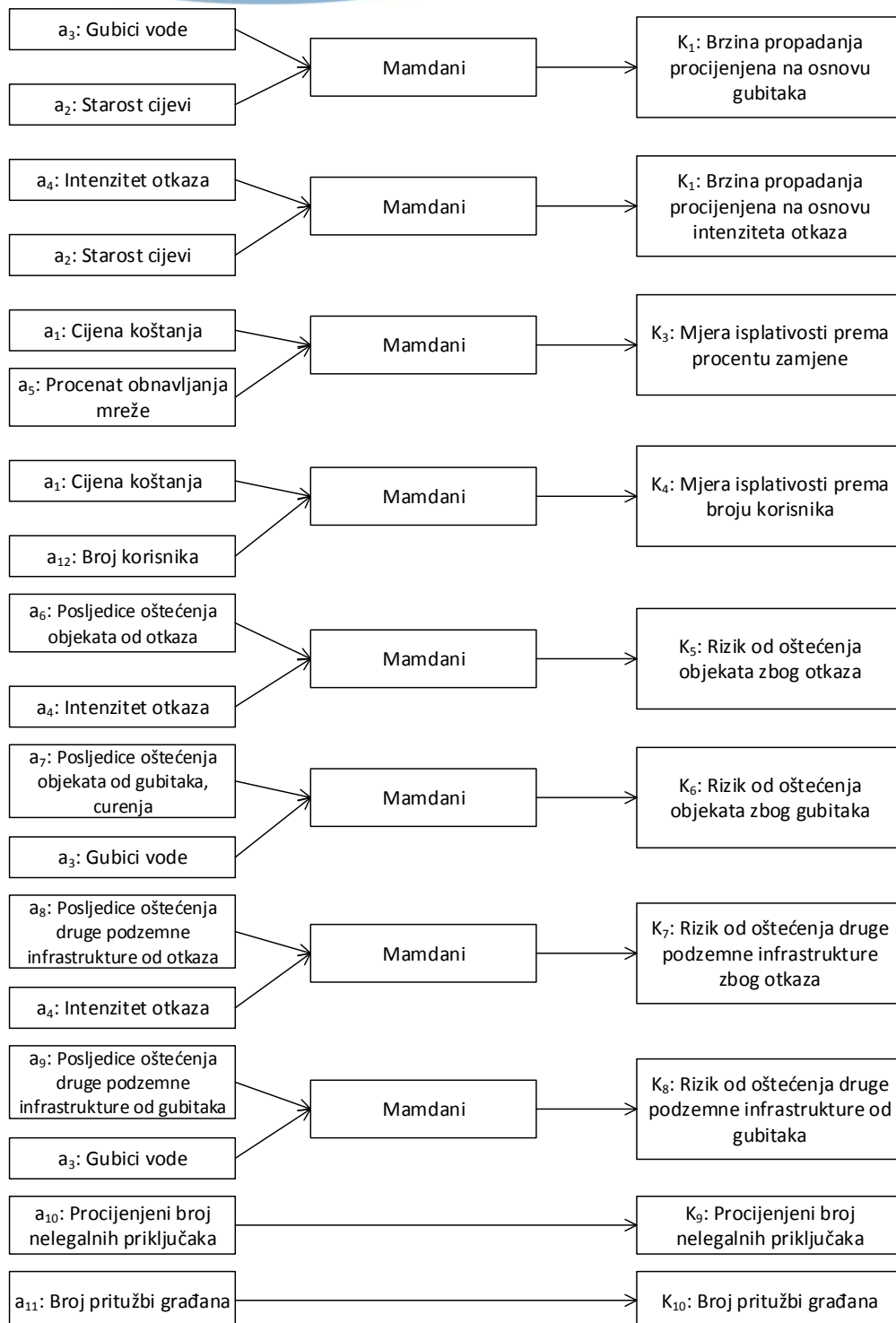
$K_3$ : Mjera isplativosti prema procentu zamjene.

$K_4$ : Mjera isplativosti prema broju priključaka.

$K_5$ : Rizik od oštećenja objekata zbog otkaza.

$K_6$ : Rizik od oštećenja objekata zbog gubitaka

$K_7$ : Rizik od oštećenja druge podzemne infrastrukture zbog otkaza.



Slika 7.4 – Šema primjene Mamdani metoda i dobivanje kriterija odlučivanja (Špago & Čatović, 2009).

$K_8$ : Rizik od oštećenja druge podzemne infrastrukture zbog gubitaka.

$K_9$ : Procijenjeni broj nelegalnih priključaka. (%)

$K_{10}$ : Broj pritužbi građana.

Vrijednosti atributa  $\{A_i\}_{i=1}^{i=7}$  po kriterijima odlučivanja  $\{K_k\}_{k=1}^{k=10}$ , kao i vrijednosti težina pojedinih kriterija  $\{w_k\}_{k=1}^{k=10}$  su date (ilustrativno) u *tabeli 7.2*.<sup>4</sup>:

Tabela 7.2 – Kvalitativne i kvantitativne vrijednosti kriterija  $K_k$  i vrijednosti težina  $w_k$  za  $A_i$  kriterija.

	w	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>
K <sub>1</sub>	0.09	0,741	0,919	0,92	0,715	0,887	0,85	0,809
K <sub>2</sub>	0.09	0,75	0,782	0,759	0,747	0,735	0,721	0,712
K <sub>3</sub>	0.12	0,75	0,681	0,5	0,586	0,585	0,597	0,48
K <sub>4</sub>	0.08	0,547	0,5	0,572	0,619	0,633	0,559	0,473
K <sub>5</sub>	0.12	0,75	0,905	0,759	0,678	0,915	0,625	0,919
K <sub>6</sub>	0.12	0,84	0,75	0,92	0,467	0,92	0,5	0,75
K <sub>7</sub>	0.09	0,75	0,625	0,915	0,827	0,915	0,782	0,864
K <sub>8</sub>	0.09	0,84	0,92	0,75	0,919	0,75	0,92	0,92
K <sub>9</sub>	0.10	5 %	7 %	6 %	8 %	6 %	9 %	10 %
K <sub>10</sub>	0.10	Veliki	Srednji	Mali	Srednji	Veliki	Veliki	Vrlo veliki

Matrica odlučivanja ima oblik:

$$R = \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \\ K_6 \\ K_7 \\ K_8 \\ K_9 \\ K_{10} \end{matrix} \left[ \begin{array}{cccccccc} 0,741 & 0,919 & 0,92 & 0,715 & 0,887 & 0,85 & 0,809 \\ 0,75 & 0,782 & 0,759 & 0,747 & 0,735 & 0,721 & 0,712 \\ 0,75 & 0,681 & 0,5 & 0,586 & 0,585 & 0,597 & 0,48 \\ 0,547 & 0,5 & 0,572 & 0,619 & 0,633 & 0,559 & 0,473 \\ 0,75 & 0,905 & 0,759 & 0,678 & 0,915 & 0,625 & 0,919 \\ 0,84 & 0,75 & 0,92 & 0,467 & 0,92 & 0,5 & 0,75 \\ 0,75 & 0,625 & 0,915 & 0,827 & 0,915 & 0,782 & 0,864 \\ 0,84 & 0,92 & 0,75 & 0,919 & 0,75 & 0,92 & 0,92 \\ 5\% & 7\% & 6\% & 8\% & 6\% & 9\% & 10\% \\ \text{Veliki} & \text{Srednji} & \text{Mali} & \text{Srednji} & \text{Veliki} & \text{Veliki} & \text{Vrlo veliki} \end{array} \right] \quad (8)$$

Svi kriteriji osim  $K_9$  i  $K_{10}$  su rezultat Mamdani logičkog zaključivanja, te su njihove numeričke vrijednosti (dobivene defazifikacijom) u intervalu [0,1]. S obzirom da, način

<sup>4</sup> Numeričke vrijednosti u tabeli su izračunate primjenom programa MatLab, Fuzzy Logic Tools.



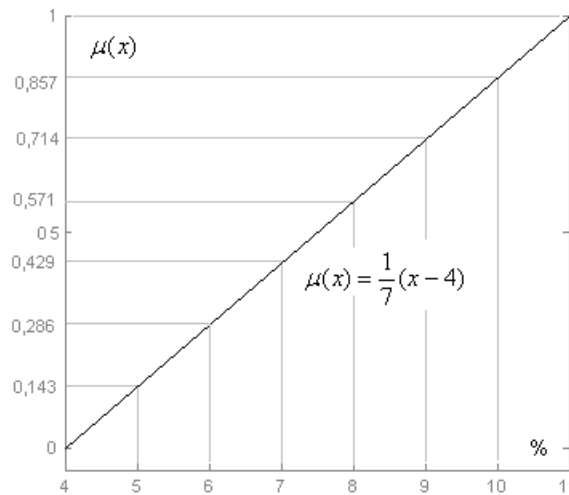
na koji su formirane numeričke vrijednosti, za sve kriterije vrijedi princip „veće je bolje“ pa funkcije pripadnosti tih kriterija  $\{K_k\}_{k=1}^{k=8}$  imaju formu:

$$\mu_{K_k}(x_k) = x_k \quad k = 1, \dots, 8 \quad (9)$$

tj. vrijednosti funkcije pripadnosti su jednake vrijednostima kriterija.

$K_9$ : Procijenjeni broj nelegalnih priključaka (%) je kvantitativan kriterij čije su brojne vrijednosti zadate (Tabela 7.2.), a koji se fazificira prema Bellman-Zadeh metodu, kontinualnim fuzzy skupom čija je funkcija pripadnosti data izrazom (10) i predstavljena na Slici 7.5.

$$\mu(x_9) = \frac{1}{7}(x_9 - 4) \quad (10)$$



Slika 7.5 – Funkcija pripadnosti fuzzy skupa Procjena nelegalnih priključaka.

$$K_9 = \frac{0,143}{A_1} + \frac{0,429}{A_2} + \frac{0,286}{A_3} + \frac{0,571}{A_4} + \frac{0,286}{A_5} + \frac{0,714}{A_6} + \frac{0,857}{A_7} \quad (11)$$

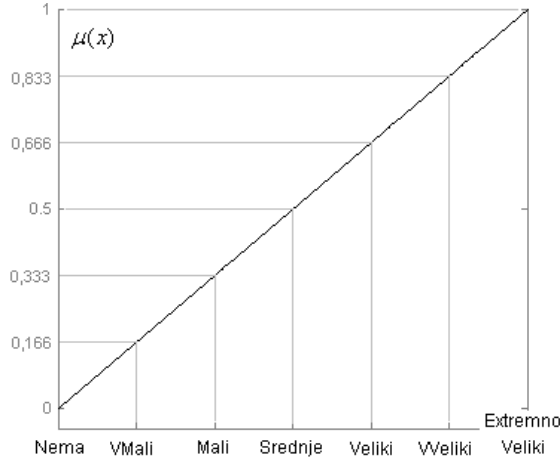
$K_{10}$ : Broj pritužbi građana je kvalitativni kriterij koji je kvalificiran sedmostepenom lingvističkom vrijednosnom skalom: *Nema pritužbi, Mali, Vrlo mali, Srednji, Veliki, Vrlo veliki i Ekstremno veliki broj pritužbi*. Fazifikacija prema Bellman-Zadeh metodu, je izvršena kontinualnim fuzzy skupom (Špago i Čatović, 2009) koji je predstavljen na Slici 7.6.

$$K_{10} = \frac{\mu_{K_{10}}(Vel)}{A_1} + \frac{\mu_{K_{10}}(Sr)}{A_2} + \frac{\mu_{K_{10}}(Mali)}{A_3} + \frac{\mu_{K_{10}}(Sr)}{A_4} + \frac{\mu_{K_{10}}(Vel)}{A_5} + \frac{\mu_{K_{10}}(Vel)}{A_6} + \frac{\mu_{K_{10}}(VVel)}{A_7}$$

$$K_{10} = \frac{0,666}{A_1} + \frac{0,5}{A_2} + \frac{0,333}{A_3} + \frac{0,5}{A_4} + \frac{0,333}{A_5} + \frac{0,666}{A_6} + \frac{0,833}{A_7} \quad (12)$$

Opšti oblik svih fuzzy skupova prema Bellman-Zadeh metodu je dat izrazom:

$$K_k = \left\{ \sum_{i=1}^7 \frac{\mu_{K_k}(x_{ki})}{A_i} \right\}_{k=1}^{k=10} \quad (13)$$



Slika 7.6 – Funkcija pripadnosti fuzzy skupa Broj pritužbi građana.

U *Tabeli 7.3.* su date vrijednosti funkcija pripadnosti svih fuzzy skupova kriterija po pojedinim alternativama.

Tabela 7.3 – Numeričke vrijednosti funkcija pripadnosti fuzzy skupova kriterija  $K_k$  za  $A_i$  kriterija.

	<b>W</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>	<b>A<sub>7</sub></b>
		$\mu_1(x)$	$\mu_2(x)$	$\mu_3(x)$	$\mu_4(x)$	$\mu_5(x)$	$\mu_6(x)$	$\mu_7(x)$
$K_1$	0,09	0,741	0,919	0,920	0,715	0,887	0,850	0,809
$K_2$	0,09	0,750	0,782	0,759	0,747	0,735	0,721	0,712
$K_3$	0,12	0,750	0,681	0,500	0,586	0,585	0,597	0,480
$K_4$	0,08	0,547	0,500	0,572	0,619	0,633	0,559	0,473
$K_5$	0,12	0,750	0,905	0,759	0,678	0,915	0,625	0,919
$K_6$	0,12	0,840	0,750	0,920	0,467	0,920	0,500	0,750
$K_7$	0,09	0,750	0,625	0,915	0,827	0,915	0,782	0,864
$K_8$	0,09	0,840	0,920	0,750	0,919	0,750	0,920	0,920
$K_9$	0,10	0,143	0,429	0,286	0,571	0,286	0,714	0,857
$K_{10}$	0,10	0,666	0,500	0,333	0,500	0,666	0,666	0,833

Matrica odlučivanja dobiva oblik (14).

Rangiranje kriterija formalno se uvodi preko težinskih koeficijenata  $\{w_k\}_{k=1}^{k=10}$ , klasičnom procedurom.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> U ovom primjeru u parovima je izvršeno međusobno poređenje kriterija, pri čemu je preferencija izražena uz pomoć Saaty-eve skale (Thomas L. Saaty, američki matematičar) relativne važnosti koja ima 5 stupnjeva i 4 međustupnja verbalno opisanih intenziteta i odgovarajuće numeričke vrijednosti u rasponu 1-9, uzete kao ilustrativan primjer.

$$R = \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \\ K_5 \\ K_6 \\ K_7 \\ K_8 \\ K_9 \\ K_{10} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,741 & 0,919 & 0,92 & 0,715 & 0,887 & 0,85 & 0,809 \\ 0,75 & 0,782 & 0,759 & 0,747 & 0,735 & 0,721 & 0,712 \\ 0,75 & 0,681 & 0,5 & 0,586 & 0,585 & 0,597 & 0,48 \\ 0,547 & 0,5 & 0,572 & 0,619 & 0,633 & 0,559 & 0,473 \\ 0,75 & 0,905 & 0,759 & 0,678 & 0,915 & 0,625 & 0,919 \\ 0,84 & 0,75 & 0,92 & 0,467 & 0,92 & 0,5 & 0,75 \\ 0,75 & 0,625 & 0,915 & 0,827 & 0,915 & 0,782 & 0,864 \\ 0,84 & 0,92 & 0,75 & 0,919 & 0,75 & 0,92 & 0,92 \\ 0,143 & 0,429 & 0,286 & 0,571 & 0,286 & 0,714 & 0,857 \\ 0,666 & 0,5 & 0,333 & 0,5 & 0,666 & 0,666 & 0,833 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Uvođenjem težinskih koeficijenata u fuzzy skupove dobivamo:

$$K_k^{(w)} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^7 w_k \cdot \mu_{K_k}(x_{k,i})}{A_i} \right\}_{k=1}^{k=10} \quad (15)$$

Radi preglednosti funkcije pripadnosti fuzzy skupova su date u *Tabeli 7.4.*:

Tabela 7.4 – Vrijednosti proizvoda funkcija pripadnosti  $\mu(x)$  i težina  $w_k$ .

		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>
	W <sub>k</sub>	w <sub>1</sub> μ <sub>1</sub> (x)	w <sub>1</sub> μ <sub>2</sub> (x)	w <sub>1</sub> μ <sub>3</sub> (x)	w <sub>1</sub> μ <sub>4</sub> (x)	w <sub>1</sub> μ <sub>5</sub> (x)	w <sub>1</sub> μ <sub>6</sub> (x)	w <sub>1</sub> μ <sub>7</sub> (x)
K <sub>1</sub> <sup>(w<sub>1</sub>)</sup>	0,09	0,0667	0,0827	0,0828	0,0644	0,0798	0,0765	0,0728
K <sub>2</sub> <sup>(w<sub>2</sub>)</sup>	0,09	0,0675	0,0704	0,0683	0,0672	0,0662	0,0649	0,0641
K <sub>3</sub> <sup>(w<sub>3</sub>)</sup>	0,12	0,0900	0,0817	0,0600	0,0703	0,0702	0,0716	0,0576
K <sub>4</sub> <sup>(w<sub>4</sub>)</sup>	0,08	0,0438	0,0400	0,0458	<b>0,0495</b>	0,0506	0,0447	0,0378
K <sub>5</sub> <sup>(w<sub>5</sub>)</sup>	0,12	0,0900	0,1086	0,0911	0,0814	0,1098	0,0750	0,1103
K <sub>6</sub> <sup>(w<sub>6</sub>)</sup>	0,12	0,1008	0,0900	0,1104	0,0560	0,1104	0,0600	0,0900
K <sub>7</sub> <sup>(w<sub>7</sub>)</sup>	0,09	0,0675	0,0563	0,0824	0,0744	0,0824	0,0704	0,0778
K <sub>8</sub> <sup>(w<sub>8</sub>)</sup>	0,09	0,0756	0,0828	0,0675	0,0827	0,0675	0,0828	0,0828
K <sub>9</sub> <sup>(w<sub>9</sub>)</sup>	0,10	0,0143	0,0429	0,0286	0,0571	0,0286	0,0714	0,0857
K <sub>10</sub> <sup>(w<sub>10</sub>)</sup>	0,10	0,0666	0,0500	0,0333	0,0500	0,0666	0,0666	0,0833

S obzirom da je fuzzy skup odluka D prema (4) dat sa:

$$D = \bigcap_{k=1}^{10} K_k^{(w_k)} = \left( \min_{k=1,10} \left( \mu_{K_k}^{w_k} (x_{k,i}) \right) \right)_{i=1}^{i=7}$$

Vrijednosti funkcije pripadnosti za svaku alternativu definiranu preko fuzzy skupa odluka D je:

$$\begin{aligned} D_1(A_1) &= \min_{k=1,10} \left( \mu_{K_k}^{w_k} (x_{k,1}) \right) = \mu_{D_1}(\tilde{x}_1) = 0,0143 \\ D_2(A_2) &= \min_{k=1,10} \left( \mu_{K_k}^{w_k} (x_{k,2}) \right) = \mu_{D_2}(\tilde{x}_2) = 0,0400 \\ D_7(A_7) &= \min_{k=1,10} \left( \mu_{K_k}^{w_k} (x_{k,7}) \right) = \mu_{D_7}(\tilde{x}_7) = 0,0378 \end{aligned} \quad (16)$$

Konačno, fuzzy skup odluka D ima formu:

$$\begin{aligned} D &= \frac{\mu_{D_1}(\tilde{x}_1)}{A_1} + \frac{\mu_{D_2}(\tilde{x}_2)}{A_2} + \frac{\mu_{D_3}(\tilde{x}_3)}{A_3} + \frac{\mu_{D_4}(\tilde{x}_4)}{A_4} + \frac{\mu_{D_5}(\tilde{x}_5)}{A_5} + \frac{\mu_{D_6}(\tilde{x}_6)}{A_6} + \frac{\mu_{D_7}(\tilde{x}_7)}{A_7} \quad (17) \\ D &= \frac{0,0143}{A_1} + \frac{0,0400}{A_2} + \frac{0,0286}{A_3} + \frac{0,0495}{A_4} + \frac{0,0286}{A_5} + \frac{0,0447}{A_6} + \frac{0,0378}{A_7} \end{aligned}$$

Maksimalna vrijednost funkcije pripadnosti je:

$$\begin{aligned} D(X^*) &= \max(D_1(A_1), D_2(A_2), \dots, D_7(A_7)) \quad \text{ili} \\ \mu_D(x^*) &= \max(\mu_{D_1}(\tilde{x}_1), \mu_{D_2}(\tilde{x}_2), \dots, \mu_{D_7}(\tilde{x}_7)) \quad (18) \\ \mu_D(x^*) &= \mu_{D_4}(\tilde{x}_4) = 0,0495 \end{aligned}$$

Dakle, najveći stepen pripadnosti fuzzy skupu odluka D ima alternativa A<sub>4</sub>, koja je, u ovom primjeru, alternativa odluke.

## 7.2.6 Prijedlozi područja za primjenu modela

### 7.2.6.1 Primjena modela kod donošenju odluka o načinu saniranja: klasično ili nekom od bezrovovskih metoda sanacije

Tehnologija sanacije i rekonstrukcije vodovodne mreže u posljednjih 20 godina se znatno izmijenila. Danas se od tehničkih postupaka sanacije i rekonstrukcije cjevovoda primjenjuju konvencionalne (klasične) i nekonvencionalne (bezrovovske) metode. Obnavljanje cjevovoda konvencionalnim metodama temelji se na potpunoj zamjeni dotrajalog cjevovoda s iskopom rova duž cijele trase. Osim klasičnog načina zamjene starih cijevi potpuno novim cijevima, u praksi se primjenjuju različite tehnike i materijali koje ga u svjetskoj praksi sve više zamjenjuju, poznate pod nazivom

*bezrovovske* metode.<sup>6</sup> Bezrovovske metode su u pravilu skuplje u odnosu na klasične metode ako se porede samo cijene građevinskih radova. Praksa u BiH, još uvijek, gotovo u svim slučajevima kod obnavljanja i sanacije vodovodnih i kanalizacionih cjevovoda primjenjuje potpunu zamjenu starog cjevovoda novim, na klasičan način. Takav zahvat izaziva značajan poremećaj u odvijanju života u urbanoj sredini (sistemskom okruženju) koji je zbog šteta i indirektnih troškova (prekidi ili otežan saobraćaj tokom izvođenja radova, oštećenja drugih objekata podzemne infrastrukture, buka i prašina itd.) uzrok raznih formi javnih protesta i negodovanja. Ako se uzmu u obzir indirektni troškovi, odnosno kriteriji koji se ne mogu novčano iskazati, a koji se u praksi uglavnom zanemare ili izostave, prednost u urbanim sredinama ima bezrovovska tehnologija (Piškorić, 2007).

Ta se prednost ogleda u skraćenju vremena trajanja radova, smanjivanju smetnji od gradilišta (gradski promet), izbjegavanju rizika od prekidanja drugih postojećih komunalnih instalacija, smanjivanju velikih zemljanih radova, transporta i ugradnje repromaterijala odnosno općenito jednostavniji su uvjeti rada s manje mogućnosti neočekivanih zastoja ili drugih događaja uzrokovanih klasičnim načinom zamjene cijevi, s iskopom rova duž cijele trase.

U tom smislu potrebno je sagledati tehnološke postupke rekonstrukcije i sanacije cjevovoda koji se nude na svjetskom tržištu, najvažnije kriterije koji utječu na njihov odabir, njihovu veličinu odnosno težinu, kako bi rangiranje mogućih rješenja uključilo sve relevantne kriterije u težnji ka optimizaciji odluke.

Kako je u praksi BiH uobičajeno da se za odabir metode rekonstrukcije odnosno sanacije cjevovoda razmatra isključivo ekonomski kriterij, odnosno cijena investicije koja uključuje uglavnom građevinske radove, ovdje se na osnovu praktičnog iskustva predlaže uključivanje kvalitativnih kriterija u proces donošenja odluka o načinu sanacije.

Nakon donošenja odluke o zoni ili dionici na kojoj će se vršiti sanacija slijedi donošenje odluke o tome koju metodu sanacije primijeniti. Međutim, moguće je u proces odlučivanja o prioritetu uključiti istu zonu ali sa različitim načinom sanacije kao

---

<sup>6</sup> Nekonvencionalne (bezrovovske) metode temelje se na principu sanacije *bez iskopa*, odnosno saniranje cjevovoda kroz postojeća revizijska okna s neznatnim iskopima na krajevima dionice koja se sanira. Ove metode se mogu podijeliti u nekoliko grupa: 1. tijesna ugradnja cijevi (*close-fit-lining*) 2. uklizivanje (*sliplining*) 3. nanošenje obloge (*spray lining*) 4. lokalni popravci i zatvaranje pukotina (*local repairs and crack grouting*) 5. nova cijev formirana u staroj (*cured-in-place pipe, CIPP*) 6. direktna zamjena (*on-line replacement*) 7. raketna krtica i uguravanje (*impact moling and ramming*) 8. usmjereno bušenje (*directional drilling*) 9. utiskivanje i mikrotuneliranje (*pipejacking and microtunneling*). (CEN, 2000; Piškorić, 2007).

alternativama. Bez obzira na pristup koji će prihvatiti donosilac odluke slijedeće okolnosti u ovom postupku odlučivanja generiraju kriterije:

- Prilikom klasičnog iskopa moguća su oštećenja drugih objekata podzemne infrastrukture. Ova okolnost uvodi potrebu za kriterijem koji se može direktno unijeti u model (Bellman-Zadeh) ili indirektno (Mamdani) kao jedna ulazna varijabla dok bi, zavisno od okolnosti, druga ulazna varijabla bila dužina dionice na kojoj postoji ta mogućnost ili ako se radi o kriteriju rizika, procjena štete koju rizičan događaj može uzrokovati (značajna je razlika u cijeni oštećenja optičkog telefonskog kabela od npr. oštećenja priključaka kablovske TV). Uvođenjem ovih kriterija, formira se potpunija slika o realnim okolnostima na terenu u toku izvođenja radova, a koja se razmatra blagovremeno, a ne kao što je to uobičajena praksa da se izostavljanje ovih okolnosti plaća kroz dodatne ili naknadne radove pa se pokaže da povoljnija i jeftinija rješenja zapravo to nisu, bez obzira na razliku u cijeni samih građevinskih radova.
- Klasičan iskop će otežavati ili povremeno potpuno onemogućavati odvijanje saobraćaja. Ovo je jedna od neizbježnih posljedica zemljanih radova koji su neophodni kod klasične zamjene cijevi, a koja u urbanim gradskim zonama uzrokuje najveće saobraćajne probleme i potencijalni su uzroci nezgoda. Ovdje se nameće potreba za uvođenjem kriterija direktno (Bellman-Zadeh) ili indirektno (Mamdani) kao jedne ulazne varijable (npr. petostepena lingvistička vrijednosna skala) dok druga ulazna varijabla može biti vrijeme trajanja radova, ili intenzitet saobraćaja, ili značaj saobraćajnice u smislu (ne)postojanja alternativnih pravaca i slično.
- U toku sanacije dionice trajanje prekida vodosnabdijevanja treba da je što kraće i ograničeno je na najviše “n” sati. U slučaju da nema alternativnih pravaca vodosnabdijevanja (da se ne radi o prstenastoj nego o granatoj mreži) ili ako se radi o glavnim dovodnim cijevima tada ova okolnost favorizuje klasične metode jer bezrovovske metode koriste dionice postojećih cjevovoda koji za vrijeme radova ne mogu biti u funkciji. U tom smislu može se uzeti u razmatranje i eventualna izgradnja privremenih ili trajnih bypass-a i na taj način uključiti obje metode kao alternative ili za pojedine dijelove zone razmatrati različite metode sanacije. Trajanje prekida vodosnabdijevanja se može uvesti kao jedan od kriterija direktno (Bellman-Zadeh) ili indirektno (Mamdani) kao jedna ulazna varijabla dok druga ulazna varijabla može biti broj korisnika ili potrošnja vode.
- Broj priključnih mjesta na dionici ili zoni. Veliki broj priključnih mjesta na cjevovodu može biti otežavajući faktor za primjenu bezrovovskih metoda. S obzirom da na svakom priključnom mjestu treba uraditi priključak što podrazumijeva iskop, veći broj priključnih mjesta umanjuje prednosti bezrovovske metode. Ovdje se predlaže uvođenje broja priključaka po jedinici dužine cijevi kao kriterija koji se direktno unosi u model (Bellman-Zadeh) i koji će imati utjecaj na izbor postupka sanacije.

Općenito, uvođenje atributa koji odražavaju specifičnosti (prednosti i nedostatke) tehnoloških rješenja savremenih metoda sanacije i konkretnih uslova izvođenja radova, daje jasniju sliku o stvarnom procesu u cilju optimizacije odluke pri izboru tehničkih postupaka rekonstrukcije cjevovoda.

#### 7.2.6.2 *Primjena modela kod rangiranja alternativa prilikom dogradnje sistema*

Pod dogradnjom sistema podrazumijeva se neka od slijedećih aktivnosti: uvođenje novih količina vode u sistem, širenje mreže u skladu sa urbanističkim potrebama i dogradnja cijevnih dionica unutar prostornog obuhvata sistema sa ciljem formiranja prstenastih formi mreže radi povećanja pouzdanosti vodosnabdijevanja. Svaka od navedenih aktivnosti podrazumijeva izgradnju novih cijevnih dionica koje u određenim projektnim rješenjima treba položiti u segmentima ili u potpunosti kroz privatne posjede. U tim okolnostima nailazi se na dva glavna problema: tokom izgradnje postoje problemi kod rješavanja imovinskih pitanja, a nakon izgradnje cijevne dionice, koje prolaze kroz privatne posjede, postaju ranjive za izradu nelegalnih priključaka, te problematične sa aspekta kasnijeg održavanja u smislu pristupa i naknade šteta uzrokovanih otkazima ili gubicima, kao i sanacionim radovima.

Zbog svega navedenog, prolazak cijevne dionice kroz privatne posjede treba u pravilu izbjegavati, i svoditi na najmanju moguću mjeru. U tom smislu, kod donošenja odluke o trasi dionice, osim standardnih (hidrauličkih i finansijskih) potrebno je razmotriti i parametre kao što su: *dužina dionice koja prolazi kroz privatni posjed, broj privatnih parcela duž dionice, udaljenost dionice od pristupne komunikacije, dužina dionice na kojoj otkaz ili sanacioni radovi mogu izazvati štete* itd., a kao kriterije uvesti *Ranjivost dionice na izradu nelegalnih priključaka i Pogodnost održavanja*.

### 7.3 Zaključna razmatranja

Procjene trenutnog stanja cijevne mreže, na kojima se zasnivaju sve prognoze njenih budućih stanja, pouzdanosti i životnog vijeka, u okviru zahtijevanih performansi, zavise od kvalitete informacija o sistemu. Procjena, odnosno prognoza budućih stanja cijevi ili zone je inicijalni kriterij na osnovu kojeg se cijevi klasificiraju i iz kojeg slijede svi kasniji postupci rangiranja, kao i upravljačke akcije. Kako bi se došlo do što kvalitetnije procjene, u posljednje dvije decenije, razvijene su mnoge tehnike i modeli kao što su: TV inspekcija, lasersko, ultrazvučno ili zvučno skeniranje, procjena na osnovu stanja uzoraka stjenke cijevi itd.

Međutim, ako je stepen degradacije cijevne vodovodne mreže takav da su *kvarovi i gubici* vode na sistemu uobičajene i svakodnevne pojave, tada je *značaj* informacija o

kvarovima i gubicima *inkompatibilan*<sup>7</sup> njihovoj *preciznosti*, te njihove izmjerene ili procijenjene vrijednosti imaju u tom slučaju fundamentalan značaj kod prognoziranja budućih stanja sistema. Nasuprot tome, na ovom stepenu degradacije sistema cijevne mreže, preciznost informacija o stanju sistema koje daju savremene metode procjene nadilazi njihov značaj u kontekstu upravljanja procesom obnavljanja. Zbog toga, intenzitet kvarova i veličina gubitaka vode (manifestacije postojanja skrivenih kvarova), na sistemu cijevne vodovodne mreže, danas predstavljaju karakteristike stanja sistema koje su najčešće, u nekoj formi (iskustvene procjene ili mjerenja) dostupne donosiocu odluke o prioritetima za obnavljanje i na osnovu kojih se formira i subjektivna slika o stanju mreže.

Interpretacija i prezentacija pokazatelja intenziteta otkaza i gubitaka na sistemima, kao ulaznih informacija u prognostičke modele, nosi u sebi subjektivnost i nepreciznost, ili su podaci o njima oskudni, što je limitirajući faktor kod vjerodostojne primjena determinističkih ili stohastičkih modela.

U okolnostima, kada su ulazne varijable neprecizne ili izraz subjektivnog mišljenja, uvođenje fuzzy teorije skupova, odnosno fuzzy logike se pokazalo kao pogodan koncept i njegova primjena (Mamdani metod) je provedena sa razrađenom procedurom sa konkretnim primjerom.

Klasifikacija vodovodnih cijevi na osnovu rezultata procjene stanja i procesa njihove degradacije u toku eksploatacije, kao i same vrijednosne skale parametara procjene (gubitaka i intenziteta kvarova) se standardno koriste u formi klasičnih skupova, sa čvrstim pragovima između pojedinih klasa unutar skala procjene. Pripadnost određenoj klasi, iz kategorizacije, određuje dalje postupke i procedure koje se na njih primjenjuju, čime klasifikacija direktno utiče na krajnji rezultat modeliranja, odnosno postaje ograničavajući faktor.

Predložena primjena fuzzy skupova u analitičkoj formi vrijednosnih skala uvodi postupnost i gradacijski opis karakteristika i procesa, eliminiše grubu klasifikaciju klasičnog pristupa dvovrijednosne logike i omogućava njegovu propagaciju egzaktno tokom čitave procedure modeliranja.

Primjenom fuzzy logike kod procjene stanja mreže, fundamentalni atributi procjene: intenzitet otkaza i gubici vode, egzaktno se uvode kao varijable u proceduru logičkog zaključivanja kod formiranja *kriterija procjene* kao što je *brzina propadanja cijevi*, te kod *kriterija rizika*, koji su također posljedice kvarova i gubitaka vode kao događaja na sistemu.

---

<sup>7</sup> Kako složenost sistema raste, sposobnost da se donesu precizni, a istovremeno i značajni iskazi o njegovom ponašanju opada dok se ne postigne prag iza kojeg preciznost i značaj ne postaju međusobno isključujuće karakteristike." (Zadeh, 1973)



Model donošenja odluka, kada su kriteriji odlučivanja dati kvalitativno, odnosno kada su njihove vrijednosti kvalificirane lingvističkim skalama, zasnovan na fuzzy teoriji skupova (Bellman, Zadeh, 1970), je uvođenjem fuzzy logike proširen i na kriterije koji su dati kvantitativno (*procjena životnog vijeka cijevi*), a čije su numeričke vrijednosti ranije bile rezultat determinističkog ili stohastičkog modeliranja uz prešutno korištenje oskudnih, nepreciznih ili subjektivnih ulaznih varijabli.

Prijedlog za dalja istraživanja i dogradnju modela, u širem smislu, se odnosi na interpretaciju iskustvenih znanja stečenih u procesu upravljanja sistemima vodosnabdijevanja u pogodnoj formi, fuzzy skupova, kao ulaznih varijabli za fuzzy logičko zaključivanje, kod modeliranja procesa za potrebe operativnog upravljanja i projektovanja.

Pored toga, moguće je provesti analizu osjetljivosti, koja spada u postoptimalnu analizu problema, tj. nakon određivanja alternative odluke (Bellman-Zadeh) interesiraju nas granice za ulazne podatke unutar kojih se ne mijenja poredak alternativa u rangiranju ili se barem ne mijenja prvorangirana alternativa.

### 7.3.1 Kritički osvrt na fuzzy koncept

Osnovna prednost postupaka procijenjivanja primjenom fuzzy logike (Mamdani metod), koji se oslanja na produkciona pravila, formalizirana ekspertska znanja, a koja se definiraju u vidu: „*Ako...onda...*“ je da, u odnosu na klasične koncepte modeliranja budućih stanja sistema, vrijeme potrebno za njeno razumijevanje neuporedivo je manje od vremena potrebnog za učenje klasičnih matematskih oblasti (diferencijalnih jednačina, linearne algebre, teorije optimalnog upravljanja itd.) zbog čega inače primjena klasičnog koncepta često ugrožava *princip operativnosti modela*. Osim toga jednostavnost primjene rezultira uspostavljanjem boljeg odnosa model-korisnik što omogućava brže prilagođavanje modela i njegov razvoj prema konkretnim potrebama.

Slabosti fuzzy koncepta leže, prije svega, u činjenici da danas još uvijek nije dovoljno teorijski obrazložen način formiranja pravila koja se, odnose na izbor forme fuzzy skupova kod pojedinih procesa i karakteristika koje opisuju (trokutna, trapezna, zvonasta itd.), pravila njihovog preklapanja, broja fuzzy podskupova itd., a za šta se, još uvijek, potvrde za pozivanja temelje na prethodnim pozitivnim iskustvima (Subašić, 1997). Ova slabost je posljedica dinamike kojom je fuzzy koncept ušao u inženjersku primjenu i koji je znatno ispred teorijskog utemeljenja.

Bez obzira na slabosti, fuzzy teorija skupova na početku novog milenija postaje jedna od paradigmi operativnosti i njene prednosti se uspješno koriste kod sve većeg broja inženjerskih primjena i u svim oblastima tehnike. Činjenica da se zamjenom klasičnih brojeva i skupova, kakvi se uobičajeno koriste u praksi, fuzzy brojevima i fuzzy

skupovima, svaki model može fazificirati i sagledati u novom svijetlu, ukazuje na značaj usvajanja znanja o fuzzy teoriji skupova, ali cilj usvajanja ovih znanja nikako ne smije biti pretpostavka da fuzzy koncept nudi najbolja rješenja za sve inženjerske probleme, nego da on nudi još jedan veoma koristan model za bolje opisivanje stvarnosti u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

## 7.4 Bibliografija

- Bellman, R.E., and Zadeh, L.A. (1970), Decision-making in a Fuzzy Environment, *Management Science*, Vol. 17, No. 4, B141-B164.
- CEN, European Committee for Standardization (2000), 'Guidance on the classification and design of plastics piping systems used for renovation', prEN 13689, Brussels
- Hertz R., Baur R., Lipkow A., Kropp I. (2003), Report D11, Development of the „Rehab Strategy Evaluator“, software, CARE-W Computer Aided REhabilitation of Water Network. Decision Support Tools for Sustainable Water Network Management, WP4 – Strategic Planning and Investment, Dresden
- Mamdani, E.H. (1977), Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 26, No. 12, 1182-1191
- Piškorić D. (2007), Primjena višekriterijske analize pri izboru načina obnavljanja kanalizacijskih cjevovoda, *Građevinar* 59, Zagreb
- Ross T.J. (2005), *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, University of New Mexico, USA
- Saaty T. L. (1999), Basic theory of the analytic hierarchy process: How to make a decision, *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp)*, Vol. 93, No. 4, 395-423.
- Špago S., Čatović F. (2009), Management of rehabilitation of a pipe water supply network through application of fuzzy sets, 7th International Scientific Conference on Production Engineering, Development and Modernization of Production, Cairo, Egypt
- Xing Li H., Yen V.C. (1995), *Fuzzy Sets and Fuzzy Decision-Making*, CRC Press, New York
- Zadeh L.A. (1973), Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 3: 28–44
- Zadeh L.A. (1975), The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, I-III, *Information Sciences* 8 199–251, 301–357; 9 (1976) 43–80
- Zadeh L.A. (1975), Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 30: 407–428.