

ANALIZA RANJIVOSTI VODOOPSKRBE U UVJETIMA KLIMATSKIH PROMJENA

dr. sc. Jure Margeta, prof. emerit.
Sveučilište u Splitu
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije,
Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska
margeta@gradst.hr

Rad obrađuje odnos klimatskih promjena i opskrbe vodom, metodologiju analize ranjivosti, utjecaje i odgovore na promjene klime. Cilj koji se želi ostvariti u klimatski neizvjesnoj budućnosti je sigurnost opskrbe vodom za ljudsku potrošnju. Izgrađeni okoliš mijenja se zbog urbanizacije i iskorištavanja prirodnih resursa, a prirodni prilagođava promjenama klime i okoliša. To je proces koji sve više ugrožava vodoopskrbu i sigurnost življenja. Vodoopskrba se stoga prilagođava i jača otpornost na klimatske promjene, posebno ekstremne varijabilnosti. Uspješnost prilagodbe ovisi o pouzdanoj procjeni uzroka ranjivosti sustava. U radu se analiziraju koncepti i daju preporuke za njihovo korištenje. Obrađuje se stanje i trend promjena u Hrvatskoj, te predlažu mjere za rješavanje problema.

Ključne riječi: klimatske promjene, vodoopskrba, ranjivost sustava, poplave, suše

1. UVOD

Tema održivosti vodoopskrbe je stara koliko i sama vodoopskrba, a povod za analizu je različit. Danas su klimatske promjene glavni povod i tema ovog rada. Vodoopskrbni sustav razvija se unutar prirodnog i društveno-ekonomskog okvira. Društveno-ekonomski stvara potrebe, a prirodni/vodni resursi sigurnost i opskrbu vodom, [slika 1](#). Čovjek vrši pritisak na vodne resurse, a prirodni okoliš uzvraća promjenom klime i režima voda što u konačnosti mijenja održivost vodoopskrbne infrastrukture. Cilj koji se želi ostvariti je sigurnost okoliša i time sredstava za život, u ovom slučaju vode za ljudsku potrošnju u novom klimatskom okruženju. Koriste se nove tehnologije, materijali, oprema, a raste obuhvat i složenost kao i entropija/starost, gubici, potrošnja energije i troškovi vodoopskrbe. Nezadovoljavajuća prilagodba sustava nastalim promjenama rezultira, u konačnosti, ugrožavanjem održivosti življenja. Rad obrađuje odnos klimatskih promjena i opskrbe vodom, metodologiju analize ranjivosti te posljedice i odgovore na rastuće promjene i varijabilnosti klime, s posebnim osvrtom na stanje u Hrvatskoj.

Tri komponente određuju održivost vodoopskrbe: (i) *vodni resurs* - dostupnost vode za vodoopskrbu, (ii) *energetski resurs* - dostupnost električne energije, te (iii) *fizički, ljudski i financijski kapitali* - upravljanje i financiranje rada i razvoja, [slika 1](#). One određuju ranjivost sustava kao rezultat ranjivosti okoliša, energetike, ekonomije i tehnologije tako da je ukupna ranjivost rezultat unutrašnje i vanjske ranjivosti.



Slika 1: Okruženje i komponente održivosti vodoopskrbe (Autor)

Struktura i konfiguracija sustava određuju osjetljivost vodoopskrbe na pojedine komponente. Svaka komponenta je podjednako važna, a minimum jedne određuje ukupnu održivost. Promjene u okruženju, na primjer klimatske, različito utječu na komponente pa time i na održivost vodoopskrbe. Ostvarenje vizije održivosti obuhvaća: (i) minimiziranje potrošnje vode, (ii) minimiziranje potrošnje energije, i (iii) minimiziranje troškova rada u vodoopskrbnom sustavu. Razina provedbe određuje otpornost sustava klimatskim i drugim promjenama u prirodnom okolišu i promjenama u društveno-ekonomskom okruženju. U ovom radu naglasak je na održivosti režima voda, količina i kakvoće, na koji klimatske promjene imaju najveći direktni utjecaj, to jest ranjivost vodoopskrbne bilance vode. Raspoloživost vode za vodoopskrbu je egzistencijalno pitanje dok su ostale teme utjecaj temperature zraka, rast srednje razine mora te ekstremna vremenska stanja i njima izazvane prirodne katastrofe više tehnološko. Ostali tipovi ranjivosti se ne obrađuju u radu.

Prirodno okruženje i vodni resursi se stalno mijenjaju, zbog promjena režima oborine, temperatura zraka i promjena u prostoru. Glavni indikatori *trenda promjena* su veća temperatura zraka i manja ukupna godišnja oborina. Promjene podjednako utječu na prirodni režim voda i potrebe za vodom, ali i na stanje infrastrukture. Za vodoopskrbu je od prioritetnog značaja *prirodni kapacitet* vodnog tijela na kojem se uzima voda. To je najmanja zabilježena dnevna protoka Q_{\min} (m^3/s) koja određuje raspoloživi kapacitet zahvata $Q_{\text{raspoloživo}} = Q_{\min} - Q_{\text{ekološki}}$ gdje je $Q_{\text{ekološki}}$ ekološki prihvatljiv protok. Odnos između raspoloživih količina i potreba treba biti $Q_{\text{raspoloživo}}/Q_{\text{potrebno}} \geq 1$, gdje su potrebe $Q_{\text{potrebno}} = Q_{\text{potrošnja}} + Q_{\text{gubici}}$. Gubitak vode je kumulativni indikator hidrauličke produktivnosti infrastrukture/entropije. Odgovarajućim analizama nastoji se utvrditi je li u novim klimatskim i društveno-ekonomskim uvjetima te pogonskom stanju infrastrukture održiv odnos $Q_{\text{raspoloživo}}/Q_{\text{potrebno}} \geq 1$. Ako nije, poduzimaju se mjere koje utječu na povećanje raspoloživosti vode, smanjenje potrebe za vodom i gubitke vode u infrastrukturnom sustavu. Ostali kapaciteti vodnih resursa važni u analizi održivosti vodoopskrbe su *teoretski* (srednji protok), *tehnički* (građevinski izvediv), *ekonomski* (financijski ostvariv), te *maksimalni* (ekstremni uvjeti rada).

Drugi trend promjena je sve češća pojava i veća veličina ekstremnih vremenskih stanja i njima uzrokovane prirodne katastrofe suše i poplave. To su *stohastičke pojave* koje je teško pouzdano prognozirati u odnosu na učestalost i veličinu.

Inženjeri procjenjuju utjecaje klimatskih promjena na održivost rada sustava te definiraju veličine projektnih parametara i faktore sigurnosti. Nastoje se pouzdano procijeniti budući kapaciteti vodnog tijela, kakvoća vode, potrebe za vodom i sigurnost funkcioniranja sustava. Zadatak je složen i zahtjevan jer buduće promjene prirodnog i društveno-ekonomskog okvira nisu dovoljno poznate. Za analizu se koriste različiti

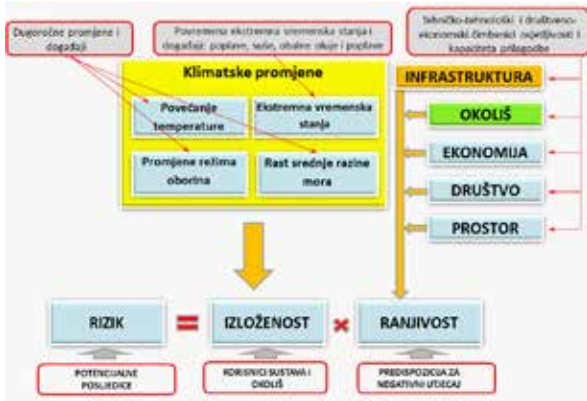
koncepti procjene ranjivosti i rizika prilagođeni ciljevima analize (Margeta, 2022.; Reberski i sur., 2020.; Green i sur., 2011.; Karleuša i sur., 2018.). Prognozirane buduće veličine oborina, temperature zraka i rasta srednje razine mora rezultat su scenarija klimatskih promjena te su za sada općenite i nedovoljno pouzdane za planiranje investicija u vodoopskrbi (Narodne novine, 2020.; Portner i sur., 2021.). Važno je znati da su *prosječne klimatske promjene spore i dugoročne* pa se sadašnje okruženje neće značajno promijeniti u srednjoročnom razdoblju, recimo do 2040. godine (Narodne novine, 2020.). To je u granicama standardnog planskog perioda vodoopskrbne infrastrukture. Međutim, društveno ekonomske promjene mogu biti brze i značajne jer ih stvaraju antropogeni čimbenici, recimo razvoj turizma, urbanizacija, energetska kriza, pandemija, inflacija itd. To su kratkoročne promjene koje će u najvećoj mjeri utjecati na održivost vodoopskrbe u sljedećih 5 do 10 godina kratkoročno, ali i dugoročno. Naime, nedovoljno održavanje sustava u kriznom razdoblju utječu na funkcioniranje sustava u dugoročnom periodu u kojem se očekuju značajnije klimatske promjene (Narodne novine, 2020.). Buduća vremena složena su i izazovna tako da je pred upravom i društvom u cjelini vrlo težak zadatak ostvarenja kratkoročne i dugoročne održivosti vodoopskrbe. Stoga je vrlo važno pouzdano procijeniti kratkoročnu i dugoročnu ranjivost vodoopskrbe i njezinih komponenti koja se obrađuje u nastavku.

2. KLIMATSKJE PROMJENE I RANJIVOST VODOOPSKRBE

2.1. Koncepti

Klimatske promjene definirane Međuvladinim panelom za klimatske promjene su promjene u stanju klime koje se mogu identificirati promjenama u svojim svojstvima i *koje traju dulje vrijeme*, obično desetljećima ili dulje, zbog prirodnih unutarnjih procesa ili vanjskih utjecaja ili pak zbog *trajnih antropogenih promjena u sastavu atmosfere ili u korištenju zemljišta*. Pojmovnik Američkog meteorološkog društva definira klimatske promjene kao "svaku sustavnu promjenu u dugoročnim statistikama klimatskih elemenata (kao što su oborine, temperatura, tlak ili vjetrovi) *tijekom nekoliko desetljeća ili duže*". Jasno je da je karakter promjena dugoročan, a uzroci brojni, pa su time neizvjesne i veličine promjene. Stoga metode procjene ranjivosti vodoopskrbe moraju uvažiti vremensku odgodu učinka promjena. Međutim, investicije su stalne te se projekti i odluke moraju donositi uvažavajući i moguće neizvjesno klimatsko stanje, kao i stanje korištenja prostora na kraju životnog vijeka investicije. Važno je pratiti koliko se često povremene prirodne opasnosti (poplave, suše) javljaju. Jer, ako se javljaju redovito svake godine, tada je to sve više "uobičajeno stanje" koje zahtijeva stalni odgovor.

Klima i korištenje prostora stalno se mijenjaju, a time i vodoopskrba, pa su krize normalna pojava. Današnju klimatsku krizu uzrokovao je čovjek, a u prošlosti samo



Slika 2: Klimatske promjene i procjena rizika za vodoopskrbu (Autor)

priroda (vulkani, promjene u radijaciji sunca i drugo) tako da se ne očekuje brzo zaustavljanje promjena. Trend je negativan jer se glavni čimbenici promjena ne mijenjaju, npr. rast broja stanovnika, urbanizacija i rast potrošnje energije po glavi stanovnika, tako da se nastale i prognozirane prijetnje (suše, poplave, toplinski valovi, podizanje srednje razine mora) moraju sve više uvažavati. Trend se neće promijeniti, što klimatske promjene čini stalnima, dokaz čega je globalni rast temperature zraka. Kriza je globalna i dugotrajna s nepreciznim prognozama veličine promjene i posljedica (Pörtner i sur., 2021.). Bez razlike u zaprekama, problem se na lokalnoj razini mora pratiti, analizirati i rješavati koristeći prikladnu metodologiju, (slika 2.)

Preciznije veličine klimatskih varijabli kao i veličine za kraće unutar-godišnje vremenske intervale za sada nisu dostupne, tablica 1. Nedovoljno za inženjerske analize i projekte. Pretpostavlja se da će jedan od najznačajnijih utjecaja klimatskih promjena biti na vodne resurse, pa time i na vodoopskrbu (Pörtner i sur., 2021.; IPCC 2021.).

One će dovesti do kratkotrajnih i dugotrajnih promjena vodnog režima (količine i kakvoća voda). Opskrbni kapacitet vodnih resursa se smanjuje, a kakvoća vode pogoršava, slika 3. Kratkotrajne promjene se odnose na velike varijabilnosti otjecanja vode što uzrokuje prirodne katastrofe, poplave i suše. Od prirodnih katastrofa dvadesetog stoljeća, suše su imale najveći štetan utjecaj, a u posljednje vrijeme pogađajući velika područja u Europi i Hrvatskoj. Uspostavlja se redukcija vodoopskrbe te stvaraju povoljni uvjeti za pojavu požara što dovodi do degradacije kakvoće vode (Teclé i sur., 2015.).

Regionalne i urbane poplave se sve češće javljaju kao posljedica promjene klime i stanja u prostoru te uzrokuju brojne štete u izgrađenom okolišu, nekontrolirano ispiru i transportiraju otpadne tvari, oštećuju vodoopskrbnu infrastrukturu i dovode do prekida vodoopskrbe (Zhijie i sur., 2022.). Posebni problem su incidentna onečišćenja nastala poplavama uslijed izlivanja fekalne kanalizacije, naftnih derivata, ispiranja toksičnog otpada i raznih kemikalija koje se nalaze u poplavnom području. Za promjenu kakvoće vode najveća prijetnja su regionalne poplave koje traju dugo i obuhvaćaju velike prostore te uzrokuju prekide vodoopskrbe. U obalnim područjima rast srednje razine mora i olujna nevremena koja plave obalna naselja, ugrožavaju obalnu infrastrukturu i njen rad, te mijenjaju obalne vodne resurse.

Zbog sve većih potreba prilagodbe klimatskim promjenama opskrba vodom bit će sve složenija i skuplja, a time veće socijalne i ekonomske posljedice, posebno u vremenima energetske i ekonomske-financijske krize.

Okvir za procjenu ranjivosti i rizika se kontinuirano dopunjuje s novim saznanjima. Dva koncepta definirana prema IPCC 2007. i IPCC 2014. koriste se i

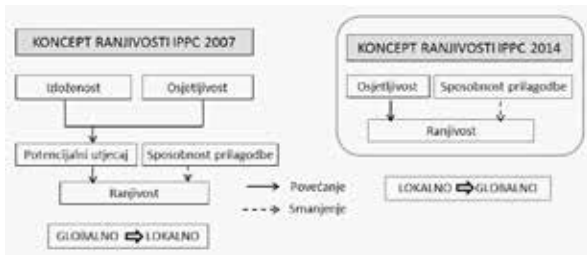
Tablica 1: Primjer promjena klimatskih varijabli, Šibensko-kninska županija (Berlengi i sur., 2020.)

Vrijednosti prikazane u tablici dobivene su temeljem analize rezultata više regionalnih klimatskih modela (DHMZ, ICTP, CNRS-GAME).

Scenarij		2030.	2050.	2100.
Globalno (IPCC)				
Temperatura		+0,3 do 0,7 °C	+0,4 do 1,6 °C	+0,3 do +4,8 °C
Razina mora		9 do 17 cm	16 do 34 cm	27 do 97 cm
Šibensko–kninska županija ¹				
Temperatura	Godišnje	+0,7 °C	+1,7 °C	+4,2 °C
	Zima	+0,3 °C	+1,0 °C	+3,2 °C
	Proljeće	+0,4 °C	+1,2 °C	+3,8 °C
	Ljeto	+1,0 °C	+2,5 °C	+5,0 °C
	Jesen	+0,8 °C	+2,3 °C	+4,6 °C
Kiša	Godišnje	- 2%	- 4%	- 7%
	Zima	+ 3%	+ 6%	+ 10%
	Proljeće	- 2%	- 3%	- 4%
	Ljeto	- 5%	- 20%	- 30%
	Jesen	- 6%	- 9%	- 15%
Porast razine mora		9 do 19 cm	17 do 38 cm	30 do 114 cm



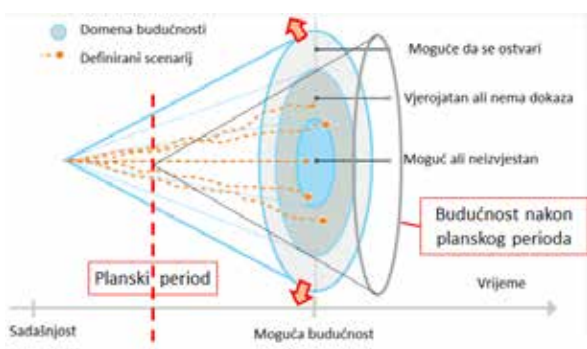
Slika 3: Utjecaj klimatskih promjena na vodoopskrbu (Autor)



Slika 4: Koncept ranjivosti prema IPCC 2007. i IPCC 2014. (Prilagođeno prema IPCC 2007. i IPCC 2014.)

prilagođavaju ciljevima istraživanja, **slika 4**. Koncepti su suštinski slični, ali se razlikuju u implementaciji. Koncept IPCC 2007. polazi od izloženosti sustava klimatskim i drugim promjenama i njegove osjetljivosti na stanje u prirodnom i društveno-ekonomskom okolišu, te uvažavajući sposobnosti prilagodbe definira potencijalni utjecaj i ranjivost, dok koncept IPCC 2014. zanemaruje izloženost u analizi ranjivosti sustava i polazi od osjetljivosti i kapaciteta prilagodbe u određivanju ranjivosti.

U konceptu 2007 prognoziraju se regionalne klimatske promjene, oborine i temperature. Podaci se potom koriste u hidrološkim modelima radi procjene budućeg režima voda na lokaciji zahvata koji se zajedno s podacima o osjetljivosti sustava koriste za procjenu utjecaja klimatskih promjena na režim voda. Složeno i nedovoljno precizno za specifične inženjerske aplikacije, ali prihvatljivo za procjenu dugoročne ranjivosti i time analize generalnih trendova promjena voda i društva u cjelini. Naime, vrlo širok raspon prognoziranih globalnih promjena klime koji raste s vremenskim odmakom prognoze za sada otežava



Slika 5: Dugoročni pristup analizi problema (Modificirano prema Nakano i sur., 2019.)

pouzdanu procjenu specifične i kratkoročne ranjivosti vodnih tijela i sustava, **slika 5**.

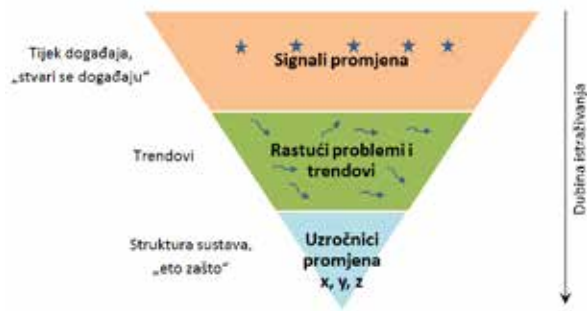
Zato se kod inženjerskih problema razmatra rješenje koje će produktivno i pouzdano funkcionirati u planskom periodu, obično 20 do 30 godina. Nakon tog perioda ponavlja se analiza i planira novo rješenje u skladu s novim pogledom u budućnost. To je racionalan pristup koji u hodu prilagođava zahvat i sustav novim uvjetima rada, to jest potrebama, raspoloživom kapacitetu vodnog resursa i stanju sustava.

Koncept iz 2014. uvažava polazište da je *ranjivost unutrašnja značajka sustava i da ne ovisi o klimatskim promjenama*. To je pristup koji ranjivost (otpornost promjenama) definira na temelju osjetljivosti i mogućeg kapaciteta prilagodbe temeljem analize režima vode na mjestu zahvata, potrošnje i stanja/veličine gubitaka u mreži. Analiza polazi od činjenice da prije rješavanja budućih problema prvo treba analizirati ponašanje sustava u prethodnom periodu te utvrditi uzroke ranjivosti i trend promjena. Znači, analiziramo prošlost da bismo razumjeli sadašnje stanje, ponašanje i otpornost sustava na moguće klimom uzrokovane kratkoročne, a tek potom kritički sagledavamo moguće utjecaje dugoročnih klimatskih varijabli na funkcioniranje sustava. Što se događa određuje dosadašnje ponašanje sustava, to jest *“signali – indikatori promjena”*, **slika 6**. Signale-indikatore treba analizirati, te odrediti značajke *trendova* promjena. Potom se treba posvetiti dubljem istraživanju uzroka, osjetljivosti i ranjivosti ciljem da se dokaže uzročno posljedična veza, odnosno odgovori *“eto zašto”* se stvari događaju. Na uzroke ranjivosti treba djelovati vodeći se *prioritetom učinkovitosti mjera* kako bi se ranjivost što prije smanjila. To je inženjerski pristup koji racionalno rješava kratkoročne kao i dugoročne probleme u sustavu.

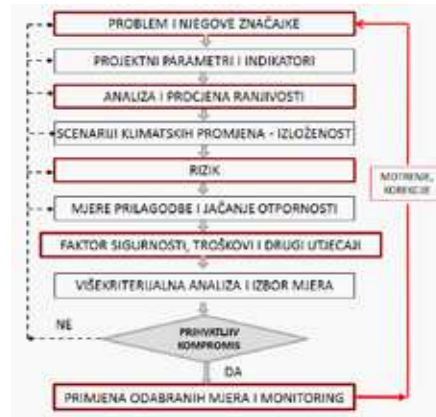
2.2. Ranjivost bilance vode

U vodoopskrbi je prioritet analiza održivosti bilance voda. Za zahvat je apsolutni prioritet indikator $Q_{\text{opskrbni_minimum}}$ to jest prirodni kapacitet vodnog tijela (sušni period), potom $Q_{\text{opskrbni_srednji}}$ ili teoretski kapacitet nužan za moguće izravnjanje voda te $Q_{\text{opskrbni_maksimalni}}$ koji je maksimalna prijetnja za konstrukciju zahvata. Paralelno treba odrediti indikatore dnevnih potreba (potrošnju i gubitke vode), maksimalne $Q_{\text{potrebe_maksimalne}}$ prosječne $Q_{\text{potrebe_srednje}}$ i minimalne $Q_{\text{potrebe_minimalne}}$. Potrošnja i gubici mogu se odvojeno analizirati. To su glavni indikatori za procjenu ranjivosti bilance vode. Utvrđuju se uobičajene statističke veličine raspoloživih vremenskih serija, trendovi promjena, osjetljivost i zavisnost vremenskih serija, čime se definiraju osjetljivost i kapacitet prilagodbe mjerodavnih veličina vodoopskrbnog sustava radi procjene veličine ranjivosti te uzroka ranjivosti (Margeta, 2022.).

Dobivene informacije omogućavaju analizu odnosa/bilance opskrbe i potrošnje vode u sustavu. Uspoređuju se minimalna opskrba s maksimalnim potrebama, srednje protoke i potrebe te maksimalna protoka i minimalne potrebe: $Q_{\text{opskrbni_minimum}} \leftrightarrow Q_{\text{potrebe_maksimalne}}$ $Q_{\text{opskrbni_srednji}} \leftrightarrow Q_{\text{potrebe_srednje}}$



Slika 6: Racionalan pristup analizi problema utjecaja klimatskih promjena na vodoopskrbu (Modificirano prema Husar, 2018.)



Slika 7: Metodologija rješavanja problema (Autor)

potrebe srednja te $Q_{\text{opskrbi}}^{\text{maksimalni}} \leftrightarrow Q_{\text{potrebe}}^{\text{minimalne}}$. Time se dobiju informacije za analizu ranjivosti sustava u odnosu na kapacitet opskrbe i sigurnost isporuke vode. Odnos $Q_{\text{opskrbi}}^{\text{maksimalni}} / Q_{\text{potrebe}}^{\text{minimalne}}$ oslikava stanje u kritičnom periodu rada sustava, odnosno $Q_{\text{opskrbi}}^{\text{srednja}} / Q_{\text{potrebe}}^{\text{srednja}}$ teoretski okvir za rješavanje problema, dok odnos $Q_{\text{opskrbi}}^{\text{maksimalni}} / Q_{\text{potrebe}}^{\text{minimalne}}$ oslikava ekstremne uvjete rada sustava.

Problem je važan, složen i treba se rješavati cjelovito i sustavno. Analiza obuhvaća veličinu, period javljanja i vrijeme trajanja opasnosti. Veličine se analiziraju i međusobno uspoređuju, analiziraju uzroci i posljedice promjena te osjetljivost i kapacitet prilagodbe. Treba utvrditi i analizirati uzroke ranjivosti, izloženost i rizik te ih hijerarhijski ustrojiti radi definiranja prioriteta rješavanja problema. Odgovarajućim rješenjima upravljanja potrebama i opskrbom vode djeluje se na smanjenje ranjivosti i rizika. Dobivene informacije i veličine stavljaju se u kontekst moguće buduće klimatske izloženosti za određena vremenska razdoblja, recimo 2040., 2070. i 2100. godine. Kvantitativno i kvalitativno se analiziraju promjene. Odabiru i proračunavaju se indikatori osjetljivosti i kapaciteta prilagodbe radi procjene veličine ranjivosti odgovarajućim postupkom agregacije indikatora. Rezultati se koriste u analizi rizika u odnosu na prognoziranu izloženost promjenama klime. Rezultati služe za odabir faktora sigurnosti projektnih parametara u planiranju i projektiranju mjera jačanja otpornosti i zaštite. Planira se više skupina mjera jačanja otpornosti i prilagodbe te se utvrđuju utjecaji na okoliš, infrastrukturu i društveno-ekonomsko okruženje, slika 7. Višekriterijskom metodom rangiraju se mjere i odabire prihvatljiv skup mjera koji se realizira. Učinak primijenjenih mjera se motri i analizira da bi se shodno novim stanjem i prognozama promjene klime provodile dopune i korekcije kroz ponavljanje procedure prikazane na slici 7.

Ranjivost se određuje temeljem ekspertnih procjena (kvalitativno) i rezultata analitičkih metoda (kvantitativno). Navedena metodologija može se primijeniti za analizu promjena kakvoće vode, jednako kao i standardni postupci (Margeta i Fistančić, 2004.). Važno je odabrati hazard relevantne indikatore ranjivosti kakvoće vode za ljudsku potrošnju, utvrditi

uzroke i veličine promjena parametara kakvoće vode (indikatora) u dosadašnjem periodu te moguće projekcije za budućnost. Problem je složen jer su brojni pokretači pritiska na kakvoću vode u slivnom području zahvata, a neki od njih su u izravnoj vezi s klimom dok je standard kakvoće vode sve stroži (Vlada RH, 2022.). Kako se mijenja/izgrađuje sliv mijenjaju se pritisci i kakvoća voda. Aktivnosti u prostoru i učinkovitost komunalne infrastrukture za kontrolu plinovitog, tekućeg i krutog otpada glavni su čimbenici nastanka i kontrole onečišćenja, dok oborine i otjecanje transportiraju onečišćenje u hidrološkom sustavu. Problem je složen jer društveno-ekonomski razvoj mijenja veličine onečišćenja, dok će promjene klimatskih varijabli mijenjati procese ispiranja i transporta.

Stalni rast temperature, a posebno ljeti uzrokuje brojne probleme i ugrožava standard vode za piće. Više temperature zagrijavaju okoliš pa time tlo i vodu u cijevima i objektima što ubrzava i mijenja biokemijske procese u vodi sustava i okoliša. Više temperature uzrokuju slijeganje tla što stvara povoljne uvjete za oštećenja i lomove cijevi u vodovodnoj mreži uslijed vanjskih opterećenja. Temperatura zraka direktno utječe na potrošnju vode, a temperature tla i građevina uzrokuju ubrzano propadanje infrastrukture, a posebno sintetičkih materijala kao što su to brtve na spojevima cijevi, i time uzrokuju povećanje gubitaka vode. Više temperature utječu na kvalitetu vode u okolišu uključujući smanjenje razine otopljenog kisika, širenje patogenih organizama, smanjeni tokovi potoka i rijeka, povećano cvjetanje algi i povećana vjerojatnost prodora slane vode u obalnim područjima, ubrzanje biokemijskih reakcija itd.

Kisela kiša jedan je od primarnih razloga za degradaciju kvalitete vode, a glavni uzrok tome su sumporni i dušikovi spojevi uzrokovani ljudskim djelovanjem, dok će varijacije otjecanja promijeniti režim transporta onečišćenja u vodnim resursima. Zbog malih protoka, proces miješanja vode i otpada se mijenja, što može povećati mineralizaciju organskog dušika u tlu te u konačnosti utjecati na kakvoću voda.

3. PRIJETNJE, STANJE I TRENDOWI U HRVATSKOJ

Postepene promjene okoliša i klime ne bi smjele ugroziti vodoopskrbu u smislu raspoloživih kapaciteta za vodoopskrbu jer vode u Hrvatskoj ima dovoljno, a sadašnji trend promjena režima voda nije značajan (Narodne novine, 2020.). Vodoopskrba naselja je najmanji korisnik vode u vodoprivredi te ima prioritet u korištenju voda. Vode možda neće biti u dovoljnim količinama na postojećim zahvatima, ali će je biti u regionalnim vodnim resursima. Zato će prilagodba zahtijevati značajne investicije.

Trenutno glavni "potrošač vode" u vodoopskrbi u Hrvatskoj su gubici vode, 20-60 % (Bajo i Filipović, 2008.). To je "unutrašnja prijetnja održivosti sustava" koja se ublažava mjerama kontrole gubitaka vode (EU, 2015.). Cilj je smanje gubitaka na razinu 5-10 %. Time se povećava opskrbni kapacitet postojećeg zahvata za razdoblje od 20 do 30 godina, a ujedno se ostvaruje više zdravstvenih, ekoloških, ekonomskih, klimatskih, društvenih i tehnoloških pozitivnih učinaka (EU, 2015.). Zato je to prioritetna mjera za jačanje otpornosti vodoopskrbe. Ako su gubici mali, tada se moraju primijeniti ostale mjere *upravljanja opskrbom i potrebama*, uglavnom povećati opskrbne količine kroz zahvaćanje vode primjenom rješenja vremenske preraspodjele voda na postojećem vodnom tijelu (gradnja akumulacija) ili korištenjem drugog vodnog tijela ili korištenjem nekonvencionalnih voda, kao što je desalinizacija mora i pročišćena otpadna voda. Sve su to dobro poznate mjere koje su već dugo u primjeni (National Audit, 2020.). Najveći problem je nedostatak financijskih sredstava, a ne tehnologija.

Problem neodrživosti bilance vode može se ublažiti i primjenom cijelog niza mjera očuvanja vode i upravljanjem potrebama za vodom (National Audit, 2020., Margeta i sur., 2021.). Mjere očuvanja odnose se na minimiziranje gubitka, očuvanje, zaštitu vode u vodnim resursima te učinkovito i djelotvorno korištenje vode. Važno je prepoznati da očuvanje vode treba biti cilj u upravljanju vodnim resursima i vodnim uslugama. Upravljanje potrebama uključuje prilagodbu i provedbu strategije (politike i inicijative) od strane nadležnih institucija da utječe na potražnju za vodom i njezino korištenje radi ostvarenja određenih ciljeva: ekonomska učinkovitost, društveni razvoj, socijalna jednakost, zaštita okoliša, održivost vodoopskrbe i politička prihvatljivost. Problem se zajednički rješava na državnoj, regionalnoj i lokalnoj razini.

Međutim, klimatske promjene u Hrvatskoj uzrokuju i specifične prirodne opasnosti koje često prelaze u prirodne katastrofe, *poplave* u zimskom kišnom periodu, *te suše i njima potaknuti požari* tijekom ljeta. Pokretač nastanka prirodnih opasnosti su poremećaji u kruženju vode na Zemlji što dovodi do jačih kiša zimi, te suša tijekom ljeta (Narodne novine, 2020.). Veličina nastale katastrofe u Hrvatskoj je još uvijek u većoj mjeri rezultat

promjena u okolišu (urbanizacija, sječa šuma itd.) i nedovoljne učinkovitosti mjera zaštite, a manje utjecaj promjena klime. Porast temperature zraka je stalan, a pojava toplinskih valova sve češća, posebno u velikim urbanim sredinama. *Poplave u obalnim naseljima* su češće i sve veće zbog sve većih oluja i vjetrova, njima uzrokovanih valova te rasta razine mora. Ove pojave su *vanjska prijetnja* za održivost funkcioniranja sustava koja u kombinaciji sa sve većim vršnim potrebama za vodom, već danas, u turističkim područjima predstavljaju problem.

Poplave na kopnu i moru su prirodna opasnost koja relativno brzo nastaje i obično traje od nekoliko sati do dana. Jačina i obuhvat teško se pouzdano prognoziraju tako da su velika katastrofa za izgrađeni okoliš i infrastrukturu. Ubrzavaju starenje materijala i objekata što ugrožava rad i povećava troškove rada te povećava gubitke vode. Poplave su nekontrolirani raspršeni izvor onečišćenja koji ugrožava kakvoću vode u vodnim resursima ali i u vodovodnoj mreži posebno ako dođe do prekida rada/tlaka ili prodora vode u objekte sustava. Oborine imaju dugotrajan utjecaj na kakvoću voda kao rezultat kumulativnog utjecaja onečišćenja u slivu. Treba uvažiti i utjecaje fizičkih procesa u slivu i naselju kao što su erozija, jaružanje i taloženje, koje je povezano s povećanjem učestalosti i volumena otjecanja vode. Rezultat su povećane koncentracije krutina, tvari koje troše kisik, dušika i fosfora, patogenih organizama, naftnih ugljikovodika, metala i sintetskih organskih spojeva, što ugrožava funkcioniranje zahvata i postrojenja za obradu vode. Oborine će sve više generirati veću mutnoću što su već uočene promjene, kao i stalni trend rasta (Margeta i sur., 2021.). Stoga će biti potrebno stalno jačati zaštitu i unaprijediti proces obrade vode. Najvažnije je mjerama u slivu smanjiti nastajanje otpada gradnjom sustava kontrole plinovitog, tekućeg i krutog otpada, zelenom infrastrukturom i drugim mjerama.

Jedna od prijetnji koja se u obalnim zonama Hrvatske sve više javlja je porast srednje razine mora i uspinjanje valova na obalu djelovanjem jakih vjetrova, što posljedično dovodi do prodiranja mora dublje u kopno, podizanja razine zaobalnih podzemnih voda, povećanja saliniteta, vlaženja i korozije infrastrukture što ubrzava njezino propadanje. To je specifičan obalni problem koji se javlja u zimskom periodu godine za vrijeme ciklona i velikih kiša (južine) na otvorenim dijelovima urbanizirane obale. Problem je složen i zahtijeva primjenu mjera zaštite od visokog mora i valova, i izloženosti obalne zone od voda iz urbanog područja i zaleđa te prilagodbu infrastrukture novim značajkama okoliša.

Urbanizacija i klima podjednako su utjecajni čimbenici te se moraju zajedno razmatrati. Urbanizacija, je najveći pokretač promjena količine i kakvoće voda u slivu te zajedno s oborinama i hidrološkim značajkama sliva određuje procese otjecanja oborinskih voda i teret onečišćenja u vodama (Margeta, 2007.). Glavne

stalne prijetnje jesu urbana, industrijska i intenzivna poljoprivredna područja. To je prirodna opasnost koja će klimatskim promjenama biti značajno pojačana jer će klimatske varijabilnosti i ekstremi rasti. Pojednostavljeno, prekidi opskrbe i zabrana korištenja vode iz sustava biti će učestaliji, šteta će biti veća, kvaliteta vode na zahvatu i postrojenju za obradu vode lošija, pa će izazov osiguranje propisanog standarda vode namijenjene za ljudsku potrošnju (Vlada RH, 2022.) biti sve veći.

Važna mjera je monitoring, po mogućnosti i biološki, te sustav za upravljanje u incidentnim situacijama-prirodnim katastrofama. Važno je djelovati na poznate probleme s njegovom trenutačnom varijabilnosti ne čekajući preciznije podatke o budućoj klimi. *Treba koristiti regionalni pristup u analizi problema i primijeniti lokalne i regionalne mjere prilagodbe.* Posebnu pozornost treba posvetiti podzemnim vodama jer će one u narednim vremenima imati veliki značaj u opskrbi vodom (Kumar, 2012., Loaiciga, 2009.). Standardne mjere zaštite su izgradnja sustava zaštite od poplava, izgradnja komunalnih sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih i oborinskih voda te učinkovito zbrinjavanje komunalnog i opasnog otpada. Vodoopskrba nema utjecaja na sprječavanje poplava tako da se mjere zaštite i jačanja otpornosti odnose samo na unutrašnje intervencije. Zato tvrtka/sustav mora raditi na podizanju razine spremnosti te imati plan djelovanja u specifičnim incidentnim situacijama. Druge institucije su zadužene za sprječavanje i upravljanje poplavama. Plan upravljanja u incidentnim situacijama treba propisati postupanje, te dati smjernice za upravljanje poplavnom katastrofom, uključujući mjere ublažavanja, pripravnosti, odgovora i oporavaka.

Suše su za vodoopskrbu najveća dugoročna klimatska prijetnja koja kumulativno negativno utječe na vodoopskrbu, a posebno na raspoložive količine i kakvoću vode. Uzrokuje smanjenje prirodnog kapaciteta vodnog tijela i zahvata. Klimatske suše sve su izražajnije (manje oborina), što dovodi do hidroloških suša (manje vode u vodnim tijelima), poljoprivrednih suša (manje vode u tlu), ekoloških suša (manje vode za okoliš), te društveno-ekonomskih suša (manje vode za vodoopskrbu). Svaki tip suše ima svoje uzroke i posljedice koje se moraju sustavno analizirati uvažavajući hijerarhiju djelovanja. Svi tipovi suša negativno utječu na vodoopskrbu, pa su svi jednako važni. Suša se sporo javlja i dugo traje, tako da su posljedice dugotrajne, ali lakše predvidive. To omogućava da se na vrijeme primjene mjere zaštite i jačanja otpornosti i smanjenja šteta. Ništa se neće značajno promijeniti u nekoliko tjedana, ali može se primijeniti puno korisnih mjera prilagodbe, tako da se redukcije u opskrbi svedu na minimum. Važno je na vrijeme prepoznati dolazak suše.

Površinske vode su, za razliku od podzemnih, osjetljivije na izostanak oborina, tako da je pojava hidrološke suše brža, češća i veća (Margeta i sur., 2021.). Podzemne vode, ovisno o vremenu zadržavanja vode u vodonosniku, reagiraju sporije na promjene

oborina i nastalo stanje u površinskim vodama što daje veću sigurnost u opskrbi vodom jer je vrijeme za poduzimanje mjera obrane od suša dulje. Zbog toga su za podzemne vode najveća prijetnja višegodišnje suše i pretjerana eksploatacija (rudarenje vodonosnika). Godišnji minimumi uglavnom su zavisne vremenske serije, što ukazuje na negativne utjecaje dugogodišnjih klimatoloških suša i pretjerane eksploatacije (Margeta, 2022.).

Suša i s njom povezane visoke temperature zraka i vode utječu i na kakvoću vode u vodnim resursima i u samom sustavu (Eck i sur., 2016.). Temperatura tla uzrokuje povećanje temperature vode u cijevima, što dovodi do poremećaja u koncentraciji sredstva za dezinfekciju vode te povećanja koncentracije nusprodukata dezinfekcije vode. Ubrzavaju se reakcije drugih tvari, što može ugroziti zdravstvenu ispravnost vode, posebno u sustavima s dugim vremenom zadržavanja vode. Šumski požari ozbiljna su prijetnja koja je mnogo puta rezultirala ekonomskim, kulturnim i ekološkim štetama u mnogim dijelovima obalne Hrvatske (RH izvješće, 2020.). To je zato što površinska voda sa spaljenih područja uzrokuje ozbiljne i trenutačne probleme s kvalitetom vode u potocima, jezerima i rezervoarima zbog dotjecanja opasnih kemikalija te, naknadno, u podzemnim vodama i, u konačnici, u moru.

Naknadni učinci uključuju brojne post-požarne degradacije okoliša kao što je gubitak vegetacijskog pokrova, koji ostavlja zemlju izloženu utjecajima oborina, otjecanja, vjetra i zračenju sunca, što pak rezultira hidrofobnošću tla, poplavama, erozijom tla i nizvodnom degradacijom potoka, jezera, akumulacija te podzemnih voda, posebno u krškim vodnim resursima. Poznavanje i dobro razumijevanje ovih posljedica u obalnom području Hrvatske važno je za razvoj politike upravljanja i primjenu metoda za minimiziranje učinaka šumskih požara na kvalitetu vode. Razina utjecaja šumskih požara na kvalitetu vode ovisi o jačini požara, značajkama vegetacije te fizikalnim i kemijskim karakteristikama opožarenog područja. Velike oborine i njima stvoreni brzi tokovi vode iz opožarenih područja mogu pokrenuti transport velikih količina krhotina, sedimenta i kemikalija koje će nizvodno značajno utjecati na kvalitetu i korištenje vode. Također, šumski požari prekidaju ili ukidaju potrošnju hranjivih tvari, povećavaju mineralizaciju i trošenje minerala. Dolazi do povećanja mutnoće, ukupnog dušika i mikronutrijenata kalcija, magnezija i fosfora te toksičnih tvari, olova, arsena, bakra i željeza u vodama (Teclé i sur., 2015.). Postrojenja za obradu vode za piće moraju se prilagoditi nastalim promjenama te se trebaju poduzeti aktivnosti za smanjenje požara i šteta.

U zaštiti od požara važnu ulogu ima vodoopskrba, njezini kadrovi, kao i sama infrastruktura, koja je sastavni dio sustava obrane od požara. Požar je incidentno stanje koje zahtijeva da vodoopskrba servisira stanovništvo i potrebe za gašenje požara. Zato se za vrijeme požara opskrba vodom često reducira.

Hidrantske mreže i rezervni kapaciteti moraju se ojačati i prilagoditi novim uvjetima rada koje uzrokuju klimatske promjene. Propise i tehnološke značajke sustava će trebati mijenjati i prilagođavati novim potrebama. Naime, požari u obalnom području javljaju se u vrijeme kada je opterećenje sustava najveće, tako da požari i njihovo gašenje mogu značajno ugroziti opskrbu vodom stanovnika i turističke privrede te uzrokovati ekonomske, ekološke i društvene štete. Problem postaje sve složeniji te ga sustavno treba riješiti poštujući ciljeve vodoopskrbe i zaštite od požara.

4. ZAKLJUČAK

Klimatske promjene imaju sve veći utjecaj na vodoopskrbu u Hrvatskoj, što se posebno manifestira kroz prirodne opasnosti: suše, poplave, toplinske valove te u obalnim zonama više razine mora i obalne poplave. To ugrožava pouzdano i učinkovito funkcioniranje vodoopskrbe i njenu održivost. Prezentirani koncept procjene ranjivosti doprinosi boljem razumijevanju problema i procjeni rizika za vodoopskrbu te ga treba koristiti. Svaki zahvat i sustav specifični su te se ne smiju generalizirati. To potvrđuju dosadašnje analize i rezultati.

Klima će postepeno mijenjati prirodni i društveno-ekonomski okvir za rad i razvoj vodoopskrbe uz već postojeće probleme i prijetnje kao prioritet pred klimatskim prijetnjama. To su u Hrvatskoj prije svega *gubici vode*, koji su istovremeno gubici resursa, novca, energije, a uzrokuju povećano ispuštanje stakleničkih plinova. Zato je smanjenje gubitaka u vodoopskrbi ključna aktivnost za smanjenje štetnog utjecaja vodovoda na klimu. Smanjenjem gubitaka na razinu od 20 % uglavnom bi se riješili kratkoročni problemi prilagodbe kapaciteta vodoopskrbnih sustava klimatskim promjenama. Dugoročne promjene treba rješavati dugoročnim mjerama kroz

primjenu takozvanih "sivih" i zelenih rješenja", odnosno provedbom "The European Green Deal". Zelena kao i plava rješenja trebaju vremena za ostvarenje planiranog učinka, te ih je stoga potrebno odmah primjenjivati. S njihovom primjenom se ne može nikad pogriješiti, nisu skupi a jačaju sigurnost okoliša i održivost življenja.

Vrlo važno je rješavati i *problem dotrajalosti i neučinkovitosti postojećih sustava*, a posebno energetskih, uglavnom naslijeđenih iz prošlih vremena kada su se sustavi gradili prema standardima i planovima bivšeg društvenog uređenja. U tržišnoj ekonomiji poslovni ciljevi su orijentirani na profit, a manje na socijalu. Zato postojeće sustave treba prilagoditi poslovnom i pravnom okruženju, ne ugrožavajući socijalni karakter vode. To je politički vrlo osjetljiv problem koji se mora riješiti, jer troškove klimatskih promjena u vodoopskrbi netko mora platiti.

Treba se stalno pripremati za brze promjene uvjeta rada koje mogu nastati ne samo ekstremnim klimatskim stanjima nego i regionalnim i globalnim sukobima, epidemijama, poremećajima u opskrbnim lancima kojima u zadnje vrijeme sve više svjedočimo. Održivost vodoopskrbe rastući je izazov, pa se društvo i vlasnici trebaju sustavno pripremati za incidentne, kratkoročne i dugoročne uvjete rada. Što se tiče raspoloživih količina vode u vodnim resursima, u budućnosti većih problema uzrokovanih klimatskim promjenama ne bi trebalo biti, jer vode u Hrvatskoj ima dovoljno. Veći problemi očekuju se u odnosu na ulaznu kakvoću vode koja će se pogoršavati, više temperature zraka i varijabilni sezonski režim potražnje, te povećanje cijene vodoopskrbe. Tehničko-tehnološke značajke sustava predstavljaju značajan problem održivosti vodoopskrbe, te se moraju ojačati kako bi sustav bio otporan na nove uvjete rada. Dobro obrazovani kadrovi i dostatan financijski kapital će u narednom razdoblju imati najveći utjecaj na ostvarenje održivosti vodoopskrbe i standarda življenja.

LITERATURA

Margeta J. (2022.): Water abstraction management under climate change: Jadro spring Croatia *Groundwater for sustainable development*, (2352-801X) 16 (2022.); 100717, 13. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100717>

Lukač Reberski, J., Rubinić, J., Terzić, J. (2020.): Climate Change Impacts on Groundwater Resources in the Coastal Karstic Adriatic Area: A Case Study from the Dinaric Karst. *Nat Resource Res* 29, 1975–1988, <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09558-6>

Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H., Aureli, A. (2011.): Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology* 405 (2011.) 532–560. Doi:10.1016/j.jhydrol.2011.05.002

Karleuša, B., Rubinić, J., Radošić, M., Krvavica, N. (2018.):

Analysis of Climate Change Impact on Water Supply in Northern Istria (Croatia), *Technical Gazette*, 25, Suppl. 2, 366-374, <https://doi.org/10.17559/TV-20170809140304>

Narodne Novine. NN 46/2020 (2020.): Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu, Zagreb, Hrvatska (15.4.2020.)

Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams and others. (2021.): Technical summary, IPCC Sixth Assessment Report (AR6) WGII, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, doi:10.1017/9781009325844.002.

Teclé, A., Daniel Neary, D. (2015.): Water Quality Impacts of Forest Fires. *J Pollut Eff Cont* 3: 140. (2015.) doi:10.4172/2375-4397.1000140

Berlengi, G., Margeta, J., Trumbić, I., Vilibić, I. (2020.):

Plan integralnog upravljanja obalnim područjem Šibensko-kninske županije. UNEP PAP/RAC Split. (2020.)

Zhijie, L., Hui, Z., Jinning, L., Jingqi, Z., Zhiguo, S. (2022.): Evolution and promotion strategy of resilience of urban water supply system under flood and drought disasters, Scientific reports, 2022 12:7404, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11436-w>.

IPCC (2007.): *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, ed ML Change et al (Cambridge) (Cambridge University Press) (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA)

IPCC (2014.): *Summary for policymakers In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* ed CB Field et al (Cambridge) (Cambridge University Press) (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) 1–32.

Nakano, D., Stephens, W.L, Turk, J., Mukai, S., Stultz, J. (2019.): Impacts of Climate Change on Honolulu Water Supplies and Planning Strategies for Mitigation, Report No. 4637, The Water Research Foundation, Denver, USA.

Husar, A. (2018.): Advancing the 2030 Agenda in a Context of Uncertainty - The use of Strategic Foresight for Adaptive and Future-Ready SDG Strategies, https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/27869Foresight_SlideDeck_HLPFtraining2018.pdf (posjet 10. veljače 2022.)

Margeta, J., Fistanic, I. (2004.): Water quality modelling of Jadro spring. *Water science and Technology* (2004.) 50 (11), 59–66.

Vlada RH, (2022.): Nacrt prijedloga zakona o vodi za ljudsku potrošnju, <https://esavjetovanja.gov.hr/ECon/MainScreen?entityId=20389> (posjet 6. srpnja 2022.)

Bajo, A., Filipović, B. (2008.): The Efficiency of the Water Supply in Croatia, *Institute of public finance*, Zagreb.

EU (2015.): Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM, ISBN 978-92-79-45069-3 doi: 10.2779/102151 © European Union, 2015 https://circabc.europa.eu/sd/a/1dddfba34-e1ce-4888-b031-6c559cb28e47/Good%20Practices%20on%20Leakage%20Management%20-%20Main%20Report_Final.pdf (posjet 10. prosinca 2021.)

National Audit Office of GB, (2020.): Water supply and demand management, HC 107 SESSION 2019–2021 11 JUNE 2020

Margeta, J.; Grgić, A.; Bartulović, H., Baučić, M., Gilić, H. (2021.): Plan prilagodbe za pilot područje rijeke Jadro, EU Projekt CHANGE WE CARE, Aktivnost 5.3, Javna ustanova RERA S.D., Split.

Margeta, J. (2007.): *Oborinske i otpadne vode: teret onečišćenja, mjere zaštite*. Građevinsko arhitektonski fakultet, Split.

Kumar, C.P. (2012.): Climate Change and Its Impact on Groundwater Resources, *RESEARCH INVENTY: International Journal of Engineering and Science*, ISSN: 2278-4721, Vol. 1, Issue 5 (October 2012), PP 43-60.

Loáiciga, H.A. (2009.): Long-term climatic change and sustainable ground water resources management, *Environmental Res. Letter*, 4, 035004.

Eck, B. J., Saito, H., McKenna, S. A. (2016.): Temperature dynamics and water quality in distribution systems, *IBM Journal of Research and Development*, vol. 60, no. 5/6, pp. 7:1 - 7:8, (2016), as part of a special issue on "Food Safety, Security, and Defense." See: <http://www.research.ibm.com/journal/>.

RH izvješće, (2021.): Konačno izvješće o realizaciji Programa aktivnosti u provedbi posebnih mjera zaštite od požara od interesa za Republiku Hrvatsku u 2020. godini, Hrvatska vatrogasna zajednica, 05.07.2021.

ANALYSIS OF WATER SUPPLY VULNERABILITY IN CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Abstract. The paper addresses the relationship between climate change and water supply, methodology of vulnerability analysis, as well as impacts and responses to climate change. The objective to be fulfilled in climate uncertain future is the safety of water supply for human consumption. The built environment is changing due to urbanisation and exploitation of natural resources, while the natural environment is adapting to climate and environment change. This process increasingly endangers water supply and safe living. Therefore, water supply is being adapted to strengthen the resilience to climate change, particularly its extreme variability. The success of the adaptation depends on a reliable assessment of the reasons for the system vulnerability. The paper focuses on the analyses of concepts and provides recommendations for their application, as well as the analyses of the status and trends of changes in Croatia and proposes measures to solve the problem.

Key Words: climate change, water supply, system vulnerability, floods, droughts

ANALYSE DER ANFÄLLIGKEIT DER WASSERVERSORGUNG IM ANBETRACHT DES KLIMAWANDELS

Zusammenfassung. Dieser Beitrag befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen Klimawandel und Wasserversorgung und untersucht die Methodik der Anfälligkeitsanalyse sowie die Auswirkungen und Reaktionen auf den Klimawandel. Das in einer klimatisch unsicheren Zukunft zu erreichende Ziel ist die sichere Wasserversorgung für den täglichen Gebrauch. Die Umwelt verändert sich aufgrund der voranschreitenden Urbanisierung und der Ausbeutung natürlicher Ressourcen wobei sich die Natur an die Klima- und Umweltveränderungen anpasst, wobei dieser Prozess zunehmend die Wasserversorgung gefährdet. Die Wasserversorgung passt sich daher dem Klimawandel an und stärkt ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel, insbesondere gegenüber extremen Schwankungen. Doch der Erfolg der Anpassung hängt von einer zuverlässigen Einschätzung der Ursache der Anfälligkeit des Systems ab. Dieser Inhalt analysiert die Konzepte und stellt Empfehlungen für deren Umsetzung vor. Der Stand und die Tendenz der Veränderungen in Kroatien werden ebenfalls in Betracht gezogen und Maßnahmen zur Lösungsfindung vorgeschlagen.

Schlüsselwörter: Klimawandel, Wasserversorgung, Anfälligkeit des Systems, Überschwemmungen, Dürren