



KLIMATSKE INFORMACIJE I KLIMATSKE PROMJENE ZA POTREBE UPRAVLJANJA VODAMA

dr. sc. Marjana Gajić-Čapka

***Djelovanje
očekivanih
klimatskih
promjena na
režim vodnih
tokova povećati
će probleme i
zahtijevati brojne
akcije u mnogim
granama vodnog
gospodarstva.***

UVOD

Uz atmosferu, voda je osnovni prirodni izvor koji koristi čovjeku, a ovisan je o atmosferskim procesima. Stoga se primijenjena klimatologija za područje upravljanja vodama neminovno bavi meteorološkim elementima hidrološkog ciklusa, i to u onolikoj mjeri koliko se oni odnose na vodne potencijale i rad hidroinženjera.

Za potrebe iskorištavanja voda korisnicima stoje na raspolaganju dvije osnovne grupe meteoroloških podataka: klimatološki podaci (arhivski) koje primarno koriste planeri i projektanti, sinoptički podaci (trenutni) koje trebaju operativne službe, te rezultati klimatskih i hidroloških modela za dugoročnija planiranja (Stewart, 2011).

Meteorološki elementi i pojave se stalno mone i registriraju na meteorološkim postajama koje čine osnovnu mrežu meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda. Ako se ne mjere specifični elementi potrebni korisniku ili gustoća mreže meteoroloških postaja nije dovoljna na nekom području za određenu namjenu, u skladu s ugovorenim potrebama korisnika postavljaju se dodatne meteorološke postaje ili se obavljaju povremena specijalna mjerenja u značajnim vremenskim situacijama pomoću stacionarnih i mobilnih meteoroloških postaja.

Ovi izvorni podaci predstavljaju podloge za namjenske obrade kao što su npr. određivanje prosječnih vrijednosti u različitim vremenskim



Foto: Robert Marčelja



razdobljima, vjerojatnosti pojavljivanja karakterističnih klimatskih elemenata, trajanje razdoblja s određenim karakteristikama, analize ekstremnih vrijednosti, prostorne raspodjele, vremenske promjene i dr. Odabir i način prikazivanja meteoroloških parametara moraju proizaći iz uske stručne suradnje meteorologa i stručnjaka koji rade na području upravljanja vodama.

Analize klimatoloških podataka

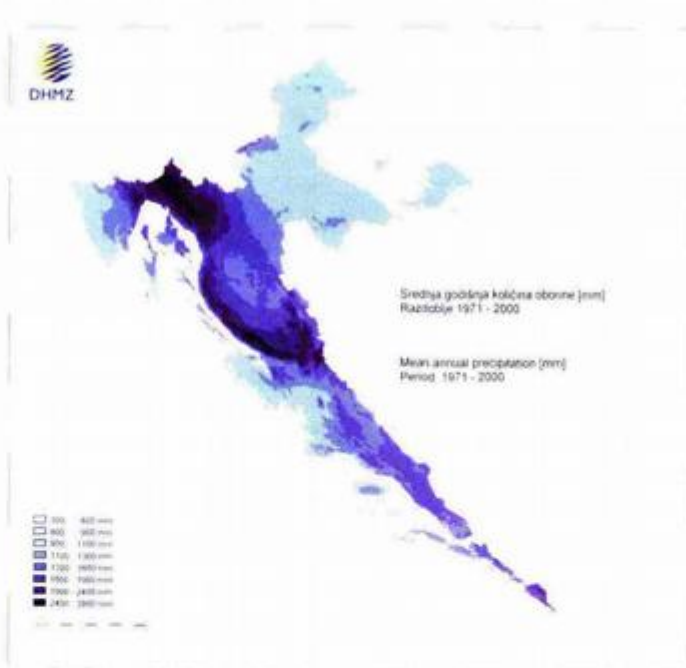
Opće klimatske karakteristike nekog područja prvenstveno su definirane općom cirkulacijom atmosfere, zemljopisnom širinom i njegovim položajem s obzirom na blizinu mora i oceana. Zbog izloženosti raznolikim lokalnim utjecajima kao što su udaljenost od mora, nadmorska visina, tip tla i vegetacija, izloženost strujanjima, gradske i vodene površine, klimatološke veličine pokazuju veliku prostornu promjenljivost na području Hrvatske.

Glavni ulazni klimatološki element u hidrološkim proračunima za vodnogospodarske potrebe je oborina (količina, učestalost, trajanje). Vremenska promjenljivost oborine vrlo je različita u raznim krajevima Hrvatske. Obično se izmjenjuju oborinska razdoblja različitih količina, intenziteta i trajanja. Stalna promjena intenziteta javlja se i tijekom jedne oborinske epizode ili perioda. Osnova za detaljne oborinske analize u studijama o poplavama i malim vodama su dnevne količine oborine. Analiziraju se: maksimalne dnevne i višednevne količine oborine po mjesecima, brojevi dana s količinom oborine 1.0 mm, 10.0 mm ili drugi traženi pragovi, te sušna razdoblja.

Podaci o dnevnim količinama ne daju informaciju o tome kada, koliko dugo, s kakvim intenzitetom i kakvim tijekom je oborina padala. Tu dodatnu informaciju hidrolozi mogu dobiti iz registracija oborine (pluviograma) i to za intervale od nekoliko minuta do nekoliko sati (Gajić-Čapka, 2002).

Statistička obrada jakih oborina kao ekstremnog događaja nužna je u cijelom nizu podloga za projektiranje novih ili rekonstrukciju postojećih objekata, kao što su npr. dimenzioniranje objekata odvodnje u gradovima, na prometnicama ili poljoprivrednim površinama, konstrukcija retencija na malim ili velikim slivovima radi ublažavanja (smanjenja) vodnih poplavnih valova. Kod obilnih količina oborine u vrlo kratkom razdoblju često puta dolazi do poplava u gradovima ako objekti odvodnje nisu dobro dimenzionirani. Posljednji takav događaj zabilježen je početkom rujna kada je u Zadru u jednom danu 92 mm kiše uzrokovalo velike štete u domaćinstvima i ugostiteljskim objektima.

Za objekte obrane od poplava, kada se zahtijeva veća sigurnost, preporuča se korištenje vjerojatnosti maksimalne oborine (PMP-probable maximum precipitation), koja se može odrediti



Prostorna godišnja raspodjela količine oborine. Izvor: Zaninović i dr. 2008.

pomoću statističkih i fizikalnih metoda uzimajući u obzir reljef tla.

Uloga podataka o snježnom pokrivaču je značajna, posebice kod obrane od poplava i procjena zaliha vlage u tlu. Neki važni elementi koji karakteriziraju pojavu i hidrološke posljedice snježnog pokrivača mogu biti: datum prvog i posljednjeg dana sa snježnim pokrivačem, trajanje snježnog pokrivača, visina novog snijega, maksimalna visina snježnog pokrivača ili novog snijega i datum njihovog javljanja, te gustoća snijega.

Srednja evapotranspiracija (isparavanje s vodene površine, tla i vegetacije) na nekom području od posebnog je interesa za utvrđivanje vodne ravnoteže ili detaljnih modela za sliv. Može se ocijeniti, ili iz proračuna klimatoloških varijabli za područje i karakteristika područja, ili iz proračuna evapotranspiracije u točkama ili za manja područja prema odgovarajućim klimatološkim podacima. Mogućnost primjene daljinskih (satelitskih) mjerenja za procjenu evapotranspiracije za područje tekući je zadatak istraživanja u svijetu.

Opažene klimatske promjene

Klimatski sustav određuju brojne interakcije između Sunca, oceana, atmosfere, kopna i živih organizama. Prvenstveno je rezultat Sunčeve i vulkanske aktivnosti, te astronomskih čimbenika. Promjene u tim aktivnostima dovode do vremenske promjenljivosti klime. Sastav atmosfere je u tom slučaju značajan, budući da pojedini plinovi i čestice apsorbiraju toplinu, koju Zemlja oslobađa u atmosferu zračenjem, doprinoseći dodatno zagrijavanju atmosfere. Narušavanjem odnosa u kemijskom sastavu zraka narušava se i ravnoteža klimatskog su-



Foto: Nenad Reberšak

stava s klimatski mjerljivim posljedicama.

Tijekom vremena u prošlosti klima se mijenjala i javljala su se toplija i hladnija razdoblja. Vremenska varijabilnost klime na različitim skalama utvrđuje se rekonstrukcijom prošlih klimatskih uvjeta pomoću različitih metoda: analizom izotopa kisika dubinskih slojeva mora (nekoliko milijuna godina), ledenjaka (nekoliko stotina tisuća godina), analizom peludi, sedimenata u jezerima, godova drveća (nekoliko stoljeća), zapisa u ljetopisima, motivima na slikama. S početkom instrumentalnih mjerenja sredinom 19. stoljeća na raspolaganju su nizovi mjerenih podataka. Npr. na vremenskoj skali posljednjih 100 godina kod vremenskih nizova godišnjih količina oborine u europskim zemljama prisutni su 10-12-godišnji i 20-22-godišnji periodi koji se vjerojatno mogu povezati s 11-godišnjim ili dvostrukim Sunčevim ciklusom. U vremenskim oborinskim nizovima u Hrvatskoj, kao i npr. u Španjolskoj i Grčkoj, 11-godišnji period nije utvrđen kao statistički značajan.

Četvrto izvješće (FAR) Međunarodnog panela za klimatske promjene (IPCC) iz 2007., koji je potaknula Svjetska meteorološka organizacija (WMO) i Program Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP) utvrđuje da je zapaženo zatopljenje od sredine 20. st. vrlo vjerojatno (vjerojatnost 90-99%) uzrokovano opaženim povećanjem koncentracije antropogenih stakleničkih plinova. S razvojem industrijske civilizacije pojavio

se antropogeni porast plinova staklenika zbog emisije pri sagorijevanju fosilnih goriva, uništavanja šuma, isušivanja velikih vodenih površina itd.

Prema meteorološkim podacima širom svijeta utvrđen je nedvosmislen porast srednje globalne temperature zraka. Srednja temperatura sjeverne hemisfere tijekom druge polovice 20. st. vrlo vjerojatno je viša nego tijekom bilo kojih 50 godina u posljednjih 500 godina i vjerojatno viša nego u barem posljednjih 1300 godina. Zabilježen je porast temperature zraka od 0.74 °C u 100-godšnjem razdoblju 1907-2006., s dvostrukim ubrzanjem u posljednjih 50 godina. Regionalno je utvrđen veći trend temperature zraka nad kopnom nego nad oceanima i morima. Kod oborine javljaju se veće regionalne razlike. Prema podacima iz razdoblja 1901-2005. prisutan je porast godišnje količine oborine u istočnim dijelovima Sjeverne i Južne Amerike, sjeverne Europe i sjeverne i središnje Azije. Smanjenje se javlja u Sahelu, Sredozemlju, južnoj Africi i dijelovima južne Azije. Globalno su se povećala područja pogođena sušom i porasla je učestalost jakih kišnih događaja ili udio ukupne količine oborine od obilne oborine. Ove klimatske promjene dovode do promjena u svim komponentama globalnog slatkovodnog sustava iako ne s istim intenzitetom. Za jedan broj komponenti, kao npr. podzemne vode, zbog nedostatka podataka nemoguće je odrediti da li se njihovo stanje

promijenilo u skoroj prošlosti zbog klimatskih promjena. Tijekom posljednjih desetljeća ne-klimatski činitelji su jako utjecali na slatkovodne sustave. To je rezultiralo zagađenjem vode, pregrađivanjem rijeka, isušivanjem močvara, smanjenjem protoka, snižavanjem razine podzemne vode (uglavnom zbog navodnjavanja). Za usporedbu, promjene zbog klime, bile su male, iako je vjerojatno da će u budućnosti biti drugačije, kako signal klimatskih promjena postaje sve očitiji.

Prema posljednjem klimatskom izvješću IPCC iz 2007. utjecaj zatopljenja klimatskog sustava na hidrološke sustave je utvrđen s velikom pouzdanošću. Povećano je otjecanje, javlja se raniji proljetni maksimum otjecanja na mnogim rijekama koje se pune s ledenjaka i snijegom pokrivenog gorja, zagrijavaju se jezera i rijeke, što utječe na termičku strukturu i kvalitetu vode. Tako su i hidrološki uvjeti vjerojatno intenzivniji jer su uočene učestalije jake suše i velike količine oborine u mnogim područjima na Zemlji.

Tijekom 20. i početkom 21. stoljeća godišnje količine oborine u Hrvatskoj pokazuju trend smanjenja pridružujući se tako osušenju na Sredozemlju. Taj trend je izraženiji na jadranskoj obali nego u unutrašnjosti. Godišnji trendovi su rezultat sezonskih promjena koje su uglavnom prostorno konzistentne: negativni trendovi u jesen, zimi i u proljeće, a pozitivni ljeti. Međutim oni su različitog intenziteta u

različitim sezonama. Smanjenje godišnjih količina u unutrašnjosti sjeverno od Save rezultat je smanjenja količina u proljeće i jesen. Na visoravni Like i na dalmatinskim otocima smanjenje godišnjih količina je uglavnom rezultat smanjenja oborine zimi i u proljeće. U Kvarnerskom zaljevu zapaženo je smanjenje svih sezonskih količina oborine, značajno ljeti.

Porast srednje godišnje temperature zraka na području Hrvatske od početka 20. stoljeća postao je osobito izražen u posljednjih 50 i još više u posljednjih 25 godina. Najveći doprinos po-

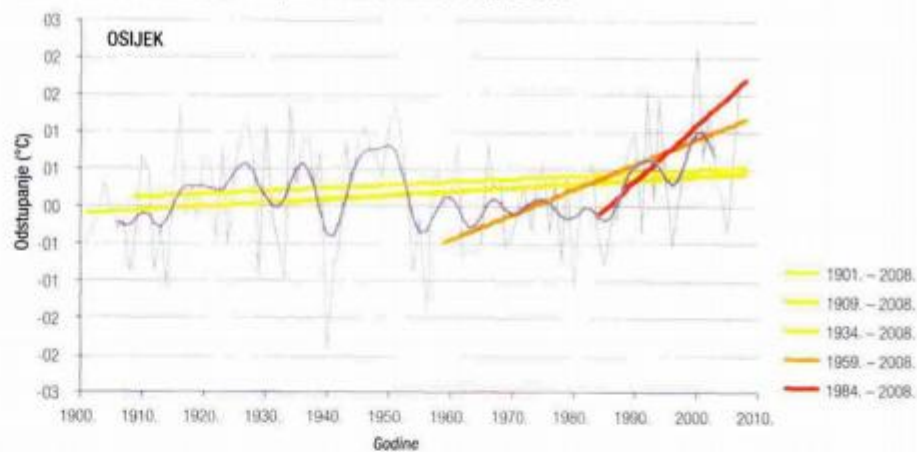
Tablica 1. Dekadni trendovi sezonskih (R_1 , R_2 , R_3 , R_4) i godišnjih (R_5) količina oborine. Trendovi značajni na 5 % razini značajnosti su masno tiskani.

Dekadni trendovi	Osijek	Zagreb – Grič	Gospić*	Crikvenica	Hvar
Trend količine oborine 1901. – 2008. (% / 10 god)					
R_1	-0,0	-0,7	-2,9	-1,6	-2,9
R_2	-3,2	-0,9	-1,8	-1,9	-1,3
R_3	+1,3	+1,1	+0,1	-2,9	+2,9
R_4	-2,0	-1,3	-0,2	-1,1	-0,5
R_5	-0,8	-0,3	-1,0	-1,7	-1,0

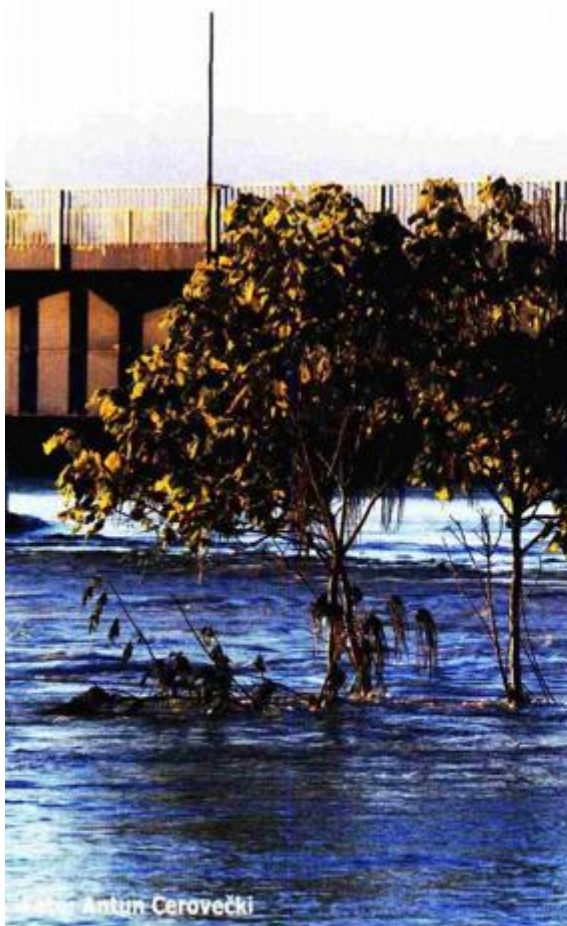
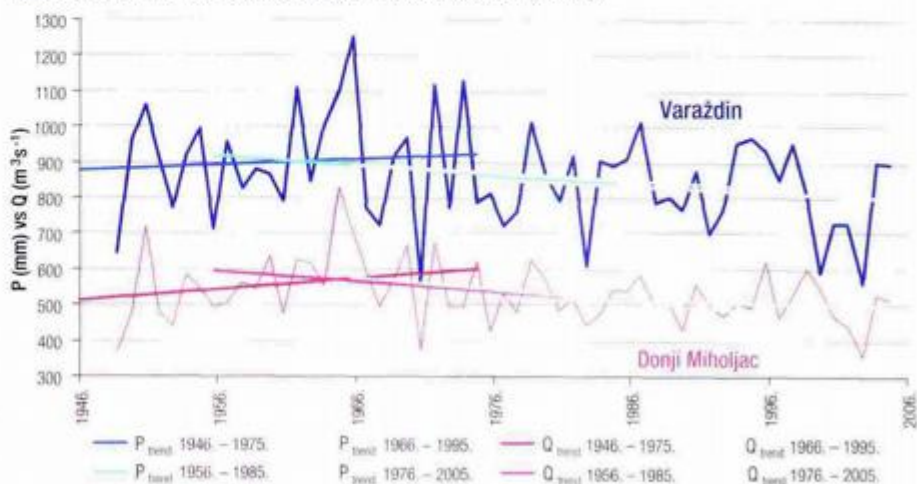
* od 1924. godine

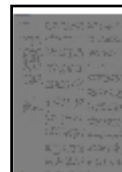
Izvor: MZOPUG, 2009.

Srednje godišnje temperature zraka u razdoblju 1901. – 2008. u Osijeku i njihov trend u različitim razdobljima. Izvor: MZOPUG, 2009.



Višedekadni trendovi godišnje količine oborine u Varaždinu i protoka Drave kod Donjeg Miholjca. Izvor: Gajić-Čapka i Cesarec, 2010.





LITERATURA

- [1] Gajić-Čapka, Marjana, 2002: Regionalna analiza učestalosti ekstremnih oborina, Okrugli stol: Urbana hidrologija, Split, 25. i 26. travnja 2002, 91-100.
- [2] Gajić-Čapka, M., Cesarec, K., 2010: Trend i varijabilnost protoka i klimatskih veličina u slivu rijeke Drave. Hrvatske vode, 18, 71, 19-33.
- [3] IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (Eds)]. Cambridge University Press, UK, 944 pp.
- [4] Stewart B., 2011: Managing water resources with climate information. WMO Bulletin, World Meteorological Organization, Vol. 60 (2), 63-66.
- [5] MZOPUG (2009): Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction (MZOPUG), pp 215. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/4903.php
- [6] Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i dr., 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990., 1971-2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

zitivnom trendu temperature u kontinentalnom dijelu Hrvatske su dali zimski trendovi (+0,06 °C u Osijeku, +0,13 °C u Zagrebu i Gospiću), a na Jadranu ljetni (+0,13 °C u Crikvenici i +0,07 °C u Hvaru). Najveći trendovi zabilježeni su u Zagrebu, međutim, treba voditi računa da je barem dijelom taj porast posljedica zagrijavanja utjecaja grada.

Vremenske promjene hidroloških veličina, uključujući evapotranspiraciju, otjecanje, protok i razinu vode na jezerima i močvarnim područjima, pokazuju i na području Hrvatske veliku složenost i ovisnost ne samo o prirodnim parametrima već i o djelovanju čovjeka. Primjer meteorološko-hidrološke analize na hrvatskom dijelu sliva Drave za razdoblje 1926-2008., ukazuje da je prisutno zatopljenje i trend smanjenja godišnjih količina oborine u gornjem toku (Varaždin) i blagi porast u donjem (Osijek). U toplom polugodištu promjene su istog smjera kao i godišnje dok se u hladnom polugodištu na oba područja oborina smanjuje. Srednji godišnji protok pokazuje statistički značajan trend smanjenja kao rezultat opadajućeg trenda protoka u oba polugodišta. 44% varijabilnosti protoka može se objasniti varijabilnošću oborine. Tijekom promatranog razdoblja od sredine 20. stoljeća prisutna je velika i uglavnom istosmjerna međugodišnja varijabilnost protoka i oborine. U hladnom polugodištu vremenska varijabilnost količina oborine raste i istovremeno je prisutan i značajan trend porasta varijabilnosti srednjih protoka. U toplom polugodištu varijabilnost količina oborine se statistički značajno povećava, ali to se ne odražava na varijabilnost protoka. Dapače, u toplom polugodištu smanjuje se varijabilnost protoka. To se jednim dijelom može pripisati regulaciji protoka izgradnjom akumulacija i brana u gornjem toku Drave, kao i varijabilnošću svih ostalih hidroloških parametara na slivu, evapotranspiracije, infiltracije i površinskog otjecanja, koji pak ovise o meteorološkim uvjetima i još više o zalihama vode u tlu.

Projekcije klimatskih promjena

Projekcije klimatskih promjena pomoću globalnih i regionalnih numeričkih modela atmosfere i oceana uz pretpostavke raznovrsnih scenarija npr. emisije plinova, porasta stanovništva, korištenja obradivog zemljišta, ekonomskog rasta i dr. daju rezultate u kojima se javlja određena neizvjesnost i nju treba pri razmatranju rezultata pažljivo uvažavati. Ova neizvjesnost nije posljedica nerazumijevanja klimatskog sustava, nego činjenice da se aktivnosti čovječanstva i njihov mogući utjecaj na buduću klimu moraju promatrati kroz vrlo složena i donekle nepredvidiva međudjelovanja.

Očekivane promjene ne samo prosječnih već i ekstremnih temperatura zraka, ne samo godišnjih ili sezonskih količina oborine, već i učestalosti kratkotrajnih jakih oborina, te trajanja sušnih i kišnih razdoblja, također će imati utjecaj

i na promjene pojedinačne komponente hidrološkog ciklusa, a time i na režim riječnih tokova. Može se očekivati da će porast srednje godišnje temperature zraka izazvati povećanje evapotranspiracije, te uz smanjenje ljetne oborine, pojačano isušivanje tla i smanjenje podzemnih zaliha vode ljeti, kao i produljivanje razdoblja s niskim vodostajima na rijekama krajem ljeta i početkom jeseni. Nadalje, pomicanje granice snijega i leda u visokim planinskim krajevima smanjilo bi područja sa zalihama vode u obliku snijega u ljetnim mjesecima. Veći dio oborinske vode otjecao bi odmah ili nakon kratkog zadržavanja u obliku snijega. Time bi bilo povećano otjecanje u zimskim mjesecima i taj bi dio nedostajao ljeti. Učinak staklenika dovodi i do povećanja temperature vode i tla, a s time i do promjene kemijskih i bioloških stanja vode, odnosno njezine kvalitete.

Djelovanje očekivanih klimatskih promjena na režim vodnih tokova povećati će probleme i zahtijevati brojne akcije u mnogim granama vodnog gospodarstva, ako ne bude moguće obuzdati porast temperature zraka smanjenjem proizvodnje energije iz fosilnih izvora, što u velikoj mjeri ovisi o političkim odlukama. U vodoopskrbi mogli bi se očekivati povećani zahtjevi za vodom u ljetnim mjesecima u poljodjelstvu, industriji i kućanstvima. Proizvodnja energije u hidroelektranama bila bi manja ljeti zbog nižeg vodostaja. Kod termoelektrana javio bi se problem hlađenja zbog smanjenja vodotoka i porasta temperature vode. Niži vodostaji ljeti uzrokovali bi smanjenje dubine korita i ometanje plovidbe, a češće poplave duže zastoje u plovidbi. Učestalije i jače poplave bile bi veća opasnost za stanovništvo i imovinu i trebali bi se razviti dodatni projekti zaštite od poplava. Zbog porasta razine mora može se očekivati dublje prodiranje morske vode u riječna ušća, pomicanje granice slatke i slane vode u unutrašnjost kao što prijeti delti Neretve kod nas, te potreba zaštite obale i modifikacija lučke infrastrukture. U krajevima gdje bi se pojačali jaki pljuskovi oborine, sustavi odvodnje u gradovima i na poljoprivrednim površinama ne bi mogli propuštati te količine vode i moglo bi doći do poplavlivanja i erozije tla.

Zbog regionalnih karakteristika klimatskih promjena, u klimi koja se mijenja, bit će važno znati i razumijeti kako će se ulazni podaci za hidrološke proračune mijenjati zbog klimatskih promjena i u Hrvatskoj, koja se nalazi u području zatopljenja i u prijelaznom području između povećanja godišnjih količina oborine na sjeveru i zapadu Europe i osušenja na Mediteranu. Rješavanje tog pitanja predmet je istraživanja meteorologa i hidrologa i dio odgovora može se naći u nacionalnim izvješćima Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) koje koordinira Ministarstvo zaštite okoliša i prirode. ■