

ANALIZE MALIH VODA I NJIHOVE POSLJEDICE U RAZDOBLJU OD 2021. DO 2023. GODINE

dr. sc. Dušan Trninić
znanstveni savjetnik

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, Zagreb, Hrvatska

Ekstremne suše koje su bile u razdoblju: 2021.-2023. godine, uzrokovale su i ekstremne male vode u nekim dijelovima Europe i svijeta. Snježni pokrivač u Alpama, koji je od ključne važnosti za vodnost velikih rijeka, kao što su: Po, Rajna, Dunav i Rona u analiziranom razdoblju, bio je znatno manji od prosjeka. Osim toga došlo je do smanjenja ledenjačke mase do upozoravajućih razina. Prema detaljnim analizama kolebanja klime i klimatskih promjena, alpski ledenjaci izgubili su oko 60% volumena od 1850. godine. Potaknuti kolebanjima klime i klimatskim promjenama, neuobičajeno suhim zimama i proljećima, praćena rekordnim temperaturama zraka, s nekoliko toplinskih valova u nizu, nedostatkom oborina u obliku snijega i kiše, niskim nivoima podzemnih voda doveli su do toga da su neke rijeke i akumulacije u zapadnoj, središnjoj i južnoj Europi imale malu i ekstremno malu vodnost i da su bile iznad prosjeka pregrijane, rezultirali su meteorološkim, hidrološkim, agrometeorološkim, geološkim, financijskim i drugim sušama. Ovi uzroci suša i malih voda rezultirali su većim ili manjim izravnim i neizravnim štetama u poljoprivredi, energetici (H, T, N elektrane) riječnom i kanalskom prometu, vodoopskrbi i odvodnji, turizmu i mnogim drugim djelatnostima. Interesantno je spomenuti da se rijeka Po ulijeva u Jadransko more, Rajna u Sjeverno, Dunav u Crno, a Rona u Sredozemno more. Posebno su opisane hidrološke suše u slivu rijeke Jangce, u središnjem dijelu NR Kine, koje su posebno interesantne zbog specifičnih mjera za smanjivanje izravnih i neizravnih šteta od suša koje sve više utječu na ljudske živote i gospodarstva. Posebno su navedene i neke od mjera za smanjivanje šteta od malih voda kao što su: akumulacije koje su ključni objekti za rješavanje vodoprivredno-ekoloških problema, zatim mogućnosti i potrebe prebacivanja vode iz sliva u sliv, kao i zadržavanje voda u vremenu i prostoru. Uklesane poruke u kamenu i objektima, koje su ostavili ljudi iz prethodnih epoha o katastrofalnim sušama i poplavama, pružaju jedinstveni podsjetnik na teškoće sa kojima su se suočavali tijekom prethodnih suša i poplava. U zaključku se navodi, da vodu, na svim razinama treba maksimalno štedjeti.

Ključne riječi: suše, male vode, malovodna razdoblja, snijeg, akumulacije, štete, štednja

1. UVOD

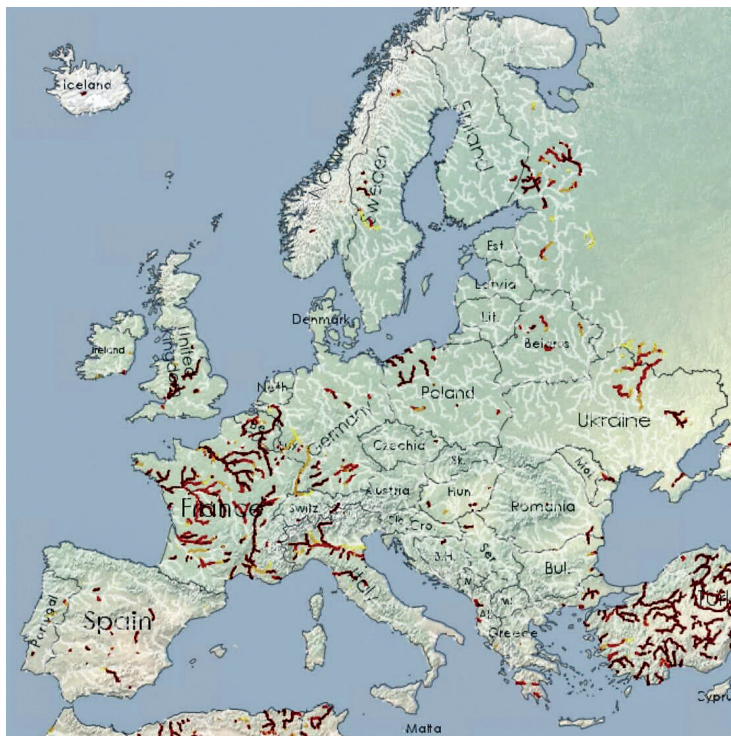
Potaknuti kolebanjima klime i klimatskim promjenama, neuobičajeno suhim zimama i proljećima, rekordnim temperaturama zraka, s nekoliko toplinskih valova u nizu, nedostatkom oborina u obliku snijega i kiše, niskim nivoima podzemnih voda doveli su do toga da su neke rijeke i akumulacije u zapadnoj, središnjoj i južnoj Europi imale malu i ekstremno malu vodnost i da su bile iznad prosjeka pregrijane, rezultirali su meteorološkim, hidrološkim, agrometeorološkim, geološkim, financijskim i drugim sušama. Ovi uzroci suša rezultirali su većim ili manjim izravnim i neizravnim štetama u poljoprivredi, energetici (H, T, N elektrane) riječnom i kanalskom prometu, vodoopskrbi i odvodnji, turizmu i mnogim drugim djelatnostima. Opsežna procjena svjetskih vodnih resursa pokazala je da je hidrološki ciklus u sve većoj neravnoteži uslijed kolebanja klime i klimatskih promjena koje su detaljno opisane u radu Pandžić (2023.), kao i u društvenim promjenama, te promjenama u okolišu. U ovom članku korišteni su pojmovi: male vode, hidrološke suše i malovodna razdoblja koji su detaljno opisani u člancima Trninić, D. (1984., 1998., 2023.).

Detaljno su opisane male vode u slivovima rijeka: Po, Rajne, Rone, Dunava, Drave i Save. Posebno su opisane male vode u slivu rijeke Jangce, u središnjem dijelu NR Kine, koje su posebno interesantne zbog specifičnih mjera za smanjivanje izravnih i neizravnih šteta od suša koje sve više utječu na ljudske živote i gospodarstvo.

2. UPOZORENJA O MOGUĆIM SUŠAMA

Zajednički istraživački centar za sušu (JRC) koji djeluje u Europskoj komisiji (JRC) i Europski centar za sušu - Global Drought Observatory (GDO) u izvještajima od - 29. 4. 2022. i 10. 3. 2023. upozorili su na mogućnost većih hidroloških suša i malovodnih razdoblja, kao i na posljedice koje one izazivaju. Prema tom izvješću, 47 % europskog teritorija dostići će nivo upozorenja na sušu, dok će 17 % ispitanih regija biti u stanju pune pripravnosti. Opsežna procjena svjetskih vodnih resursa pokazala je, da je hidrološki ciklus u sve većoj neravnoteži uslijed kolebanja klime i klimatskih promjena, društvenih promjena te promjena u okolišu i da će Europa biti sve više suočena s nedostatkom voda.

Prema rezultatima na [slici 1](#) vidi se da su najizraženije suše bile u Francuskoj, Ujedinjenom Kraljevstvu, južnoj Njemačkoj, Švicarskoj, sjevernoj Italiji i Španjolskoj. Indeks malog protoka (IMP) temelji se na dnevnim protocima analiziranih vodotoka simuliranim hidrološkim modelom LISFLOOD. Analizirana malovodna razdoblja ekstremno malih protoka vode



Slika 1: Indeks malog protoka (IMP) na kraju veljače 2023. (Global Drought Observatory (GDO) - 10. 3. 2023) na rijekama u Europi rangiran je: 0 (bijelo) – nema opasnosti od hidrološke suše, 0 - 0,25 (žuto) - niska opasnost, 0,25 - 0,50 (narančasto) - srednja opasnost, 0,50 - 0,75 (crveno) - visoka opasnost, 0,75 - 1 (jako crvena) - vrlo visoka opasnost od hidrološke suše.

uspoređuju se kao posljedični deficit (manjak) voda tih razdoblja s povijesnim klimatološkim, hidrološkim i drugim podacima. LISFLOOD je hidrološki model koji se najčešće koristi za studije o vodama i klimi, u prvom redu za predviđanje velikih i poplavnih voda (EFAS, GloFAS) i suša (EDO) u okviru programa COPERNICUS. U članku se detaljnije opisuju male vode na rijekama: Po, Rajna, Rona, kao i na Dunavu, Savi i Dravi. Posebno su analizirane suše u slivu rijeke Jangce u središnjem dijelu NR Kine, kao i specifične mjere koje su korištene za smanjivanje izravnih i neizravnih šteta od suša koje sve više utječu na ljudske živote i gospodarstvo.

3. SNIJEG KAO JEDAN OD UZROKA MALIH VODA U EUROPI

Pri proučavanju fizičkih osobina snijega moramo poznavati dva pojma: vodeni ekvivalent snijega i toplinski kapacitet. Vodeni ekvivalent snijega odgovara sadržaju vode koji nastaje pri topljenju izvjesne snježne mase. Toplinski kapacitet snijega je odnos potrebne topline za otapanje snijega prema toplini za otapanje iste težine leda. Taj kapacitet izražen je u postocima i uvijek je manji od 100 %, a kreće se od 50 % do 100 %.

Mjerenje karakteristika snijega određuje se kišomjerom i snjegomjernom letvom. Sasvim je razumljivo da je kišomjer opterećen znatnim greškama mjerenja zbog vjetrova, odnosno zračnog strujanja koje smanjuje ulazanje pahuljica u instrument. Mjerenja visine snijega određuju se letvom s podjelom na 1 cm, ali samo mjerenje visine snježnog taloga bez njegove

gustoće ne daje nužne podloge. Stoga je potrebno utvrditi i gustoću snijega, koja je: $\delta = G/V$; gdje je G težina u g , a V volumen u cm^3 . Prema tome, sloj vode h koji odgovara visini snijega s je $h = \delta s$.

Detaljnije proučavanje režima snijega često je usmjereno definiranju zavisnosti brojnih čimbenika koji utječu na količinu vode pri njegovu topljenju. Često nalazimo u literaturi pojednostavljene empirijske obrasce, koji utvrđuju zavisnost veličine rastopljenog snijega, srednje dnevne temperature zraka i brzine vjetra (Srebrenović 1970).

$$S = T_{cw} \quad (1)$$

gdje je

Srastopljeni snijeg u mm
vode na dan

T broj $^{\circ}C$ srednje dnevne
temperature iznad nule

Ckonstanta topljenja snijega
ovisna o klimatskim i geografskim čimbenicima sliva

Wbrzina vjetra u km/sat

Ovakve i slične formule često se koriste za prognoziranje u hidrologiji, agrometeorologiji i drugim djelatnostima.

Detaljan opis mjerenja, obrade i interpretacije podataka o snježnom pokrivaču, visini snijega, gustoći i drugim karakteristikama snijega na glavnoj meteorološkoj postaji prikazan je u Naputku DHMZ-a (2008.).

Snijeg se mjeri stacionarnim, ali i ekspedicijskim metodama. Prilikom ekspedicijskih metoda pažljivo se odredi ruta kojom se ekspedicija kreće po slivu, a potom se duž te rute mjere i uzimaju uzorci visine snježnog pokrivača i sadržaja vode u njemu. Na osnovi tako uzetih uzoraka te hipsometrijske krivulje sliva kao i površine sliva određuju se rezerve vode u snijegu akumuliranom na površini sliva (Bonacci 1994).

3.1. Ledenjaci ili glečeri

Ledenjaci su kao usporene rijeke, koje također pokreće gravitacija – "teku" s visokih na niske nadmorske visine, često noseći materijal pod i sa sobom, pri čemu zaravnavaju tlo i kreiraju različite oblike ledenjačkog reljefa. Može ga se prepoznati po pukotinama koje nastaju zbog njegovog kretanja. Ledenjak se stvara na mjestima gdje je skupljanje snijega veće od njegovog topljenja i nakon desetljeća, stoljeća i tisućljeća, zbijeni snijeg pretvara se u led. Ledenjaci se razlikuju od morskog ili jezerskog leda (tzv. santi leda), koje se stvaraju zaleđivanjem morske ili slatke vode. Drugi naziv za ledenjake su *glečeri* (od lat. *glacies* = led ili mraz), a znanost koja se bavi ledenjacima zove se *glaciologija*.

Ledenjak ili glečer je pokretna ledena masa, koja nastaje od debelih naslaga snijega pod utjecajem tlaka gornjih ledenih slojeva. Najprije se formira fini (zrnati) led, a zatim pravi ledenjački led.

Ledenjaci pokrivaju oko 10 % površine Zemlje i

predstavljaju najveći rezervoar slatke vode na planeti. Procjenjuje se da je u njima uskladišteno čak oko 75 % svjetskih zaliha slatke vode. Najveći ledenjak nalazi se na Antartici, dok je rekorder po brzini zabilježen u Pakistanu. Za sada ih se može pronaći u čak 47 zemalja svijeta. Ima ih i vrlo blizu ekvatora u Meksiku i Ekvadoru.

Aletsch je najveći alpski ledenjak, na južnoj strani Bernskih Alpi u Švicarskoj. Dug je 22,7 km (2007.), obuhvaća 117,6 km² (2007.) i prikazan je na slici 2. Iz Ronskog ledenjaka izvire rijeka Massa, pritoka Rone koja se ulijeva u Sredozemno more. Ledenjak Rone poznat je po tome što je tijekom 120 godina, otkada se provode mjerenja na ledenjaku, izgubio oko 1300 m svoje duljine.

Stručnjaci su upozorili da je otapanje ledenjaka



Slika 2: Ledenjak Aletsch u Bernskim Alpama, u Švicarskoj (foto: Jo Simon-Flicer, snimljeno 29. 3. 2009.)

izravno povezano s kolebanjima klime i klimatskim promjenama jer su oni vrlo osjetljivi na povećanje temperatura zraka, a temperature su pak povezane s povećanom koncentracijom ugljičnog dioksida u atmosferi. Ako se globalno zatopljenje nastavi ovim tempom, brojni manji ledenjaci u potpunosti će nestati, a veći ledenjaci postat će još niži jer će se nastaviti otapati.

Neki ledenjaci su bitni za vodoopskrbu stanovnika vodom. Primjer su ledenjaci u saveznoj američkoj državi Washington, koja ima najveću površinu pod ledenjacima u SAD-u. Njihovo otapanje svakog ljeta osigurava stanovnicima oko 1,8 bilijuna litara vode.

Naprimjer, u Švicarskoj, gdje se nalazi gotovo 1400 ledenjaka, najviše u odnosu na bilo koju drugu državu u Europi, tijekom 2023. godine nestalo je oko 4 % ukupnih volumena ledenjaka.

Neki ledenjaci izgledaju kao da su plavi jer plava je jedina boja koju led ne može apsorbirati, pa je odbija.

4. ANALIZA MALIH VODA U SLIVU RIJEKE PO

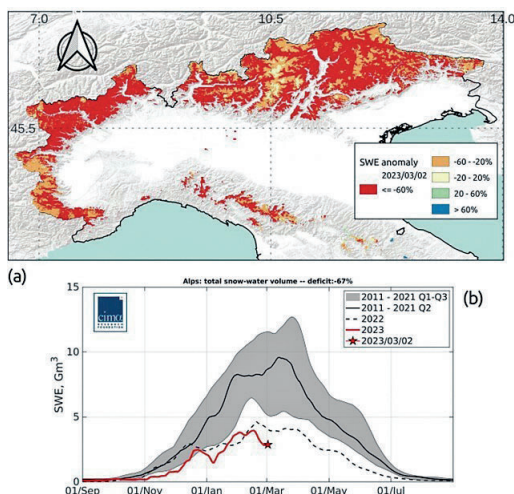
Najduža talijanska rijeka Po (652 km) teče talijanskim Alpama na sjeverozapadu kroz Padinsku nizinu i utječe u Jadransko more u blizini Venecije. Vode rijeke Po koriste se najviše za navodnjavanje poljoprivrednih površina, kao i za proizvodnju električne energije iz HE-a, za plovidbu rijekom za potrebe turizma, kao i za druge



Slika 3: Detalj malih voda rijeke Po u blizini grada Mantove (foto: Manuel Romano/Nurphoto Via Afp, snimljeno 8. 8. 2022.)

potrebe. Dolinu rijeke Po nazivaju još i talijanskom dolinom hrane jer od tamo dolazi 40 % ukupne talijanske proizvodnje sira, mesnih prerađevina, rajčice, grožđa i drugih proizvoda.

Zima 2021./2022. bila je u sjevernoj Italiji suha, pa je u snijegu bilo malo vode, a proljeće i ljeto 2022. također su bili sušni, što je čitavu regiju svrstalo u jedno od najvećih sušnih područja u posljednjih 70-ak godina. Upravo zbog nedostatka snijega, koji je pokrio od 60 do 70 % manje površine u odnosu na dugogodišnji prosjek, manjak oborina u obliku kiše koje nije bilo 120 dana, kao i temperature zraka koje su za 3-4 °C bile više od prosječnih, ova je suša bila izrazito ekstremna. Snježni pokrivač je vrlo važan za rijeku Po, a koji se nije dugo zadržavao na tlu i zbog malog napajanja rijeke, Europski opservatorij za sušu (GDO) u izvješću od 29. 4. 2022. godine upozorio je na mogućnost većih hidroloških suša i malovodnih razdoblja, kao i posljedica koje one izazivaju. Budući da je nivo rijeke Po na ušću u Jadransko more opao za sedam i više metara, sada je nivo mora viši od nivoa rijeke Po, što znači da slana voda značajno i daleko prodire uzvodno i da ulazi i u kanale

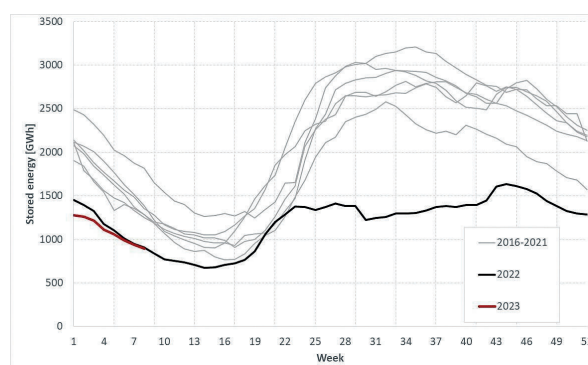


Slika 4: Anomalije ekvivalenta vode u snijegu (EVS) za talijanske Alpe u sezoni snijega 2022. i 2023. (Izvor: CIMA Istraživačka fondacija)

za navodnjavanje. Na slici 3 prikazan je detalj malih voda u rijeci Po u blizini grada Mantove.

Na slici 4a prikazana je prostorna raspodjela (%) anomalija ekvivalenta vode u snijegu (EVS) 2. 3. 2023. na području Alpa. Iz tih podataka vidi se da je najviše površine $\leq -60\%$ ekvivalenta vode u snijegu, a da je ukupan volumen vode u snijegu imao deficit od 67 %. Na slici 4b prikazan je ekvivalent vode u snijegu (EVS) 2. 3. 2023. na području Alpa uspoređen s podacima iz razdoblja od 2011. do 2021. (Q_2 - puna crna linija). Ukupni EVS za snježnu sezonu 2022./2023. (crvena linija) i 2021./2022. (crna isprekidana linija) u usporedbi s vremenskom serijom za razdoblje od 2011. do 2021. za sve talijanske Alpe. Crna linija predstavlja medijanu (Q_2), dok svijetlosivo područje obuhvaća raspon između prvog (Q_1) i trećeg (Q_3) povijesnog kvartila.

Talijanske HE, posebno one u sjevernim županijama, gdje se nalazi većina instaliranih kapaciteta imale su



Slika 5: Pohranjena energija (GWh) za buduću upotrebu u zoni nadmetanja u sjevernoj Italiji na kraju veljače 2023., ispod je 900 (GWh), što odgovara minimalnoj vrijednosti u 2022. kao i za podatke iz razdoblja od 2016. do 2021. (Izvor: ENTSO-E Transparency Platform).

velike štete zbog manjka voda i smanjene proizvodnje električne energije. U proizvodnji i prodaji električne energije bitno je poznavati stanje i procjenu zaliha električne energije. Na slici 5 vidi se pohranjena energija (GWh) za buduću upotrebu u zoni nadmetanja u sjevernoj Italiji na kraju veljače 2023., koja je ispod 900 (GWh), što odgovara minimalnoj vrijednosti u 2022. kao i za podatke iz razdoblja od 2016. do 2021.

Najveće štete od suša i malih voda u slivu rijeke Po bile su u poljoprivredi, proizvodnji električne energije iz HE-a, vodoopskrbi i odvodnji, turizmu i drugim djelatnostima.

5. ANALIZA MALIH VODA U SLIVU RIJEKE RAJNE

Rijeka Rajna izvire u Švicarskim Alpama, teče kroz Njemačku i Nizozemsku i ulijeva se u Sjeverno more, ima površinu sliva od $185.000 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, duga je 1233 km, a od toga je plovna 833 km. Niski vodostaji i mali protoci, koji su bili 2022. i 2023. godine, znače da kontejnerski brod mora smanjiti opterećenje na oko 30 %. Dijelovi riječnog korita izronili su iznad površine vode i brodovi moraju



Slika 6: Detalj hidrološke suše Rajne kod dvorca Pfalzgrafenstein na otoku Fakenau u blizini Kaube (zapadno od Frankfurta), u Njemačkoj (Izvor: JackWittels/Bloomberg, 17. 6. 2023.)

zaobilaziti niz prepreka, čime se cijeli proces usporava i poskupljuje. Zbog hidrološke suše tvrtke plaćaju više takse da bi brodovi prošli, a svi ti čimbenici čine dostavu skupljom, što se obično prenosi na potrošače. Poznato je da riječni i kanalski promet ima prednost u odnosu na druge kopnene načine prijevoza s obzirom na kapacitet i atraktivne cijene. Prosječna godišnja protoka kod Bazela iznosi $1041 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a kod Emmericha $2173 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Rijeka Rajna, sa svojim pritocima i kanalima je najprometniji riječni plovni put na svijetu u okviru komercijalne plovidbe. Rajna i njene pritoke: Mosel, Neckar, Majna, kao i kanal Wesel-Dattein i Rajna-Herne kanali, povezuju industrijska područja u okolici Basela, Alsace i regije u okolici Stuttgart, Karlsruhe, Mannheim, kao i područje regije Ruhr sve do morskih luka u Belgiji i Nizozemskoj. Riječna kriza bila je posebno zabrinjavajuća za zemlje centralne i istočne Europe koje nemaju izlaze na mora, a gorivo i druge robe dobivaju preko Rajne i ostalih plovnih rijeka i kanala, navodi se u izvješćima Međunarodne agencije za energiju (IEA). Kanal Rajna – Majna – Dunav je najkraći put za brodove od Sjevernog mora i Atlantika do Crnog mora. Umjetni kanal u Bavarskoj (Njemačka) spaja rijeke Majnu i Dunav. Ukupno 3505 km duga vodena transverzala povezuje Sjeverno s Crnim morem i prolazi kroz 9 europskih država te je namijenjena za dvosmjernu plovidbu brodova do 1500 DWT.

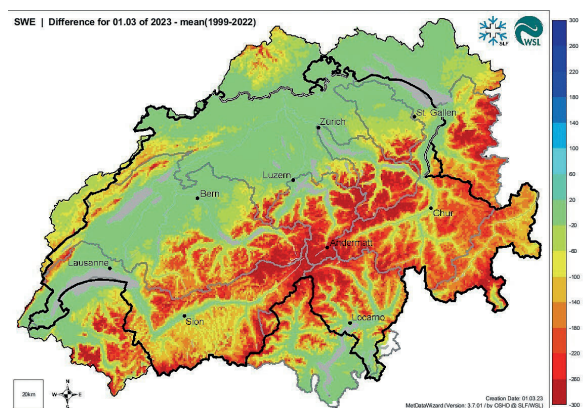
Dolina gornjeg toka Rajne, između Bingena i Koblenza (duljine oko 65 km), uvrštena je 2002. godine na UNESCO-ov popis svjetske kulturne baštine (dvorci, stari gradovi, vinogradi i dr.). Najveće štete od suša i malih voda u slivu rijeke Rajne bile su u riječnoj i kanalskoj plovidbi, poljoprivredi (vinogradi), turizmu, vodoopskrbi i odvodnji, proizvodnji električne energije i dr.

6. ANALIZA MALIH VODA U SLIVU RIJEKE RONE

Rona izvire iz Ronskog ledenjaka u švicarskim Alpama,

duga je 812 km, prvih 290 km teče u Švicarskoj, a ostatak u Francuskoj. Rijeka Rajna također izvire u švicarskim Alpama i teče na sjever, a rijeka Rona teče na jug i ulijeva se u Sredozemno more. Rona ima površinu sliva $97\,800 \text{ km}^2$ i prosječni protok od $1710 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, i uz Nil i Po treća je najveća rijeka sliva Sredozemnog mora. U svom toku uvire u Ženevsko jezero i izvire iz njega. Ženevsko jezero je najveće ledenjačko jezero u Švicarskoj i Francuskoj, i nakon Blatnog jezera, koje se nalazi u Mađarskoj, najveće je jezero u srednjoj Europi. Ima površinu jezera od 582 km^2 . Njegova najveća dubina iznosi 310 m, dok je prosječna dubina 154,4 m, a nalazi se na nadmorskoj visini od 72 mnm.

Mnogo manje otopljene vode iz snijega s planina uz značajan izostanak oborina u obliku kiše, bitno su utjecali na obnavljanje podzemnih voda u Francuskoj u analiziranom razdoblju. Na 422 piježometra nivoi su bili na vrlo niskoj razini, njih 120 bilo je na niskoj, a njih 97 bilo je na umjereno niskoj razini.

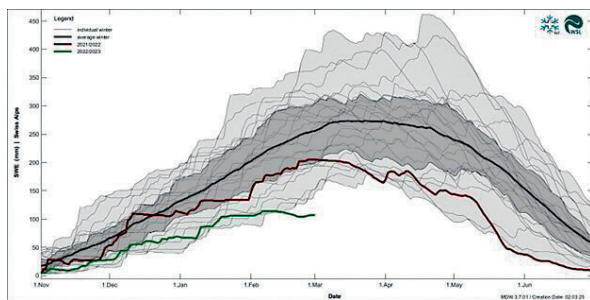


Slika 7: Razlika ekvivalenta vode u snijegu (EVS) u mm na području Švicarske za 1. 3. 2023. u odnosu na prosjek od 1999. do 2022. godine. (Izvor: Institute for Snow and Avalanche Research (SLF) of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape research (WSL))

Na slici 7 prikazana je razlika ekvivalenta vode u snijegu EVS (mm) na području Švicarske za 1. 3. 2023. u odnosu na prosjek od 1999. do 2022. godine.

Na slici 8 prikazan je prosječni ekvivalent vode u snijegu (EVS) za razdoblje od 1. 11. 2022. do 1. 3. 2023. (zelena linija) koji je ispod 100 mm i razdoblja od 2021. do 2022. (crvena linija) u usporedbi s klimatološkim podacima iz razdoblja od 1998. do 2022. za čitavo područje švicarskih Alpi. Crna linija je srednja vrijednost, a srednje sivo područje je od 25 do 75 percentila, a sivo područje je od 0 do 100 percentila. Svjetlosive linije označavaju podatke pojedinih godina.

Udio nuklearne energije u ukupnoj proizvodnji električne energije u Francuskoj je, u normalnim okolnostima oko 71 %, uz veliki izvoz. Trenutno je 58



Slika 8: Prosječni ekvivalent vode u snijegu (EVS) u sezoni snijega za razdoblje od 1. 11. 2022. do 1. 3. 2023. (zeleni liniji) - ispod 100 mm (EVS) i razdoblja od 2021. do 2022. (crveni liniji) u usporedbi s klimatološkim podacima za čitavo područje švicarskih Alpi iz razdoblja od 1998. do 2022. (Izvor: Institute for Snow and Avalanche (SLF) of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape research (WSL)).

nuklearnih reaktora u Francuskoj u normalnom radu, što je svrstava u sam vrh u svijetu po broju nuklearnih reaktora.

Međutim, kvarovi (većina NE-a je prosječno stara 37 godina) i ekstremni vremenski uvjeti u analiziranom razdoblju, učinile su je i povremenom uvoznicom električne energije.

Državna energetska tvrtka (EDF) morala je smanjiti proizvodnju u nekim NE-ima jer su prirodne temperature vode rijeka, prema usvojenim standardima, bile previsoke da bi se osigurala dovoljne količine voda za

reaktore i ostale potrebe za rad nuklearnih elektrana.

Francuska se priprema za donošenje zakona o udjelu svakog izvora energije – posebno NE-a kako bi se smanjila upotreba fosilnih goriva, a emisija ugljika svela na nulu do najkasnije 2050. godine.



Slika 9: Detalj ušća rijeke Arve u rijeku Ronu (Izvor: Narodne novine, BiH, snimljeno 21. 9. 2019.)

Na **slici 9** vidi se kako se rijeka Arva ulijeva u rijeku Ronu nizvodno od Ženevskog ili Lemanskog jezera. Rijeku Ronu karakterizira izrazito tamnoplava boja koju zahvaljuje vodi što izvire u ledenjaku u švicarskim Alpama. S druge strane rijeka Arva sa sobom nosi veliku količinu mulja zbog čega ima blijedo smeđu boju.

Najveće štete od suša i malih voda u slivu rijeke Rone bile su u proizvodnji električne energije (najviše iz NE-a), poljoprivredi, vodoopskrbi i odvodnji i dr.

7. ANALIZA MALIH VODA U SLIVU RIJEKE DUNAV

Dunav je po duljini druga rijeka u Europi (iza Volge); duga je 2857 km (u Hrvatskoj 188 km). Protječe kroz devet europskih država ili je njihova granična rijeka (Njemačka, Austrija, Slovačka, Mađarska, Hrvatska, Srbija, Rumunjska, Bugarska i Ukrajina). Površina sliva Dunava je 817 000 km² (u Hrvatskoj 1872 km²), odnosno 7,8 % europskog prostora. U Dunav utječe oko 300 pritoka,

od kojih je više od 30 plovnih. Dunav je važan plovni put europskog kontinenta. Raspolaže velikim vodenim snagama koje koriste velike hidroelektrane kao što su Gabčikovo (Slovačka), i Đerdap I i II (Srbija-Rumunjska). Planirani zajednički slovačko-mađarski hidroenergetski projekt Gabčikovo-Nagymaros, odmah na početku, 1989. imao je problema kada se Mađarska povukla iz projekta s obrazloženjem da bi se s realizacijom projekta znatno pokvarila ekološka ravnoteža oko HE-a Nagymaros.

Nuklearna elektrana Paks na Dunavu ima 4 reaktora, svaki od 500 MV i nalazi se oko 75 km od sjeverne hrvatske granice. Osigurava oko 43 % potrošnje električne energije u Mađarskoj.

Zbog malih voda i hlađenja reaktora vodom iz Dunava, NE Paks morala je povremeno smanjivati proizvodnju električne energije.

Mnoge države na srednjem i donjem toku Dunava suočile su se s velikim poteškoćama u riječnoj plovidbi. Zbog niskih vodostaja na mnogim dijelovima Dunava bila je otežana riječna plovidba pa je trebalo produbljivati dna korita da bi se održali minimalni plovidbeni nivoi i da bi TE dobivale potrebne količine ugljena.

U Austriji, Slovačkoj, Srbiji, Bugarskoj, Rumunjskoj i drugim državama stanovništvo se pozivalo da se na



Slika 10: Riječni kruzer "Viking" usidren na Dunavu kod Vukovara 4. 4. 2024. (foto: nacional.hr, Miroslav Štafhauser)

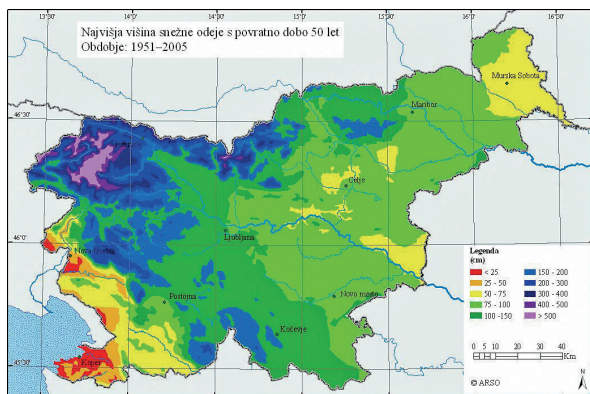
svim razinama maksimalno štedi voda.

Na **slici 10** prikazan je riječni kruzer "Viking" usidren na Dunavu kod Vukovara 4. 4. 2024. Riječki kruzinge jedan je od velikih potencijala vukovarskog turizma koji se svake godine sve više razvija.

Najveće štete od suša i malih voda u slivu rijeke Dunav bile su u proizvodnji električne energije (NE, HE i TE), riječnoj plovidbi, poljoprivredi, vodoopskrbi i odvodnji i dr.

8. ANALIZA MALIH VODA U GORNJEM TOKU SLIVA RIJEKE SAVE

Analiza snijega, kao jedan od uzroka malih voda potrebno je detaljnije analizirati i u gornjem toku sliva rijeke Save. Na **slici 11** prikazane su maksimalne visine



Slika 11: Maksimalne visine snježnog pokrivača u Republici Sloveniji – gornji tok sliva rijeke Save, povratnog perioda PP = 50 godina (1951. - 2005.), Dolinar (2008.).

snježnog pokrivača u Republici Sloveniji – gornji tok sliva rijeke Save, povratnog perioda PP = 50 godina (1951. - 2005.), Dolinar (2008.). Iz tih podataka vidi se da najviše visine snježnog pokrivača treba očekivati u sjeverno-zapadnom dijelu R Slovenije, od 400 do 500 cm i > od 500 cm.

U tablici 1 prikazane su karakteristične klimatološke veličine: t = srednja temperatura zraka [$^{\circ}\text{C}$], R =

količina oborine [mm], S_{max} = maksimalna visina snježnog pokrivača [cm] na klimatološkim postajama: Kredarica, Rateče i Ljubljana-Bežigrad u RS, u razdoblju od 1981. do 2010., homogenizirane vrijednosti, te na Meteorološkom opservatoriju Zagreb-Maksimir u RH u razdoblju od 1971. do 2000.

Pretpostavljeni linearni trend maksimalnih visina snježnog pokrivača na klimatološkoj postaji Kredarica je u porastu, dok je trend na klimatološkim postajama: Rateče i Ljubljana-Bežigrad u opadanju.



Slika 12: Detalj malih voda Save kod Zagreba pri vodostaju $H = -297$ cm, $Q = 56.8$ m³s⁻¹ (foto Marija Milas, snimljeno 17. 8. 2022.)

Tablica 1: Karakteristične klimatološke veličine na klimatološkim postajama : Kredarica, Rateče i Ljubljana-Bežigrad u RS, u razdoblju od 1981. do 2010., homogenizirane vrijednosti, te na Meteorološkom opservatoriju Zagreb-Maksimir u RH u razdoblju od 1971. do 2000.

Klimatološka postaja KREDARICA (2514 m)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
t [$^{\circ}\text{C}$]	-7,1	-8,1	-6,3	-3,8	0,9	4,3	6,9	6,8	3,6	1,0	-3,7	-6,5	-1,0
R [mm]	93	84	125	151	172	204	213	214	225	238	184	137	2038
$S_{\text{max}}(\text{cm})$	415	487	595	700	650	415	150	15	95	100	275	400	700
Klimatološka postaja RATEČE (864 m)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
t [$^{\circ}\text{C}$]	-3,9	-2,2	1,7	5,9	11,5	15,0	17,0	16,1	11,7	7,3	1,5	-2,9	6,6
R [mm]	58	57	85	107	121	141	144	151	160	164	159	111	1459
$S_{\text{max}}(\text{cm})$	124	173	144	93	40	0	0	0	0	30	103	128	173
Klimatološka postaja LJUBLJANA-BEŽIGRAD (299 m)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
t [$^{\circ}\text{C}$]	0,3	1,9	6,5	10,8	15,8	19,1	21,3	20,6	16,0	11,2	5,6	1,2	10,9
R [mm]	69	70	88	99	109	144	115	137	147	147	129	107	1362
$S_{\text{max}}[\text{cm}]$	89	67	41	14	8	0	0	0	0	4	37	40	89
Meteorološki opservatorij Zagreb-Maksimir (123 m)													
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
t [$^{\circ}\text{C}$]	0,3	2,3	6,4	10,7	15,8	18,8	20,6	20,1	15,9	10,5	5,0	1,4	10,7
R [mm]	43	39	53	59	73	95	77	92	86	83	80	60	840
$S_{\text{max}}[\text{cm}]$	36	41	37	16	0	0	0	0	0	0	50	45	50

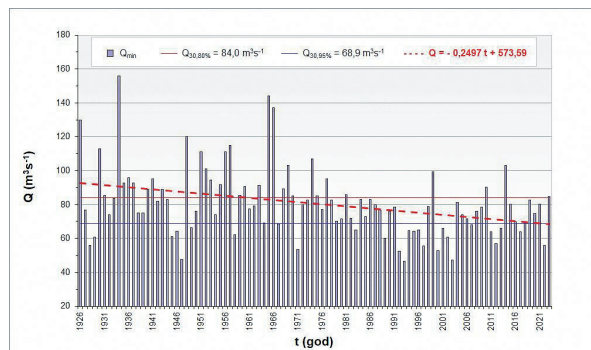
Na **slici 12** prikazan je detalj malih voda na Savi kod Zagreba, kod vodostaja $H = 297$ cm i $Q = 56.8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

8.1. Rad Nuklearne elektrane Krško (NEK) u uvjetima malih voda

Republika Hrvatska i Republika Slovenija suvlasnice su Nuklearne elektrane Krško (NEK), svaka s udjelom od 50 %, te svaka dobiva 50 % proizvedene električne energije. NEK djeluje slično kao i klasična termoelektrana, ali njen izvor topline nisu fosilna goriva, već se toplina oslobađa cijepanjem jezgara uranija u reaktoru. NEK ima snagu od 696 MGW.

Kod različitih vodostaja i protoka vode rijeke Save treba osigurati dovoljnu količinu vode za hlađenje kondenzatora i ostalih sustava elektrane. Brana na HE-u Brežice (jedna je od šest elektrana na Donjoj Savi) ima zadaću osigurati minimalnu potrebnu kotu (visinu) akumulacije od 150 mnv, koja je potrebna za crpljenje $25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ rashladne vode za normalan pogon elektrane.

U slučaju protoka, mjerenog uzvodno od uzimanja vode Save za NEK, koji je manji od $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, moraju se uključiti u rad rashladni tornjevi. Temperatura vode u rijeci Savi, nakon miješanja s rashladnom vodom iz NEK-a, smije se povećati za najviše 3°C , i ne smije prijeći 28°C . Dostupnost dovoljnih količina vode za potrebe proizvodnje električne energije iz NE-a Krško, vjerojatno je najviše uvjetovana kolebanjem klime i klimatskim promjenama.



Slika 13: Trend minimalnih godišnjih protoka Save kod Zagreba u periodu od 1926. do 2023. (N = 98. g.), s ucrtanim linijama $Q_{30,80\%} = 84,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ – minimalni srednji 30-dnevni protok 80 % vjerojatnosti i $Q_{30,95\%} = 68,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ – minimalni srednji 30-dnevni protok 95 % vjerojatnosti. (Izvor: DHMZ 2024. Arhiva i Banka hidroloških podataka)

Na **slici 13** prikazan je trend minimalnih godišnjih protoka Save kod Zagreba u razdoblju od 1926. do 2023. (N = 98. g.), s ucrtanim linijama $Q_{30,80\%} = 84,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ – minimalni srednji 30-dnevni protok 80 % vjerojatnosti i $Q_{30,95\%} = 68,9 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ – minimalni srednji 30-dnevni protok 95 % vjerojatnosti. Iz navedenih podataka vidi se da postoji trend smanjivanja minimalnih godišnjih protoka na rijeci Savi kod Zagreba. Ovi podaci mogu se otprilike primijeniti i za lokaciju NEK-a.

Izvor: DHMZ 2024. Arhiva i Banka hidroloških podataka temperature vode. Također se prate i razine podzemnih voda, kao i biološka i kemijska potrošnja kisika.

9. ANALIZA MALIH VODA U SLIVU RIJEKE DRAVE

Drava izvire u južnom Tirolu kod Dobiaca i teče kroz Italiju, Austriju, Sloveniju, Hrvatsku i Mađarsku. Drava je kišno-ledenjačkog režima s malom vodom količinom zimi i velikom krajem proljeća i početkom ljeta. Drava ima relativno povoljan raspored protoka tijekom godine zahvaljujući velikoj akumulaciji vode u snijegu, a i zbog ledenjaka ima i prilično uravnotežen godišnji protok.

Drava je zbog svojeg vodnog režima izuzetno povoljan obnovljivi izvor za energetske korištenje, pa su na njoj izgrađena ukupno 22 HE-a: 11 u Austriji, 8 u Sloveniji i 3 u Hrvatskoj (HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava).

Hidroelektrane na Dravi, sa svojim sustavima nasipa i brana štiti okolna područja od velikih i poplavnih voda na način da se one kontrolirano provode kroz akumulacijska jezera, te derivacijske kanale i stara korita. One pokazuju da energetika može uskladiti svoju proizvodnju s ekologijom, vodeći pri tom računa o zaštićenim i ugroženim vrstama i staništima na svom području. Ova staništa zaštićena su na nacionalnoj i europskoj razini, tako da je područje uz rijeke Muru i Dravu prepoznato kao ekološko vrijedno stanište, te je postalo sastavnim dijelom Regionalnog parka prirode Mura-Drava, ali i NATURA 2000 područja.

U slivu Drave studije su predviđale izgradnju još četiri hidroelektrane na Muri: Mursko Središće i Podturen u području sa Slovenijom te Goričan i Kotoriba na području sa Mađarskom. Na Dravi, nizvodno od ušća Mure, bilo je predviđeno još pet hidroelektrana: Botovo, Novo Virje, Barcs, Donji Miholjac i Osijek. One nažalost nisu izgrađene, iako je utjecaj višenamjenskih hidroelektrana relativno mali i nepovoljni utjecaji svedeni su tehničkim mjerama na najmanju moguću mjeru.

Na **slici 14** prikazan je detalj hidrološke suše na Dravi kod Osijeka, kod apsolutno najnižeg vodostaja, $H = -171$ cm).

Najveće štete od suša i malih voda u slivu rijeke Drave bile su u proizvodnji električne energije iz HE-a (male vode), poljoprivredi, vodoopskrbi i odvodnji, riječnoj i kanalskoj plovidbi i sl.

10. NEKE OD MJERA ZA SMANJIVANJE ŠTETA OD MALIH VODA

10.1. Strateški planovi o režimu voda u čitavom slivu rijeke Save

U članku Srebrenović, D.; Pilar, M. (2000., reprint iz 1987.) autori su prezentirali informaciju o režimu voda u čitavom slivu rijeke Save, koja se odlikuje relativno velikom vodošću, ali s ogromnom fluktuacijom protoka u vremenu (tijekom godine) i u prostoru. Ta neujednačenost vodnog režima ima utjecaja na sve vodoprivredno-ekološke probleme. Praktično jedini način za izjednačenje vodnog režima predstavljaju akumulacije. U studiji iz 1972.: "Studija za regulaciju i



Slika 14: Detalj hidrološke suše na Dravi kod Osijeka (foto: Davor Javorović/PIXEL, 18. 8. 2022.)

uređenje rijeke Save u Jugoslaviji", koju je pripremio Consulting Engineers Consortium Polytechna-Hydroprojekt & Carlo Lotti (Prag-Rim) kao prvim elaboratom koji je pokušao donijeti strateški plan vodoprivrednog upravljanja na cijelom slivu rijeke Save. Također je potvrđen zaključak da su akumulacije ključni objekti za rješavanje vodoprivredno-ekoloških problema.

Jedna od mogućih mjera za smanjivanje šteta od hidroloških suša je i oplemenjivanje ili povećavanje malih voda. U studiji UN-a (1972.) predlagalo se za hidrološki profil Save kod Zagreba povećavanje protoka iz višenamjenskih akumulacija koje bi se trebale izgraditi na sljedećim lokacijama i sa sljedećim zapreminama: (1) Planica – $V = 270 \times 106 \text{ m}^3$, (2) Radovljica – $V = 77 \times 106 \text{ m}^3$, (3) Soteska – $V = 70 \times 106 \text{ m}^3$, (4) Igla – Lučica – $V = 35 \times 106 \text{ m}^3$, (5) Lučica – $V = 233 \times 106 \text{ m}^3$, (6) Damalj – $V = 145 \times 106 \text{ m}^3$.

10.2. Prebacivanje voda iz sliva u sliv

Rješenje za smanjivanjem šteta od hidroloških suša je i oplemenjivanje ili povećavanje malih voda, kako površinskih tako i podzemnih voda, te ideja o prebacivanju voda iz sliva u sliv. Prema rezultatima analize (Trninić 1992) vidljivo je da bi najpovoljnije prebacivanje bilo iz Drave u Savu i obrnuto. Drava ima kišno-ledenjački režim i njena je vodnost najveća u kasno proljeće i ljeto, kada ostali, analizirani vodotoci, imaju najmanju vodnost. Pored futurističke ideje, kakva je i ova ideja o prebacivanju voda iz sliva u sliv, uvijek se postavljaju mnogobrojna pitanja, ali ipak ovu ideju ne treba sasvim eliminirati. Također treba analizirati potrebe mnogobrojnih korisnika voda u širem području grada Zagreba, naročito za vrijeme razdoblja hidroloških suša, kao i ogromnu cijenu realizacije ove ideje.

10.3. Akumulacija Butoniga – zadržavanje vode u vremenu i prostoru

Potreba za izgradnjom akumulacije Butoniga prvi

put je obrađena u studiji "Vodoprivredna osnova šireg sliva Mirne" 1965. godine. Jezero Butoniga je najveće umjetno-akumulacijsko jezero u Istri sagrađeno 1988. godine, kao višenamjenski objekt za dvije osnovne namjene: vodoopskrba i za zadržavanje dijela voda velikih vodnih valova. Akumulacija Butoniga nalazi se na istoimenoj pritoci rijeke Mirne, nizvodno od mjesta gdje se sastaju njezina tri glavna bujična ogranka: Butoniga, Dragački i Rački potok. Na slici 16 prikazan je detalj ekstremno niskog vodostaja u akumulaciji Butoniga snimljenog 18. 7. 2022. Toga dana u ponoć uvedena je restrikcija vode u Istri.

Kapacitet uređaja za kondicioniranje vode akumulacije Butoniga je 1000 l/s, u pogonu je od 25. 6. 2002. Proces kondicioniranja vode projektiran je sa svim potrebnim procesnim stupnjevima za optimalno pročišćavanja vode iz površinskog izvorišta. Proces kondicioniranja sastoji se od sljedećih faza: predtretman koji obuhvaća predoziranje, koagulaciju, flokulaciju i flotaciju, brzu filtraciju, glavno ozoniranje, sporu filtraciju, dezinfekciju i korekciju pH-vrijednosti.

Proces kondicioniranja je stabilan i efikasan u pročišćavanju, što osigurava da je voda na izlazu iz procesa, namijenjena ljudskoj potrošnji, uvijek ujednačene kvalitete neovisno o sezonskim promjenama sirove vode akumulacije Butoniga.

Na postrojenju se osim vode iz akumulacionog jezera Butoniga od 2012. godine može koristiti i voda iz izvora Bulaž. Povezivanju tog izvora s postrojenjem Butoniga, prethodila je izgradnja cjevovoda do postrojenja, 2012. godine i rekonstrukcija crpne stanice Bulaž 2013. godine. Povezivanjem se omogućilo da se eventualni nedostatak vode u akumulaciji uslijed ekstremne suše nadoknadi vodom iz izvora Bulaž.

Nakon procesa kondicioniranja, zdravstveno ispravna voda za ljudsku potrošnju ulazi u distribucijski sustav putem kojeg se voda iz sustava Butoniga, distribuira prema potrošačima na područje PJ Pazin, PJ Poreč, PJ Rovinj te prema potrošačima na distribucijskom



Slika 15: Detalj ekstremno niskog vodostaja u akumulaciji Butoniga (foto: Srećko Niketić /PIXELL, snimljeno 18. 7. 2022.)

području Vodovoda Pula.

11. PORUKE IZ PROŠLOSTI - KAMENJE GLADI

Uklesane poruke u kamenu koje su ostavili ljudi iz prethodnih epoha o katastrofama izazvanim nedostatkom voda, pružaju jedinstveni podsjetnik na teškoće s kojima su se suočavali tijekom prethodnih suša. Takozvano kamenje gladi su stijene riječnog korita, koje su vidljive samo kada je vodostaj izuzetno nizak.

U starim nizozemskim, kao i u mnogim gradovima u Europi, vrlo često se može naići na visoko kamenje ili na zgradama ili crkvama na kojima su uklesane ili ucrtane linije i datumi, koji služe kao podsjetnik na visoke vodostaje i katastrofalne poplave.

12. ANALIZA MALIH VODA U SLIVU RIJEKE JANGCE U KINI

Rijeka Jangce izvire u sjeveroistočnom Tibetu na nadmorskoj visini od 5042 m, a kod Shanghaija se s prosječnom godišnjom količinom od oko 994. 10 9 m³ vode ulijeva u Istočno kinesko more. Tradicionalno predstavlja granicu između sjeverne i južne Kine.

Toplinski val u Kini trajao je više od 65 dana, što ga čini najdužim u više od šest desetljeća, priopćio je Nacionalnog klimatski centar. Dodaje se da je u ovom analiziranom razdoblju bio posebno dugotrajan, širokog opsega i jakog intenziteta.

Jedna od najizraženijih suša, bila je karakteristična

po značajno smanjenim vodostajima i protocima u rijekama i kanalima, uz smanjene dotoke u akumulacijama, značajno smanjenu vlažnost u tlu u 2022. i 2023. godini bila je u slivu rijeke Jangce, najnaseljenijeg područja Kine u kojem živi oko 1/3 ukupnog stanovništva. Središnji dio toka rijeke Jangce jedan je od kolijevki kineske civilizacije.

Za rijeku Jangce vezana su i dva najveća hidrotehnička megaprojekta u Kini: HE Tri klanca i Veliki (carski) kanal.

Na slici 17 prikazan je položaj HE-a Tri klanca (kin. Sanxia, engl. Three Gorges Dam) i najvećih gradova na rijeci Jangce (Vazzoli 2014).

12.1. Neke od mjera za smanjivanje šteta od malih voda

Hidrelektrana Tri klanca (kin. Sanxia, engl. Three Gorges Dam) najveća je hidroelektrana na svijetu s instaliranom snagom od 22500 MW. Brana je duga u osi 2310 m, visoka je 185 m, s najvećom širinom od 181 m. Brana je stvorila umjetno jezero zapremine od gotovo 40 x 106 m³, površine od oko 1045 km², kojemu je dužina približno 600 km, a prosječna širina 1.1 km.

Da bi se nizvodno povećala količina vode i smanjile štete od suše, HE Tri klanca je desetak dana ispuštala 500 x 106 m³ vode iz akumulacije u rijeku Jangce i na taj način značajno oplemenila male vode koje su potrebne za razne korisnike, u sušom zahvaćenim područjima.

Dio stoke iz područja pogođenim sušom privremeno je preseljeno u druge regije koje nisu tako ugrožene od suše.

Poseban problem je kako osigurati potrebne količine vode za stanovništvo, stoku i usjeve koji su ugroženi nedostatkom vode. U tu svrhu stvarali su se novi izvori vode, održavale zalihe voda, osigurao privremeni prijenos voda, istraživanja novih izvora i proširenje mreže cjevovoda.

U pokrajini Hubei u središnjoj Kini, zrakoplovima su se ispaljivale šipke srebrnog jodida u oblake, kako bi se umjetnim djelovanjem na vrijeme, stimulirane oborine i na taj način ublažile suše.

Stručnjaci upozoravaju da je umjetno djelovanje na vrijeme, prvenstveno stimuliranje oborina: težak i neizvjestan zadatak, koji je još uvijek u fazi istraživanja. Oni se pribojavaju da bi umjetno djelovanje na vrijeme moglo pomaknuti fokus s tradicionalnih mjera namijenjenih smanjivanju kolebanja klime i klimatskih promjena.

U posljednjih četrdesetak godina učinjeni su ogromni naponi i sredstva u pokušaju da se postignu praktični rezultati u stimuliranju oborina (rainmaking) i ublažavanju suša.

Slika 16: Najstariji natpis pronađen u slivu rijeke Elbe, a datira iz 1616. godine., isписan je na njemačkom jeziku i na njemu piše: "Ako me vidiš, plaći."





Slika 17: Prikaz položaja HE-a Tri klanca (kin. Sanxia, eng. Three Gorges Dam) i najvećih gradova na rijeci Jangce (Izvor: Vazzoli, R. et. al., snimljeno 2014.)

Vrlo je važan projekt koji se planira na čitavom teritoriju Kine. Riječ je o akciji na kineskom selu s nultom stopom ispuštanja ugljičnog dioksida, u koje se obnovljivi izvori energije poput energije vjetrova, geotermalne energije, sunca i biomase međusobno nadopunjuju radi postizanja ugljične neutralnosti. Tehnološkom integracijom i inovacijama, osim što je pronađeno rješenje za nultu stopu ispuštanja ugljičnog dioksida, istražene su i druge mogućnosti budućeg ruralnog razvoja u Kini.

12.2. Umjetno djelovanje na vrijeme – stimuliranje oborina

U posljednjih četrdesetak godina učinjeni su ogromni naponi i sredstva u pokušaju da se postignu praktični rezultati u stimuliranju oborina (rainmaking) i ublažavanju suša.

U pokrajini Hubei u središnjoj Kini, zrakoplovima su se ispaljivale šipke srebrnog jodida u oblake, kako bi se umjetnim djelovanjem na vrijeme, stimulirale oborine i na taj način ublažile suše.

Stručnjaci upozoravaju da je umjetno djelovanje na vrijeme, prvenstveno stimuliranje oborina: težak i neizvestan zadatak, koji je još uvijek u fazi istraživanja. Oni se pribojavaju da bi umjetno djelovanje na vrijeme, moglo pomaknuti fokus s tradicionalnih mjera namijenjenih smanjivanju kolebanja klime i klimatskih promjena.

Međutim, ako u borbi protiv suše na jednom području izazovemo kišu, onda će se ta mogućnost smanjiti na drugom području. To samo po sebi stvara pobjednike i gubitnike.

12.3. Poruke iz prošlosti – kamenje gladi

Uklesane poruke u kamenu koje su ostavili ljudi iz prethodnih epoha o katastrofama izazvanim nedostatkom voda, pružaju jedinstveni podsjetnik na teškoće s kojima su se suočavali tijekom prethodnih suša. Vrlo niski vodostaji rijeke Jangce otkrili su potopljeni otok pokraj grada Wuhana, u pokrajini Hubei, te veliki kamen u kojem su tri budistička kipa, za koji se vjeruje da je star oko 600 godina i da potječe iz vremena vladavine dinastija Ming i Qing, prikazan je na slici 18.

13. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Prvo i najvažnije, vodu treba, na svim razinama, maksimalno štedjeti.

Kod poduzimanja aktivnosti u smanjivanju šteta

(posrednih i neposrednih) od štednog djelovanja voda (velike i poplavne vode, male vode i malovodna razdoblja, smanjivanje onečišćenja voda i dr.) kao i ublažavanje i prilagodba na kolebanje klime i klimatske promjene, treba imati na umu da je trošak nedjelovanja, uvijek veći od troška djelovanja.

Prema najnovijim podacima i brojkama Svjetske meteorološke organizacije (WMO) u razdoblju od 1970. do 2021. ekstremne vremenske, klimatske i hidrološke prilike uzrokovale su 11 778 prijavljenih nepogoda, u kojima je živote izgubilo nešto više od dva milijuna ljudi, a gospodarske štete iznosile su 4,3 bilijuna američkih dolara. Sve više se razmišlja i o inicijativi: *Rana upozorenje za sve*. U nekim zemljama, vrlo učinkovito djeluju pravovremene prognoze i upozorenja: meteoalarm, hidroalarm, upozorenja na suše i dr.

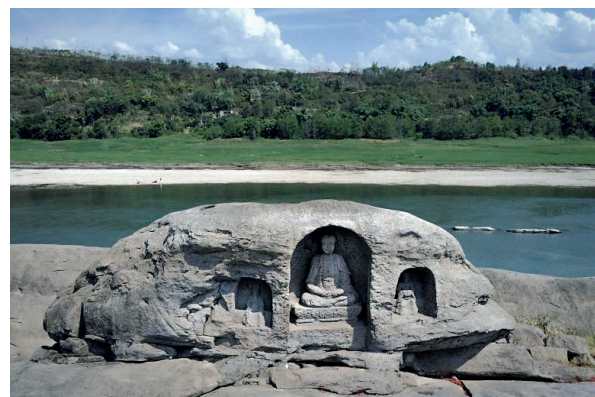
Suše, koje su bile u razdoblju od 2021. do 2023. godine uzrokovale su manje ili veće probleme u proizvodnji električne energije u hidro, termo i nuklearnim elektranama.

Očekuje se i povećanje broja dana rada rashladnih tornjeva NEK-a u godinama malih voda rijeke Save, što će negativno utjecati na proizvodnju električne energije u reaktoru i zbog vlastite potrošnje energije radom rashladnih tornjeva.

Nakon vrlo uspješnog i sigurnog rada NEK-a u proizvodnji električne energije u proteklih 40 godina (1. 1. 1983. - 13. 1. 2023.), bez emisije ugljičnog dioksida, produžen je rad NEK-a za razdoblje od 2023. do 2043. Počeli su i razgovori o mogućnosti izgradnje NEK 2 i modalitetima sufinanciranja tog projekta. U budućnosti treba posebnu pozornost usmjeriti prema nevidljivom, ali vrlo važnom resursu, podzemnim vodama.

Mnoge države u svoje strateške planove o vodi uključuju ključni pojam "grad spužva". Cilj je da gradovi u budućnosti imaju dovoljno zelenih površina, koji mogu apsorbirati vodu, koja će potom otjecati u podzemne vode. Ideja je da se jake oborine preko rijeka ne slijevaju nekontrolirano u more. Betoniranje unutar jezgre gradova mora se smanjiti, a preostali izvori pitke vode zaštititi od onečišćenja.

Treba razmišljati o izgradnji novih reverzibilnih



Slika 18: Vrlo niski vodostaji Jangcea otkrili su potopljeni otok u gradu Chongqing te veliki kamen u kojem su tri budistička kipa, za koje se vjeruje da su stari oko 600 godina i da su izgrađeni tijekom vladavine dinastija Ming i Qing (snimio: REUTERS/ Thomas Peter TFX, snimljeno 20. 8. 2022.)

hidroelektrana (RHE) - višestruka upotreba voda. Realizacija ovakvog sustava je studiozan, tehnički i naročito financijski vrlo zahtjevan projekt. Sve je značajnija sinergija klimatske i energetske politike u poticanju obnovljivih izvora energije. Upravljanje vodnim resursima: velikim i poplavnim vodama, hidrološkim sušama, malim vodama i malovodnim razdobljima, te stupnja onečišćena voda i dr. zahtjevan je i kontinuiran posao.

Iako svi mislimo da se kolebanje klime i klimatske promjene tiču nekoga drugoga, znanstvenici upozoravaju da nitko neće biti pošteđen globalnog zatopljenja i klimatskih promjena.

Postupci stimuliranja oborina moraju biti prihvaćeni kao nesiguran, ali potencijalno mogući način povećavanja vodenog taloga iz atmosfere i kao napor usmjeren k

poboljšanju, s dužnim poštovanjem ove metode.

Međutim, ako u borbi protiv suše na jednom području izazovemo kišu, onda će se ta mogućnost smanjiti na drugom području. To samo po sebi stvara pobjednike i gubitnike.

Stručnjaci upozoravaju da je umjetno djelovanje na vrijeme, prvenstveno stimuliranje oborina: težak i neizvjestan zadatak. Oni se pribojavaju da bi to moglo pomaknuti fokus s tradicionalnih mjera namijenjenih smanjivanju kolebanja klime i klimatskih promjena.

Poznati grčki filozof Heraklit (535. pr. Kr. - 475. pr. Kr.), koji je imao nadimak Mračni, svojevremeno je rekao: "Priroda se voli okružiti svojim tajnama." Možda je umjetno djelovanje na vrijeme jedna od tih tajni. ■

LITERATURA

Pandžić, K. 2023. *Odgovornost čovjeka na klimatske promjene i njihovo ublažavanje*.

Zbornika radova *Religija i ekologija: kako sačuvati zajednički dom* (ur. M. Nikić) Zagreb. 3. 6. 2023. 62-64.

Trninić, D. 1984. Prilog hidrološkoj analizi malih voda. *Građevinar*. XXXVI: 10. 397-404.

Trninić, D. 1998. Regionalna analiza malih voda u otvorenim vodotocima Hrvatske. *Hrvatske vode*. 6: 24. 233-245.

Trninić, D. 2023. Analiza malih voda na slivu Save do Zagreba u periodu: 1926.-2020. *Vodoprivreda*. 54. 315-316, 31-42.

Trninić, D.; Bošnjak, T. 2023. Ekstremna hidrološka suša godine 2003. na slivu rijeke Save. *Hrvatske vode*. 11: 45, 417-425.

Global Drought Observatory (GDO) – 29. 4. 2022.: *Analytical Report Drought in Europe April 2022* - <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo>.

Global Drought Observatory (GDO) – 10. 3. 2023. *Analytical Report Drought in Europe March 2023* - <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo>.

Srebrenović, D. *Problemi velikih voda*. Zagreb. Tehnička knjiga. 1970.

DHMZ 2008. *Naputak za opažanja i mjerenja na glavnoj meteorološkoj postaji*.

Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske (DHMZ RH). Zagreb.

Bonacci, O. *Oborine: glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*. GEING. Split. 1994.

Dolinar, M. 2006. *Srednje godišnje količine oborina u Republici Sloveniji (1951.-2005.)*. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Ljubljana.

ARSO 2020. *Klimatološko povprečje 1981-2010 (homogenizirane vrijednosti)*. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Ljubljana.

DHMZ 2022. *Arhiva i banka meteoroloških i hidroloških podataka*, Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske (DHMZ RH). Zagreb.

Srebrenović, D.; Pilar, M. 2000. Hidrološki aspekt rijeke Save u razvojnim vodoprivrednim planovima. *Zbornik radova okruglog stola: "Hidrologija i vodni resursi Save u novim uvjetima"** (ur. D. Trninić). Slavonski Brod. 13-38.

*Pretisak rada koji je objavljen u Zborniku radova sa savjetovanja: Rijeka Sava-zaštita i korištenje voda. Zagreb. 10-12. studenog 1987.)

UNDP 1972. *Studija regulacije i uređenja Save u Jugoslaviji* – Konačni izvještaj – Konzultantske firme: Polytechna – Hydroprojekt – Carlo Lotti & C. Praha – Roma.

Trninić, D. 1992. Prilog hidrometeorološkoj analizi u noveliranju prijedloga strategije razvoja vodoopskrbnog sustava grada Zagreba. *Zagrebačka vodoprivreda*. X: 42. 29-34.

Vazzoli, R. et. al. 2014. *Climate and Hydrological Data Available for Climate Change Studies in China, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici*.

ANALYSES OF LOW WATER LEVELS AND THEIR CONSEQUENCES IN THE 2021-2023 PERIOD

Abstract: The extreme droughts that occurred in the 2021-2023 period caused extremely low water levels in some parts of Europe and the world. The snow cover in the Alps, which is of key importance for water levels in large rivers, such as the Po, Rhine, Danube or Rhone, was significantly below the average. In addition, the glacier mass was reduced to alarming levels. According to detailed analyses of climate fluctuations and climate change, Alpine glaciers have lost about 60% of their mass since 1850. Driven by climate fluctuations and climate change, unusually dry winters and springs accompanied by record high air temperatures (series of sequential heat waves), lack of precipitation in the form of snow and rain and low groundwater levels led to a situation where some rivers and reservoirs in Western, Central and Southern Europe had low or extremely low water levels and were overheated above average, with consequential meteorological, hydrological, agrometeorological, geological, financial and other "droughts". These causes of droughts and low water levels resulted in a more or less direct and indirect damages in agriculture, energy (H, T and N power plants), river and canal transport, water and wastewater, tourism and many other activities. It is interesting to mention that the Po River flows into the Adriatic Sea, the Rhine into the North Sea, the Danube into the Black Sea and the Rhone into the Mediterranean Sea. Hydrological droughts in the Yangtze river basin in the Central part of the People's Republic of China are described in detail, since they are particularly interesting due to specific measures for reducing direct and indirect damages caused by droughts that are increasingly affecting human lives and economies. Some measures for reducing damages from low water levels are individually mentioned (reservoirs as key facilities for solving water management and environmental problems, possibilities and needs for transferring water from basin to basin and retaining water both temporally and spatially). The messages about catastrophic droughts and floods carved in stone and different artefacts by people from previous eras provide a unique reminder of the difficulties they faced during droughts and floods. In conclusion, water must be conserved to the maximum possible extent and at all levels.

Keywords: draughts, low water levels, periods of low water levels, snow, reservoirs, damages, conserving water

ANALYSEN DER NIEDRIGWASSERSTÄNDE UND IHRE FOLGEN IM ZEITRAUM 2021-2023

Zusammenfassung: Extreme Dürren im Zeitraum 2021-2023 verursachten auch extremes Niedrigwasser in einigen Teilen Europas und der Welt. Die Schneedecke in den Alpen, die im untersuchten Zeitraum für die Strömung großer Flüsse wie Po, Rhein, Donau und Rhone von zentraler Bedeutung war, lag deutlich unter dem Durchschnitt. Darüber hinaus kam es zu alarmierend hohem Massenverlust der Gletscher. Laut detaillierten Analysen der Klimaschwankungen und Klimaveränderungen haben Alpenglotscher seit 1850 rund 60 % ihres Volumens verloren. Die Klimaschwankungen und -veränderungen, ungewöhnlich trockener Winter und Frühling mit Rekordlufttemperaturen und mehreren Hitzewellen hintereinander, fehlende Niederschläge in Form von Schnee und Regen und niedrige Grundwasserstände führen dazu, dass einige Flüsse und Stauseen in West-, Mittel- und Südeuropa niedrige Wasserstände aufwiesen und überdurchschnittlich überhitzt waren, was wiederum zu meteorologischen, hydrologischen, agrarmeteorologischen, geologischen, finanziellen und anderen Dürren führt. Diese Ursachen von Dürren und Niedrigwasser führten zu mehr oder weniger großen direkten und indirekten Schäden in der Landwirtschaft, Energiewirtschaft (Wasserkraftwerke, Wärmekraftwerke und Kernkraftwerke), Fluss- und Kanaltransport, Wasserversorgung und -entsorgung, Tourismus und vielen anderen Tätigkeiten. Insbesondere werden die hydrologischen Dürren im Einzugsgebiet des Jangtsekiang im zentralen Teil der Volksrepublik China beschrieben, die wegen spezifischer Maßnahmen zur Reduzierung direkter und indirekter, sich zunehmend auf Menschenleben und Wirtschaft auswirkender Schäden durch Dürren besonders interessant sind. Einige der Maßnahmen zur Reduzierung von Schäden durch Niedrigwasser werden ausdrücklich erwähnt, wie zum Beispiel Stauseen, die die Schlüsseleinrichtungen zur Lösung wasserwirtschaftlich-ökologischer Probleme sind, sowie die Notwendigkeit und Möglichkeiten der Wasserüberleitung von Einzugsgebiet zu Einzugsgebiet und die zeitliche und räumliche Wassererhaltung. In Steinen und Gegenständen eingravierte Botschaften von Menschen aus früheren Epochen über katastrophale Dürren und Überschwemmungen sind eine einzigartige Erinnerung an die Nöte, denen die Leute während früherer Dürren und Überschwemmungen ausgesetzt waren. Abschließend wird festgehalten, dass Wasser auf allen Ebenen eingespart werden soll.

Schlüsselwörter: Dürren, Niedrigwasser, Niedrigwasserzeiten, Schnee, Stauseen, Schaden, Einsparung

