

ZAŠTITA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

mr. sc. Daria Čupić, dipl. ing. geol., mag. ing. geol. Hrvoje Herceg

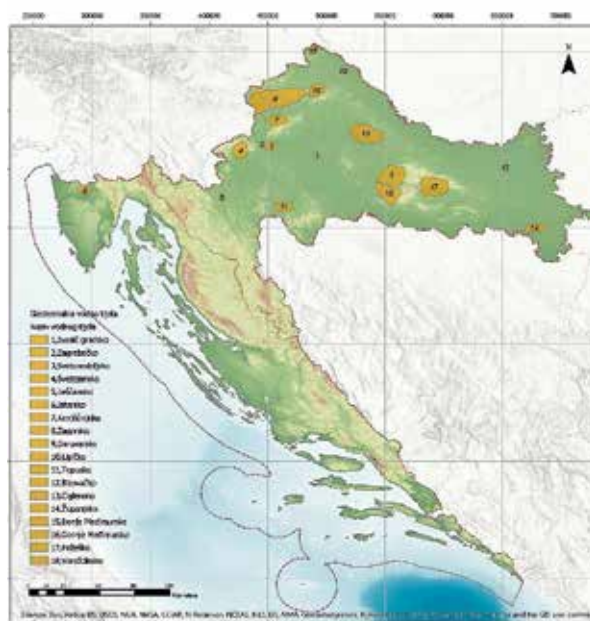
UVOD

Geotermalne i mineralne vode se razlikuju od ostalih podzemnih voda prema količini otopljenih minerala i temperaturi. Prema Okvirnoj direktivi o vodama, geotermalne vode se definiraju kao sve podzemne vode čija je temperatura veća od 20°C, dok su mineralne vode podzemne vode čija je mineralizacija veća od 1g/L. Upravljanje i gospodarenje geotermalnim i mineralnim vodama od tada se provodi prema Zakonu o vodama (NN, br. 66/19, 84/21 i 47/23), te Zakonu o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN, br. 52/18, 52/19 i 30/21). Zakon o vodama primjenjuje se za zaštitu geotermalnih i mineralnih voda u cilju očuvanja dobrog kemijskog i količinskog stanja, te se odnosi na geotermalne i mineralne vode, osim kad je Zakonom ili posebnim zakonom iz upravnog područja rudarstva drugačije uređeno. Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika uređuje istraživanje i eksploataciju geotermalnih voda iz kojih se može koristiti akumulirana toplina u energetske svrhe, kao i zaštitu geotermalnih voda kada se one koriste u energetske svrhe. Uprava za energetiku/Agencija za ugljikovodike prati podatke o pridobivenim količinama i kvaliteti geotermalnih voda sukladno rješenju o odobrenju probne eksploatacije ili eksploatacije geotermalne vode te dostavlja Hrvatskim vodama radi praćenja stanja kemijskog i količinskog voda u RH (za potrebe planova upravljanja vodnim područjima).

Teritorij RH je u geološkom smislu podijeljen na dva dijela: na sjeveru se nalazi Panonski bazen, a na jugu Dinaridi. Sjeverni dio teritorija RH predstavlja jugozapadnu granicu Panonskog bazena i ima visoki geotermalni gradijent - prosječno 0,049°C/m i visoki površinski toplinski tok 76 mW/m² (EIHP, 2018.), a područje Dinarida nizak geotermalni gradijent koji u prosjeku iznosi 0,025°C/m i prosječni površinski toplinski tok 29 mW/m² (EIHP, 2018.). Razlika je posljedica dubine do Mohorovičićevog diskontinuitet (Moho), granice između Zemljine kore i plašta. Obzirom na to da se konvekcijom iz plašta toplina transportira učinkovitije nego u kori, područja gdje je plašt bliže površini imat će

veći toplinski tok, što je glavni razlog da je u panonskom dijelu RH najveći geotermalni potencijal. Zbog povoljnih geoloških uvjeta na području panonskog dijela Hrvatske najveći je geotermalni potencijal te geotermalne pojave. Geotermalne pojave postoje i na dinarskom području, a jedno od najznačajnijih mjesta je na području Istre.

U Planu upravljanja vodnim područjima do 2027. godine izdvojeno je 18 tijela geotermalnih i mineralnih voda u jednom nivou kao prvi korak uključivanja geotermalnih i mineralnih podzemnih voda u planove. Zbog postojanosti kakvoće ovih voda uzrokovane niskom prirodnim ranjivošću, kako su promjene znatno sporije u odnosu na "hladne" podzemne vode, potrebno je pratiti kemijsko i količinsko stanje vode kroz dulja razdoblja. Karakterizacija geotermalnih i mineralnih voda u Republici Hrvatskoj je prvi put napravljena za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima do 2027. godine prema Studiji "Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj" (Hrvatski geološki Institut, 2020). Određeno je njihovo kemijsko i količinsko stanje. Pri izradi metodologije za izdvajanje vodnih tijela korištene su preporuke Okvirne direktive o vodama 2000/60/EC i CIS vodiča br. 2 iz 2004. godine. Metodologija se sastojala od dva koraka: (1) identifikacije potencijalnih područja na temelju litostratigrafskih jedinica, strukturno-geoloških elemenata i raspucanosti stijena te spoznajama o pojavama termalne vode na području, (2) unutar potencijalnih područja izdvajaju se tijela na temelju strukturno - tektonskog sklopa (s naglaskom na rasjede s obzirom na to da oni mogu predstavljati propusne zone i s tim u vezi područja prihranjivanja geotermalnih vodonosnika ili, u slučaju da se radi o nepropusnim rasjednim zonama, mjesta netečenja, odnosno barijere), raspucanosti, poroznosti, propusnosti stijenske mase, smjer tečenja geotermalne vode, izdašnosti izvora i/ili bušotina i kemijskog sastava geotermalnih voda. Korišteni su podaci o poroznosti i litologije stijenske mase za odvajanje vodonosnika u sedimentnim bazenima (pijesci i pješčenjaci) od vodonosnika u



Slika 1: Tijela geotermalne i mineralne vode na prostoru Republike Hrvatske

predkenozoiskim stijenama (karbonati, magmati, metamorfiti). U obzir su uzete izmjerene vrijednosti toplinske vodljivosti u stijenama koje predstavljaju vodonosnik, ali i u stijenama koje predstavljaju toplinski izolator. Podaci su temeljeni na interpretaciji 2D ili 3D seizmičkih mjerenja, podacima bušenja, regionalnih geoloških kartiranja. Korišteni su i rezultati hidrauličkih testiranja u bušotinama (primjerice DST testovi), mjerenja poroznosti i drugo.

Na temelju navedene metodologije izdvojeno je 18 tijela geotermalnih i mineralnih voda i to tri tijela u panonskim naslagama (pijesci, pješčenjaci srednjeg i gornjeg Panona), te 15 tijela u predkenozoiskim naslagama (raspucanim karbonatima ili/i magmatskim/metamorfim stijenama (slika 1). Izdvajanje tijela geotermalnih i mineralnih voda napravljeno je u horizontalnom smjeru, s time da se vodilo računa na pojedinim područjima i o vertikali gdje su identificirani značajni vodonosnici. U pojedinim područjima grupirana su manja tijela u jedno na temelju istih ili sličnih kemijskih značajki, istog tipa stijena koje izgrađuje vodonosnik, te istog ili sličnog mehanizma punjenja i pražnjenja geotermalnih vodonosnika duž rasjednih zona. Izdvojena tijela geotermalnih i mineralnih voda obuhvaćaju 4.384,6 km² kopnenog teritorija Republike Hrvatske.

KEMIJSKO I KOLIČINSKO STANJE GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

Ocjena kemijskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju pokazatelja standarda kakvoće geotermalnih i mineralnih voda navedenih u Prilogu 6. Uredbe o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (NN, br. 20/2023), u daljnjem tekstu Uredba i to: nitrata, pesticida, specifičnih

onečišćujućih tvari - sume trikloretilena i tetrakloretilena, te fizikalnih parametara koji upućuju na prekomjerno korištenje: promjenu temperature i promjenu električne vodljivosti (promjena 15 % vrijednosti prosječne temperature i električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one vrijednosti koje su utvrđene u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda).

Ocjena količinskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju razina podzemnih voda ili hidrostatskog tlaka, te izdašnosti navedenih u Prilogu 7.B. Tablica 4.a. Uredbe uz pomoćne parametre: promjenu temperature i električne vodljivosti, koje se koriste za ocjenu kemijskog stanja, a služe kao kontrola izdašnosti. U slučaju kad nema promjene izdašnosti ili razine, a uslijed dotoka hladne podzemne vode kod prekomjernog crpljenja na štetu geotermalnih i mineralnih voda, kontroliraju se i pomoćni parametri, i to promjena 15 % vrijednosti prosječne temperature i električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one vrijednosti koje su utvrđene u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda.

Ocjena stanja tijela geotermalnih voda za potrebe Plana upravljanja vodnim područjima 2022-2027 napravljena je istraživačkim monitoringom u razdoblju od 2019. do 2020. godine u sklopu DARLINGe projekta, a za potrebe studije "Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj" (Hrvatski geološki Institut, 2020.).

Na vodnom području rijeke Dunav osnovni kemijski sastav vode: kalcij, magnezij, natrij, kalij, hidrogenkarbonati, kloridi i sulfati se ne mijenja. Sva tijela nalaze se u dobrom kemijskom stanju na Dunavskom vodnom području, dok na Jadranskom vodnom području jedino tijelo nalazi se u lošem kemijskom stanju. Utvrđeno je da na području Istarskog tijela geotermalne i mineralne vode (HRJGTN-6) dolazi do velike promjene osnovnog sastava vode (kalcij, magnezij, natrij, kalij, hidrogenkarbonati, kloridi i sulfati) Istarskih toplica uslijed podizanja razine hladne vode na izvorištu Bulaž kao posljedice izvođenja hidrotehničkih zahvata. Promjena je vidljiva kroz promjenu tipa voda jer je geotermalna voda prije tog zahvata bila NaCa-ClHCO₃SO₄ tipa, da bi danas bila CaNa-HCO₃ClSO₄ tipa,



Slika 2: Kemijsko stanje



Slika 3: Količinsko stanje

odnosno dolazi do snižavanja koncentracije klorida, sulfata i natrija.

Ocjena količinskog stanja za sva geotermalna tijela je dobro stanje.

USPOSTAVA MONITORINGA KEMIJSKOG STANJA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

Program praćenja stanja geotermalnih voda uspostaviti će se nakon provedbe prvog ciklusa prijedloga praćenja kemijskog i količinskog stanja na geotermalnim vodnim tijelima u vidu istraživačkog monitoringa u okviru planirane studije "Unapređenje metodologije i kriterija za ocjenu kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda, te daljnje unapređenje prijedloga monitoringa za geotermalne i mineralne vode". Početak provedbe planira se u 2024. godini. Kako se radi o prvoj uspostavi monitoringa kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda, a radi se o kompleksnom i osjetljivom monitoringu zbog specifičnih karakteristika geotermalnih i mineralnih vodnih tijela (visokih tlakova i temperatura), potrebno je utemeljiti redoviti monitoring nakon studijskog ispitivanja predloženog programa.

Prijedlog monitoringa obuhvaća 32 monitoring postaja. Sve su nadzorne, osim na Istarskom podzemnom vodnom tijelu gdje je monitoring postaja i operativna, na kojoj je povećana učestalost osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja, budući da se radi o podzemnom vodnom tijelu u lošem stanju zbog snižavanja temperature. Učestalost nadzornog monitoringa elemenata kemijskog stanja prema Prilogu 7 B. Uredbe odvijao bi se jednom u tri godine, za razliku od operativnog monitoringa jednom godišnje. Nadzorni monitoring bi se provodio na svim geotermalnim i mineralnim vodnim tijelima najmanje na jednoj točki opažanja, a to su većinom geotermalni izvori koji se najviše koriste za balneologiju i rekreaciju. Uz spomenute izvore kao točke opažanja odabrane su i bušotine pod koncesijom, stoga je potrebna komunikacija s koncesionarom radi dozvole pristupa. U planu monitoringa uvrštena su i 4 subtermalna izvora kojima se temperature kreću od 22,5 do 32,8°C. Ne nalaze se na geotermalnim i mineralnim vodnim tijelima, ali su determinirani radi mogućnosti daljnje karakterizacije geotermalnih vodnih tijela u plićim horizontima. U prijedlogu praćenja nalaze se i 4 monitoring postaje za mineralne vode. Radi se o izvorima ili bušotinama koje su se koristile ili se koriste za flaširanu mineralnu vodu.

S obzirom na to da su starost i podrijetlo geotermalne vode ključni parametri za određivanje može li geotermalna voda sadržavati onečišćenje poput pesticida ili umjetne sintetičke tvari, predlaže se uzorkovanje vode i određivanje prosječne starosti vode pomoću koncentracije aktivnosti izotopa ugljika-14 (^{14}C). Uzorkovanje bi se provelo jednom u planskom

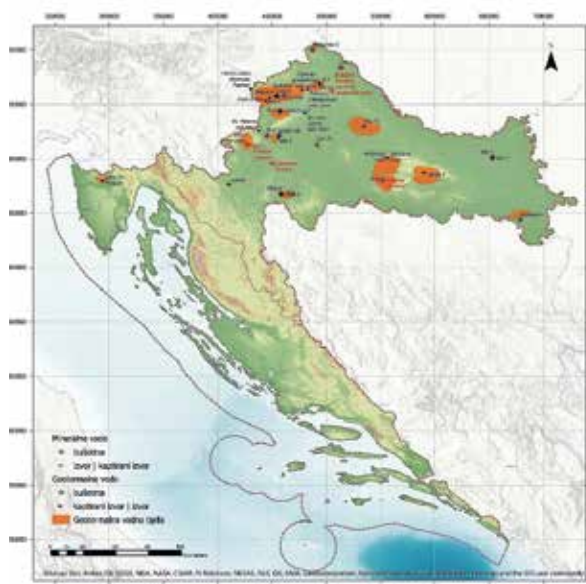
ciklusu. Istovremeno je potrebno izmjeriti i omjer stabilnog izotopa ugljika-13 ($\delta^{13}\text{C}$) u otopljenom anorganskom ugljiku (TIC) pomoću kojeg će se načiniti korekcija starosti. Za utvrđivanje udjela "hladne" podzemne vode u geotermalnoj potrebno je jednom godišnje izmjeriti omjer stabilnih izotopa kisika-18 ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika-2 ($\delta^2\text{H}$). Naime, ovi pokazatelji zajedno s jednim od konzervativnih kemijskih pokazatelja (kao što je klorid), poslužiti će za inverzno geokemijsko modeliranje da se izračuna udjel "hladne" vode u geotermalnoj vodi. Recentna "hladna" podzemna voda može biti potencijalni nositelj onečišćenja te može potencijalno, ovisno o njezinom udjelu u geotermalnoj vodi, pogoršati kemijsko stanje geotermalne vode, kao što je slučaj u Istarskom vodnom tijelu.

Za utvrđivanje povezanosti pojedinih tijela (npr. dijele li isto područje prihranjivanja), odnosno postoji li mogućnost grupiranja pojedinih tijela, npr. Daruvarskog s Lipičkim ili Varaždinskim s Konjščinskim, mjerenje sumpora-34 ($\delta^{34}\text{S}$) i kisika-18 ($\delta^{18}\text{O}$) u sulfatima (SO_4^{2-}) omogućilo bi dodatni pokazatelj pomoću kojega bi se moglo definirati podrijetlo geotermalnih voda. Ovaj pokazatelj trebalo bi izmjeriti jedanput u planskom ciklusu.

Prilikom uzorkovanja važno je uzimati uzorak na istom mjestu da ne bi došlo do promjena u temperaturi ili nekom drugom pokazatelju zbog promjene mjesta uzorkovanja (npr. jedanput se mjeri u samom izvoru, a drugi put 10 m dalje na preljevu). Nadalje, potrebno je voditi računa kako konzervirati uzorak za pojedina mjerenja, a osobito je važno kod visoko mineraliziranih voda kao što je slučaj na području Zagrebačkog, Bizovačkog, Ivanićgradskog, Svetonedeljskog, Županjskog, Donjo i Gornjomeđimurskog tijela geotermalnih voda, gdje zbog promjene tlaka i temperatura dolazi do taloženja pojedinih elemenata, što može uzrokovati nepravilne rezultate analiza. Kako uzorkovati i konzervirati uzorke opisano je u studiji "Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda" (Hrvatski geološki Institut, 2020.), a koja se temelji na radu *Sampling and analysis of geothermal fluids* (Arnórsson, et al., 2006.), u kojem je dan pregled svih objavljenih smjernica i radova vezanih za uzorkovanje geotermalnih voda i dane upute ovisno o tipu vode kako postupati.

USPOSTAVA MONITORINGA KOLIČINSKOG STANJA GEOTERMALNIH I MINERALNIH VODA

Ocjena količinskog stanja tijela geotermalnih i mineralnih voda provodi se na temelju razina podzemnih voda ili hidrostatskog tlaka, te izdašnosti navedenih. Uredbe uz pomoćne parametre: promjenu temperature i električne vodljivosti, koje se koriste za ocjenu kemijskog stanja, a služe kao kontrola izdašnosti. U slučaju kad nema promjene izdašnosti ili razine, a uslijed dotoka hladne podzemne vode kod prekomjernog



Slika 4: Predložene monitoring postaje za praćenje kemijskog i količinskog stanja geotermalnih i mineralnih voda

crpljenja na štetu geotermalnih i mineralnih voda, kontroliraju se i pomoćni parametri i to promjena 15 % vrijednosti prosječne temperature i električne vodljivosti u standardnim uvjetima eksploatacije u odnosu na one vrijednosti koje su utvrđene u rješenju o potvrđivanju količina i kakvoće rezervi temeljem kojeg je izdana dozvola za pridobivanje geotermalnih voda, odnosno sklopljen ugovor o eksploataciji geotermalnih voda.

LITERATURA

- Arnórsson, S., J.Ö. Bjarnason, N. Giroud, I. Gunnarsson and A. Stefánsson, (2006.): *Sampling and analysis of geothermal fluids*, *Geofluids*, 6, 203–216
- Energetski institut "Hrvoje Požar" (2018.): *Analize i podloge za izradu energetske strategije Republike Hrvatske*, Zelena knjiga, Nacrt, Zagreb
- Marković, T., Sladović, Ž., Larva, O., Brkić, Ž., (2020.): *Delineacija i karakterizacija tijela geotermalnih podzemnih voda u Republici Hrvatskoj*, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023.):

Monitoring postaja na kojima bi se odvijao monitoring količinskog stanja su iste kao u monitoringu kemijskog stanja.

Nadzorni monitoring odvijao bi se jednom u tri godine, za razliku od operativnog svake godine prema dinamici iz Uredbe Prilog 7. tablica 4 a i 4 b.

ZAKLJUČAK

U budućnosti će se mineralne i geotermalne vode koristiti sve više, svjedoci smo energetske krize koja se što više produbljuje. Geotermalna energija mogla bi biti jedno od mogućih spasonosnih rješenja. U novije vrijeme se u cijelom svijetu sve više potiče višenamjensko korištenje geotermalnih voda, primjerice za medicinske svrhe, turizam, rekreaciju, grijanje objekata, pripremu tople vode, grijanje staklenika, uzgoj ribe, proizvodnju el. energije i drugo. Kako bi se osigurala održivost njihovog korištenja, moraju se dobro poznavati njihove kemijske, količinske i ekološke učinke, kao i same karakteristike kako bi se sačuvala i održivo koristila. Izuzetno je važno uspostaviti dobre standarde i granične vrijednosti parametara koji će ukazivati na promjene u stanju, te kvalitetan kemijski količinski monitoring koji će ukazivati pravovremeno na promjene u stanju, te praćenje trendova. Geotermalne i mineralne vode je potrebno adekvatno zaštititi, pod tim se podrazumijeva cjelokupno priljevno područje, bušotine i izvorišta. Zaštita geotermalnih i mineralnih voda, te uspostava kvalitetnog monitoringa prioritet je sadašnjice za njihovu budućnost i održivo korištenje. ■

Plan razvoja geotermalnog potencijala Republike Hrvatske do 2030. godine, Uprava za energetiku, Zagreb

Plan upravljanja vodnim područjima 2022.-2027. (NN, br. 84/2023.)

Šimunić A. (2008.): *Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske*, Geološka monografija, Hrvatski geološki institut, Zagreb

Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardu kakvoće voda (NN, br. 20/2023.)

Zakon o vodama (NN, br. 66/19, 84/21 i 47/23)

Zakon o istraživanju i eksploataciji ugljikovodika (NN, br. 52/18, 52/19 i 30/21)