

"Novi onečišćivači" u podzemnim vodama Hrvatske - primjer projekata GeoTwinn i boDEREC-CE

Lukač Reberski, Jasmina; Terzić, Josip; Selak, Ana; Boljat, Ivana

Conference presentation / Izlaganje na skupu

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:245:161936>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Croatian Geological Survey](#)



**„NOVI ONEČIŠĆIVAČI“ U PODZEMNIM VODAMA
HRVATSKE – PRIMJER PROJEKATA GeoTwinn i
boDEREC-CE**

Jasmina Lukač Reberski, Josip Terzić, Ana Selak, Ivana Boljat

SAŽETAK: Stanje vodnih resursa i pridruženih ekosustava je pod sve većim pritiskom onečišćenja nastalog kao posljedica neadekvatnih i nereguliranih ljudskih aktivnosti, čiji je utjecaj sve izraženiji gledano s aspekta posljedica promjena klimatskih uvjeta. Tehnološki razvoj analitičkih instrumenata i metoda omogućio je određivanje tzv. novih onečišćivača (engl. *emerging contaminants*) odnosno spojeva koji do sada nisu uključeni u redoviti sustav monitoringa, a prepoznat je njihov ekotoksikološki učinak. U širokom spektru utvrđenih spojeva najčešći su pesticidi, farmaceutici, proizvodi za osobnu njegu, industrijski aditivi i njihovi nusprodukti, dodaci hrani, nusprodukti tretiranja vode, surfaktanti, hormoni i dr. Značajke i uvjeti podzemnog toka i transporta novih onečišćivača u kompleksnim krškim sredinama uz definiranje učinkovitih mjera (monitoringa, zabrane, prevencije i sl.) koje će ublažiti posljedice spomenutih negativnih utjecaja na stanje podzemnih vodnih resursa istražuju se u sklopu međunarodnih projekata GeoTwinn (Horizon 2020) i boDEREC-CE (Interreg Central Europe). Suradnja s renomiranim stručnjacima obogatit će dosadašnje spoznaje hrvatskih partnera o ponašanju novih onečišćivača u ovakvim okolišima te doprinijeti zaštiti i očuvanju podzemnih voda kao neophodnog i strateški važnog resursa pitke vode.

KLJUČNE RIJEČI: novi onečišćivači, podzemne vode, krš, uzorkovanje, analize uzoraka vode, GeoTwinn, boDEREC-CE

**“EMERGING CONTAMINANTS” OF GRUNDWATER IN CROATIA –
PROJECTS GeoTwinn AND boDEREC-CE**

ABSTRACT: The status of water resources and associated ecosystems is under a growing pressure from pollution caused by inadequate and unregulated human activities, whose impact is increasingly significant in view of the climate change. The technological development of analytical instruments and methods enabled the identification of “emerging contaminants”, i.e. compounds that are presently not included in the regular monitoring system, although their ecotoxic impact has been recognized. Within a wide spectrum of identified compounds, the most common are pesticides, pharmaceuticals, personal care products, industrial additives and their by-products, food additives, water treatment by-

products, surfactants, hormones, etc. In the scope of the international projects GeoTwinn (Horizon 2020) and boDEREC-CE (Interreg Central Europe), the characteristics and conditions of groundwater flow and the transport of emerging contaminants in complex karstic environments as well as the efficient measures (monitoring, banning, prevention, etc.) to mitigate the consequences of their adverse impacts on groundwater status will be investigated. A cooperation with renowned experts will improve the insights of the Croatian partners in the emerging contaminants' behaviour in these environments and contribute to the protection and conservation of groundwater as a vital, strategically important source of drinking water.

KEYWORDS: emerging contaminants, groundwater, karst, sampling, water analysis, GeoTwinn, boDEREC-CE

1. UVOD

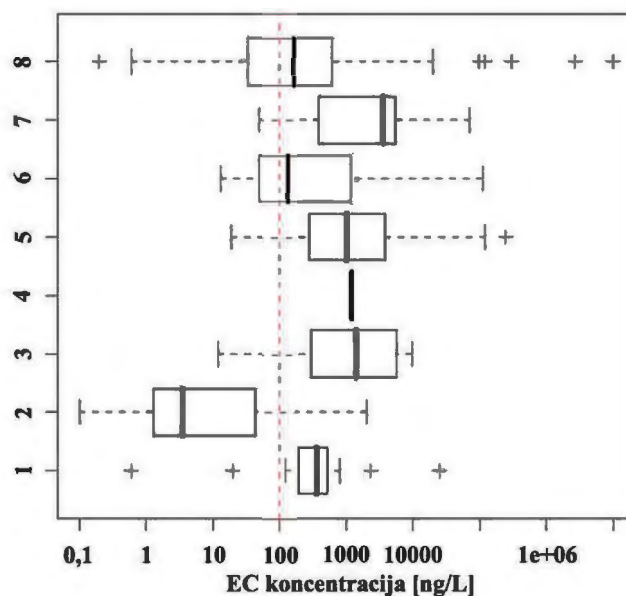
Podzemne vode su najvažniji resurs pitke vode, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Čak 90 % vodoopskrbe u Hrvatskoj ostvaruje se crpljenjem podzemnih voda zbog čega je očuvanje ovog resursa od izuzetne važnosti. Nužnost zaštite proizlazi i iz činjenice kako je okoliš današnjice, posebice vodni ekosustavi, suočen s brojnim negativnim utjecajima izazvanima raznim oblicima ljudske djelatnosti te dodatno pojačanima nepovoljnim klimatskim promjenama. S obzirom na to da su vode u izravnoj vezi s osnovnim klimatskim elementima, promjena klime odražava se na vodnu bilancu odnosno mogućnost korištenja zaliha pitke vode. U tom smislu, osobito je ugroženo priobalno područje Hrvatske. Zadnjih desetljeća povećava se brzina porasta razine oceana (NOAA, 2018), a prema analizi mareografskih podataka utvrđeno je da se trend rasta razine mora za srednju jadransku regiju kreće od 3 – 4 mm/god. Povećanje razine morske vode uz prekomjerno crpljenje tijekom ljetnih mjeseci, posljedično uzrokuje intruzije morske vode u vodonosnik, čiji je prodor dodatno olakšan s obzirom na kršku prirodu. S druge strane, sve učestaliji klimatski ekstremi (DHMZ, 2009) za posljedicu imaju sve veći broj dana kada oborine i temperature prelaze granične vrijednosti. Njihov negativan utjecaj može se odraziti na promjenu režima obnavljanja zaliha podzemnih voda. Ako količine pale oborine prijeđu kapacitet upijanja tla, one površinski otječu prema recipijentu, a izložene su i većoj evaporaciji, što može dovesti do smanjenog prihranjivanja vodonosnika. Pored toga, prema rezultatima prognostičkih modela za pojedine sljevove priobalnog pojasa Hrvatske (Blato na Korčuli, Bokanjačko blato, Vransko jezero) srednji i minimalni godišnji protoci do kraja stoljeća, u slučaju da se ostvare prognozirani klimatski scenariji, smanjit će se na svim lokalitetima za gotovo 30 – 50 % (Rubinić i dr., 2011).

2. NOVI ONEČIŠĆIVAČI

Ozbiljno narušene zalihe podzemnih voda, kakve se prognoziraju za budućnost, više no ikada zahtijevaju učinkovite mjere koje će ublažiti posljedice spomenutih negativnih utjecaja na kvalitetu podzemnih voda. Najnovija tehnološka dostignuća omogućuju da se danas u podzemnim vodama prate tvari koje je donedavno bilo nemoguće određivati zbog ograničenja analitičkih metoda. Riječ je o tzv. novim onečišćivačima (engl. *emerging contaminants*) čija istraživanja u podzemnim vodama kreću devedesetih godina prošlog stoljeća. Brojna su tumačenja i definicije ovog izraza, a danas se pod njim podrazumijevaju

spojevi za koje se ranije nije smatralo ili znalo da su značajni u podzemnim vodama, a koji se sada naširoko otkrivaju te se zna ili sumnja da mogu uzrokovati štetne učinke na ekosustave i ljudsko zdravlje (Stuart, 2012). Izraz se ne odnosi samo na nove onečišćivače, nego i na spojeve koji su, najčešće uslijed razvoja tehnoloških mogućnosti, novootkriveni u okolišu (Lindsey i dr., 2001). NORMAN mreža, osnovana 2005. god. kako bi unaprijedila razmjenu informacija o novim tvarima iz okoliša, pod novim onečišćivačima smatra spojeve koji trenutno nisu uključeni u rutinski monitoring na europskoj razini i koji su potencijalni kandidati za buduće propise, ovisno o istraživanju njihove (eko) toksičnosti, potencijalnih učinaka na zdravlje te praćenju podataka o njihovoj pojavi u različitim dijelovima okoliša (Brack i dr., 2012).

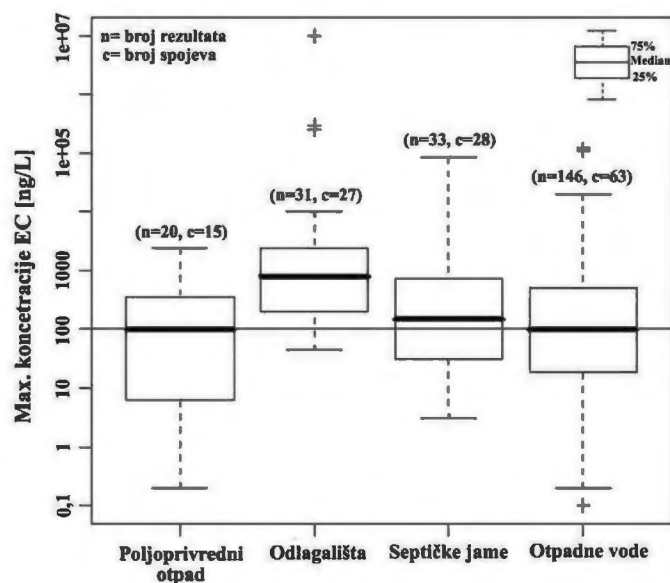
Onečišćenje podzemnih voda novim onečišćivačima stvara sve veću zabrinutost i relativno je slabo istražena u usporedbi s površinskim vodama (Lapworth, 2012). Općenito, koncentracije novih onečišćivača veće su u površinskim nego u podzemnim vodama zbog procesa kojima su izloženi, kao što su sorpcija, razrjeđenje i razgradnja. Brojnim istraživanjima kojima se pratio utjecaj odlagališta otpada utvrđeno je kako se količine novih onečišćivača u podzemnim vodama kreću u značajnim koncentracijama, u rasponu od 10 - 10⁴ ng/L. Koncentracije < 100 ng/L smatraju se preniskima da bi imale akutni utjecaj, no međudjelovanje više spojeva i dugotrajna izloženost njima su zbog nedovoljne istraženosti još uvijek nepoznanica (Lapworth, 2012).



Slika 1. Box plot pojavljivanja pojedinih grupa novih onečišćivača: 1 veterinarski antibiotici i hormoni; 2 steroidi, hormoni i metaboliti; 3 dodaci hrani i umjetni zaslađivači; 4 nedopuštene tvari – kokain; 5 plastifikatori, deterdženti, usporivači plamena; 6 kofein, nikotin i metaboliti; 7 sredstva za njegu tijela, insekticidi; 8 farmaceutici (slika preuzeta iz: Lapworth, 2018)

Novi onečišćivači obuhvaćaju široku paletu spojeva kao što su pesticidi, farmaceutici, proizvodi za osobnu njegu, industrijski aditivi i njihovi nusprodukti, dodaci hrani, nusprodukti tretiranja vode, surfaktanti, hormoni i dr. Među najčešće utvrđenim spojevima su poljoprivredni spojevi i farmaceutici. Iako je onečišćenje okoliša poljoprivrednim spojevima i farmaceuticima dobro poznata činjenica, manje je poznato kako su mnogi pesticidi ili lijekovi spojevi koji u svojoj strukturi sadrže spektar mogućih produkata razgradnje, s potencijalno štetnim ili jednostavno nepoznatim svojstvima. Pod utjecajem svjetla ili prilikom kemijske obrade otpadnih voda mnogi se lijekovi transformiraju u nove strukture o kojima znanost vrlo malo zna (Vrček, 2017).

Izvori onečišćenja mogu se prema porijeklu podijeliti na urbane, poljoprivredne i industrijske (Slika 1). Najveći broj onečišćivača potječe iz otpadnih voda (Slika 2) i to iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, septičkih jama, bolnica, farmi (uključujući lagune s otpadnim vodama i gnojene površine), potpovršinskih odlagališta kućnog i industrijskog otpada, indirektno putem razmjene površinske-podzemne vode te umjetnim napajanjem vodonosnika. Osim ove podjele, izvori onečišćenja se mogu podijeliti na točkaste i raspršene. Točkasti izvori se znatno jednostavnije prate i reguliraju, dok raspršeni izvori predstavljaju pravi izazov za praćenje, regulaciju i procjenu njihovog utjecaja na resurse podzemnih voda (Grizelj Šimić, 2016). Raspršeni izvori prekrivaju veće površine i teže ih je identificirati zbog manje izravnih/očiglednih veza s onečišćivačem. Međutim, u odnosu na točkaste izvore, difuzni izvori onečišćenja uzrokuju manje opterećenje na okoliš s obzirom na veći potencijal prirodnog prigušenja u tlu i na površini.



Slika 2. Box-plot maksimalnih koncentracija novih onečišćivača u podzemnim vodama s obzirom na izvor onečišćenja (slika preuzeta iz: Lapworth, 2012)

S ciljem zaštite i poboljšanja vodnog okoliša u sklopu Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC) te Direktive o standardima kvalitete okoliša (2008/105/EC), definiran je popis prioritetnih tvari (lista prioriteta) koje predstavljaju znatan rizik za vodni okoliš. Kriterij na temelju kojega se određuje koje će se tvari uvrstiti na listu prioriteta su rasprostranjenost, pretpostavljene koncentracije u okolišu te njihova ekotoksikološka, farmakološka i fizikalno-kemijska svojstva. Za tvari s liste prioriteta planiraju se mjere s ciljem postupnog ograničenja njihovog ispuštanja, emisija i rasipanja.

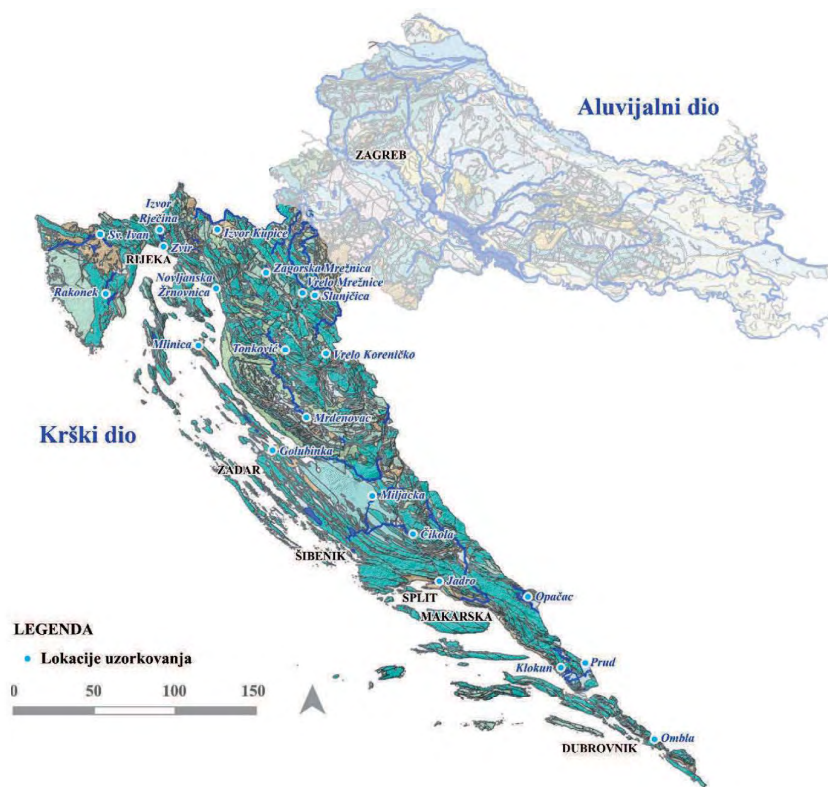
Kako broj postojećih i novootkrivenih onečišćivača kontinuirano raste, pored liste prioriteta, sastavlja se i lista praćenja (engl. *Watch list*, 2013/39/EU) koja sadrži popis tvari koje bi mogle predstavljati značajan rizik za vodni okoliš ili značajan rizik koji se putem njega prenosi te za koje podaci o praćenju nisu dostatni. Za te tvari se uspostavlja monitoring te se, ovisno o rezultatima monitoringa, dodaju na popis prioritetnih tvari ili brišu s liste praćenja. Sukladno Direktivi (2013/39/EU), listu praćenja potrebno je ažurirati svake dvije godine.

Direktiva o podzemnim vodama (2006/118/EC, 2014/80/EU) definira standarde kakvoće podzemnih voda i smjernice za uspostavu graničnih vrijednosti za tvari koje onečišćuju podzemne vode te ukazuje na potrebu uspostave liste praćenja koja bi uključila i nove onečišćivače (2014/80/EU). Svrha liste praćenja za podzemne vode je 1) ustanoviti nove onečišćivače za koje se utvrdi da postoji sumnja da ne zadovoljavaju ciljeve zadane Okvirnom direktivom o vodama i 2) pomoć u odabiru tvari kako bi se poboljšao program monitoringa.

3. PROJEKTI GeoTwinn i boDEREC-CE

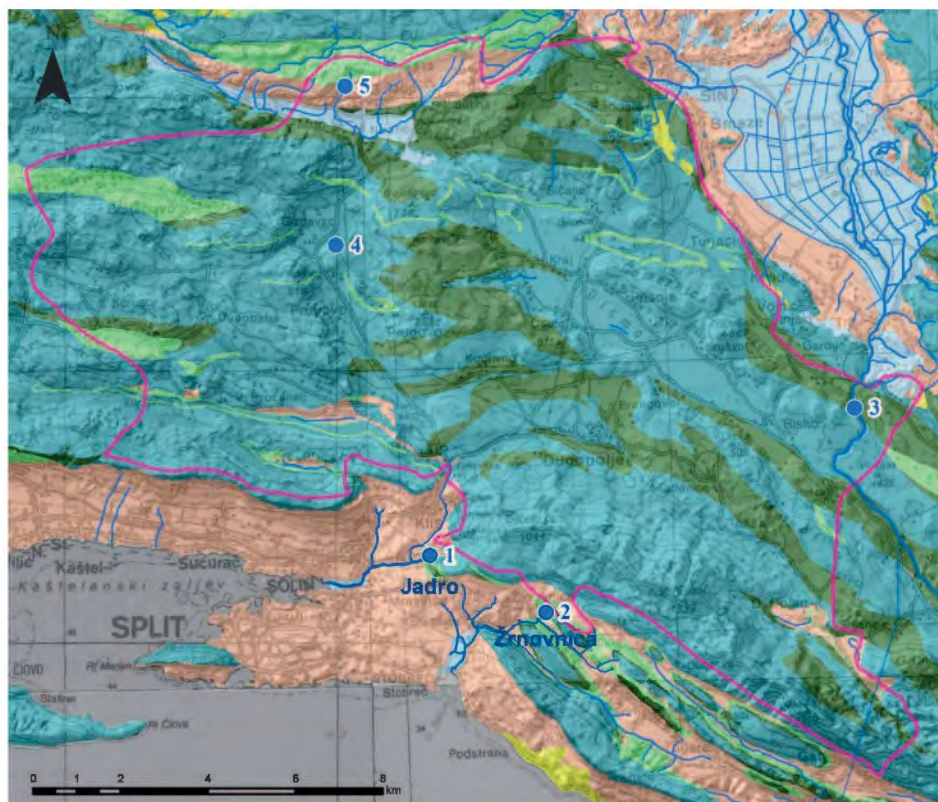
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju Hrvatskog geološkog instituta sudjeluje na dva međunarodna projekta vezana uz praćenje novih onečišćivača u podzemnim te u manjoj mjeri u površinskim vodama.

Projekt GeoTwinn (Strengthening research in the Croatian Geological Survey: Geoscience-Twinning to develop state-of-the-art subsurface modelling capability and scientific impact, Horizon 2020) nastao je u suradnji Hrvatskog geološkog instituta s dvije vodeće geološke istraživačke institucije, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) i British Geological Survey of the United Kingdom Research and Innovation (BGS-UKRI). Projekt je započeo u listopadu 2018. godine, a predviđeno vrijeme trajanja je 3 godine. Osnovni cilj projekta je osnaživanje istraživačkog potencijala i sposobnosti istraživača Hrvatskog geološkog instituta. Suradnja se ostvaruje zajedničkim istraživanjem, komunikacijom, međusobnim posjetima te stjecanjem i izmjenom znanja i iskustava s istraživačima iz BGS-a. U okviru radnih paketa provode se 3D geološka istraživanja i modeliranja, identifikacija i analiza geoloških hazarda te jačanje istraživačkog potencijala na polju geotermalne energije. U fokusu radnog paketa WP2 jest upravo napredno modeliranje podzemnog toka i transporta novih onečišćivača. Za pokusno područje odabrano je krško područje Hrvatske, na kojem će se u uvjetima hidroloških maksimuma i minimuma uzorkovati vode izvora koji sudjeluju u sustavu vodoopskrbe (Slika 3). S obzirom na malobrojna provedena istraživanja novih onečišćivača u krškim podzemnim vodama, rezultati ovog projekta uvelike će doprinijeti dosadašnjim spoznajama o njihovom ponašanju u ovakvim okolišima, a posredno omogućiti i nove hidrogeološke spoznaje.



Slika 3. Lokacije uzorkovanja izvora u sklopu GeoTwin projekta

Europski projekt boDEREC-CE (Board for Detection and Assessment of Pharmaceutical Drug Residues in Drinking Water - Capacity Building for Water Management in CE), započeo je u travnju 2019. godine, a sufinanciran je od strane Europskog fonda za regionalni razvoj u okviru programa INTERREG Central Europe 2014-2020. Glavni cilj projekta je razvoj integriranog upravljanja sustavima vodoopskrbe te preporuka za unaprjeđenje postojećih regulativa i standarda za otpadne vode i vode za piće. Preduvjet za ostvarenje postavljenog cilja je međunarodna suradnja te razmjena stručnih znanja i iskustava putem stručnog vijeća kojeg će činiti predstavnici istaknutih znanstvenih institucija i vodovoda. Tijekom trogodišnje implementacije, planirano je putem četiri radna paketa provesti sveobuhvatno istraživanje pojave, utjecaja i transporta novih onečišćujućih tvari iz skupine farmaceutika u podzemnim i površinskim vodama odabranih pilot područja zemalja partnera iz centralne Europe. U Hrvatskoj je odabrano pokusno područje slijeva izvora Jadro i Žrnovnica (Slika 4), a u suradnji s kolegama iz Slovenije na području Hrvatske uzorkovanje će se provesti i u površinskom toku rijeke Save.



Slika 4. Pokusno područje u Hrvatskoj s lokacijama uzorkovanja – slijev izvora Jadro i Žrnovnica

ZAKLJUČAK

Unatoč činjenici kako je stanje kvalitete podzemnih voda na velikom dijelu Republike Hrvatske još uvijek dobro, ono je ugroženo sve većim pritiscima u novije vrijeme. Razvoj tehnologije, koji je omogućio praćenje velikog broja novih potencijalnih onečišćivača, od velikog je značaja za učinkovitije praćenje kvalitete voda kao i za identifikaciju tvari koje se nepovoljno odražavaju na okoliš i ljudsko zdravlje. Međunarodna suradnja i nastojanja stručnjaka u okviru projekata GeoTwinn i boDEREC-CE predstavljaju mali, ali važan korak u globalnom poznavanju novih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama koji će doprinijeti zaštiti i očuvanju ovog neophodnog i strateški važnog resursa pitke vode.

LITERATURA

- [1] Brack, W., Dulio, V. & Slobodnik, J. (2012): *The NORMAN Network and its activities on emerging environmental substances with a focus on effect-directed analysis of complex environmental contamination*. Environmental Sciences Europe, 24(1), 29. doi:10.1186/2190-4715-24-29.
- [2] Čupić, S., Domijan, N., Mihanović, H., Mlinar, M., Leder, N. & Gržetić, Z. (2011): *Climate change, sea level rising on the Croatian Adriatic coast, Croatian waters facing the challenge of climate changes*, 5th Croatian water conference with international participation, Opatija, 18.-21.5.2011, 593-600, 2011.
- [3] DHMZ (2009): *Observed climate changes in Croatia*. Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change (UNFCCC), Zagreb.
- [4] Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- [5] Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration.
- [6] Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council.
- [7] Directive 2013/39/EU of the European parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy.
- [8] Commission Directive 2014/80/EU of 20 June 2014 amending Annex II to Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council on the protection of groundwater against pollution and deterioration Text with EEA relevance.
- [9] Grizelj Šimić, V. (2016): *Kontrola izvora onečišćenja voda*. Hrvatske vode 24 (96), 147-160.
- [10] Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E. & Ward, R. S. (2012): *Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence*. Environmental Pollution, 163, 287–303. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.034.
- [11] Lapworth, D. J. (2018): *Emerging Contaminants in Groundwater*. Presentation held within Geo-Twin project, Croatia.
- [12] Lindsey, M.E., Meyer, M. & Thurman, E.M. (2001): *Analysis of trace levels of sulfamamide and tetracycline antimicrobials in groundwater and surface water using solidphase extraction and liquid chromatography/mass spectroscopy*. Analytical Chemistry 73, 4640-4646.
- [13] NOAA (2018): *Is sea level rising?* National Ocean Service website, <https://ocean-service.noaa.gov/facts/sealevel.html>, accessed on 2/3/19.
- [14] Rubinić, J., Horvat, B., Terzić, J. & Bošnjak, T. (2011): *Analiza klimatskih promjena / varijacija na pilot područjima u Hrvatskoj*. Hrvatske vode pred izazovom

- klimatskih promjena, 5. hrvatska konferencija o vodama, 18. - 21. svibnja, Opatija.
- [15] Stuart, M., Lapworth, D., Crane, E. & Hart, A. (2012): *Review of risk from potential emerging contaminants in UK groundwater*. Science of The Total Environment, 416, 1–21. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.11.072.
- [16] Uredba o standardima kakvoće vode (NN 73/2013, 151/14, 78/15, 61/16 i 80/2018).
- [17] Vrčec, V. (2017): *Farmakoekologija – okolišna sudbina lijekova*, Kem. Ind. 66 (3-4), 135–144.

AUTORI

dr.sc. Jasmina Lukač Reberski ^a

dr.sc. Josip Terzić ^a

Ana Selak mag.ing.geol., mag.ing.prosp.arch. ^a

Ivana Boljat dipl.ing.geol. ^a

^a Hrvatski geološki institut, Milana Sachsa 2, Zagreb 10 000, Hrvatska, jlukac@hgi-cgs.hr, jterzic@hgi-cgs.hr, aselak@hgi-cgs.hr, iboljat@hgi-cgs.hr