

# Projekt: „Developing an integrated implementation framework for Managed Aquifer Recharge solutions to facilitate the protection of Central European water resources endangered by climate change and user conflict“ DEEPWATER-CE

Borna Balaž, dipl. ing. građ.  
Matko Patekar, dipl. ing. građ.



## DEEPWATER-CE

### 1. UVOD

Klimatske promjene na različite načine utječu na živote ljudi diljem svijeta. Sve češće dolazi do ekstremnih vremenskih događaja koji uključuju intenzivne oborine, izražene sušne periode i velike temperaturne oscilacije. Klimatski ekstremni uvjeti prisutni su već i danas, a u budućnosti se očekuje kako će klimatske promjene biti još intenzivnije. Stoga, kao odgovor ovim, ali i drugim izazovima budućnosti, osmišljen je Program transnacionalne suradnje Interreg. Interreg je namijenjen razmjeni iskustava upravljačkih i provedbenih tijela nacionalnih operativnih programa te razmjeni dobre prakse u području zaštite okoliša, prometa i energetskog sektora. Jedan od INTERREG projekata s tematikom prilagodbe klimatskim promjenama je i DEEPWATER-CE (engl. *Developing an integrated implementation framework for Managed Aquifer Recharge solutions to facilitate the protection of Central European water resources endangered by climate change and user conflict*) koji će u nastavku ovog teksta biti detaljnije predstavljen. Ovaj je projekt sufinanciran u okviru EU programa „Interreg Central Europe 2014.-2020.“, a uključuje 7 projektnih partnera iz Mađarske, Njemačke, Poljske, Slovačke i Hrvatske. To su: Mađarski institut za rudarstvo i geologiju, Geogold Kárpátia d.o.o., Tehničko sveučilište u Münchenu, Sveučilište u Šleskoj, Institut za istraživanje voda, Vodovod i kanalizacija d.o.o. Split i Hrvatski geološki institut. Uz navedene projektne partnere, kao pridruženi partneri na ovome projektu, sudjeluju: Mađarska

glavna uprava i institut za upravljanje vodama (OVF), Međunarodni centar za procjenu resursa podzemnih voda (IGRAC), Vodovod Tarnów, Regionalna agencija za zaštitu okoliša u Venetu i Hrvatske vode.

### 2. CILJEVI PROJEKTA

DEEPWATER-CE je projekt usmjeren na razvoj integriranih kapaciteta upravljanja okolišem s naglaskom na umjetno prihranjivanje vodonosnika (engl. *Managed Aquifer Recharge – MAR*) kao strateški važan mehanizam za upravljanje vodnim resursima u zemljama srednje Europe. Uz potencijalnu implementaciju ovih tehnologija, glavni cilj projekta je razvoj konkretnih mjera za pojedina područja prema specifičnim geološkim uvjetima i klimatskim scenarijima. Provedba projekta postiže se razmatranjem potreba ciljanih skupina i međusektorskom suradnjom, te u konačnici, prilagođavanjem mjera za njihovu direktnu implementaciju u područjima koja se odnose na upravljanje vodnim resursima za potrebe vodoopskrbe. U tu je svrhu projekt organiziran kroz četiri glavne aktivnosti:

1. Osobni i online treninzi (webinari) za informiranje dionika o mogućnostima primjene umjetnog prihranjivanja vodonosnika u različitim geološkim sredinama,
2. Razvoj transnacionalne metodologije za odabir lokacija pogodnih za umjetno prihranjivanje vodonosnika u srednjoj Europi,
3. Pokusna istraživanja izvodljivosti različitih metoda umjetnog prihranjivanja vodonosnika u Mađarskoj, Poljskoj, Slovačkoj i Hrvatskoj,
4. Razvoj zakonskih prijedloga i nacionalnih akcijskih planova za uključivanje koncepta umjetnog prihranjivanja vodonosnika u *Planove upravljanja vodnim područjima* i *Strategije upravljanja vodnim resursima*.

### 3. UMJETNO PRIHRANJIVANJE VODONOSNIKA

Skladištenje podzemnih voda predstavlja jedinstveni način prilagodbe klimatskim promjenama i negativnim antropogenim utjecajima (npr. precipitiranje vodonosnika i degradacija kakvoće površinske ili podzemne vode). Ovaj se koncept naziva umjetno prihranjivanje vodonosnika (*engl. Managed Aquifer Recharge - MAR*), a pojam je osmislio britanski hidrogeolog Ian Gale. Vodonosnik se može prihranjivati putem utisnih zdenaca ili infiltracijskih zona, a koncept se upotrebljava u područjima gdje je kakvoća ili dostupnost vode ugrožena uslijed različitih klimatskih ili antropogenih čimbenika. Voda kojom se vodonosnik prihranjuje može biti porijeklom iz oborina, ali i pročišćena otpadna ili desalinizirana voda. Umjetno prihranjivanje vodonosnika osobito uspješno se primjenjuje u vodonosnicima s međuzrnskom poroznošću, a u slučaju vodonosnika s pukotinskom, odnosno pukotinsko-disolucijskom poroznošću predstavlja znatno veći izazov zbog izrazite hidrauličke anizotropije i heterogenosti kompleksnih krških vodonosnika. U okviru ovog projekta, kroz četiri pokusna istraživanja izvodljivosti, testirat će se šest različitih metoda umjetnog prihranjivanja prema karakteristikama istražnog područja. To su: infiltracijsko jezero, infiltracijski jarci, brana, inducirana infiltracija kroz nasip, podzemna brana te infiltracija upojnim zdencima.

### 4. PILOT PODRUČJA

Na četiri pilot područja provest će se geološka, hidrogeološka i geofizička istraživanja tijekom suhe i vlažne sezone, a glavni cilj je locirati područja pogodna za umjetno prihranjivanje. U Hrvatskoj će se istraživanja provoditi na otoku Visu te će uključivati uzorkovanje vode, geofizička istraživanja i modeliranje. Pilot područje u Mađarskoj obuhvaća aluvijalnu lepez Marosa između rijeke Körös i Maros. Istraživanje će uključivati upotrebu geofizičkih metoda, pokusno crpljenje te uzorkovanje vode. Područje je poznato po povoljnim poljoprivrednim uvjetima, a problem nedostatnog navodnjavanja mogao bi se riješiti eventualnim prihranjivanjem putem brane. Zato je fokus istraživanja na ovom području na prekrivenim paleokanalima rijeke Maros u kojima bi se akumulirana voda koristila u suhom periodu za navodnjavanje. Slovačko pilot područje Žitný otok nalazi se na jugozapadu zemlje. Istraživanje će se uglavnom provoditi terenski te matematičkim modelima, a glavni cilj je utvrditi povezanost između razina podzemne vode i tokova u površinskim kanalima. Površinski kanali Gabčíkovo-Topolníky, Vojka-Kračany i Šulany-Jurová razgraničavaju pilot područje, a na lokalne hidrogeološke uvjete utjecala je izgradnja geotehničke strukture Gabčíkovo.

### 5. HRVATSKO PILOT PODRUČJE - OTOK VIS

Otok Vis pripada srednje-dalmatinskoj otočnoj skupini te je deveti po veličini hrvatski otok. Njegova površina iznosi 89,72 km<sup>2</sup> s obalnom linijom od 84,91 km (Duplančić et al., 2004.). Vis svojim pružanjem odstupa od dalmatinskog smjera pružanja (SZ-JI), odnosno karakterističnog je tzv. hvarskog smjera pružanja (ZJZ-ISI) (Lozić et al., 2013.). Geologiju je u magistarskom radu detaljno opisao Josip Terzić, a njegova determinacija prikazana je u nastavku (Terzić, 2003.). Općenito, otok je dominantno izgrađen od karbonatnih stijena (slika 1).



Slika 1: Uslojene karbonatne stijene u zaljevu Stiniva (fotografija: Borna-Ivan Balazš)

To su većinom cenomansko-turonski kalcitični dolomiti i dolomitični vapnenci, dok se u Komiškom zaljevu nalaze klastiti i magmatiti. Na otoku su određene i kvartarne naslage: breče i konglomerati, crvenica s kršjem te sitnozrnati eolski pijesci prikazani na slici 2.



Slika 2: Eolski pijesci (fotografija: Staša Borović)

Također, prema Terziću (2003.), stijene se na otoku prema hidrogeološkim svojstvima mogu podijeliti u pet skupina:

- Klastiti i magmatiti pukotinske poroznosti s funkcijom hidrogeološke barijere,
- Dolomiti slabe propusnosti i pukotinske poroznosti,
- Karbonatne stijene srednje propusnosti i pukotinsko-disolucijske poroznosti koje omogućuju brzu infiltraciju oborinskih voda u podzemlje,

- Raspucane i okršene karbonatne stijene visoke propusnosti i pukotinsko-disolucijske poroznosti,
- Kvartarne stijene međuzrnske i pukotinske poroznosti.

Obzirom da postojeći klimatski modeli predviđaju stalno smanjenje količina oborina na jadranskim otocima, koje će prema kraju stoljeća biti sve izraženije, javlja se potreba za istraživanjem mogućnosti umjetnog prihranjivanja, kao i razvoja sustava ranog uzbunjivanja u slučajevima zaslanjenja vodonosnika. Zanimljivo je da otok Vis potrebe za vodom osigurava crpljenjem vlastitog vodonosnika, čime se pitka voda osigurava za otprilike 3700 stanovnika. Što se tiče vodonosnika, pretpostavka je kako se ispod njega nalazi relativno nepropusna podloga, dok se morska voda poput klina proteže u unutrašnjost vodonosnika (Terzić, 2004.). Vodoopskrba se uglavnom zasniva na korištenju podzemne vode s vodocrpilišta „Korita“, dok su u funkciji još i kaptirani izvor „Pizdica“ te bušotina K-1 kod Komiže. Na lokaciji vodocrpilišta „Korita“ nalazi se čak šest bušenih bunara: BO1, BO2, BO3, BO4, BO5 i BO6. Povremeno se koristi i izvorište „Pizdica“ koje se nalazi u Komiškom zaljevu, a kaptaza je izvedena u izbušenoj stijeni (slika 3). Sama lokacija je u neposrednoj blizini mora, zbog čega dolazi do zaslanjenja izvora, ali se za potrebe vodoopskrbe



Slika 3: Prilaz izvorištu „Pizdica“ (fotografija: Borna-Ivan Balaž)

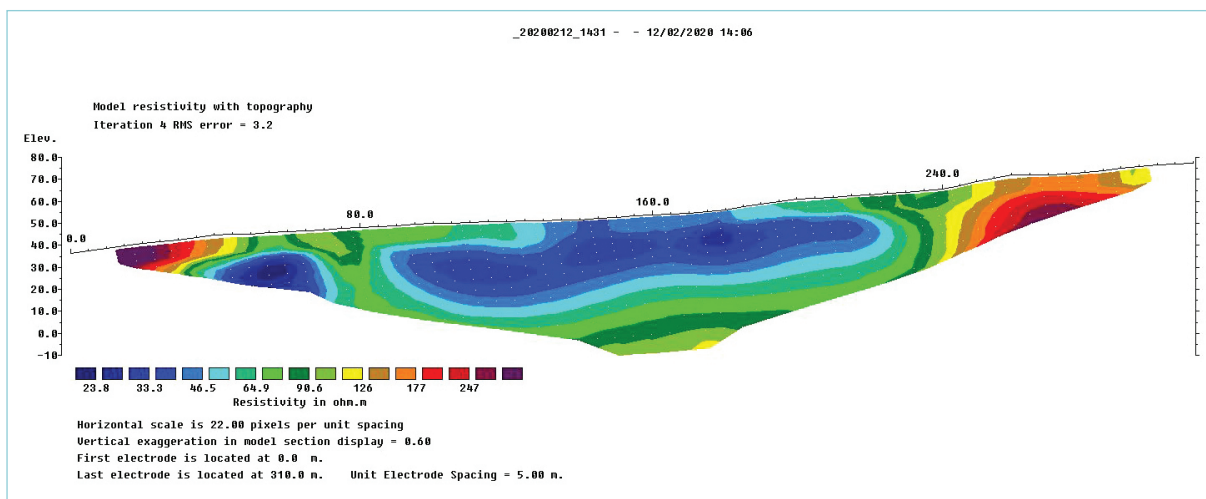
voda miješa s vodom iz „Korita“ čime se osigurava odgovarajuća kakvoća.

Što se tiče umjetnog prihranjivanja vodonosnika na Visu, razmatraju se mogućnosti primjene dvije osnovne metode. Riječ je o umjetnom prihranjivanju putem infiltracijskog jezera ili prihranjivanje pomoću upojnih zdenaca. Prema Casanovi i dr. (2016.) prihranjivanje putem infiltracijskog jezera pripada infiltracijskim metodama, dok prihranjivanje upojnim zdenacima pripada metodama direktnog utiskivanja. Izuzev očitih razlika u tehničkim aspektima izvođenja pojedine metode, prema istim autorima, glavna razlika se odnosi i na kvalitetu vode kojom se vodonosnik prihranjuje. Dok se kod infiltracijskih metoda kvaliteta vode poboljšava prirodnom atenuacijom kroz procjeđivanje prema vodonosniku, kod metoda direktnog utiskivanja voda kojom se prihranjuje vodonosnik mora biti visoke kakvoće kako ne bi došlo do onečišćenja.

## 6. PROVEDENE AKTIVNOSTI U OKVIRU PROJEKTA

Terenska istraživanja na otoku Visu započela su u rujnu 2019. godine. Vrše se periodička mjesečna opažanja razina podzemnih voda u bušotinama, *in situ* mjerenja (temperatura, pH, elektrolitička vodljivost, zasićenje kisikom) te hidrokemijske laboratorijske analize (ionski sastav te analize stabilnih i radioaktivnih izotopa) na prikupljenim uzorcima vode. Na najznačajnijim objektima vodoopskrbnog sustava, ali i na perspektivnim lokacijama za buduće vodozahvate, ugrađeni su automatski mjeraci (logeri) razina podzemne vode, temperature i elektrolitičke vodljivosti.

Nadalje, provedena su površinska geofizička istraživanja (seizmička refrakcija, električna tomografija i magnetotelurska metoda) u području krških polja na južnoj strani otoka, na užem području Komiže te u blizini vodocrpilišta Korita (slika 4).



Slika 4: Profil električne tomografije i raspodjela otpornosti u podzemlju na području Komiže (HGI-CGS)

U listopadu 2020. godine, u sklopu bilateralne znanstvene suradnje između Hrvatskog geološkog instituta i dvaju talijanskih sveučilišta iz Modene i Parme, organizirano je dvotjedno strukturno-geološko istraživanje s ciljem razmjene istraživačkih iskustava i prikupljanja podataka koji će biti korišteni pri izradi 3D numeričkog modela otoka i vodonosnika.

Okosnica uspješne provedbe projekta DEEPWATER-CE je suradnja s lokalnim dionicima. Do sada su organizirane dvije radionice na otoku Visu, prva u rujnu 2019. godine s ciljem upoznavanja dionika s projektom i glavnim ciljevima, te druga u listopadu 2020. godine gdje su predstavljeni prvi rezultati dosadašnjih istraživanja i nadolazeće aktivnosti (<https://www.hgi-cgs.hr/deepwater-ce/>)

## 7. NASTAVAK PROJEKTA I PLANIRANE AKTIVNOSTI

Terenska i laboratorijska istraživanja na otoku Visu nastaviti će se i u nadolazećim razdobljima

projekta. Na temelju značajnog vremenskog niza prikupljenih podataka započele su pripreme za izradu 3D numeričkog modela toka u otočkom krškom vodonosniku s ciljem simulacije različitih klimatskih, hidroloških i hidrogeoloških scenarija. Važan ishod projekta će biti razvoj metodologije za istraživanje primjenjivosti umjetnog prihranjivanja vodonosnika, s posebnim naglaskom na krške vodonosnike gdje je jasan nedostatak učinkovitih načina istraživanja, a detaljne analize postojećih slučajeva su rijetke. Također, od iznimne je važnosti i socio-ekonomski okvir umjetnog prihranjivanja vodonosnika, te će se u slučajevima ekonomske neopravdanosti ili značajnog okolišnog rizika razmotriti i alternativna rješenja za postizanje održive vodoopskrbe (npr. desalinizacija). Očekivani doprinos projekta DEEPWATER-CE je da metode umjetnog prihranjivanja vodonosnika budu prepoznate kao uspješan koncept za održivo upravljanje vodama od strane odgovornih tijela te da se uključe u zakonske okvire kao učinkovit odgovor na rastuće izazove upravljanja vodama u 21. stoljeću. ■

## LITERATURA

Casanova, J.; Devau, N.; & Pettenati, M. (2016.): Managed aquifer recharge: an overview of issues and options. *Integrated groundwater management*. Springer, Cham 413-434.

Duplančić Leder, T.; Ujević, T.; & Čala, M. (2004.): Duljine obalne crte i površine otoka na hrvatskom dijelu Jadranskog mora određene sa topografskih karata mjerila 1 : 25 000. *Geoadria*, 9(1), 5-32.

Lozić, S.; Šiljeg, A.; & Krklec, K. (2013.): Morfometrijske značajke otoka Visa. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 60(5-6), 110-117.

Terzić, J. (2003.): Hidrogeološki odnosi otoka Visa. Magistarski rad. Rudarsko - geološko - naftni fakultet, Zagreb.

Terzić, J. (2004.): Hidrogeološki odnosi na krškim otocima-primjer otoka Visa. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 16(1), 47-58.