

Projekt COST 621 »Gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki«

Action COST 621 »Groundwater management of coastal karstic aquifers«

Metka PETRIČ¹, Janja KOGOVŠEK¹ & Janko URBANC²

¹Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna; petric@zrc-sazu.si, kogovsek@zrc-sazu.si

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana; janko.urbanc@geo-zs.si

Ključne besede: obalni kraški vodonosnik, monitoring, Kras, Obala, Slovenija
Key words: coastal karstic aquifer, monitoring, Kras, Obala, Slovenia

Kratka vsebina

COST 621 »Gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki« je mednarodni projekt v okviru Evropske skupnosti, pri katerem je v letih 1997–2002 sodelovalo 12 evropskih držav, tudi Slovenija. Glavni cilj projekta je razširjanje znanja, potrebnega za postavitev kriterijev za izboljšanje izrabe vodnih virov v obalnih kraških vodonosnikih ter za obnove virov, ki so bili prekomerno izkoriščani ali se je njihova kvaliteta zmanjšala zaradi vdorov slane vode. Na osnovi zbranih izsledkov so bila izdelana »Priporočila za gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki«, ki bodo tiskana kot posebna knjižica z namenom, da bi bili končni rezultati projekta dostopni kar najširšemu krogu ljudi.

Abstract

COST 621 »Groundwater management of coastal karstic aquifers» is an international project in the frame of the European Union in which 12 European countries, including Slovenia, took an active part in the years 1997–2002. The main objective of the Action is to increase the knowledge necessary to establish criteria for improving groundwater resource utilisation in karstic coastal aquifers and for recovering groundwater resource in aquifers over-exploited and salinised due to sea water intrusion. Based on gathered results »Guidelines for the groundwater management of coastal karstic aquifers» were compiled and will be published as a special booklet. In this way the dissemination of the results will be provided.

Uvod

V Sredozemlju pokrivajo karbonatne kamnine velik del območja in kraška pokrajina prevladuje. V odvisnosti od razlik v klimatskih razmerah, litoloških in strukturnih pogojev ter paleomorfogenetske dediščine so se razvile raznovrstne kraške oblike. Pomemben vpliv je imelo nihanje gladine morja skozi geološko zgodovino in vodonosniki z zapleteno strukturo so intenzivno zakraseli tudi v globinah pod današnjim nivojem morja. Praznijo se večinoma skozi kraške izvire, za katere je značilno veliko nihanje izdatnosti ob različnih hidroloških pogojih. Značen delež vode lahko izteka tudi neposredno v morje in sicer v obliki difuznega iztoka ali skozi podmorske izvire. Značilni so brakični izviri, v katerih se sladka voda iz kraškega vodonosnika meša s slano vodo.

Obalni kraški vodonosniki so izredno pomemben vir za vodooskrbo in namakanje.

Ker pa je v Sredozemlju letna količina padavin v splošnem majhna in evapotranspiracija velika, se pogosto pojavljajo težave zaradi pomanjkanja vode. Še posebej izrazito poleti, ko je padavin najmanj in evapotranspiracija največja, potrebe pa so zaradi zelo razvitega turizma bistveno povečane. Pogost pojav je zato zaslanjevanje oz. vdor slane vode. Prehodna cona med sladko in slano vodo predstavlja zelo nestabilno ravnotežje, ki ga lahko neprimerna eksploatacija hitro poruši. Zato je proučevanje in razumevanje hidrodinamičnih procesov, ki kontrolirajo položaj in geometrijo te cone, zelo pomembno. Še posebej v krasu pa naloga ni enostavna, saj so zaradi heterogenosti v razporeditvi, velikosti, gostoti in medsebojni povezavi podzemnih kraških oblik procesi mešanja zelo zapleteni.

Da bi lahko primerjali izkušnje raziskovalcev z različnih območij in združili obstoječe znanje, je bil v okviru evropskega

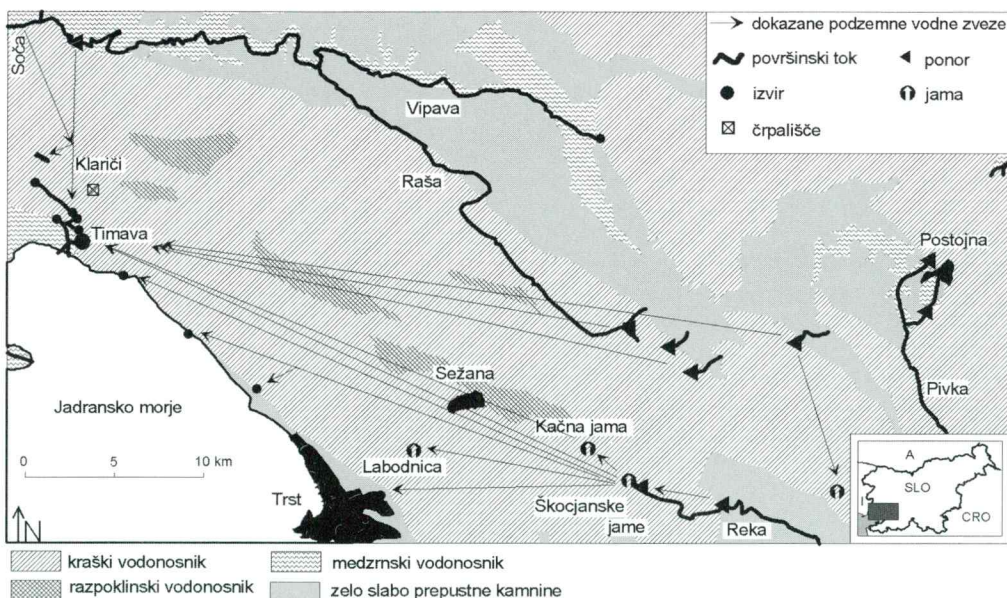
programa COST – Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research sprejet projekt »COST 621: Groundwater management of coastal karstic aquifers« (Gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki), ki ga je finančno podprlo tudi Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport Republike Slovenije. Glavni cilj akcije je poleg vzpostavitve mednarodne mreže strokovnjakov, ki se ukvarjajo z opisanimi problemi, tudi razširjanje znanja, potrebnega za postavitev kriterijev za izboljšanje izrabe vodnih virov v obalnih kraških vodonosnikih ter za obnovo virov, ki so bili prekomerno izkoriščani ali se je njihova kvaliteta zmanjšala zaradi vdorov slane vode. Memorandum o sodelovanju v projektu je podpisalo 12 evropskih držav: Avstrija, Hrvaška, Francija, Nemčija, Grčija, Madžarska, Italija, Malta, Portugalska, Slovenija, Španija in Turčija, pridružili pa so se še posamezni eksperti iz Izraela. Na ta način je bil praktično pokrit celoten evropski del Sredozemlja kot območja, v katerem imajo obalni kraški vodonosniki izredno velik pomen.

Obalni kraški vodonosniki v Sloveniji

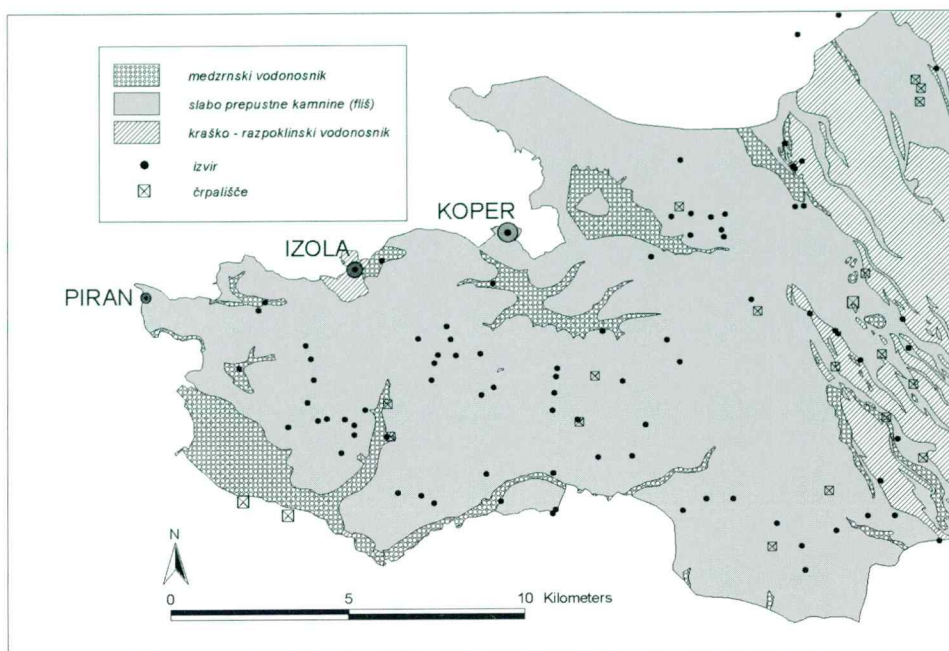
V prvi fazi projekta so bili zbrani podatki o najpomembnejših obalnih kraških vodo-

nosnikih v južni Evropi, ki bodo predstavljeni v posebni publikaciji. Od slovenskih bosta v Atlas vključena Kras (Sl. 1) in Obala (Sl. 2). Vodonosnik Krasa v jugozahodni Sloveniji je območje klasičnega krasa, ki je dalo tudi ime mednarodnemu terminu »kras« ali »karst«. Hidrogeološko enotno območje s površino okrog 500 km² je politično razdeljeno med dve državi. Večji del vodonosnika je v Sloveniji, celotna obala s številnimi izviri pa je v Italiji. Osrednji del je zgrajen iz krednih apnencev in deloma dolomitov z debelino več kot 1000 m. Obdajajo ga paleoceno-eocenski apnenci, ki prehajajo v zelo slabo prepustne flišne kamnine eocenske starosti. Apnenci so zakraseli in dobro prepustni, nekoliko manj prepusten dolomit pa ima lahko vlogo relativnega izolatorja. Fliš je hidrogeološka pregrada, ki obdaja kraški vodonosnik (Novak, 1993).

Podzemni tok je usmerjen proti izvirom v Tržaškem zalivu, med katerimi so največji izviri Timave ($Q = 7,4 - 158 \text{ m}^3/\text{s}$). Najpomembnejši vir napajanja je primarna infiltracija padavin, pomemben delež pa ima tudi reka Reka ($Q = 0,18 - 387 \text{ m}^3/\text{s}$), ki ponika v Škocjanskih jamah. Dodatno se vodonosnik napaja s ponikanjem še nekaterih površinskih tokov (Soča, Vipava, Raša, potoki pri Saječah in Dolenji vasi). Vse omenjene povezave so bile dokazane s sledilnimi po-



Sl. 1: Hidrogeološka karta Krasa



Sl. 2: Hidrogeološka karta Obale

izkusi, pri katerih so bile ob različnih hidroloških pogojih ugotovljene navidezne hitrosti podzemnega pretakanja med 25 in 300 m/h. (Civita et al., 1995)

Slovenska obala je praktično v celoti pokrita z eocenskim flišem, paleocensko-eocenski apnenci pa izdajajo le na majhnem območju pri Izoli (Pleničar et al., 1969). Fliš obdajajo na severovzhodni strani apnenci, ki gradijo površje pri Črnem Kalu, na Slavniku in v okolici Movraža, na južni strani pa karbonatne kamnine Istre. Posamezne vrtnice, ki so bile zavrtane v fliš, so potrdile spodaj ležeče paleocenske in kredne apnenice (Marinko & Veselič, 1990; Marinko, 1999). Fliš je praktično neprepusten v vertikalni smeri, nekaj manjših izvirov s pretoki do 1 l/s pa je vezanih na debelejšje plasti peščenjaka oziroma kalkarenita. Vsi večji izviri s skupnim pretokom preko 0,5 m³/s ob nizkih vodostajih se pojavljajo na stiku apnenca in fliša. Za izvire je značilen kraški hidrološki režim z velikimi oscilacijami pretokov. Pri Izoli ni večjih izvirov, meteorna in podzemna voda pa sta speljani v mestni drenažni sistem ali se prosto iztekata v morje. Celotni tok poleti je ocenjen na 40 l/s. Apnenci na površini, ki izdajajo na območju Izole, pokrivajo okrog 1 km². Večina

območja je urbanizirana, zato je napajanje s padavinami majhno, vsi občasni izviri iz fliša pa so speljani v betonske kanale in drenažni sistem. Kraški vodonosnik pri Izoli je torej verjetno hidravlično povezan s prej omejenimi obsežnimi kraškimi območji, oddaljenimi več kot 15 km.

Karakterizacija delovanja obalnega kraškega vodonosnika

Glavna pozornost je bila v projektu posvečena raziskovalnim metodam, ki jih uporabljamo za karakterizacijo delovanja obalnih kraških vodonosnikov. Po literaturi smo najprej izdelali pregled zakonov, ki definirajo ravnotežje med sladko in slano vodo v različnih tipih vodonosnika. Čeprav obstajajo številni teoretični zakoni, pa ostaja še veliko neznank predvsem v zvezi s hidrodinamičnim delovanjem obalnih kraških vodonosnikov. Predvsem zaradi heterogenosti kraških sistemov ter težav pri določanju 3D geometrije kraške drenažne mreže in prostorske razporeditve hidrodinamičnih parametrov. Opisane so bile osnovne metode merjenj, s katerimi je možno pridobiti potrebne informacije o hidravličnih značilnostih ter o

prostorski in časovni razporeditvi prehodne cone med sladko in slano vodo. V pregledu je predstavljeno tudi delo slovenskih raziskovalcev (Kuščer, 1950; Breznik, 1973, 1978; Krivic, 1982; Drogue et al., 1984).

Vedno večji pomen ima uporaba naravnih sledil kot raziskovalne metode za razumevanje izvora in evolucije komponent sladke in slane vode. Ugotovljeno je bilo, da v hidrogeologiji splošno privzete kemične in izotopske metode niso vedno primerne za študij vdora slane vode v obalne kraške vodonosnike. Zelo pomemben je način vzorčevanja (krajeno – po površini in globini, časovna razporeditev) vode obalnega kraškega vodonosnika in sladke vode v zaledju, vključno s padavinami. Za prepoznavanje območja napajanja uporabljamo hidrochemične in topografske podatke, bilance, izotopsko sestavo in sledilne poskuse. Spremljanje sestave kraške vode (kjer je možno mešanje s slano vodo) v daljšem časovnem obdobju pokaže na pomembnejše dotoke in dinamiko mešanja vstopajočih komponent, kar daje tudi vpogled v razvoj takega vodonosnika.

Še posebej v sredozemskih državah so obalni kraški vodonosniki zelo pomemben vir za vodooskrbo, zaradi opisanih značilnosti pa se velike težave pojavljajo pri njihovem izkoriščanju. Problem predstavljajo nedostopnost virov (npr. podmorski izviri), njihova premajhna izdatnost in zaslanjevanje, ki je pogosto povezano z nepravilnim izkoriščanjem. Reševanja teh težav se lotevajo s postavljanjem različnih zajemnih konstrukcij in predpisovanjem ustreznega načina eksploatacije, te aktivnosti pa so lahko uspešne le, če temeljijo na predhodno izdelani rekonstrukciji delovanja obalnega kraškega vodonosnika. Pomembna spremljajoča metoda je monitoring, ki vključuje tako zbiranje podatkov v predhodni fazi raziskav kot tudi vzporedni nadzor delovanja sistema za izkoriščanje vodnega vira. S tema dvema sklopoma raziskovalnih metod se je v drugi fazi projekta ukvarjala delovna skupina, v kateri smo sodelovali R. Biondić, N. Doerfliger, M.D. Fidelibus, I. Futo, A. Panagopoulos, V. Perleros in M. Petrič. V tej fazi smo namreč na osnovi rezultatov prvega dela projekta pripravili smernice za gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki. Izpostavljene so bile značilnosti obalnih kraških vodonosnikov in podana priporočila za njihovo izkoriščanje,

omenjena skupina pa je pripravila pregled raziskovalnih metod za karakterizacijo delovanja obalnih kraških vodonosnikov in osnovne smernice za izvajanje monitoringa v teh sistemih.

Delovanje obalnih kraških vodonosnikov je zaradi heterogenosti sistema kompleksno, za njegovo rekonstrukcijo pa uporabljamo različne raziskovalne metode. Njihov opis smo razdelili v 4 stopnje. Prvo predstavlja zbiranje že obstoječih podatkov. Čeprav so verjetno omejeni le na določena območja in posamezne parametre, pa dajo zelo pomembno informacijo o hidrodinamičnem in hidrochemičnem razvoju sistema in s tem omogočajo oceno spreminjanja razmer s časom. Sledi opis zaledja s ciljem določiti njegov obseg in strukturo ter značilnosti območij napajanja in praznjenja. Na osnovi geoloških podatkov lahko ocenimo položaj meje vodonosnika in osnovne strukturne značilnosti. Dodatne informacije lahko pridobimo z uporabo geofizikalnih metod ali neposrednih opazovanj v jamah ali vrtinah, merjenjem količin napajanja in praznjenja ter različnimi hidrogeološkimi analizami zbranih podatkov, vendar pa so zaradi heterogenosti kraških vodonosnikov te ocene dokaj nezanesljive. Pri obalnih kraških vodonosnikih je zaradi vpliva na oblikovanje globokih kraških kanalov in sprememb položaja obmorskih virov in njihovega zaledja pomemben tudi podatek o spreminjanju gladine morja skozi geološko zgodovino. Za opis vodonosnikov kot vodnih virov moramo izdelati popis značilnosti virov na kopnem in v morju, vodnjakov, vrtin ali zajetij. Pomembna dodatna metoda za oceno obsega zaledja je vodna bilanca, pri kateri za določeno daljše časovno obdobje primerjamo količino infiltrirane vode z iztokom iz vodonosnika. Pretoke, alogeno napajanje in koncentriran površinski odtok lahko merimo, pri oceni efektivne infiltracije kot avtigenega napajanja pa moramo poleg padavin kot vira vode upoštevati še vpliv intercepcije na vegetacijskem pokrovu, snežnih padavin in taljenja snega, evapotranspiracije, uskladiščenja vode v tleh in površinskega odtoka. Obseg zaledja določimo tako, da je ob upoštevanju principa ohranitve mase doseženo ravnotežje med napajanjem, praznjenjem in uskladiščenjem v kraškem vodonosnem sistemu. Bolj natančne informacije o položaju meja pa nam dajo sledilni poskusi z umetnimi ali naravnimi

sledili, s katerimi lahko potrdimo povezave med območji napajanja in točkami iztoka iz vodonosnikov.

Osrednji del raziskave vključuje različne metode za rekonstrukcijo hidrodinamičnega delovanja obalnih kraških vodonosnikov. V lokalnem merilu lahko v območjih naravnega iztoka iz vodonosnika (obalni in podmorski izviri) potrebne podatke pridobimo z merjenjem različnih parametrov. Dodatne informacije o sistemu nam dajo črpalni in nalivalni poizkusi. Zaradi heterogenosti v vertikalni razporeditvi prepustnosti je pri teh testih priporočljiva tudi uporaba pakerv. Zanimiva je ocena vpliva plimovanja na pretoke izvirov ali nihanje nivoja podzemne vode. Z interpretacijo zbranih podatkov lahko določimo območja napajanja, izvor, sestavo in starost podzemne vode, prednostne tokovne poti, prisotnost slane vode, časovno in prostorsko razporeditev cone slane vode ter debelino in geometrijo prehodne cone med sladko in slano vodo. V regionalnem merilu lahko v statistično izbranih reprezentativnih točkah merimo izbrane parametre ali pa uporabimo prostorsko snemanje hidrogeoloških značilnosti z geofizikalnimi metodami. Na ta način lahko pridobimo informacije o območju napajanja, razporeditvi slane vode, diskontinuitetah, tokovnem polju, debelini vodonosnika in položaju vodnih teles.

Za simulacijo časovnih serij oz. napovedovanje pretokov izvirov, njihove temperature in prevodnosti ali pa za časovno-prostorsko simulacijo toka podzemne vode in fizikalno-kemičnih parametrov so bile razvite različne metode numerične obdelave podatkov. Globalni pristop ali metode črne skrinjice temeljijo na primerjavi časovnih serij vhodnih in izhodnih podatkov. Vključujejo različne statistične analize (korelacija, funkcije transferja, hidrogram enote). Za uporabo diskretnega pristopa pa potrebujemo podatke o geometriji in hidrodinamičnih parametrih sistema in sicer lahko glede na razpoložljivost podatkov in tip vodonosnika uporabljamo različne modele.

Monitoring obalnih kraških vodonosnikov

Ista delovna skupina je pripravila tudi smernice za monitoring obalnih kraških vodonosnikov. To pomembno orodje omogoča

karakterizacijo vodonosnega sistema in daje potrebne informacije za načrtovanje primerljivih lokacij ter ustreznega načina izkoriščanja in varovanja vodnih virov. Kakovostna postavitev mreže opazovanj je povezana tudi s poznavanjem delovanja vodonosnega sistema, kar kaže na prepletanje monitoringa z raziskavami, predstavljenimi v prejšnjem poglavju.

Osnovne značilnosti monitoringa se ločijo glede na dostopnost vira. Dostopne točke so v območju praznjenja ali v območju napajanja in sicer izviri, reke, kaptažni vodnjaki ali vrtine, opazovalne vrtine, območja umetnega napajanja ali postaje za merjenje padavin, evapotranspiracije, infiltracije in odтока. Kjer vodne točke niso neposredno dostopne, so v uporabi posredne metode in sicer geofizikalne metode, daljinsko zaznavanje in podmorsko raziskovanje.

Elementi monitoringa predstavljajo merjene parametre. Eden pomembnejših ciljev je kontrola kakovosti vode v vseh podsistemih hidrološkega cikla: v padavinah, površinski in podzemni vod ter podmorskih izviri. Osnovni meteorološki parameter so kot glavni vir napajanja padavine (tudi snežne). Temperatura in vlažnost zraka, hitrost vetra in osončenost vplivajo na izgubo vode z evapotranspiracijo. Za oceno površinskega odтока (predvsem reke) kot ene izmed osnovnih hidroloških značilnosti so v uporabi različne metode. Običajno so pretoki izračunani na osnovi spremljanja nihanja gladine rek, spreminjanje nivoja pa je pomembno tudi za oceno hidroloških razmer v jezerih. Iztok iz kraških vodonosnikov je kontroliran z merjenjem naravnega iztoka skozi izvire ali difuznega iztoka. Pomembno dodatno informacijo o sistemu podzemne vode lahko pridobimo tudi z merjenjem nivoja vode v vrtinah, vodnjakih ali kraških jamah. Odvzem vode v izviri ali z vrtinami, galerijami in drugimi zajemnimi objekti predstavlja pomembno zmanjšanje vodnih rezerv kraškega sistema, zato mora biti v monitoring vključeno tudi merjenje količine odvzema ter posledičnih znižanja nivoja podzemne vode in sprememb v kakovosti vode.

Monitoring lahko izvajamo v lokalnem ali regionalnem merilu. Pri prvem potekajo merjenja na terenu ali v laboratoriju, pri drugem pa satelitsko in letalsko, več lokaliziranih skupin opazovalnih točk pa lahko povežemo v reprezentativno mrežo za spremljanje zna-

čilnosti obalnih kraških vodonosnikov v regionalnem merilu.

Pri načrtovanju monitoringa moramo najprej definirati problem, nato izdelati načrt meritev in končno še program njegovega izvajanja. Z definicijo problema opredelimo potrebe po monitoringu. Najprej izpostavimo osnovne hidrogeološke značilnosti obalnega kraškega vodonosnika ter problem, zaradi katerega je monitoring potreben. Glede na rabo vode izpostavimo občutljiva območja v sedanjosti in prihodnosti. Že v začetku moramo upoštevati tudi finančno oceno in zakonske okvire. Na osnovi zbranih informacij lahko sestavimo prednostne liste monitoringa.

V načrtu poteka določimo kaj, kje, kako in kdaj opazovati ter merilo opazovanja. Določimo tudi neko časovno obdobje, v katerem bomo ponovno preverjali ustreznost načrta in ga po potrebi ustrezno prilagodili. Poleg tega moramo izbrati izvajalce in določiti načine za zagotovitev neoporečnosti monitoringa.

Pred začetkom izvajanja monitoringa moramo na osnovi prej opisanega načrta izdelati organizacijsko shemo, ki vključuje informacije o trajanju programa ter načinih pridobivanja, preverjanja, arhiviranja, obdelave in interpretacije podatkov. Določimo tudi pogostnost obdelave podatkov in kritične nivoje (na osnovi določitve kritične vrednosti parametrov), pri katerih je potrebno ustrezno ukrepanje. Izdelan mora biti sistem objavljanja in širjenja rezultatov ter izračunani in razdeljeni stroški monitoringa.

Sklep

Rezultati projekta bodo zbrani v končnem poročilu akcije COST 621, ki bo kot samostojna publikacija tiskano v letu 2003. V uvodu bo kratek povzetek o zgodovini predloga projekta, vsebini memoranduma o sodelovanju in strukturi akcije. Drugi del bo sestavljen iz poročil delovnih skupin, v tretjem

pa bodo predstavljena priporočila za gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki. Praktična uporaba teoretičnih izhodišč bo v četrtem delu prikazana s primeri opravljenih raziskav na izbranih študijskih poligonih.

Tretje poglavje s priporočili bo izšlo tudi kot posebna knjižica. Ker je eden izmed pomembnejših ciljev akcije razširjanje znanja, potrebne za ustrezno gospodarjenje z obalnimi kraškimi vodonosniki, bodo knjižice razdeljene vsem, ki jih ta problematika zanima. V Sloveniji se lahko zainteresirani obrnejo na avtorje tega članka.

Literatura

Breznik, M., 1973: Nastanek zaslanjenih kraških izvirov in njihova sanacija (The Origin of Brackish Karstic Springs and Their Development). – *Geologija*, 16, 83–186, Ljubljana.

Breznik, M., 1978: Mechanism and Development of Brackish Spring Almyros Iraklion. – *Ann. Geol. des Pays Hell.*, 29–46, Athens.

Civita, M., Cucchi, F., Garavoglia, S., Maranzana, F. & Vigna, B., 1995: The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected. – *Acta Carsologica, International Symposium Man on Karst, SAZU*, 24, 169–186, Ljubljana.

Droge, C., Razack, M. & Krivic, P., 1984: Survey of a Coastal Karstic Aquifer by Analysis of the Effect of the Sea-tide: Example of the Krás of Slovenia, Yugoslavia. – *Environ. Geol. Water Sci.*, 6, 103–109, New York.

Krivic, P., 1982: Transmission des ondes de marée a travers l'aquifère côtier de Krás (Razširjanje valov plimovanja skozi obalni vodonosnik Krása). – *Geologija*, 25/2, 309–325, Ljubljana.

Kuščer, I.: 1950: Kraški izviri ob morski obali. – *Dissertationes Academia Scientiarum et Artium Slovenica Classis III I*: 97–147, Ljubljana.

Marinko, M. & Veselič, M., 1990: Študij dinamičnega ravnovesja sladke in morske vode v obalnem apnencu pri Izoli. – *Geološki zavod Slovenije*, Interno poročilo.

Marinko, M., 1999: Poročilo o opravljenih delih na vrtni DR-1 v Izoli. – *Geološki zavod Slovenije*, Interno poročilo.

Novak, D., 1993: Avtocesta Razdrto-Divača-Sežana in njen vpliv na podzemeljske vode na Krasu. – *Geologija* 35, 329–336, Ljubljana.

Pleničar, M., Polšak, A. & Šikič, D., 1969: Osnovna geološka karta SFRJ, list Trst, 1:100.000. – *Zvezni geološki zavod, Beograd*.