



Ocena potrebnih količin podzemnih voda za ohranjanje ekosistemov in doseganje dobrega ekološkega stanja površinskih voda

The assessment of the required groundwater quantity for the conservation of ecosystems and the achievement of a good ecological status of surface waters

Mitja JANŽA¹, Dejan ŠRAM¹, Kim MEZGA¹, Mišo ANDJELOV² & Jože UHAN²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija;
e-mail: mitja.janza@geo-zs.si, dejan.sram@geo-zs.si, kim.mezga@geo-zs.si

²Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija;
e-mail: miso.andjelov@gov.si, joze.uhan@gov.si

Prejeto / Received 21. 10. 2016; Sprejeto / Accepted 23. 11. 2016; Objavljeno na spletu / Published online 23. 12. 2016

Ključne besede: ekosistemi, odvisni od podzemne vode, vodno telo podzemne vode, vodno telo površinske vode, razpoložljivost podzemne vode, upravljanje s podzemno vodo

Key words: groundwater dependent ecosystems, groundwater body, surface water body, groundwater availability, groundwater management

Izvleček

Določitev razpoložljivih količin podzemnih voda je osnovnega pomena za njihovo trajnostno rabo. Sodobni pristopi ocene razpoložljivosti podzemnih voda celovito obravnavajo posledice odzvemov podzemne vode, vključno z vplivi na ekosisteme in ekološko stanje površinskih voda. Vodno telo podzemne vode je v dobrem količinskem stanju, če odzemi podzemne vode ne povzročajo pomembnih poškodb ekosistemov, odvisnih od podzemne vode, in ne slabšajo ekološkega stanja površinskih voda. V članku predstavljeno metodologijo smo razvili kot sestavni del ocene količinskega stanja vodnih teles podzemne vode v Sloveniji in je prilagojena lastnostim obravnavanih ekosistemov ter hidrološkim in hidrogeološkim značilnostim slovenskega ozemlja. Uporabili smo dva različna pristopa ocene potrebnih količin podzemnih voda za ohranjanje gozdnih habitatov na aluvialnih vodonosnikih in habitatov dvoživk ter mehkužcev na kraških območjih. Oceno smo izvedli na ravni vodnih teles podzemne vode in letnih povprečij časovnih spremenljivk vodne bilance, izračunanih z regionalnim vodnobilančnim modelom GROWA-SI. Na območjih vodnih teles podzemne vode, kjer so prisotni obravnavani ekosistemi, znaša ta količina od 0,1 % do 12,4 % obnovljivih količin podzemnih voda. Ocenjeni delež letnih obnovljivih količin podzemnih voda, potrebnih za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda je za celotno območje Slovenije 23,2 %. Največji delež je na območju severovzhodne Slovenije, kjer dosega 30 %, najmanjši pa v vzhodnih Alpah, Karavankah in Kamniško-Savinjskih Alpah s 16,6 % povprečnih letnih obnovljivih količin.

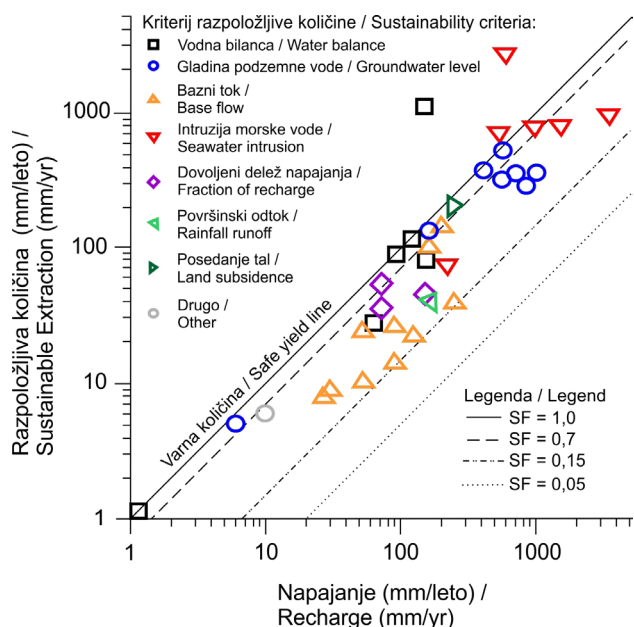
Abstract

Assessment of the available quantity of groundwater is of essential importance for its sustainable use. Modern approaches for estimation of groundwater availability take into account all potential impacts of abstractions, including impacts on groundwater dependent ecosystems and impacts on surface waters ecological status. Groundwater body is in good quantitative status if groundwater abstractions do not cause significant damages to groundwater dependent ecosystems and significant diminution in the ecological status of surface water bodies. The methodology presented in this paper was developed as an integral part of the assessment of the quantitative status of groundwater bodies in Slovenia and is tailored to the characteristics of the groundwater dependent ecosystems as well as hydrological and hydrogeological conditions in the Slovenian territory. Two different approaches were implemented; for forest habitats on alluvial aquifers, and habitats of amphibians and molluscs in karst areas. Estimates of the required quantity of groundwater for groundwater dependent ecosystems conservation were performed at the level of groundwater bodies and annual averages of temporal variables of the water balance, calculated with the regional water balance model GROWA-SI. In the areas of groundwater bodies with groundwater dependent ecosystems estimated quantity present 0.1 % - 12.4 % of the groundwater recharge. The estimated share of annual renewable quantity of groundwater to maintain the ecological status of surface waters for the entire territory of Slovenia is 23.2 %. The largest share, 30 % is in north-eastern Slovenia and the lowest in the north-west part of Slovenia with a 16.6 % average annual renewable quantity.

Uvod

Trajnostna raba vodnih virov podzemnih voda zahteva poznavanje njihovih razpoložljivih količin. Prve metode določitve razpoložljivih količin podzemnih voda, ki so poenostavljeno enačile napajanje z razpoložljivimi količinami, so se pojavile v štiridesetih letih prejšnjega stoletja. Kljub številnim, tudi zgodnjim kritikam (THEIS, 1940; BROWN, 1963; BREDEHOEFT et al., 1982), je ostal ta koncept določanja razpoložljivih količin podzemnih voda dolgo in pogosto v uporabi.

Bistvena pomanjkljivost omenjenega koncepta je njegova omejenost na del naravnega oziroma hidrološkega sistema, ki ga obravnava ločeno brez upoštevanja medsebojnega vpliva povezanih delov sistema ali podsistemov. Dejstvo, da z odvzemom podzemne vode porušimo naravno uravnoteženo stanje, je pri tem povsem spregledano. Novo ravnotežje se lahko vzpostavi z večjim napajanjem, zmanjšanim odtokom ali spremenjeno količino podzemne vode v vodonosniku. Posledično se lahko vpliv odvzema prenese na povezane sisteme (npr. površinske vode, ekosisteme). Koncept, ki uporablja za določitev razpoložljivih količin podzemnih voda zgolj naravno vodno bilanco, brez upoštevanja drugih vplivov odvzemov, se v literaturi pogosto označuje kot »vodnobilančni mit« (BREDEHOEFT et al., 1982).



Sl. 1. Ocene razpoložljivih količin podzemnih voda in napajanja vodonosnikov (prirejeno po SMITH et al., 2010). SF označuje razmerje med razpoložljivo količino podzemne vode in napajanjem vodonosnika.

Fig. 1. Estimates of sustainable groundwater extraction and groundwater recharge (adapted after SMITH et al., 2010). SF denotes the ratio between sustainable groundwater extraction and groundwater recharge.

Zgoraj navedeno pomanjkljivost potrjuje skupna analiza razmerij med razpoložljivo količino podzemne vode (R) in napajanjem vodonosnikov (N), izdelana na osnovi dvaintridesetih študij, izvedenih v Jordaniji, Avstraliji, Tajvanu, ZDA, Severni Koreji, Danski, Namibiji, Kitajski, Angliji, Indiji, Turčiji, Izraelu, Iranu in Grčiji (SMITH et al., 2010). Razmerje, ki so ga opredelili kot »trajnostni faktor vodonosnika« ($SF=R/N$), je bilo v omenjenih študijah v razponu med 0,15 in 1 (sl. 1). Največje vrednosti SF (okrog 1) so ocene, ki temeljijo na enostavnem vodnobilančnem konceptu. Brez upoštevanja teh ocen je večina preostalih vrednosti SF v razponu med 0,15 in 0,85.

Sodobni pristopi ocene razpoložljivosti podzemnih voda so celovitejši in upoštevajo različne vplive in posledice odvzemov podzemne vode, kot na primer vdore slane ali onesnažene vode, vplive na površinske vode ali ekosisteme ter v določenih primerih tudi ekonomske in socialne omejitve (ZHOU, 2009), ter kulturne in politične (MACE et al., 2001). ZHOU (2009) ugotavlja, da razpoložljivosti podzemnih voda ni moč opredeliti zgolj kot vrednost, izračunano iz bilančne enačbe, temveč zahteva oceno dinamičnega odziva podzemne vode na odvzem in kakšne okoljske in družbene posledice le-ta povzroči. Pri tem izpostavlja numerične modele kot najprimernejše orodje za simulacijo scenarijev vplivov predlaganih odvzemov in vlogo deležnikov pri opredelitvi ter vrednotenju scenarijev in njihovih rezultatov.

Primernost uporabe dinamičnih numeričnih modelov za oceno razpoložljivosti podzemnih voda na ravni vodonosnikov je nesporna. V Sloveniji uporabljamo rezultate numeričnega modeliranja na količinsko najbolj obremenjenih aluvialnih vodonosnikih v Ekspertnem sistemu odločanja pri upravljanju podzemnih voda (SOUVENT et al., 2014). Na regionalni ravni pa je njihova uporabnost zaradi pomanjkanja podatkov in zahtevnosti modeliranja velikih območij pogosto omejena. Razen redkih izjem, kot je na primer Danska (HENRIKSEN et al., 2008), za oceno razpoložljivosti podzemnih voda na ravni države, namesto modeliranja hidroloških procesov uporabljajo enostavnejše pristope.

Po definiciji okvirne direktive o vodah (DIREKTIVA, 2000) določa razpoložljivo količino podzemnih voda dolgoročno povprečna letna stopnja količinskega obnavljanja, ki je zmanjšana za

dolgoročni letni pretok, potreben za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda in kopenskih ekosistemov, ki so z njim povezani.

Direktiva izpostavlja pri oceni količinskega stanja podzemnih voda gladino podzemne vode kot glavni parameter, ki omogoča ugotavljanje vplivov in dolgoročnih trendov. Vendar hkrati opozarja, da ni zadosten parameter za celovito oceno količinskega stanja. Dobro količinsko stanje vodnega telesa podzemne vode dosežemo, ko odvzemi podzemnih voda (EUROPEAN COMMISSION, 2009):

- ne presegajo razpoložljivih količin podzemnih voda,
- ne povzročajo pomembnih neugodnih sprememb kemijskega ali ekološkega stanja v povezanih površinskih vodah,
- ne povzročajo pomembnih poškodb kopenskih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode,
- ne povzročajo vdorov slane vode.

Nacionalne ocene količinskega stanja podzemnih voda temeljijo na konceptu štirih razvrstitvenih preizkusov (ARSO, 2009). Najnovejšo oceno količinskega stanja podzemnih voda za Načrt upravljanja voda 2015 – 2021 v Sloveniji so izdelali na sektorju za hidrogeološke analize Agencije RS za okolje (ANDJELOV et al., 2016).

V članku je predstavljena ocena količin podzemnih voda za ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemne vode (EOPV), in doseganje dobrega ekološkega stanja površinskih voda. Predstavlja metodološko nadgradnjo ocene, izdelane v okviru Načrta upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021 (MOP, 2016) kot sestavni del ocene količinskega stanja vodnih teles podzemnih voda v Sloveniji.

Ekosistemi, odvisni od podzemne vode (EOPV)

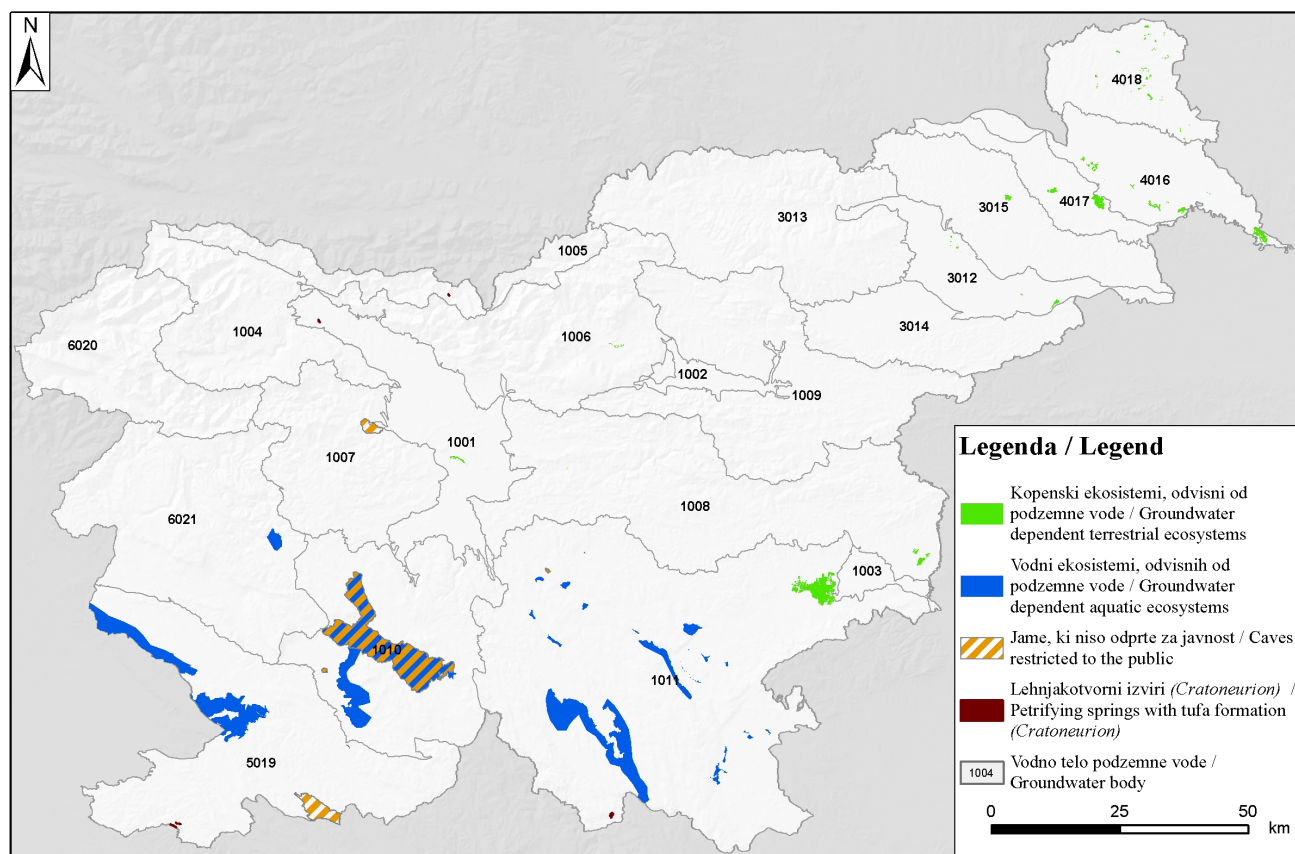
EOPV vključujejo ekosisteme v podzemnih vodah, kopenske ekosisteme, odvisne od podzemne vode in vodne ekosisteme v površinskih vodah, odvisne od podzemne vode (INTERNET1). Zahtevajo stalen ali občasen stik s podzemnimi vodami; za ohranjanje skupnosti različnih živalskih in rastlinskih vrst, ekoloških procesov in ekosistemskih storitev (RICHARDSON et al., 2011). Posledično so dober indikator stanja vodnih

teles podzemnih voda in imajo pomembno vlogo pri ocenjevanju le-tega (ARSO, 2009; EUROPEAN COMMISSION, 2011).

V oceno količinskega stanja vodnih teles podzemnih voda smo vključili habitatne tipe, določene na osnovi podatkov Zavoda RS za varstvo narave (ZRSVN, 2014). Gre za kopenske (gozdni habitatni tipi) in vodne (habitati dvoživk in mehkužcev) EOPV na območju Nature 2000 (sl. 2), ki so glede na ekološko stanje ohranjenosti (ohranitev, izboljšanje in obnovitev) razvrščeni v ugodno ali neugodno stanje ohranjenosti. Ugodno stanje rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov je določeno na osnovi ekoloških potreb posameznih vrst in habitatnih tipov (URADNI LIST RS, 2004).

Razloge za neugodno stanje ohranjenosti EOPV lahko povezujemo z neugodnim kemijskim ali količinskim stanjem podzemnih voda (MEZGA et al., 2015; MEZGA et al., 2016). Slednji lahko v naravi povzročijo sušenje in odmiranje gozdnih habitatov (TOME, 2010; DREO, 2016) ali upad populacije vodnih EOPV (SKET, 1997; BULOG, 2012). Kadar EOPV ne dosega ugodnega stanja ohranjenosti glede na kazalce direktive o habitatih (DIREKTIVA, 1992) je le-ta pomembno poškodovan.

Habitatni tipi kopenskih EOPV na območju Nature 2000, ki smo jih v raziskavi obravnavali, so ilirski hrastovo-belogabrovi gozdovi (*Erythronio-Carpinion*), obrečni hrastovo-jesenovo-brestovi gozdovi (*Quercus robur*, *Ulmus laevis* in *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior* ali *Fraxinus angustifolia*) in obrečna vrbovja, jelševja in jesenovja (*Alnus glutinosa* in *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)), ki so pretežno na rečnih ravninah v severovzhodnem in vzhodnem delu Slovenije. Habitatne tipe vodnih EOPV, dvoživke (*Proteus anguinus* ali človeška ribica ali močeril oziroma *Proteus anguinus* parkelj) in mehkužce (školjka Kuščerjeva kongeria oziroma *Congeria kusceri*), najdemo na kraških območjih na južnem, jugozahodnem in jugovzhodnem delu Slovenije. Vodne habitatne tipe jam, ki niso dostopni javnosti in lehnjakotvorne izvire (*Cratoneurion*) najdemo na območju klasičnega Dinarskega, Visokega, Visokogorskega in Plitvega krasa (sl. 2). Zaradi pomanjkanja podatkov, slednjih dveh v oceni nismo upoštevali.



Sl. 2. Območja ekosistemov, odvisnih od podzemne vode na območju Nature 2000 (ZRSVN, 2014).

Fig. 2. Areas of groundwater dependent ecosystems in Natura 2000 area (ZRSVN, 2014).

Metodologija

Na podlagi značilnosti potreb EOPV po podzemni vodi smo območja habitatov obravnavanih EOPV razdelili v dve skupini in sicer:

- na gozdne habitate na območjih vodonosnikov z medzrnsko poroznostjo in
- na habitate dvoživk in mehkužcev na kraških območjih.

Oceno količin podzemnih voda potrebnih za ohranitev, izboljšanje ali obnovo rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov smo izvedli na ravni vodnih teles podzemnih voda in letnih povprečij časovnih spremenljivk vodne bilance. Izhodiščni podatki za oceno so komponente vodnobilančnega modela GROWA-SI (30) (ANDJELOV et al., 2013). Uporabili smo povprečne vrednosti za referenčno tridesetletno vodnobilančno obdobje 1981-2010.

Ocena za kopenske ekosisteme, odvisne od podzemne vode na aluvialnih vodonosnikih

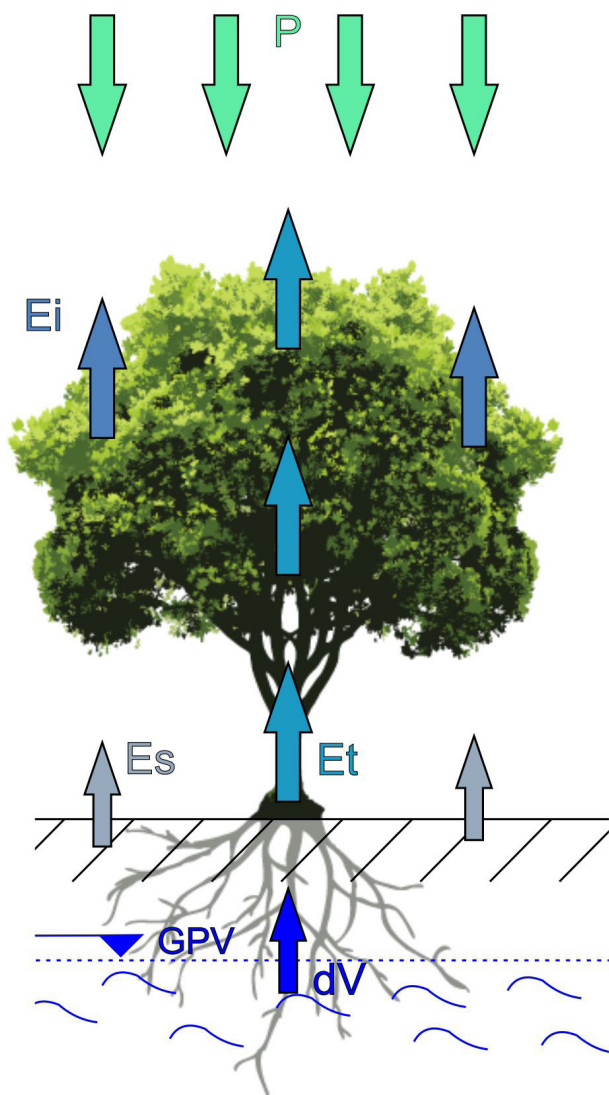
Za obravnavane kopenske EOPV (gozdove) so vir vode padavine in podzemna voda. V metodologiji smo privzeli, da gozdovi najprej porabijo razpoložljivo vodo iz padavin, preostalo potrebno količino vode pa nadomestijo s podzemno vodo.

Potrebe gozdov po vodi v vodni bilanci gozdnega hidrološkega kroga ustrezajo količini vode, ki jo rastje porabi in se vrača v atmosfero s transpiracijo (E_t) (TYREE, 1999). Vodnobilančni model GROWA omogoča zgolj izračun velikosti realne evapotranspiracije (ETR) kot vsote količine izhlapelih prestreženih padavin (E_i), dela prepuščenih padavin, ki izhlapijo iz tal (E_s) in transpiracije (E_t):

$$ETR(\text{GROWA-SI}) = E_i + E_t + E_s \text{ (mm/leto)}$$

Pri izračunu upošteva model kot vir vode za rastline zgolj padavine, zato je na območju gozdov, ki uporabljajo kot vir vode tudi podzemno vodo, izračunana količina ETR podcenjena. Za oceno tega deleža smo posredno, z upoštevanjem značilnosti vodne bilance gozdnega hidrološkega kroga (sl. 3) in razpoložljivih podatkov, ocenili deleže posameznih komponent ETR (GROWA-SI). Nato smo potrebe obravnavanih gozdnih habitatov po podzemni vodi (dV) izračunali kot razliko med oceno z modelom izračunane višine E_t in pričakovanimi potrebami gozdov po vodi na obravnavanih območjih.

Upoštevali smo, da je potreba gozdov po vodi 5000 m³/ha/leto oziroma 500 mm/leto. Ta ocena izhaja iz rezultatov preučevanja slovenskih nižinskih gozdov Murske šume in Krakovskega gozda, kjer so izmerili porabo vode odraslega sestojca v času vegetacijskega obdobja, z ocenjenim številom 100 dreves/ha, med 4800 in 5200 m³/ha/leto (ČATER, 2002; ČATER & LEVANIČ, osebna komunikacija). Primerljive ocene so podali tudi SUN et al. (2005).



Sl. 3. Gozdni hidrološki krog (prirejeno po ŠRAJ, 2003). P – Padavine, Et – Transpiracija, Ei – Izhlapele prestrežene padavine, Es – Padavine, ki izhlapijo iz tal, GPV – Gladina podzemne vode, dV – Podzemna voda za ohranjanje gozdnih habitatov, odvisnih od podzemne vode.

Fig. 3. Forest hydrological cycle (adapted after ŠRAJ, 2003). P – Precipitation, Et – Transpiration, Ei – Evaporated intercepted precipitation, Es – Precipitation evaporated from the ground, GPV – Groundwater table, dV – Groundwater for conservation of groundwater dependent forest habitats.

Na območju gozda navadno velik del padavin prestrežejo drevesne krošnje, manjši del pa jih pade skozi odprtine med krošnjami neposredno na tla. Količina prestreženih padavin (Ei) je odvisna od vegetacijskih in meteoroloških paramet-

rov (REJIC & SMOLEJ, 1988; ŠRAJ, 2003). V splošnem iglaste vrste dreves prestrezajo od 20 do 40 %, listnate pa od 20 do 25 % padavin (ŠRAJ, 2009).

Pri izračunu smo uporabili največji izmerjeni delež prestreženih padavin za listnate gozdove, 25 % padavin. Delež prepuščenih padavin, ki izhlapi iz tal (Es) je v gozdovih, kjer do tal prodre malo sončnega sevanja, skoraj zanemarljiv (ŠRAJ, 2009) in ga pri končnem izračunu nismo upoštevali.

Ocena velikosti transpiracije (Et), izračunane z modelom GROWA izhaja iz enačbe:

$$Et = ETR(GROWA-SI) - Ei - Es \text{ (mm/leto)}$$

ali

$$Et = ETR(GROWA-SI) - 0,25 \times P - 0 \text{ (mm/leto)}$$

V primerih, ko je Et manjša od 500 mm/leto, smo privzeli, da gozdovi nadomeščajo razliko s podzemno vodo:

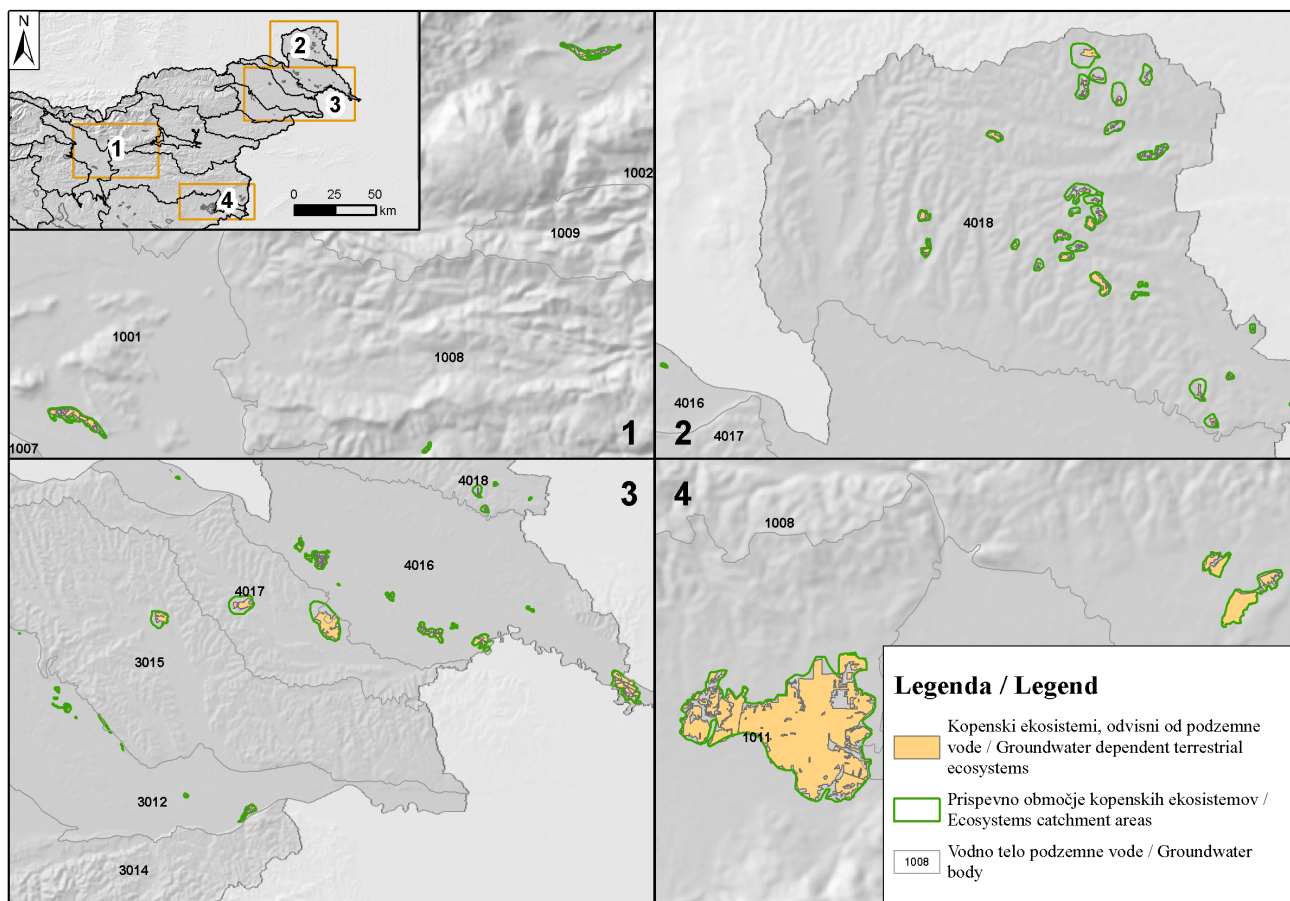
$$dV = Et - 500 \text{ (mm/leto)}$$

Ocenjeno potrebno količino obravnavanih gozdnih habitatov po podzemni vodi (dV) smo skupaj s konceptualnimi hidrogeološkimi modeli uporabili za določitev vplivnih območij gozdnih habitatov (sl. 4). Na teh območjih imajo odvzemi podzemne vode lahko vpliv na kopenske EOPV, kar je pomembno pri oceni količinskega stanja vodnega telesa podzemne vode, kakor tudi pri načrtovanju rabe podzemne vode.

Ocena za vodne ekosisteme, odvisne od podzemne vode na kraških območjih

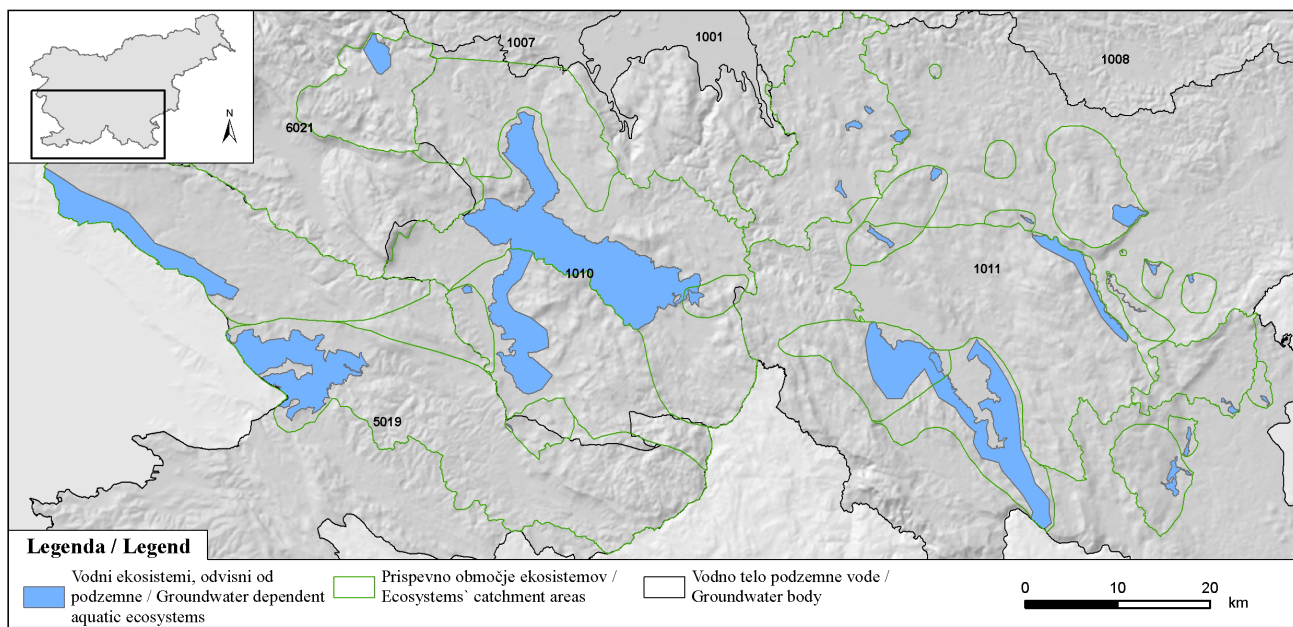
Vodni EOPV (človeške ribice in školjke) so vezani na podzemne tokove in na suhem ne preživijo. Zaradi specifičnih hidrogeoloških razmer ima način pretakanja podzemne vode na krasu pogosto značilnosti površinskih odtokov. Zato smo pri oceni količine vode, ki zagotavlja ohranjanje vodnih EOPV privzeli, da ta količina ustreza ekološko sprejemljivemu pretoku (Qes), in jo določili po analogiji določanja za površinske vode (Uradni list RS, 2009).

Za obravnavane vodne EOPV smo na podlagi poznavanja hidrogeoloških razmer (litološke zgradbe, orografskih značilnosti, vodovarstvenih območij, rezultatov sledilnih poskusov in mej vodonosnih sistemov podzemne vode) določili njihova prispevna območja (sl. 5).



Sl. 4. Območja kopenskih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode in njihova vplivna območja.

Fig. 4. Areas of groundwater dependent terrestrial ecosystems and their catchment areas.



Sl. 5. Območja vodnih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode in njihova prispevna območja.

Fig. 5. Areas of groundwater dependent aquatic ecosystems and their catchment areas.

Za ta območja smo s pomočjo podatkov o vodnih telesih površinske vode (MELJO et al., 2013) izračunali ekološko sprejemljive pretoke (Q_{es}). Ta pretok predstavlja delež celotnega odtoka iz prispevnega zaledja, ki je ocenjen z vodnobilančnim modelom GROWA-SI (ARSO, 2014). Zaradi že omenjene posebnosti toka podzemne vode

na kraških območjih in separacijskih možnosti modela smo obravnavali podzemni odtok kot vsoto modeliranega podzemnega in pripovršinskega odtoka. Tak pristop je realnejša ocena pretokov izvirov, kot zgolj uporaba napajanja vodonosnika oziroma podzemnega odtoka, ki predstavlja bazni del odtoka.

Ocena količine podzemne vode
za doseganje dobrega ekološkega stanja
površinskih voda

Rečni ekosistemi so pogojeni s topografijo in geologijo porečja, predvsem pa s spremenljivostjo pretočnega režima. Količino podzemne vode oziroma pretok, ki je potreben za ohranjanje dobrega ekološkega stanja površinskih vodnih teles, je zato potrebno ocenjevati ob upoštevanju sezonske spremenljivosti med poplavami in sušami ter ob upoštevanju spremenljivosti med suhimi in mokrimi hidrološkimi leti. Večina tovrstnih hidroloških metod temelji na analizi mesečnih podatkovnih nizov, kot npr. RVA (Range of Variability Approach) in ABF (Aquatic Base Flow) metode (RICHTER et al., 1997; EISELE et al., 2003), manj pogosti pa so pristopi ocenjevanja na letni ravni, ki je časovni okvir ocenjevanja količinskega stanja voda po okvirni direktivi o vodah. Za oceno pretoka, ki je potreben za ohranjanje dobrega ekološkega stanja površinskih voda na letni ravni smo uporabili nemški vodnobilančni pristop s scenarijem petih sušnih let v zadnjem tridesetletnem obdobju (SCH-

LÜTER, 2006). Po omenjenem pristopu se lahko taka ocena izpelje iz dvajsetega centila (P20) količine napajanja vodonosnikov v referenčnem tridesetletnem vodnobilančnem obdobju, kar predstavlja mejo slabih habitatnih rečnih pogojev in ki jo pogosto umeščajo v razpon med 10 in 30 % povprečnega letnega pretoka (TENNANT, 1976).

Ocena količin podzemnih voda, ki je v Sloveniji potrebna za ohranjanje dobrega ekološkega stanja površinskih voda, temelji na povprečju obnovljivih količin podzemnih voda petih najbolj sušnih let referenčnega obdobja (ANDJELOV et al., 2015). V obravnavanem referenčnem tridesetletnem vodnobilančnem obdobju 1981-2010 izstopajo sušna leta 1983, 1988, 2003, 2006 in 2007, ki predstavljajo povprečno sušno napajanje vodonosnikov GROWA-SI (05) (sl. 6). Razlika povprečne obnovljive količine podzemnih voda obdobja 1981-2010 (GROWA-SI (30)) in petletnega sušnega količinskega obnavljanja podzemnih voda (GROWA-SI (05)) predstavlja količino vode, potrebne za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda (MIKULČ et al., 2015).

Tabela 1. Ocenjene količine podzemnih voda za ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemne vode (EOPV).
Table 1. Estimates of groundwater quantity for groundwater dependent ecosystems (GDE) conservation.

Vodno telo podzemne vode / Groundwater body	Površina / Area (km ²)	GROWA-SI (30)	Količina podzemne vode potrebne za ohranjanje EOPV / Quantity of groundwater for GDE conservation		
		Napajanje / Recharge (mm/leto) / (mm/yr)	(mm/leto) / (mm/yr)	(m ³ /leto) / (m ³ /yr)	Delež napajanja / Recharge share (%)
1001 Savska kotlina in Ljubljansko Barje	774	393	1,5	1.127.989	0,4
1003 Krška kotlina	97	308	0,5	50.103	0,2
1006 Kamniško-Savinjske Alpe	1112	302	0,6	634.666	0,2
1007 Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko	850	346	0,2	187.130	0,1
1008 Posavsko hribovje do osrednje Sotle	1792	191	0,3	580.162	0,2
1010 Kraška Ljubljana	1307	403	50,0	65.336.015	12,4
1011 Dolenjski kras	3355	293	25,4	85.171.708	8,7
3012 Dravska kotlina	429	266	1,3	554.984	0,5
3015 Zahodne Slovenske gorice	756	93	0,2	176.701	0,3
4016 Murska kotlina	591	135	3,5	2.061.503	2,6
4017 Vzhodne Slovenske gorice	308	78	1,3	407.847	1,7
4018 Goričko	494	57	1,6	804.079	2,9
5019 Obala in Kras z Brkini	1589	259	31,6	50.247.517	12,2
6021 Goriška brda in Trnovsko-Banjska planota	1443	396	12,3	17.737.212	3,1

Rezultati in diskusija

Ocene količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV po posameznih vodnih telesih podzemne vode na območjih Nature 2000 so predstavljene v tabeli 1. Pri upravljanju z vodami se ta podatek pogosto obravnava kot ekološki odbitek. Razlika med obnovljivimi količinami podzemne vode oziroma napajanjem in ekološkim odbitkom je osnovni korak za določitev razpoložljivosti podzemne vode za nadaljnjo rabo.

Največji ekološki odbitek je na območjih vodnih teles podzemne vode Kraška Ljubljana ter Obala in Kras z Brkini, kjer znaša dobrih 12 % napajanja. Tako velike vrednosti lahko pripišemo dejstvu, da več kot 50 % površine obeh vodnih teles prekrivajo prispevna območja EOPV. Najmanjši ekološki odbitek na območjih vodnih teles, kjer so prisotni EOPV, je na območju vodnega telesa Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko in znaša 0,1 %.

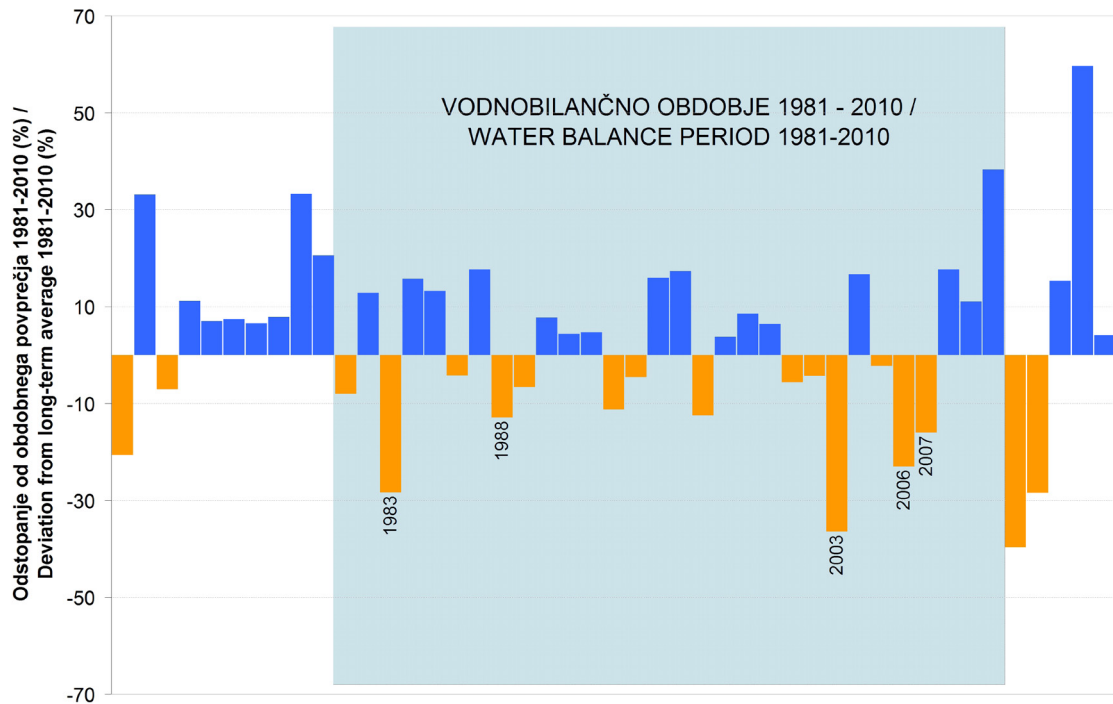
V oceni določena prispevna območja EOPV so v pomoč pri oceni količinskega stanja vodnih teles podzemne vode in omejujejo območja, na katerih imajo lahko odvzemi neugodni vpliv na stanje ohranjenosti EOPV na območjih Nature 2000, zato je tem območjem potrebno posvetiti posebno pozornost pri podeljevanju vodnih pravic.

Stanje ohranjenosti vrst in habitatnih tipov (ugodno ali neugodno) je lahko kazalec (dobrega ali slabega) količinskega stanja podzemnih voda. Predstavljena ocena količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV je povezana z določenimi negotovostmi. Trenutno je na razpolago malo podatkov o dejanskih potrebah obravnavanih habitatnih tipov po podzemni vodi. Po kriterijih poročanja okvirne direktive o vodah, omejenih podatkov in pomanjkljivega poznavanja razmer v ekosistemih ocenjujemo srednjo stopnjo zaupanja rezultatov ocene razpoložljivih količin podzemne vode, potrebne za ohranjanje ekosistemov (ANDJELOV et al., 2015).

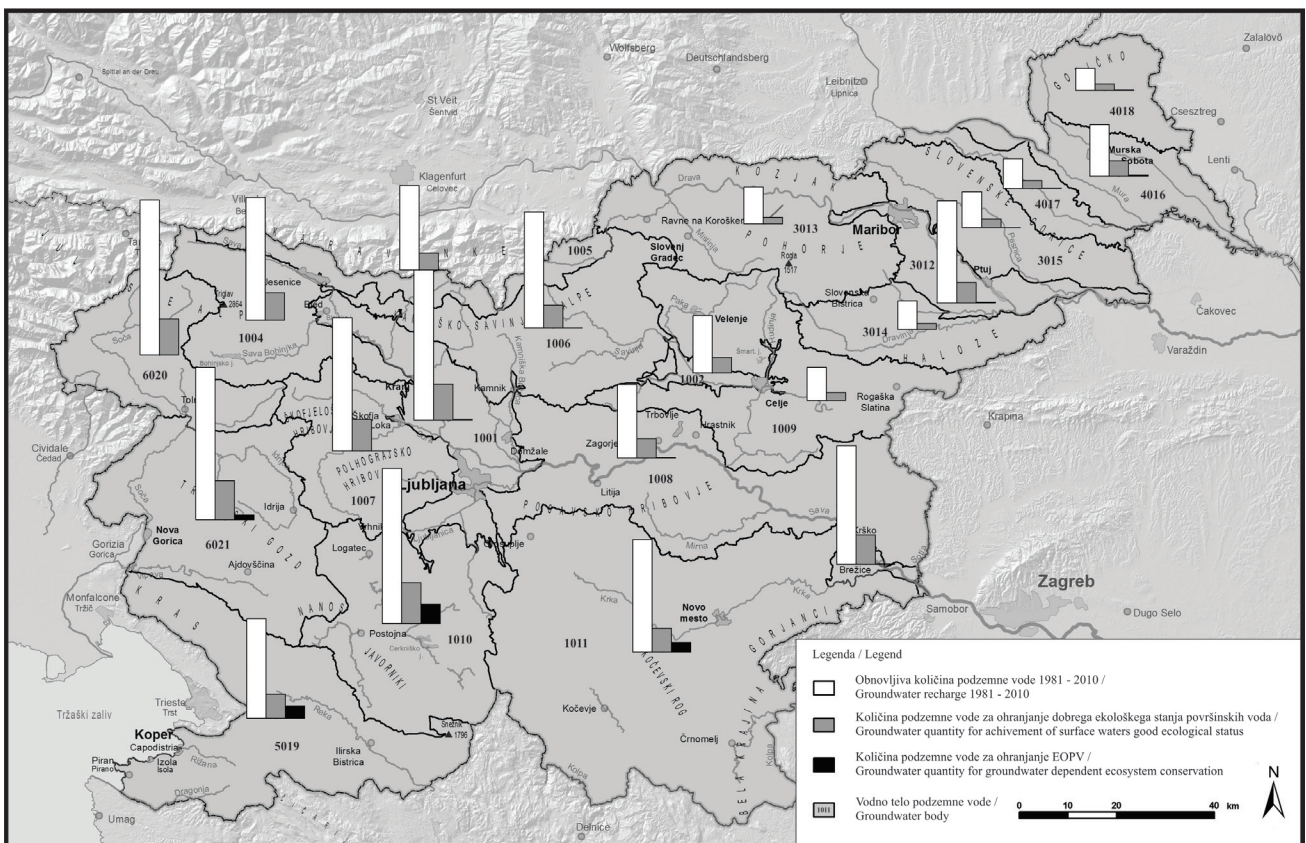
Tabela 2. Povprečje obnovljivih količin podzemnih voda v obdobju 1981-2010 GROWA-SI (30) in povprečje napajanja v petih najbolj sušnih letih 1983, 1988, 2003, 2006 in 2007 GROWA-SI (05).

Table 2. Average long-term renewable groundwater in the period 1981-2010 GROWA-SI (30) and average groundwater recharge by GROWA-SI (05) for the five most dry years 1983, 1988, 2003, 2006 in 2007 GROWA-SI (05).

Vodno telo podzemne / Groundwater body	GROWA-SI (30) Napajanje / Recharge		GROWA-SI (05) Napajanje / Recharge		(GROWA-SI (30) - GROWA-SI (05))/ GROWA-SI (30)
	(mm/leto) / (mm/yr)	(m ³ /s)	(mm/leto) / (mm/yr)	(m ³ /s)	(%)
1001 Savska kotlina in Ljubljansko Barje	393	9,65	299	7,34	23,9
1002 Savinjska kotlina	268	0,93	197	0,68	26,5
1003 Krška kotlina	308	0,94	232	0,71	24,9
1004 Julijske Alpe v porečju Save	573	14,22	445	11,06	22,2
1005 Karavanke	393	5,01	315	4,02	19,8
1006 Kamniško-Savinjske Alpe	302	10,64	242	8,55	19,7
1007 Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko	346	9,33	264	7,11	23,8
1008 Posavsko hribovje do osrednje Sotle	191	10,83	141	8,03	25,9
1009 Spodnji del Savinje do Sotle	155	6,86	119	5,26	23,3
1010 Kraška Ljubljana	403	16,68	297	12,30	26,2
1011 Dolenjski kras	293	31,13	231	24,51	21,3
3012 Dravska kotlina	266	3,61	213	2,89	20,0
3013 Vzhodne Alpe	171	6,89	143	5,75	16,6
3014 Haloze in Dravinjske gorice	135	2,54	107	2,02	20,6
3015 Zahodne Slovenske gorice	93	2,23	70	1,68	24,7
4016 Murska kotlina	135	2,53	95	1,78	29,6
4017 Vzhodne Slovenske gorice	78	0,76	57	0,56	26,5
4018 Goričko	57	0,89	40	0,62	29,5
5019 Obala in Kras z Brkini	259	13,00	196	9,82	24,5
6020 Julijske Alpe v porečju Soče	723	18,72	555	14,38	23,2
6021 Goriška brda in Trnovsko-Banjška planota	396	18,13	295	13,48	25,6
Slovenija	289	185,54	222	142,57	23,2



Sl. 6. Določitev petih najbolj sušnih hidroloških let v referenčnem obdobju za izračun napajanja vodonosnikov GROWA-SI (05).
 Fig. 6. Defining five most dry hydrological years in reference time period for calculating GROWA-SI (05) groundwater recharge.



Sl. 7. Ocena količin podzemnih voda za ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemne vode in doseganje dobrega ekološkega stanja površinskih voda.
 Fig. 7. Assessment of groundwater quantity for groundwater dependent ecosystems conservation and achievement of surface waters good ecological status.

Povprečje napajanja plitvih vodonosnikov v petih najbolj sušnih letih obdobja 1981-2010 GROWA-SI (05) nakazuje razpon od 40 mm/leto na Goričkem do 555 mm/leto v Julijskih Alpah v porečju Soče (sl. 7, tabela 2). V povprečju gre na ozemlju Slovenije za 222 mm/leto povprečnega petletnega količinskega obnavljanja, kar je v primerjavi z obnovljivo količino podzemnih voda referenčnega obdobja 1981-2010 GROWA-SI (30) le 76,8 %.

Delež letnih obnovljivih količin podzemnih voda za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda je za celotno območje Slovenije 23,2 %. Največji je ta delež na območju severovzhodne Slovenije, kjer dosega 30 %, najmanjši pa v vzhodnih Alpah, Karavankah in Kamniško-Savinjskih Alpah s 16,6 % povprečnih letnih obnovljivih količin. Za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda so potrebne letne količine podzemne vode v razponu od 17 mm/leto za vodno telo podzemne vode Goričko in do 128 mm/leto za vodno telo Julijske Alpe v porečju Save. Rezultati predstavljajo izhodiščno orientacijo potrebne količine podzemne vode za ohranjanje dobrega ekološkega stanja površinskih voda in omogočajo prvo oceno letnih razpoložljivih količin podzemne vode na nivoju vodnih teles podzemne vode.

Za analizo doseganja dobrega ekološkega stanja površinskih voda ocenjujemo, da je stopnja zaupanja srednja, saj analiza ne vključuje sezonske spremenljivosti napajanja vodonosnikov (ANDJELOV et al., 2015).

Zaključek

Predstavljena ocena količin podzemnih voda za ohranjanje EOPV in dobrega ekološkega stanja površinskih voda je prva tovrstna ocena na celotnem območju države. Izdelana je bila v okviru Načrta upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021 (NUV II) za namene ocene razpoložljivih količin podzemnih voda in količinskega stanja vodnih teles podzemne vode. Izhodiščni podatki za oceno so rezultati vodnobilančnega modela GROWA-SI (30) (ANDJELOV et al., 2013) in opredeljena območja EOPV na območjih Nature 2000 (ZRSVN, 2014). Te podatke smo skupaj z interpretacijo razpoložljivih rezultatov vsebinsko povezanih raziskav in poznavanjem hidrogeoloških značilnosti slovenskega ozemlja združili v metodologijo, ki posredno omogoča oceno razpoložljivih količin podzemnih voda za nadaljnje upra-

vljanje voda. Ocene so podane na ravni vodnih teles podzemne vode in namenjene predvsem strateškim odločitvam pri upravljanju podzemnih vodnih virov. Izračunane količine so zaenkrat le okvirna ocena, ki je zaradi pomanjkanja podatkov povezana z negotovostjo. Pridobitev podatkov o potrebah obravnavanih habitatnih tipov po podzemni vodi bo ena ključnih nalog v prihodnje. Prav tako vzpostavitev novega modelskega sistema v večji časovni resoluciji mGROWA-SI na Agenciji RS za okolje bo omogočala regionalni vpogled v sezonsko spremenljivost in nadaljnji razvoj metodologij, ki bodo izboljšale zanesljivost ocenjevanja količin podzemnih voda za obnavljanje in ohranjanje EOPV in dobrega ekološkega stanja površinskih voda.

Zahvala

Študija je nastala v okviru projektov Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021 Ministrstva za okolje in prostor Republike Slovenije in IGCP 643 Urada za UNESCO, Slovenske nacionalne komisije za UNESCO ter raziskovalnega programa Podzemne vode in geokemija (P1-0020), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. V študiji so bili za oceno obnavljanja količin podzemne vode uporabljeni rezultati projekta »Application of GROWA model for calculation groundwater recharge rates for Slovenia and implementation of GROWA at ARSO«, ki je potekal v okviru sodelovanja Agencije Republike Slovenije za okolje in raziskovalnega centra Jülich v Nemčiji.

Viri in literatura

- ARSO 2009: Metodologija za ugotavljanje stanja vodnih teles podzemne vode. Agencija RS za okolje. Internet: <http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/Metodologija.pdf> (12.06.2014).
- ARSO 2014: Rezultati vodnobilančnega modela GROWA-SI (digitalni informacijski sloj). Agencija RS za okolje.
- ANDJELOV, M., MIKULIČ, Z., UHAN, J. & DOLINAR, M. 2013: Vodna bilanca z modelom GROWA-SI za količinsko ocenjevanje vodnih virov Slovenije. 24. Mišičev vodarski dan, 127-133. Internet: <http://mvd20.com/LETO2013/R17.pdf> (14.08.2015).
- ANDJELOV, M., FRANTAR, P., MIKULIČ, Z., PAVLIČ, U., SAVIČ, V., SOUVENT, P., TRIŠIČ, N. & UHAN, J. 2015: Količinsko stanje podzemnih voda v

- Sloveniji. Osnove za NUV 2015 – 2021 (poročilo). Agencija RS za okolje, Ljubljana: 67 p.
- ANDJELOV, M., FRANTAR, P., MIKULIČ, Z., PAVLIČ, U., SAVIČ, V., SOUVENT, P. & UHAN, J. 2016: Ocena količinskega stanja podzemnih voda za Načrt upravljanja voda 2015-2021. *Geologija*, 59/2:205-219, [doi:10.5474/geologija.2016.012](https://doi.org/10.5474/geologija.2016.012).
- BREDEHOEFT, J.D., PAPADOPOULOS, S.S. & COOPER, H.H. 1982: Groundwater: the Water Budget Myth. In: Scientific Basis of Water-Resource Management, Studies in Geophysics. National Academy Press, Washington, DC: 51-57.
- BROWN, R.H. 1963: The cone of depression and the area of diversion around a discharging well in an infinite strip aquifer subject to uniform recharge. In: BENTALL, R. (ed.): Shortcuts and special problems in aquifer tests. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 1545-C: 69-85.
- BULOG, B. 2012: Ocena okoljskega onesnaženja kraškega podzemlja v Jelševniku pri Črnomlju in vplivi na črno podvrsto močerila (*Proteus anguinus* parkelj, Amphibia, Proteidae). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 17 p.
- ČATER, M. 2002: Vpliv svetlobe in podtalnice na naravno in sajeno dobovo mladje (*Quercus robur* L.) v nižinskem delu Slovenije = Effect of light and groundwater table on natural and planted seedlings of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in lowland parts of Slovenia (specialist and scientific works, 120). Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana: 115 p.
- DIREKTIVA, 1992: Direktiva Sveta 92/43/EGS z dne 21. maja 1992 o ohranjanju naravnih habitotov ter prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst..
- DIREKTIVA, 2000: Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000, ki določa okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike.
- DREO, T. 2016: Bakterijske bolezni gozdnega drevja = Bacterial diseases of forest trees. In: JURČ, M. (ed.): Invazivne tujerodne vrste v gozdovih ter njihov vpliv na trajnostno rabo gozdnih virov: zbornik prispevkov posvetovanja z mednarodno udeležbo = Invasive alien species in forests and their impact on the sustainable use of forest resources: lectures presented at the conference with international participation. XXXIII. Gozdarski študijski dnevi/Forestry Study Days, Ljubljana, 14.-15. april 2016: 25-33.
- EISELE, M., STEINBRICH, A., HILDEBRAND, A. & LEIBUNDGUT, C. 2003: The significance of hydrological criteria for the assessment of the ecological quality in river basins. *Phys. Chem. Earth*, 28/12-13: 529-536, [doi:10.1016/S1474-7065\(03\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(03)00092-5).
- EUROPEAN COMMISSION 2009: Guidance on groundwater status and trend assessment. WFD CIS Guidance Document No. 18. Technical Report 026-2009. 82 p.
- EUROPEAN COMMISSION 2011: Technical report on Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems. WFD CIS Guidance Document No. 6. Technical Report 056-2011. 32 p.
- HENRIKSEN, H.J., TROLDBORG, L., HØJBERG, A.L. & REFSGAARD, J.C. 2008: Assessment of exploitable groundwater resources of Denmark by use of ensemble resource indicators and a numerical groundwater - surface water model. *J. Hydrol.*, 348/1-2: 224-240, [doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.056](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.056).
- MACE, R.E., MULLICAN, W.F. & WAY, T.S. 2001: Estimating Groundwater Availability in Texas Sources of Water Available from an Aquifer Availability Bookends: From Nothing to Everything. In: 1st annual Texas Rural Water Association and Texas Water Conservation Association Water Law Seminar. Water Allocation in Texas: The Legal Issues. Austin, Texas: 1-16.
- MELJO, J., DREV, D., KRAJČIČ, J. & CVEJČIČ, R. 2013: Analiza razpoložljivih zalog podzemne in površinske vode ter obstoječe in predvidene rabe vode za obdobje do 2021 (DDU26) (vmesno poročilo). Inštitut za vode RS, Ljubljana: 53 p.
- MEZGA, K., JANŽA, M., ŠRAM, D. & KOREN, K. 2015: Priprava strokovnih podlag in strokovna podpora pri izvajanju vodne direktive za področje podzemnih voda (Direktiva 2000/60/EC), 2. UKREP DDU26: Analiza razpoložljivih zalog podzemne vode in površinske vode ter obstoječe in predvidene rabe vode za obdobje do 2021 - Pregled ekosistemov odvisnih od stanja podzemnih vod (končno poročilo). Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 77 p.
- MEZGA, K., JANŽA, M., PRESTOR, J., KOREN, K. & ŠRAM, D. 2016: Groundwater dependent ecosystems - groundwater status indicators. *Natura Sloveniae*, 18/1: 35-42.
- MIKULIČ, Z., UHAN, J., JANŽA, M., ANDJELOV, M. 2015: Assessment of renewable and available groundwater resources for water management planning. 42nd IAH Congress, T6 Groundwater Governance and Management, Rome: 65 p.

- MOP 2016: Načrt upravljanja voda za vodno območje Donave za obdobje 2016–2021 in Načrt upravljanja voda za vodno območje Jadranskega morja za obdobje 2016 – 2021 (NUV II; osnutek - september 2016). Ministrstvo za okolje in prostor. Internet: http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/ (12.09.2016).
- REJIC, M. & SMOLEJ, I. 1988: Sladkovodni ekosistemi in varstvo voda. Gozdna hidrologija, VTOZD za gozdarstvo Biotehniška fakulteta, Ljubljana: 225 p.
- RICHARDSON, S., IRVINE, E., FROEND, R., BOON, P., BARBER, S., BONNEVILLE, B. 2011: The Australian groundwater-dependent ecosystems toolbox part 1: Assessment Framework. Waterlines Report Series No. 69, Natural water Commission Canberra: 101 p. Internet: http://nwc.gov.au/_data/assets/pdf_file/0006/19905/GDE-toolbox-part-1.pdf (02.02.2015).
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WIGINGTON, R. & BRAUN, D.P. 1997: How much water does a river need? *Freshw. Biol.* 37/1, 231–249, [doi:10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x).
- SCHLÜTER, H. 2006: Ermittlung des nachhaltig nutzbaren Grundwasserdargebots in stark genutzten Teileinzugsgebieten – Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes gemäß EU Rahmenrichtlinie Wasser. Ph.D. Thesis. Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus: 193 p.
- SKET, B. 1997: Distribution of Proteus (Amphibia: Urodela: Proteidae) and its possible explanation. *J. Biogeogr.*, 24/3: 263–280, [doi:10.1046/j.1365-2699.1997.00103.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1997.00103.x).
- SMITH, A.J., WALKER, G. & TURNER, J. 2010: Aquifer Sustainability Factor: a review of previous estimates. Whitepaper. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).
- SOUVENT, P., VIŽINTIN, G., CELARC, S. & ČENČUR CURK, B. 2014: Ekspertni sistem za podporo odločanju na aluvialnih telesih podzemnih voda Slovenije. *Geologija*, 57/2: 245–252, [doi:10.5474/geologija.2014.021](https://doi.org/10.5474/geologija.2014.021).
- SUN, G., McNULTY, S.G., LU, J., AMATYA, D.M., LIANG, Y. & KOLKA, R.K. 2005: Regional annual water yield from forest lands and its response to potential deforestation across the southeastern United States. *J. Hydrol.*, 308/1–4: 258–268, [doi:10.1016/j.jhydrol.2004.11.021](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.11.021).
- ŠRAJ, M. 2003: Določanje indeksa listne površine listnatega gozda na povodju Dragonje – 1. del: Metode in meritve = Estimating Leaf Area Index of the Deciduous Forest in the Dragonja Watershed – Part I: Methods and Measuring. *Acta hydrotechnica*, 21/35: 105–128.
- ŠRAJ, M. 2009: Prestrežne padavine: meritve in analiza = Intercepted precipitation: measurements and analysis. *Geografski vestnik*, 81/1: 99–111.
- TENNANT, D.L. 1976: Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources, in *Instream flow needs, Volume II: Boise, ID, Proceedings of the symposium and specialty conference on instream flow needs, May 3–6, American Fisheries Society*, p. 359–373.
- THEIS, C.V. 1940: The source of water derived from wells-essential factors controlling the response of an aquifer to development. *Civ. Eng.*, 10: 277–280.
- TOME, S. 2010: Ogroženost gozdov. *Naravoslovna solnica*, 14/2: 8–13.
- TYREE, M.T. 1999. Water relation of plants. V: BAIRD A.J. & WILBY R.L. (eds.): *Eco-hydrology: Plants and water in Terrestrial and aquatic Environments*. Routledge, London: 11–38.
- URADNI LIST RS 2004: Uredba o posebnih varstvenih območjih (območjih Natura 2000). Uradni list RS, št. 49/2004.
- URADNI LIST RS 2009: Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uradni list RS, št. 97/2009.
- ZHOU, Y. 2009: A critical review of groundwater budget myth, safe yield and sustainability. *J. Hydrol.*, 370/1–4: 207–213, [doi:10.1016/j.jhydrol.2009.03.009](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.009).
- ZRSVN 2014: Pregled ekosistemov odvisnih od podzemni vod (digitalni informacijski sloj). Zavod RS za varstvo narave.

Internetni viri:

- INTERNET: Groundwater dependent ecosystems, WetlandInfo 2014, Queensland Government, Queensland: <http://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/aquatic-ecosystems-natural/groundwater-dependent/> (14.03.2015)