



Ocena količinskega stanja podzemnih voda za Načrt upravljanja voda 2015-2021 v Sloveniji

Groundwater quantitative status assessment for River Basin Management Plan 2015-2021 in Slovenia

Mišo ANDJELOV, Peter FRANTAR, Zlatko MIKULIČ, Urška PAVLIČ, Vlado SAVIČ,
Petra SOUVENT & Jože UHAN

Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: miso.andjelov@gov.si;
peter.frantar@gov.si; zlatko.mikulic@gov.si; urska.pavlic@gov.si; vlado.savic@gov.si;
petra.souvent@gov.si; joze.uhan@gov.si

Prejeto / Received 29. 9. 2016; Sprejeto / Accepted 18. 11. 2016; Objavljeno na spletu / Published online 23. 12. 2016

Ključne besede: telo podzemne vode, obnovljiva količina podzemne vode, razpoložljiva količina podzemne vode, količinsko stanje podzemne vode, Slovenija

Key words: groundwater body, renewable groundwater, available groundwater, groundwater quantitative status, Slovenia

Izvleček

V članku predstavljamo metodološki razvoj ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji in rezultate v ocenjevalnem obdobju 2010-2013, ob upoštevanju novega referenčnega tridesetletnega vodno-bilančnega obdobja 1981-2010. Količinsko stanje podzemne vode je v ocenjevalnem obdobju v vseh plitvih vodonosnikih 21 vodnih teles podzemne vode Slovenije ocenjeno s skupno oceno kot dobro, s srednjo do visoko stopnjo zaupanja. Metodologija ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda je razširjena z upoštevanjem procesov celotnega hidrološkega cikla in rezultatov modeliranja napajanja vodonosnikov oz. količinskega obnavljanja podzemne vode v Sloveniji. Uporabljen je koncept trajnostne rabe podzemne vode z zahtevo po dolgoročnem ohranjanju količin brez povzročanja nesprejemljivih okoljskih in drugih posledic. Zakonodajna izhodišča za ocenjevanje vplivov odzemanja podzemne vode na obnovljive in razpoložljive količine podzemne vode uvajajo novo metodologijo, ter opuščajo zastareli rudarski koncept »računanja zalog podzemne vode«.

Abstract

The improved methodological approach of the groundwater quantitative status assessment in Slovenia and the results of the assessment period 2010-2013, taking into account the new reference thirty-year period 1981-2010, are presented. Within the assessment period quantitative status in all shallow alluvial aquifers of 21 groundwater bodies in Slovenia is assessed as good, with a medium to high level of confidence. Groundwater quantitative status assessment methodology considers the processes of the whole hydrological cycle and the results of groundwater recharge modelling. The methodology incorporates the concept of sustainable groundwater use to preserve the quantities not causing environmental and other harm (unacceptable environmental and other consequences). Legislative baseline for assessing the impacts of groundwater abstraction on renewable and available quantities of groundwater introduces new methodology by abandoning obsolete mining concept of "calculation of groundwater reserves".

Uvod

Podzemno vodo so v preteklem stoletju pogosto obravnavali in količinsko ocenjevali na način, kot so ocenjevali zaloge mineralnih surovin. Strokovne kritike takega pristopa so znane že iz prve polovice 20. stoletja (LEE, 1915; SAVARENSKY, 1933), ko je znameniti ruski akademik A. P. Karpinsky že leta 1931 zapisal: »Podzemna voda ni le mineral-

na surovina...«. Tovrstne kritike so se z različnimi predlogi dopolnitev tega pristopa nadaljevale tudi v drugi polovici preteklega stoletja (KARANTH, 1987; ZEKTSER, 2000). Kljub temu se je »rudarski pristop« računanja zalog podzemne vode v nekaterih državah srednje in južne Evrope in v republikah nekdanje Sovjetske zveze zelo uveljavil in kasneje prešel celo v zakonodajne dokumente.

Tudi v Sloveniji so količine podzemne vode v prejšnjem stoletju ocenjevali po principih klasifikacije in kategorizacije zalog mineralnih surovin. Enoten način ugotavljanja, evidentiranja in zbiranja podatkov o »rezervah rudnin in talnih voda« je bil zasnovan na nekdanjem Zveznem geološkem zavodu v Beogradu in predpisan z zakonom (URADNI LIST SFRJ, 1977) in pravilnikom takratne zvezne države (URADNI LIST SFRJ, 1979). Zakonska razširitev koncepta klasifikacije in kategorizacije rudnih zalog na področje ocenjevanja količin podzemnih voda se je odrazila tudi terminološko: za vodonosnik so uporabljali izraz »nahajališče«, količine podzemne vode pa so opisovali kot »rezerve talne vode«. Količine podzemne vode so glede na stopnjo raziskanosti razvrščali v bilančne kategorije A, B in C1 ter v potencialne kategorije C2, D1 in D2. Pri tem pa je bila »bilančnost« povezana z ekonomsko oceno rentabilnosti eksploatacije, »potencialnost« pa naj bi usmerjala nadaljnje temeljne raziskave. Po tej metodologiji so bile količine podzemne vode v Sloveniji »klasificirane in kategorizirane« vse do leta 1995, ko je takratni Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko izdelal zadnjo tovrstno oceno zalog podzemne vode (KRANJC KUŠLAN, 1995).

Konceptualno spremembo na področju ocenjevanja vodnih virov je z zahtevo po trajnostni rabi naravnih virov prineslo t.i. Brundtlandino poročilo Svetovne komisije za okolje in razvoj (WCED, 1987). Koncept trajnostne rabe podzemne vode z zahtevo po dolgoročnem ohranjanju količin brez povzročanja nesprejemljivih okoljskih in drugih posledic je vgrajen tudi v okvirno direktivo o vodah (EU, 2000). Na prehodu v novo tisočletje je okvirna direktiva o vodah postavila nova zakonodajna izhodišča za ocenjevanje količinskega stanja podzemnih voda oz. za ocenjevanje vplivov odzemanja podzemne vode na njene razpoložljive količine, ki so opredeljene kot razlika med napajanjem vodonosnikov in količino podzemne vode za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda in kopenskih ekosistemov (URADNI LIST RS, 2003; 2005; 2009a; 2009b, 2016).

Prvi poskus delne ocene količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji, ki je sledil zahtevam nove okvirne direktive o vodah, je bil leta 2006 izveden na Agenciji RS za okolje (ARSO) s podatki državnega hidrološkega monitoringa površinskih in podzemnih voda desetletnega obdobja ob koncu preteklega stoletja (ANDJELOV et al., 2006; 2008), ter kasneje razširjen z upoštevanjem

procesov celotnega hidrološkega cikla in rezultatov modeliranja napajanja vodonosnikov oz. količinskega obnavljanja podzemne vode v Sloveniji (ANDJELOV, 2009; UHAN, 2010). Upoštevanje principa hidrološkega cikla in začetek uporabe regionalnega vodno-bilančnega modela je pomemben mejnik na področju ocenjevanja količin podzemnih voda v Sloveniji (UHAN, 2015). Pričujoči članek predstavlja metodološki razvoj in rezultate ocene količinskega stanja podzemne vode v Sloveniji glede na referenčno tridesetletno obdobje 1981-2010.

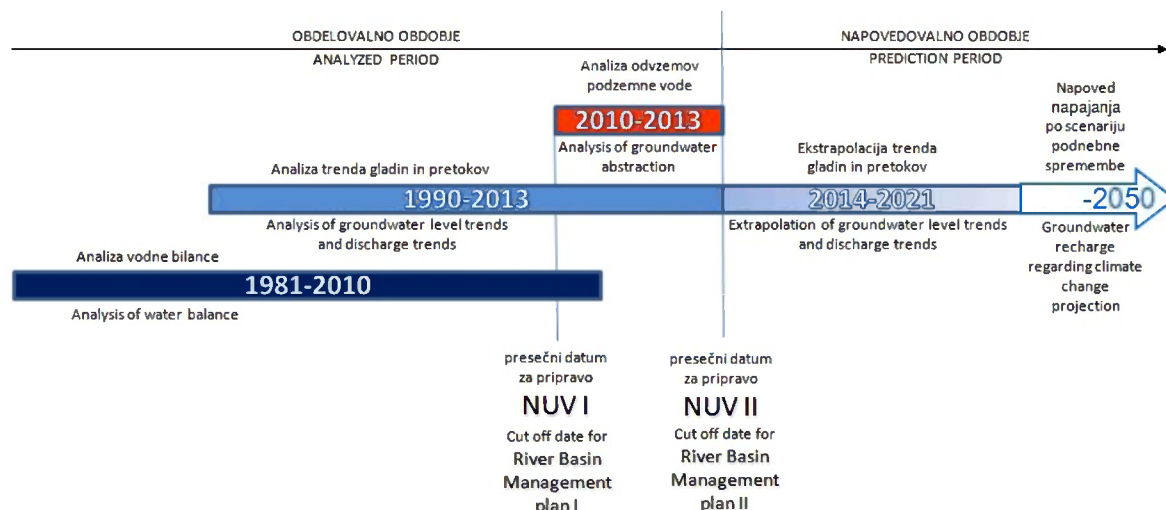
Metodologija ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda

Okvirna direktiva o vodah (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2000) je uvedla splošna načela ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda, ki temeljijo na uravnoteženosti med količinskim obnavljanjem, potrebami ekosistemov po vodi in odvzemanjem vode. Evropska komisija je ta splošna načela postopno dopolnjevala s smernicami in ostalimi dokumenti skupne strategije implementacije okvirne direktive o vodah. V teh dokumentih so bili predlagani splošni metodološki pristopi. Z metodološkimi smernicami o monitoringu in ocenjevanju stanja podzemne vode (EUROPEAN COMMISSION, 2007; 2009) je bil uveden splošni večparametrski koncept štirih razvrstitvenih preizkusov, ki naj bi ga države članice Evropske unije z dopustnimi prilagoditvami posebnim razmeram uporabile za nacionalno oceno količinskega stanja podzemnih voda z vodno-bilančnim referenčnim obdobjem 1981-2010 (sl. 1).

Vpliv na napajanje vodonosnikov

Vpliv odzemanja podzemne vode na napajanje vodonosnikov se ocenjuje preko analize gladin podzemne vode in pretokov izvirov ter preko vodne bilance, ki je izhodišče za oceno obnovljivih in razpoložljivih količin podzemne vode.

Trendi časovnih vrst letnih povprečij gladin podzemnih voda ter malih letnih in malih mesečnih pretokov izvirov (HÖLLER, 2004) so bili ocenjeni s statističnimi neparametričnimi metodami. Prisotnost trenda, sprememb in naključnosti v časovnih vrstah referenčnega obdobja 1990-2013 je bila ocenjena s standardnimi statističnimi preizkusi za časovne vrste hidroloških podatkov (CHIEW & SIRIWARDENA, 2005), s poudarkom na Spearmanovem koeficientu korelacije rangov in



Sl. 1. Časovni okvir ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda za pripravo Načrta upravljanja voda (NUV II) 2015-2021. Fig. 1. Time frame of groundwater quantitative status assessment for the River basin management plan II (2015-2021).

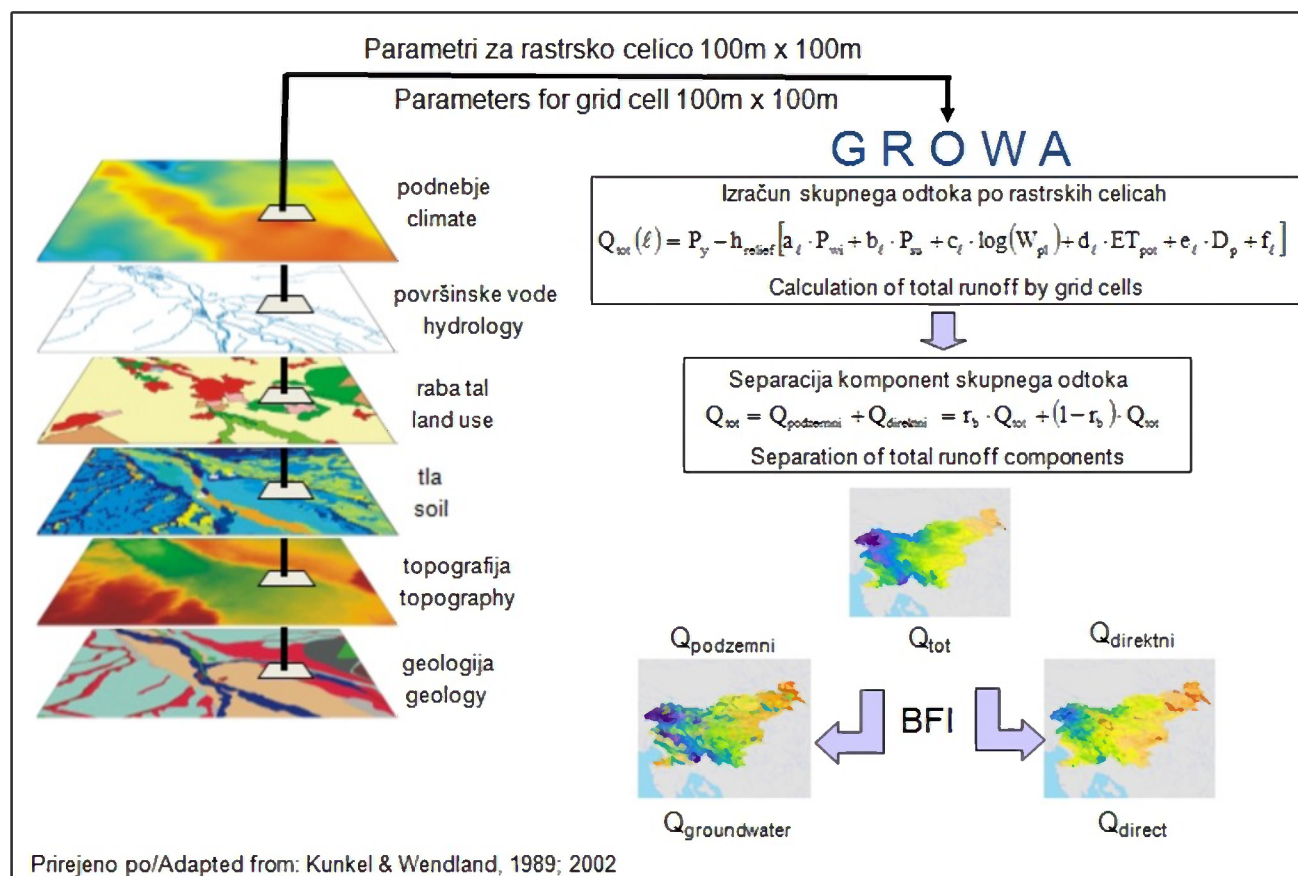
Mann-Kendallovem neparametričnem preizkusu (GRAYSON et al., 1996; KUNDZEWICZ & ROBSON, 2000). V primeru statistično značilnih upadajočih trendov gladin pa je bila za oceno naklona linearnega trenda in ekstrapolacijo do konca načrtovalskega obdobja uporabljena Theil-Senova cenilka naklona trendne premice (GILBERT, 1987) oz. primerjava s Q_{95} (HARUM et al., 2001; JANŽA et al., 2014) in dodatni Kendallov preizkus konsistenčnosti regionalnega trenda (HELSEL et al., 2006). Analiza trenda se zaključi z zaporedjem preizkusov z ugotavljanjem deleža merilnih mest z zniževanjem gladin in pretokov v obdelovalnem in napovedovalnem obdobju, ki naj bi na posameznih vodnih telesih ne presegal 25 % (HÖLLER, 2004).

Obnovljive količine podzemne vode v plitvih vodonosnikih Slovenije smo za tridesetletno vodno-bilančno obdobje 1981-2010 ocenili z regionalnim modelom napajanja vodonosnikov GROWA-SI (ANDJELOV et al., 2013; 2014; 2015; 2016). Model GROWA-SI je rezultat razvoja in prilagoditve osnovnega modelskega sistema GROWA (KUNKEL & WENDLAND, 1998; 2002) za slovenski prostor in upošteva podnebne pogoje, vrsto tal, rabo prostora, topografijo in hidrogeološke lastnosti kamnin in tal (sl. 2).

Model izračuna skupni odtok tako, da iz vhodnih podatkov izračuna dejansko (realno) evapotranspiracijo, ki jo za vsako računsko celico $100\text{m} \times 100\text{m}$ odšteje od obdobjnih padavin. Skupni odtok se preko indeksa baznega odtoka (BFI – Base Flow Index) razdeli na površinski in podzemni odtok. Model je bil umerjen in vrednoten

s podatki državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda za obdobje 1971-2000 (ANDJELOV et al., 2016). Verifikacija modela je bila opravljena kvantitativno s primerjavo rezultatov neodvisne po drugi metodi določene vodne bilance za isto obdobje (BAT et al., 2008), ter kvalitativno s primerjavo kart indeksa razvitosti rečne mreže (IDPR – Indice de persistance et développement des réseaux) (MARDHEL et al., 2004; ANDJELOV et al., 2016). Modelske rezultati napajanja vodonosnikov oz. količinskega obnavljanja podzemne vode so izhodišče ocene razpoložljive količine podzemne vode.

Razpoložljiva količina podzemne vode je po definiciji iz okvirne direktive o vodah opredeljena z dolgoročno povprečno letno stopnjo količinskega obnavljanja podzemne vode, zmanjšano za dolgoročno količino, ki je potrebna za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda in kopenskih ekosistemov, ki so z njim povezani (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2000). 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 (SCHLÜTER, 2006). Po omenjenem pristopu se lahko taka ocena izpelje iz dvajsetega centila (P20) količine napajanja vodonosnikov v referenčnem tridesetletnem vodnobilančnem obdobju, kar predpostavlja mejo slabih habitatnih rečnih pogojev, ki jo pogosto umeščajo v razpon med 10 in 30 % povprečnega letnega pretoka (TENNANT, 1976). Količino obnovljive podzemne vode, potrebne za ohranjanje ekološkega stanja površinskih voda, predstavlja raz-



Sl. 2. Shema izračuna komponent vodne bilance z regionalnim modelom GROWA-SI (povzeto po KUNKEL & WENDLAND, 1998, 2002).
Fig. 2. Flow chart for water balance calculation with GROWA-SI regional model (adapted from KUNKEL & WENDLAND, 1998, 2002).

lika med izračuni povprečne obnovljive količine podzemne vode obdobja 1981-2010 (GROWA-SI (30)) in povprečne obnovljive količine petih najbolj sušnih let referenčnega obdobja (GROWA-SI (05)) (SCHLÜTER, 2006) (sl. 3). Količino podzemne vode, potrebne za ohranjanje kopenskih ekosistemov na območjih gozdnih habitatov (EKO_{gozd}) predstavlja ocena količine podzemne vode, ki nadomešča primanjkljaj padavin, na kraških območjih pa je količina podzemne vode, potrebna za ohranjanje habitatov dvoživk in mehkužcev (EKO_{kras}), ocenjena preko deleža podzemne vode v ekološko sprejemljivih pretokih (JANŽA et al., 2014; MIKULIČ et al., 2015; JANŽA et al., 2016).

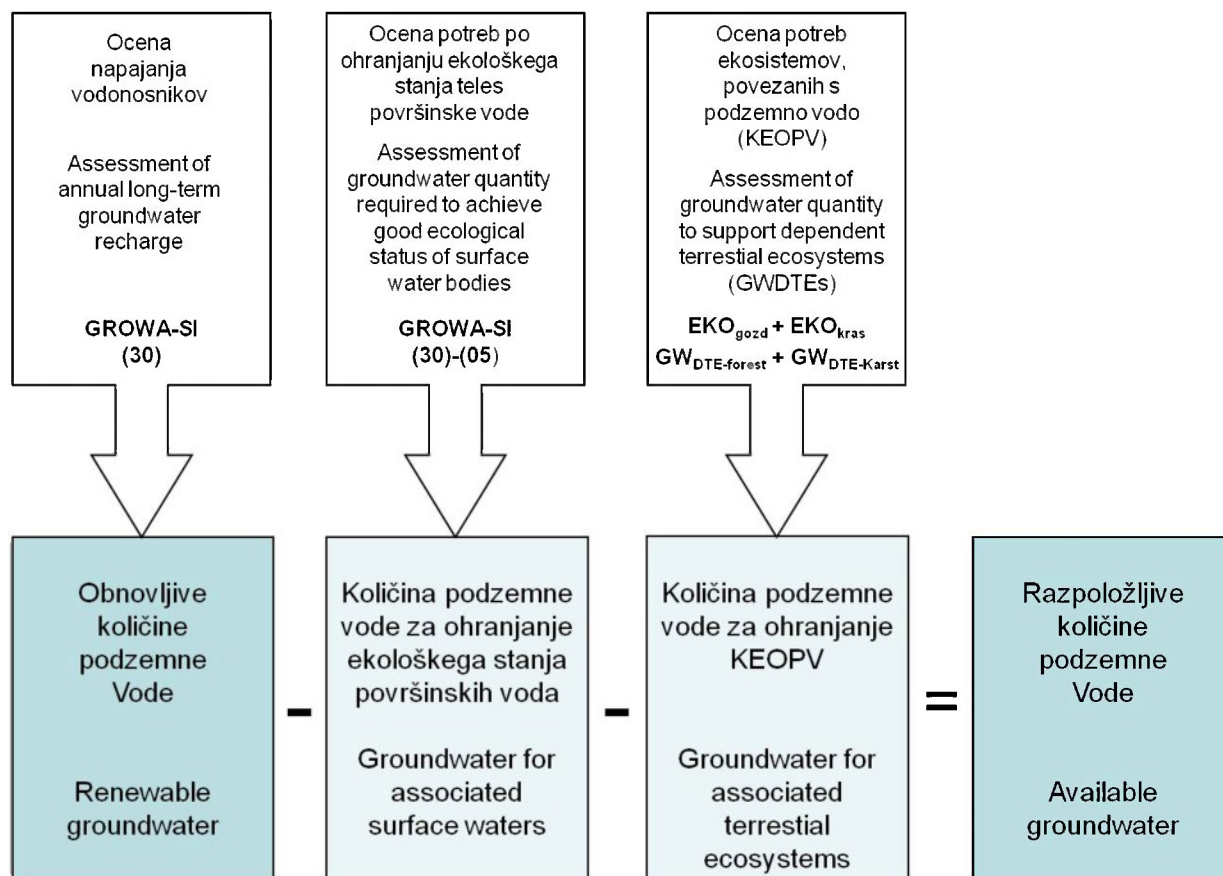
Vpliv na ekološko stanje površinskih voda

Vpliv odvzemov podzemne vode na stanje površinskih voda se preizkuša z analizo vpliva črpanja podzemne vode na vodna telesa površinske vode, v katerih je bilo ugotovljeno slabo ekološko stanje. Postopek preizkusa vpliva črpanja je na teh telesih s slabim ekološkim stanjem dvostopenjski. Na prvi stopnji primerjamo skupno količino odvzemov površinskih in podzemnih voda z vrednostjo srednjega pretoka Q_s vodozbirnega

zaledja vodnega telesa površinske vode s slabim ekološkim stanjem. Vrednost praga je presežena, če je vseh odvzemov več kot 10 % Q_s , vpliv pa pripišemo odvzemu podzemne vode le, če ti prevladujejo nad odvzemi površinske vode (EUROPEAN COMMISSION, 2009; EEA, 2012). Z drugim pogojem primerjamo količine odvzete podzemne vode s količinami povprečnega obnavljanja podzemne vode, vrednost praga pa je 10 % obdobjne obnovljive količine (NIEA, 2009).

Vpliv na stanje kopenskih ekosistemov, odvisnih od podzemne vode

Vpliv odzemanja podzemne vode na stanje kopenskih ekosistemov, ki so odvisni od podzemne vode, se preverja le na območjih, na katerih ekološki kazalci poškodovanosti nakazujejo tveganje. Najbolj ogroženi deli kopenskih ekosistemov so gozdni habitat, za katere je bilo ugotovljeno, da je njihov obstoj povezan s podzemno vodo (PUN 2000, 2014; MEZGA et al., 2014). Preizkus temelji na bilančni primerjavi obnovljive količine podzemne vode referenčnega obdobja 1981-2010 s količinami odvzemov podzemne vode znotraj gozdnega habitata in njegovega hidrolo-



Sl. 3. Shema izračuna razpoložljive količine podzemne vode.

Fig. 3. Available groundwater calculation flowchart.

škega prispevnega območja. Za dobro količinsko stanje vodnega telesa podzemne vode privzemamo kot zgornjo mejo 5 % odvzemov obdobje obnovljive količine podzemne vode, kar glede na analizo pritiskov predstavlja še zanemarljiv vpliv na kopenski ekosistem, odvisen od podzemne vode (WFD IRELAND, 2005).

Vpliv na vdore slane vode ali druge vrste vdorov

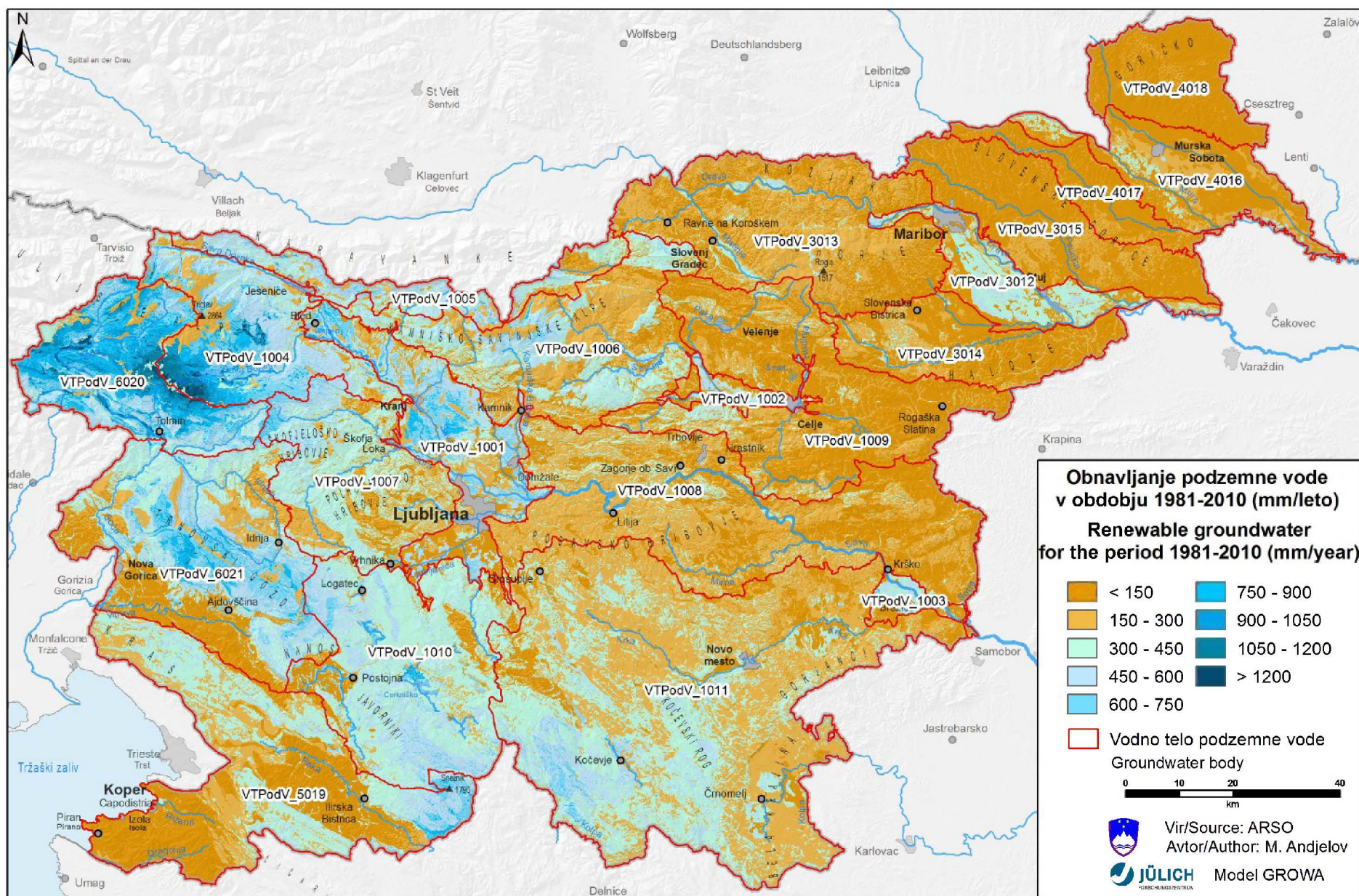
Preizkus vpliva črpanja podzemne vode na vdore slane vode v vodno telo temelji na štiristopenjski shemi preverjanja, zasnovani na metodoloških izhodiščih irske agencije za varstvo okolja (CRAIG & DALY, 2010). Na prvi stopnji primerjamo letno količino odvzema podzemne vode s srednjo dolgoletno obnovljivo količino podzemne vode vodonosnega sistema, ocenjeno z vodno-bilančnim modelom GROWA-SI. Dolgoletno povprečje vrednosti specifične električne prevodnosti vode v vodonosnem sistemu se na drugi stopnji primerja z mejno vrednostjo tega parametra za pitno vodo, na tretji stopnji pa z naravnim ozadjem tega parametra v vodnih telesih s prevladujočo kraško

in razpoklinsko poroznostjo. Na četrti stopnji pa preverjamo statistično značilnost trenda naraščanja indikativnih parametrov vdorov slane vode: natrija, kloridov in specifične električne prevodnosti.

Rezultati ocenjevanja količinskega stanja

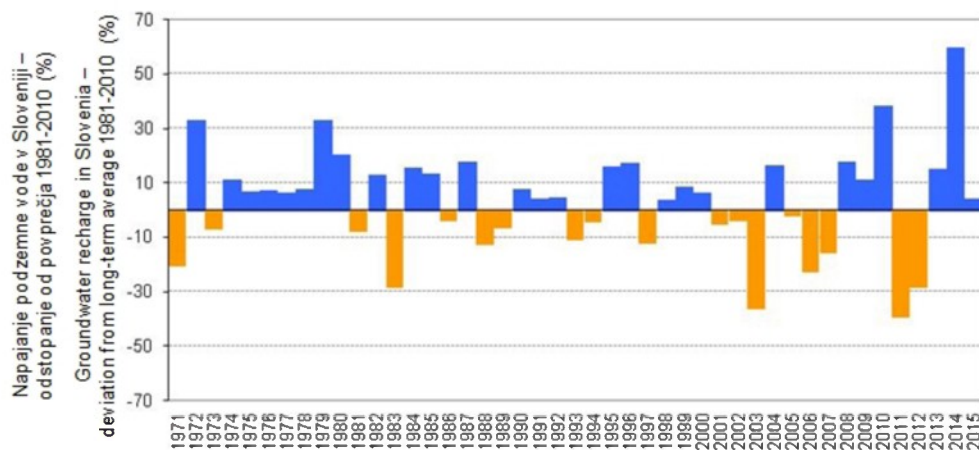
V procesu ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda se regionalno zasleduje razmerje med količinskim obnavljanjem podzemne vode in njenim odvzemanjem iz vodonosnikov, pri tem pa lokalno preverja vplive odvzemov na gladine in pretoke. Oceno količin obnovljive podzemne vode omogoča regionalni vodno-bilančni model GROWA-SI (ANDJELOV et al., 2016), ki podaja količino napajanja vodonosnikov za referenčna obdobja (sl. 4) in posamezna hidrološka leta.

V referenčnem vodno-bilančnem obdobju 1981-2010 je bilo povprečno skupno napajanje vseh 21-tih vodnih teles v Sloveniji 185,5 m³/s, kar je za 9,64 m³/s manj kot v predhodnem 30-letnem obdobju 1971-2000 (ANDJELOV et al., 2013). Razlika v količinskem obnavljanju podzemne vode med zadnjima dvema referenčnima bilančnima



Sl. 4. Obnovljive količine podzemne vode v plitvih vodonosnikih vodnih teles podzemnih voda (VTPodV) v obdobju 1981-2010.

Fig. 4. Renewable groundwater in shallow aquifers of groundwater bodies for the period 1981-2010.



Sl. 5. Odstopanje napajanja podzemne vode od povprečja referenčnega obdobja 1981-2010.

Fig. 5. Groundwater recharge - deviation from long-term average 1981-2010

obdobjema za dvakrat presega povprečno količino letno odvzete podzemne vode, spremenljivost obnovljivih količin podzemne vode pa je med posameznimi hidrološkimi leti od 1971 do 2015 glede na povprečje obdobja med 1981-2010 v razponu od -40 % (2011) do +60 % (2014) (sl. 5).

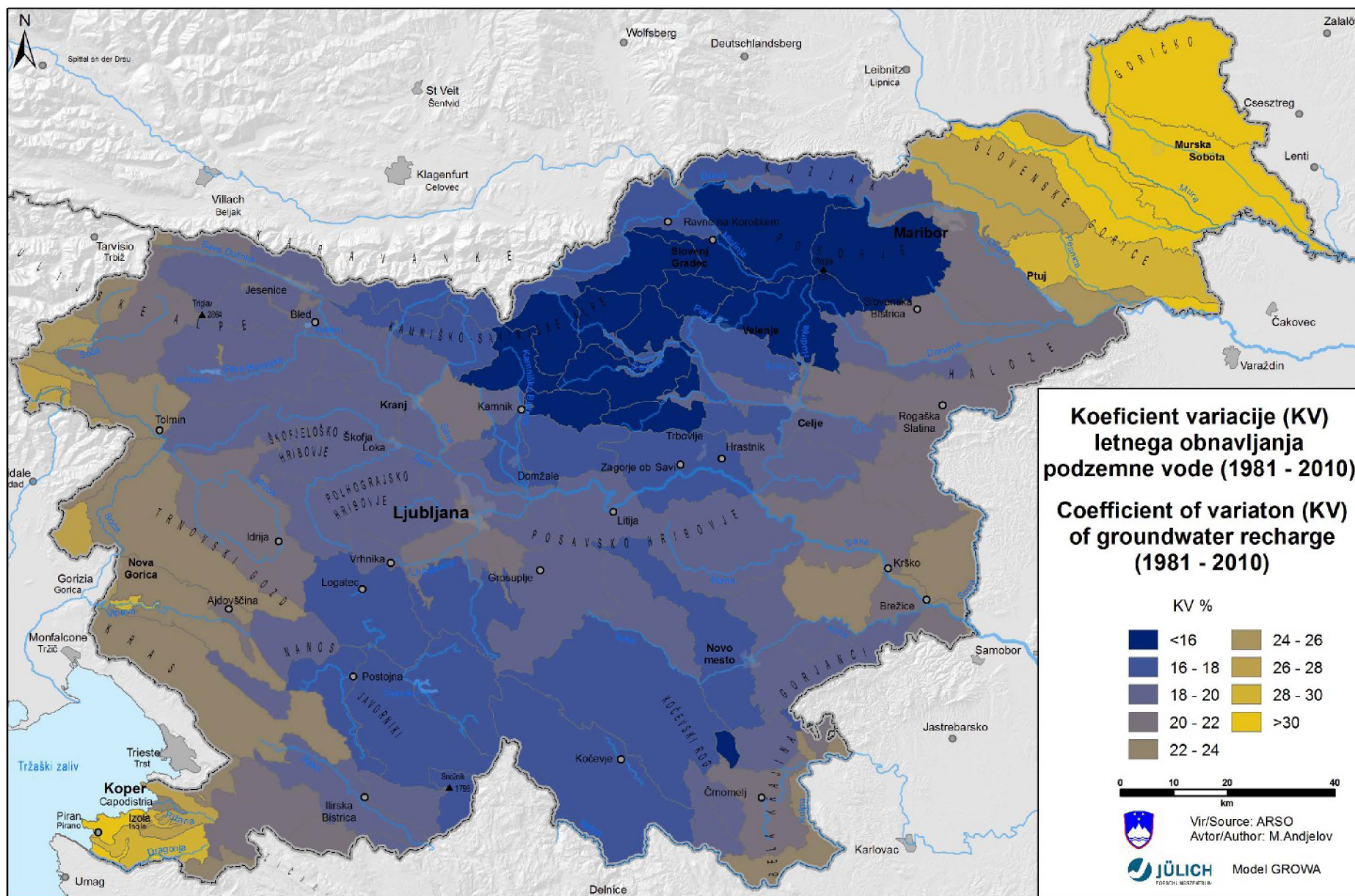
Obnavljanje podzemne vode se zaradi različnih klimatskih pogojev, geološke zgradbe, vrste tal, rabe prostora, morfologije in hidrogeologije po posameznih vodonosnih sistemih tudi prostorsko zelo spreminja. Koeficient variacije (KV), ki nakazuje velikost odstopanja od povprečja 1981-2010, je v razponu od 14,2 % na območju Kamniško-Savinjskih Alp in Pohorja do 38,1 % na Goriškem. Na podlagi velikosti odstopanj letnega napajanja vodonosnih sistemov od povprečja obdobja 1981-2010 lahko sklepamo na relativno količinsko občutljivost posameznih vodnih teles podzemne vode oz. vodonosnih sistemov. Velika letna spremenljivost količin obnavljanja podzemnih voda in s tem tudi večja količinska občutljivost podzemnih vodnih virov se kaže predvsem v vzhodnih subpanonskih predelih in na zahodu Primorske s Slovensko Istro, kjer je koeficient variacije visok (sl. 6).

Velika prostorska spremenljivost napajanja vodonosnikov se kaže tudi med posameznimi vodnimi telesi. Največje količine obnovljive podzemne vode so bile v obdobju 1981-2010 ocenjene v vodnih telesih s prevladujočo kraško poroznostjo ($127,5 \text{ m}^3/\text{s}$). Druge največje količine so bile v tem obdobju ocenjene v telesih s prevladujočo razpoklinsko poroznostjo ($33,9 \text{ m}^3/\text{s}$), sledile pa so količine v vodnih telesih s prevladujočo medzrnsko poroznostjo ($17,7 \text{ m}^3/\text{s}$), najmanjše količine pa so bile ocenjene v telesih z mešano poroznostjo ($6,4 \text{ m}^3/\text{s}$). Povprečno specifično napajanje teles podzemne vode, obnavljanje količin podzemne

vode v enoti časa in na enoto površine, je bilo v obdobju 1981-2010 ocenjeno za celotno ozemlje Slovenije na $9,2 \text{ l/s/km}^2$. Razlike v specifičnem napajanju teles podzemne vode so bile v razponu od $1,8$ do $22,9 \text{ l/s/km}^2$ (tabela 1).

Stopnjo porabe razpoložljive količine podzemne vode podaja razmerje med črpano količino podzemne vode in količino napajanja vodonosnikov, zmanjšano za količino vode za ohranjanje dobrega ekološkega stanja površinskih voda in kopenskih ekosistemov, odvisnih od podzemnih voda. Delež povprečnih letnih črpanih količin podzemne vode po ARSO evidenci vodnih povračil za obdobje 2010-2013 je bil glede na rezultate modela napajanja vodonosnikov GROWA-SI za obdobje 1981-2010 največji na območjih aluvialnih vodnih teles VTPodV_3012 Dravska kotlina in VTPodV_1001 Savska kotlina in Ljubljansko Barje (sl. 7), kjer so presegli mejno vrednost 20 %, ki jo EEA uporablja kot začetno opozorilo količinskega pritiska na vodne vire (EEA, 2005). Delež odvzemov pa nikjer ni večji od 65 %, kar so kot mejno vrednost količinskega pritiska predlagali v evropskem projektu GENESIS (PREDA et al., 2014). Črpanje vode iz plitvih vodonosnikov na območju Slovenije v skupni povprečni letni količini $132,8$ milijonov m^3 predstavlja 3,1 % skupne razpoložljive količine podzemne vode (tabela 2).

Kljub ugodni vodni bilanci pa trendi časovnih vrst letnih povprečij gladin podzemnih voda v plitvih aluvialnih vodonosnikih izpostavljajo nekatere statistično značilne upadajoče trende letnih povprečij gladin podzemnih voda obdelovalnega obdobja 1990-2013, vendar delež merilnih mest z zniževanjem gladin podzemne vode v obdobju do leta 2021 nikjer ne presega praga 25 % vseh merilnih mest v vodnem telesu (URADNI



Sl. 4. Napajanje plitvih vodonosnikov vodnih teles podzemnih voda v obdobju 1981-2010.

Fig. 4. Groundwater recharge in Slovenia for the period 1981-2010.

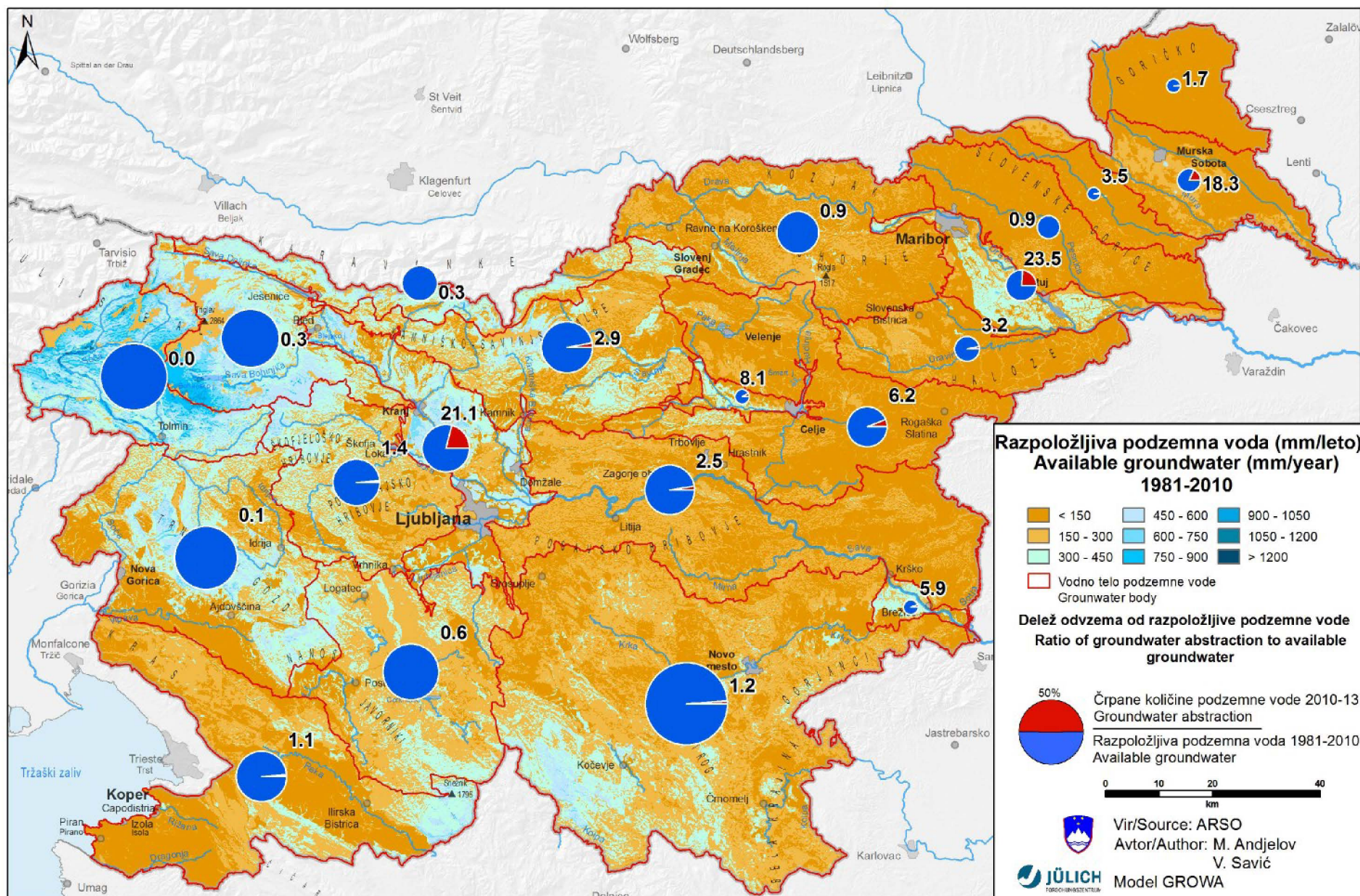
Tabela 1. Obnovljive količine podzemne vode v plitvih vodonosnikih vodnih teles podzemnih voda v obdobju 1981-2010.
Table 1. Renewable groundwater in shallow aquifers of groundwater bodies for the period 1981-2010.

Vodno telo podzemne vode	Prevladujoči tip poroznosti	Površina vodnega telesa podzemne vode	Obnovljiva podzemna voda 1981-2010 po modelu GROWA-SI		Specifično napajanje
Groundwater body	Main type of porosity	Area of groundwater body	Renewable groundwater 1981-2010 by model GROWA-SI		Specific groundwater recharge
		km ²	mm	m ³ /s	l/s/km ²
VTPodV_1001 Savska kotlina in Ljubljansko Barje	medzrnska/intergranular	774	393	9,65	12,47
VTPodV_1002 Savinjska kotlina	medzrnska/intergranular	109	268	0,93	8,49
VTPodV_1003 Krška kotlina	medzrnska/intergranular	97	308	0,94	9,78
VTPodV_1004 Julijske Alpe v porečju Save	kraška/karst	783	573	14,22	18,16
VTPodV_1005 Karavanke	kraška/karst	404	393	5,01	12,45
VTPodV_1006 Kamniško-Savinjske Alpe	kraška/karst	1.112	302	10,64	9,57
VTPodV_1007 Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko hribovje	razpoklinska/fissured	850	346	9,33	10,98
VTPodV_1008 Posavsko hribovje do osrednje Sotle	razpoklinska/fissured	1.792	191	10,83	6,06
VTPodV_1009 Spodnji del Savinje do Sotle	razpoklinska/fissured	1.397	155	6,86	4,91
VTPodV_1010 Kraška Ljubljana	kraška/karst	1.307	403	16,68	12,77
VTPodV_1011 Dolenjski kras	kraška/karst	3.355	293	31,13	9,30
VTPodV_3012 Dravska kotlina	medzrnska/intergranular	429	266	3,61	8,44
VTPodV_3013 Vzhodne Alpe	razpoklinska/fissured	1.269	171	6,89	5,43
VTPodV_3014 Haloze in Dravinjske gorice	mešana/mixed	597	135	2,54	4,27
VTPodV_3015 Zahodne Slovenske gorice	mešana/mixed	756	93	2,23	2,95
VTPodV_4016 Murska kotlina	medzrnska/intergranular	591	135	2,53	4,29
VTPodV_4017 Vzhodne Slovenske gorice	mešana/mixed	308	78	0,76	2,48
VTPodV_4018 Goričko	mešana/mixed	494	57	0,89	1,80
VTPodV_5019 Obala in Kras z Brkini	kraška/karst	1.589	259	13,00	8,21
VTPodV_6020 Julijske Alpe v porečju Soče	kraška/karst	818	723	18,72	22,92
VTPodV_6021 Goriška brda in Tmovo-Banjška planota	kraška/karst	1.443	396	18,13	12,56
Slovenija			289	185,54	9,17

LIST RS, 2016). Tudi analiza trenda pretokov izvirov obdelovalnega obdobja 1990-2013 izkazuje nekatere statistično značilne trende zmanjševanja malih letnih pretokov, predvsem na merilnih mestih 8560 Vipava – Vipava in 5030 Ljubljana – Vrhnika II, vendar mali letni pretoki po statističnih ocenah do konca leta 2021 ne bodo dosegli vrednosti praga 95 % pretoka iz krivulje trajanja (Q95).

V nekaterih globokih termalnih vodonosnikih pa je za obdobje po letu 2021 ocenjeno tveganje

za nedoseganje dobrega količinskega stanja. Za piezometrične gladine termalne podzemne vode so na podlagi posameznih indikativnih meritev Geološkega zavoda Slovenije (RMAN, 2014) ugotovljeni značilni trendi zniževanja glavin predvsem v Petanjcih in Dobrovniku, kar kljub dosedanjim pozitivnim vodnobilančnim ocenam tega vodonosnega območja predstavlja tveganje, čeprav količinsko stanje pri sedanjih stopnji odvzemanja termalne vode iz slovenskega in iz madžarskega dela območja Mura-Zala ni ogroženo (NADOR et al., 2012).



Sl. 7. Razmerje med črpanimi količinami podzemne vode (2010-2013) in razpoložljivo količino podzemne vode (1981-2010).

Fig. 7. Ratio of groundwater abstraction (2010-2013) to available groundwater (1981-2010) by groundwater bodies, together with available groundwater (GROWA-SI).

Tabela 2. Razmerje med črpanimi količinami podzemne vode (2010-2013) in razpoložljivo količino podzemne vode (1981-2010) v plitvih vodonosnikih vodnih teles podzemnih voda.

Table 2. Ratio of groundwater abstraction (2010-2013) to available groundwater (1981-2010) in shallow aquifers of groundwater bodies.

Vodno telo podzemne vode	Razpoložljiva količina podzemne vode v obdobju 1981-2010 (m ³ /leto)	Črpane količine podzemne vode v obdobju 2010- 2013 (m ³ /leto)	Črpane količine podzemne vode / razpoložljiva količina podzemne vode (%)
Groundwater body	Available groundwater for the period 1981-2010 (m ³ /year)	Groundwater abstraction for the period 2010-2013 (m ³ /year)	Groundwater abstraction / available groundwater (%)
VTPodV_1001 Savska kotlina in Ljubljansko Barje	231.557.580	48.947.603	21,1
VTPodV_1002 Savinjska kotlina	21.450.110	1.729.066	8,1
VTPodV_1003 Krška kotlina	22.445.800	1.315.791	5,9
VTPodV_1004 Julijske Alpe v porečju Save	348.748.200	1.121.098	0,3
VTPodV_1005 Karavanke	127.207.480	365.544	0,3
VTPodV_1006 Kamniško-Savinjske Alpe	269.382.000	7.686.770	2,9
VTPodV_1007 Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko hribovje	224.196.000	3.179.119	1,4
VTPodV_1008 Posavsko hribovje do osrednje Sotle	253.209.600	6.293.773	2,5
VTPodV_1009 Spodnji del Savinje do Sotle	165.823.900	10.234.665	6,2
VTPodV_1010 Kraška Ljubljana	322.946.630	1.975.516	0,6
VTPodV_1011 Dolenjski kras	694.585.650	8.591.867	1,2
VTPodV_3012 Dravska kotlina	91.093.860	22.702.982	23,5
VTPodV_3013 Vzhodne Alpe	181.340.100	1.653.376	0,9
VTPodV_3014 Haloze in Dravinjske gorice	63.873.030	2.050.415	3,2
VTPodV_3015 Zahodne Slovenske gorice	52.791.480	451.235	0,9
VTPodV_4016 Murska kotlina	55.110.750	10.059.617	18,3
VTPodV_4017 Vzhodne Slovenske gorice	17.143.280	607.800	3,5
VTPodV_4018 Goričko	19.399.380	326.093	1,7
VTPodV_5019 Obala in Kras z Brkini	260.818.460	2.975.258	1,1
VTPodV_6020 Julijske Alpe v porečju Soče	454.178.140	111.003	0,0
VTPodV_6021 Goriška brda in Trnovsko-Banjska planota	407.618.640	436.505	0,1
Slovenija	4.284.920.070	132.815.096	3,1

Pri preizkusu vpliva odvzemov podzemne vode na ekološko stanje površinskih voda sta bili izpostavljeni telesi površinskih voda VT Temenica I in VT Cerknica, vendar ekološkega stanja površinskih voda ne poslabšujejo odvzemi podzemne vode, saj so v vseh primerih deleži odvzemov od povprečja površinskega in podzemnega odtoka pod vrednostjo 5 %.

Pri preizkusu vpliva odvzemov podzemne vode na stanje kopenskih ekosistemov, ki so povezani s podzemno vodo, so bili izpostavljeni ekosistemi Krakovski gozd (VTPodV_1011

Dolenjski Kras), Mura 1 (VTPodV_4016 Murska kotlina) in Boreci (VTPodV_4017 Vzhodne Slovenske gorice). Na teh območjih deleži odvzemov podzemne vode ne presegajo praga 5 % obdobjne obnovljive količine podzemne vode, kar glede na analizo pritiskov predstavlja še zanemarljiv vpliv na kopenski ekosistem, odvisen od podzemne vode.

V vodonosnem sistemu 50621 Brestovica - Timava vodnega telesa VTPodV_5019 Obala in Kras z Brkini, ki je edini v stiku z morsko vodo, je bil opravljen tudi preizkus vpliva črpanja

podzemne vode na vdore slane vode. Na vodnem viru Brestovica - Klariči je bilo zaznano preseganje povprečne vrednosti naravnega ozadja specifične električne prevodnosti, vendar ni bila dosežena vrednost zgornje meje razpona dvojnega standardnega odklona. Vrednosti indikativnih parametrov specifične električne prevodnosti, kloridov in natrija pa za obdobja 2008-2013 ne nakazujejo značilnega naraščajočega trenda. Tudi ob poskusnem črpanju povečanih količin (URBANC et al., 2012) niso zaznali bistvenega vpliva črpanja na kakovost podzemne vode.

Razprava in zaključki

Količinsko stanje podzemnih voda v plitvih vodonosnikih je na podlagi povprečnih letnih regionalnih vodnih bilanc v vseh enaindvajsetih telesih podzemne vode Slovenije za Načrt upravljanja voda 2015-2021 opredeljeno kot dobro. Izpostavljena je bila velika prostorska in časovna spremenljivost razpoložljive podzemne vode. Največje količine razpoložljive podzemne vode so ugotovljene na območjih Alp, najmanjše pa v severovzhodni Sloveniji. Velika spremenljivost pa je ugotovljena tudi med hidrološkimi leti. Ti spremenljivosti, kot tudi spremenljivost v velikosti vodnih teles podzemne vode, predstavljajo velik izziv za celovito upravljanje voda. Največje skupne količine obnovljive podzemne vode so bile v obdobju 1981-2010 ocenjene v vodnih telesih s prevladujočo kraško poroznostjo, nato v telesih s prevladujočo medzrnsko poroznostjo, sledila pa so vodna telesa z razpoklinsko poroznostjo. Največji odvzemi podzemne vode so iz teles z medzrnsko poroznostjo, najmanjši pa iz teles s kraško poroznostjo, ponekod celo pod 1 % razpoložljive količine podzemne vode. V primeru povečevanja količinskih pritiskov na vodnih telesih z medzrnsko poroznostjo bo velik izziv pri upravljanju s podzemnimi vodnimi viri zajem skoraj še neuporabljenih vodnih virov na vodnih telesih s kraško poroznostjo alpskega območja in regionalno povezovanje vodovodnih sistemov (MIKULIČ, 2010).

Količinsko stanje podzemnih voda v globokih vodonosnikih je tudi opredeljeno kot dobro. Ob tem je bila jasno prepoznana velika podatkovna vrzel pri ocenjevanju količinskega stanja podzemnih voda v globokih termalnih vodonosnikih. Posamezne indikativne meritve piezometričnih gladin podzemne vode v količinsko zelo obremenjeni Murski formaciji nakazujejo izrazito zni-

ževanje gladin in nevarnost netrajnostne rabe termalnih podzemnih vodnih virov. Za globoko vodno telo podzemne vode 4016 Murska kotlina in tudi 1003 Krška kotlina se v načrtu upravljanja predvideva, da okoljski cilji brez dopolnilnih ukrepov optimiranja in reinjektiranja odvzemov termalne podzemne vode do začetka naslednjega načrtovalskega obdobja ne bodo doseženi. Ocenjevanje doseganja zastavljenih ciljev pa bo možno šele po vzpostavitvi koncesijsko obvezujočih obratovalnih monitoringov in regionalnega geotermalnega monitoringa na državni ravni, kar bo omogočalo modeliranje količinskega obnavljanja termalne podzemne vode (MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR, 2015).

Poleg podatkovnih vrzeli in negotovosti pri ocenjevanju količin podzemne vode v globokih termalnih vodonosnikih je ostala količinsko neopredeljena tudi časovna in prostorska spremenljivost napajanja znotraj hidroloških let in znotraj vodnih teles. Rezultati letnih vodnih bilanc z ocenami količinskega stanja podzemnih voda in modelskimi vodno-bilančnimi simulacijami po različnih podnebnih scenarijih so sicer dragocena podlaga srednjeročnemu in dolgoročnemu načrtovanju upravljanja voda, vendar lahko prekrijejo pomembno informacijo o sezonski spremenljivosti napajanja vodonosnikov, ki domnevno presega spremenljivost napajanja med hidrološkimi leti (± 40 %) in spremenljivosti napajanja vodonosnikov v prihodnjih desetletjih (± 10 %).

Vpogled v sezonsko spremenljivost napajanja bo omogočilo nadaljnje razvojno sodelovanje Agencije Republike Slovenije za okolje z nemškim raziskovalnim središčem Jülich in vzpostavitev državnega mesečnega vodno-bilančnega modelskega sistema mGROWA-SI (HERRMANN et al., 2013), s katerim bo omogočeno tudi časovno podrobnejše spremljanje in napovedovanje razpoložljivosti vode na celotnem območju Slovenije. Model mGROWA simulira dinamiko vode v tleh in dejansko evapotranspiracijo ter skupni odtok, ki se na podlagi indeksov baznega odtoka deli v direktni odtok in napajanje vodonosnikov na dnevni časovni skali (HERRMANN et al., 2015). Regionalno vodno-bilančno modeliranje v mesečni in dnevni časovni skali bo tako ponudilo nov vpogled v sezonsko spremenljivost in omogočilo novo oceno trajnostne rabe in načrtovanja upravljanja voda v Sloveniji.

Viri in literatura

- ANDJELOV, M., GALE, U., KUKAR, N., TRIŠIĆ, N. & UHAN, J. 2006: Ocena količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji. *Geologija* 49/2: 383-391, [doi:10.5474/geologija.2006.027](https://doi.org/10.5474/geologija.2006.027).
- ANDJELOV, M., GALE, U., SOUVENT, P., TRIŠIĆ, N. & UHAN, J. 2008: Slovenian groundwater quantitative status in the period 1990-2006. EU Groundwater Policy Developments Conference, 13-15 November 2008. Internet: https://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/76101/1/actes_colloques_cfhaih_nov08.pdf (22. 5. 2016).
- ANDJELOV, M. 2009: Modeliranje napajanja vodonosnikov za oceno količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2006. 20. Mišičev vodarski dan 2009, Maribor: 126-130.
- 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 2013, Maribor: 127-133.
- ANDJELOV, M., WENDLAND, F., MIKULIČ, Z., TETZLAFF, B., UHAN, J. & DOLINAR, M. 2014: Regional water balance modelling by GROWA in Slovenia. Danube Conference 2014, Bridging the sciences – crossing borders, XXVI Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Deggendorf, 161-164.
- ANDJELOV, M., FRANTAR, P., MIKULIČ, Z., PAVLIČ, U., SAVIČ, V., SOUVENT, P., TRIŠIĆ, 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., MIKULIČ, Z., TETZLAFF, B., UHAN, J. & WENDLAND, F. 2016: Groundwater recharge in Slovenia, Results of a bilateral German-Slovenian research project. *Schriften des Forschungszentrums Jülich, Energy & Environment*, 339: 138.
- BAT, M., DOLINAR, M., FRANTAR, P., HRVATIN, M., KOBOLD, M., KURNIK, B., NADBATH, M., OŽURA, V., UHAN, J. & ULAGA, F. 2008: Vodna bilanca Slovenije 1971-2000. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana: 119 p.
- CHIEW, F. & SIRIWAREENA, L. 2005: Trend change detection software - user guide, CRC for Catchment Hydrology, Australia: 23 p.
- CRAIG, M. & DALY, D. 2010: Methodology for Establishing Groundwater Threshold Values and the Assessment of Chemical and Quantitative Status of Groundwater, Including an Assessment of Pollution Trends and Trend Reversal, Environmental protection Agency, Version 1. Wexford, Ireland: 48 p.
- EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2005: The European Environment. State and outlook 2005. European Environment Agency, Copenhagen: 570 p.
- EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2012: Environmental indicator report 2012, Ecosystem resilience and resource efficiency in a green economy in Europe, Copenhagen: 151 p.
- EUROPEAN COMMISSION 2007: Guidance on groundwater monitoring. WFD CIS Guidance Document No. 15. Technical Report 002-2007. 54 p.
- EUROPEAN COMMISSION 2009: Guidance on groundwater status and trend assessment. WFD CIS Guidance Document No. 18. Technical Report 026-2009. 82 p.
- GILBERT, R.O. 1987: Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York: 320 p.
- GRAYSON, R.B., ARGENT, R.M., NATHAN, R.J., McMAHON, T.A. & MEIN, R. 1996: Hydrological Recipes: Estimation Techniques in Australian Hydrology. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Australia: 125 p.
- HARUM, T., HÖLLER, C., SACCON, P., ENTNER, I. & HOFRICHTER, J. 2001: Abschätzung des nachhaltig nutzbaren Quellwasserdargebotes im alpinen Raum Österreichs. Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH Graz, Wien: 77 p.
- HELSEL, D.R., MUELLER, D.K. & SLACK, J.R. 2006: Computer program for the Kendall family of trend tests. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5275, Reston, Virginia: 4 p.
- HERRMANN, F., CHEN, S., HEIDT, L., ELBRACHT, J., ENGEL, N., KUNKEL, R., MÜLLER, U., RÖHM, H., VEREECKEN, H. & WENDLAND, F. 2013: Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 57/5: 206-224.
- HERRMANN, F., KELLER, L., KUNKEL, R., VEREECKEN, H. & WENDLAND, F. 2015: Determination of spatially differentiated water balance components including groundwater recharge on the Federal State level – A case study the mGROWA model in North Rhine-Westphalia (Germany). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4: 294-312.
- HÖLLER, C. 2004: Erstabschätzung der verfügbaren Grundwasserressource für Einzelgrundwasserkörper mit unzureichender Datenlage.

- Gem. EU-WRRL, September 2004. Methodenbeschreibung für strategiepapier des BMLFUW. Technisches Büro für Kulturtechnik & Wasserwirtschaft, Güssnig: 89 p.
- JANŽA, M., ŠRAM, D. & MEZGA, K. 2014: Ocena razpoložljivih in izkoristljivih količin podzemne vode po posameznih telesih podzemne vode v Sloveniji. Poročilo Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana: 18 p.
- JANŽA, M., ŠRAM, D., MEZGA, K., ANDJELOV, M. & UHAN, J. 2016: Ocena količin podzemne vode za ohranjanje ekosistemov, odvisnih od podzemne vode in doseganje dobrega ekološkega stanja površinskih voda. *Geologija*, 59/2: 221-232, [doi:10.5474/geologija.2016.013](https://doi.org/10.5474/geologija.2016.013).
- KARANTH, K.R. 1987: Groundwater Assessment Development and Management Tata McGraw Hill publishing company Ltd., New Delhi, 725p.
- KRANJC KUŠLAN, S. 1995: Bilanca podzemnih voda Republike Slovenije. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana.
- KUNDZEWICZ, Z.W. & ROBSON, A. (eds.) 2000: Detecting trend and other changes in hydrological data, World Climate Programme Data and Monitoring – Water, WMO/TD-No-1013, Geneva: 158 p.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. 1998: Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe – Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen. *Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt* 12, Jülich, 107 p.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. 2002: The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study. *Journal of Hydrology*, 259: 152–162.
- LEE, C.H. 1915: The determination of safe yield of underground reservoirs of the closed basin type. *Transactions, American Society of Civil Engineers*, 78: 148–251.
- MARDHEL, V., FRANTAR, P., UHAN, J. & ANDJELOV, M. 2004: Index of development and persistence of the river networks as a component of regional groundwater vulnerability assessment in Slovenia. In: WITKOWSKI, A.J. (ed.): Groundwater vulnerability assessment and mapping. International conference Ustroń, Poland, 15–18 June 2004, Abstracts, University of Silesia, Faculty of Earth Sciences Sosnowiec, pp. 99
- MEZGA, K., JANŽA, M., ŠRAM, D. & KOREN, K. 2014: Pregled ekosistemov, odvisnih od podzemnih vod. Končno poročilo. Arh. Št. K-II-30d/c/-42/1394-20. Poročilo Geološkega zavoda Slovenije, Ljubljana: 77 p.
- MIKULIČ, Z. 2010: Vode so podcenjeni potencial Slovenije, Slovenski vodar 21-22, Društvo vodarjev Slovenije, 6–8.
- 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, pp. 65.
- MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR 2015: Načrt upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja 2015–2021. Internet: http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/voda/ (12.09.2016)
- NADOR, A., LAPANJE, A. TÓTH, G., RMAN, N., SZÓCS, T., PRESTOR, J., UHRINE, A., RAJVER, D., FODOR, L., MURATI, J. & SZEKELY, E. 2012: Transboundary geothermal resources of the Mura-Zala basin: a need for joint thermal aquifer management of Slovenia and Hungary. Čezmejni geotermalni viri Mursko-Zalskega bazena: potreba po skupnem upravljanju geotermalnih vodonosnikov Slovenije in Madžarske. *Geologija*, 55/2: 209–22, [doi:10.5474/geologija.2012.0134](https://doi.org/10.5474/geologija.2012.0134).
- NIEA – NORTHERN IRELAND ENVIRONMENT AGENCY 2009: River Basin Management Plans – Groundwater Classification, Surface Waters. Internet: http://www.doeni.gov.uk/niea/surfacewaters_gw.pdf (13.01.2015).
- OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. CELEX–EUR Official Journal L 327, 22 December 2000, 1–72.
- PREDÁ, E., KLØVE, B., KVÆRNER, J., LUNDBERG, A., SIERGIEIEV, D., BOUKALOVA, Z., WACHNIEW, P., POSTAWA, A., WITCZAK, S., BALDERACCHI, M., TREVISAN, M., ERTÜRK, A., GONENEC, E., ROSSI, P., MUOTKA, T., ILMONEN, J., STEFANOPOULOS, K. & VADINEANU, A. 2014: New indicators for assessing GDE vulnerability, GENESIS project, Deliverable D4.3: 108 p.
- PUN 2000, 2014: Operativni program upravljanja z območji Natura 2000 v Sloveniji 2014–2020 (SI Natura 2000 Management) – LIFE+ projekt. Internet: <http://www.natura2000.gov.si/index.php?id=21> (23.01.2015).
- RMAN, N. 2014: Analysis of long-term thermal water abstraction and its impact on flow-temperature intergranular geothermal aquifers in the Mura-Zala basin, NE Slovenia. *Geothermics*, 51: 214–227, [doi:10.1016/j.geothermics.2014.01](https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.01).

- SAVRENSKY, F.P. 1933: *Gidrogeologiya = Hydrogeology*. Moscow, ONTI.
- 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.
- 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, 359–373.
- UHAN, J. 2010: Vode. In: Poročilo o stanju okolja v Sloveniji 2009, Agencija RS za okolje. Internet: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/> (4. 11. 2016).
- UHAN, J. 2015: Od prvega poskusa sledenja toka podzemne vode do prvega modela napajanja vodonosnikov v Sloveniji. Glasilo slovenskega meteorološkega društva, Vetrnica, 8/15, 30–37.
- URADNI LIST RS 2003: Pravilnik o metodologiji za določanje vodnih teles podzemnih voda, Uradni list RS, št. 65/2003.
- URADNI LIST RS 2005: Pravilniku o določitvi vodnih teles podzemnih voda. Uradni list RS, št. 63/2005.
- URADNI LIST RS 2009a: Uredba o stanju podzemnih voda. Uradni list RS, št. 25/2009.
- URADNI LIST RS 2009b: Pravilnik o monitoringu podzemnih voda. Uradni list RS, št. 31/2009.
- URADNI LIST RS 2016: Uredba o spremembah uredbe o stanju podzemnih voda. Uradni list RS, št. 66/2016.
- URADNI LIST SFRJ 1977: Zakon o enotnem načinu ugotavljanja, evidentiranja in zbiranja podatkov o rezervah rudnin in talnih voda ter o bilanci teh rezerv. Uradni list SFRJ, št. 53/77, 24/86 in 17/90.
- URADNI LIST SFRJ 1979: Pravilnik o klasifikaciji in kategorizaciji rezerv talnih voda in o njihovi evidenci. Uradni list SFRJ, št. 34/79.
- URBANC, J, MEZGA, K. & ZINI, L. 2012: An assessment of capacity of Brestovica – Klariči karst water supply (Slovenia) = Ocena izdatnosti vodnega vira Brestovica – Klariči (Slovenija). *Acta Carsologica*, 41/1: 89–100.
- WCED 1987: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, Internet: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (12.09.2016).
- WFD IRELAND 2005: WFD pressures and Impacts Assessment Methodology: Guidance on the Assessment of the impact of groundwater abstractions, Paper by the Working Group on Groundwater: 23 p.
- ZEKTSE, I.S. 2000: *Groundwater and the Environment*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.