



dobnega letnega odtoka, ki je potreben za doseganje ekoloških ciljev pri telesih površinskih vodah in ohranjanje ekosistemov, povezanih s telesi podzemne vode.

Z namenom lažjega in učinkovitejšega doseganja okoljskih ciljev omenjene vodne direktive, t.j. dobro količinsko in kemijsko stanje podzemnih voda, je bilo v Sloveniji določenih enaindvajset teles podzemne vode (Uradni list RS, št.63/2005). Pri določanju teh teles so bili uporabljeni splošni hidrogeološki kriteriji s poudarkom na prepustnostnih značilnostih vrhnjih plasti, ocene antropogenih obremenitev in ocene neposredne odvisnosti površinskih vodnih ali kopenskih ekosistemov od podzemne vode (Prestor et al., 2005).

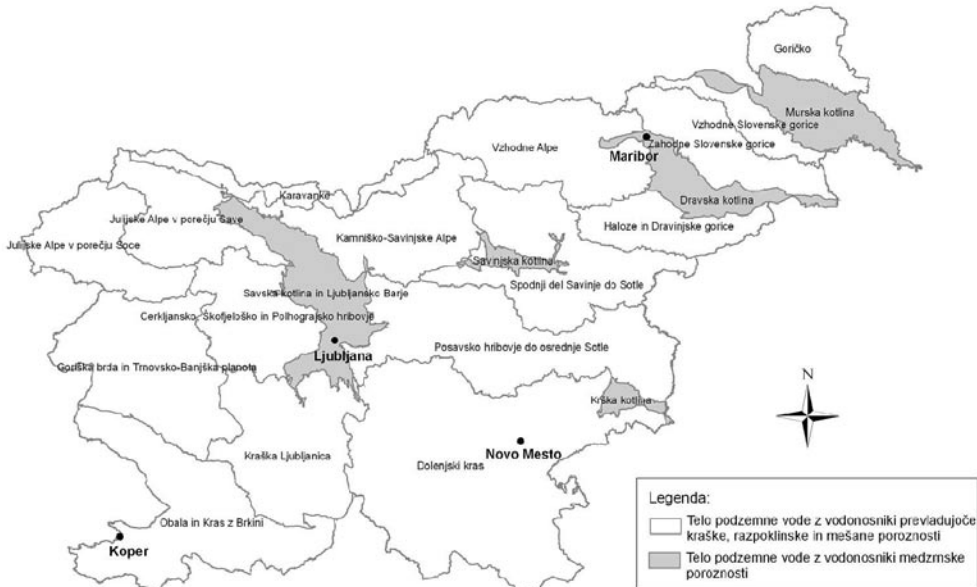
Osnova za določitev vodnih teles, kot orodij za doseganje ciljev okvirne vodne smernice, so bili hidrogeološki kriteriji vodonosnikov, ki omogočajo odvzem pomembnih količin podzemne vode, ki se uporabljajo ali so namenjeni oskrbi s pitno vodo ali omogočajo pomemben tok podzemne vode. Količinsko stanje podzemne vode v tako določenem vodnem telesu je bilo v nacionalni zakonodaji opredeljeno s stopnjo vpliva rabe na podzemno vodno telo zaradi odvzema njenih količin. To naj bi se odražalo kot sprememba piezometrične gladine podzemne vode, njenega pretoka in smeri njenega toka v vodnem telesu (Uradni list RS, št.65/2003).

## Metoda ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda

Glede na tip poroznosti in glede na razpoložljivost hidroloških podatkov v ocenjevalnem obdobju sta bili za ocenjevanje količinskega stanja podzemnih voda izbrani dve metodi (Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1977; Holler, 2004). Za šestnajst vodnih teles s prevladujočimi vodonosniki s kraško in razpoklinsko poroznostjo ter lokalni vodonosniki z mešanim medzrnskim in razpoklinskim tipom poroznosti in omejenimi viri podzemne vode je bila izvedena analiza vplivov pomembnih obremenitev na količinsko stanje teles podzemnih voda na podlagi metode ugotavljanja obnovljive količine podzemne vode. Za pet vodnih teles s prevladujočimi vodonosniki z medzrnsko poroznostjo pa je bila analiza vplivov na količinsko stanje izvedena na podlagi določitve kritičnih gladin podzemne vode in ocen trendov. Uporabljeni so bili podatki državnega hidrološkega monitoringa površinskih in podzemnih voda (Agencija Republike Slovenije za okolje, 1990–2001).

### Metoda kritičnih gladin podzemne vode

Metoda ocenjevanja količinskega stanja teles podzemne vode s prevladujočimi vodo-



Slika 1. Telesa podzemnih voda glede na prevladujoči tip poroznosti vodonosnikov (Prestor et al., 2005)

nosniki z medzrnsko poroznostjo temelji na analizi dolgoletnih podatkovnih nizov nihanja gladin podzemne vode. Razpoložljiva količina podzemne vode je bila določena kot sprememba višine vode v vodonosniku med kritično gladino, ki je mediana nizke gladine ( $NGW_{3M}$ ) in mediano gladine ( $MGW$ ) v obravnavanem obdobju 1990–2001 (slika 2). Zaradi zagotovitve reprezentativnosti je mediana nizke gladine podzemne vode izračunana z uteženo sredino trimesečnega obdobja, v času 45 dni pred in 45 dni po kritičnemu dnevu, ko so bile gladine podzemne vode na merilnih mest vodnega telesa v obdelovalnem obdobju najnižje (Andjelov et al., 2005).

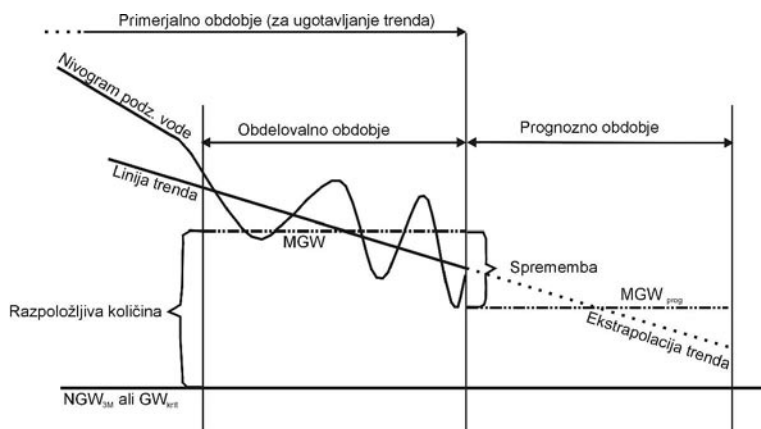
Za srednja letna povprečja gladin podzemne vode obravnavanega obdobja je izračunana regresijska premica in podana njena ekstrapolacija za prognozirano obdobje ter določena mediana ekstrapolirane trendne linije ( $MGW_{prog}$ ). Sprememba gladine med obravnavanim in prognoznim obdobjem pomeni spremembo razpoložljivih količin podzemne vode, ki je razlika med mediano gladin napovedovalnega obdobja ( $MGW_{prog}$ ) in mediano gladin obravnavanega obdobja ( $MGW$ ).

Zanesljivost linearne trendne linije smo statistično ocenili s Spearmanovim koeficientom korelacije rangov in Studentovim statističnim testom s signifikantnostjo na nivoju 95 odstotkov (Helsel & Hirsch, 1993). Na podlagi tako dobljenih statističnih kazalcev smo razvrstili obravnavana telesa podzemne vode v naslednje razrede:

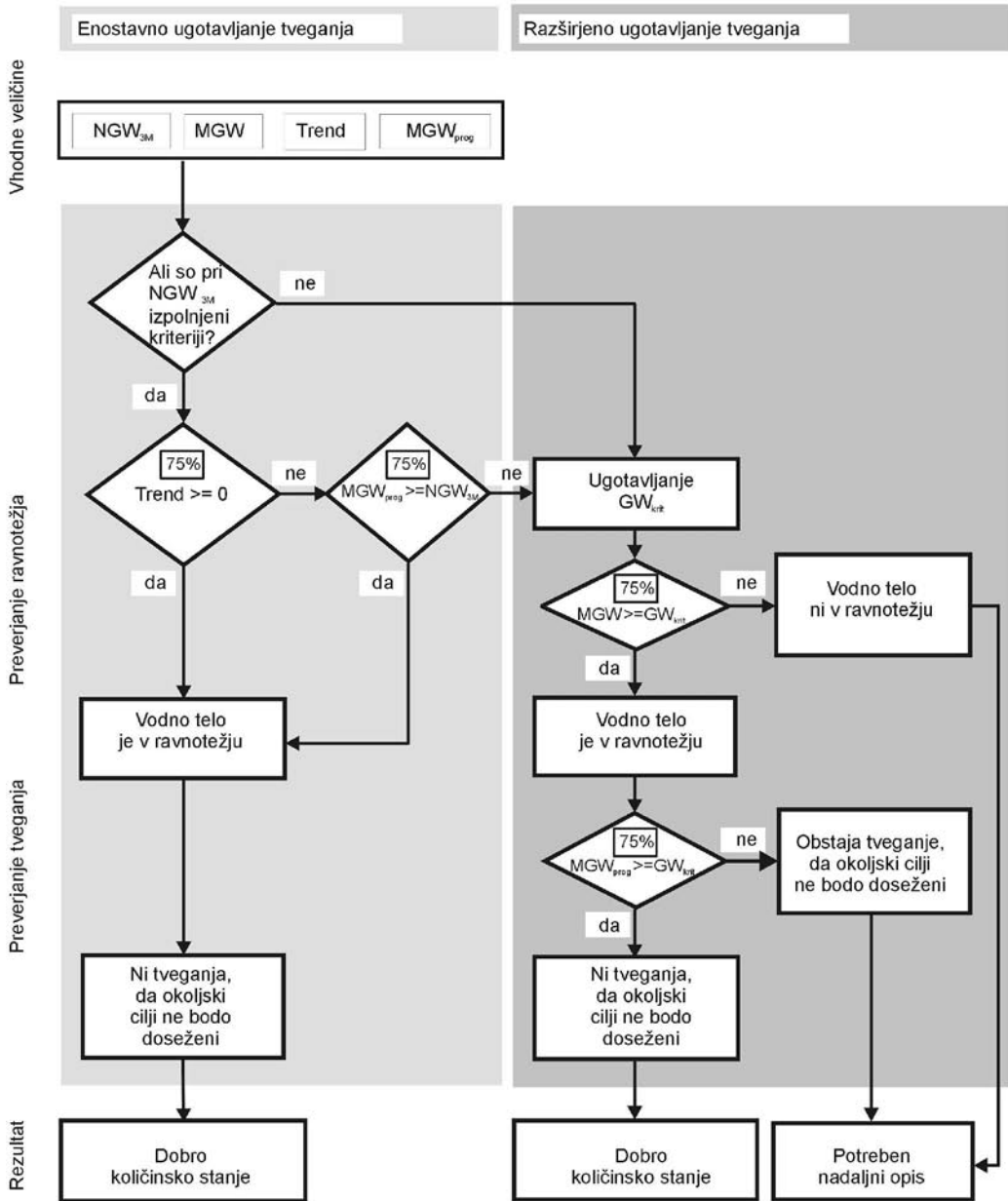
- pozitivna trendna linija ( $R > 0$ ) in visoka stopnja zanesljivosti rezultata ( $p < 0,05$ ), kar pomeni pozitivni trend in zvišanje gladin podzemne vode,

- pozitivna trendna linija ( $R > 0$ ) in srednja stopnja zanesljivosti rezultata ( $0,06 < p < 0,50$ ), kar pomeni verjetni pozitivni trend in verjetno zvišanje gladin podzemne vode),
- pozitivna ali negativna trendna linija ( $-1 < R < 1$ ) in visoka stopnja nezanesljivosti rezultata ( $0,50 < p$ ), kar pomeni, da trend ni izražen in sprememb v gladini podzemne vode ne moremo napovedati,
- negativna trendna linija ( $R < 0$ ) in srednja stopnja zanesljivosti rezultata ( $0,06 < p < 0,50$ ), kar pomeni verjetni negativni trend in verjetno znižanje gladin podzemne vode,
- negativna trendna linija ( $R < 0$ ) in visoka stopnja zanesljivosti rezultata ( $p < 0,05$ ), kar pomeni negativni trend in znižanje gladin podzemne vode.

Vpliv pomembnih obremenitev na količinsko stanje teles podzemnih voda je določen kot sprememba razpoložljive količine podzemne vode. Ugodno razmerje med odvzemi in razpoložljivo količino podzemne vode obstaja takrat, ko trend spreminjanja gladin podzemne vode za več kot 75 odstotkov merskih mest v vodnem telesu ni negativen. Ob neizpoljevanju tega pogoja je potrebna nadaljnja presoja, ki temelji na primerjavi prognoziranih srednjih gladin podzemne vode s kritičnimi gladinami (slika 3). Dobro količinsko stanje je ob upoštevanju dodatnega pogoja doseženo takrat, ko pri več kot 75 odstotkih merskih postaj znotraj obravnavanega telesa podzemne vode, kritična gladina ni presežena. Tveganje, da dobro količinsko stanje v telesih podzemne vode ne bo doseženo, obstaja takrat, ko je pri več



Slika 2. Shema izračuna razpoložljive količine podzemne vode v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo (po Holler, 2004)



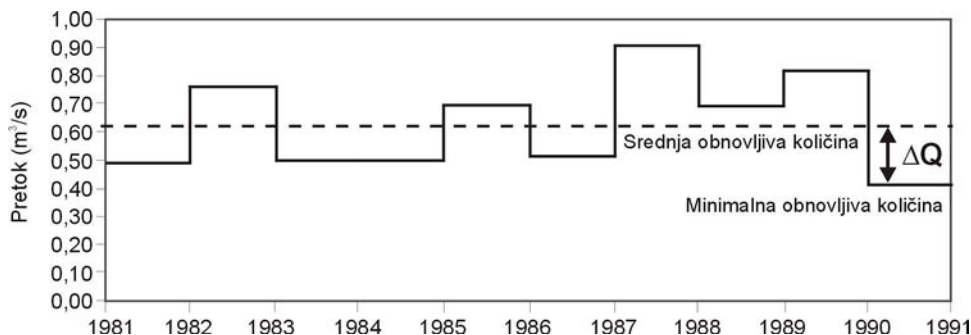
Slika 3. Preverjanje ravnotežja in tveganja za telesa podzemne vode v primeru medzrnske poroznosti (po Holler, 2004)

kot 25 odstotkih merskih postaj napovedana srednja gladina podzemne vode nižja od kritične srednje nizke gladine (NGW<sub>3M</sub>).

### Prilagojena Wundt–ova metoda

Metoda ocenjevanja količinskega stanja v primeru kraške, razpoklinske in mešane po-

roznosti sloni na analizi podatkovnih nizov o pretokih na hidroloških merskih postajah površinskih voda na presekih odtekanja iz obravnavanega telesa podzemne vode. Postopek temelji na ugotavljanju obdobjnega povprečja vrednosti najmanjših dnevni pretokov po posameznih mesecih v merskem profilu, iz katerega se izračuna razpoložljivi



Slika 4. Shema izračuna razpoložljive količine podzemne vode v primeru kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti (po Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1977; po Holler, 2004)

vo količino podzemne vode. Uporabljena je bila Wundt-ova metoda (Holler, 2004), pri kateri smo glede na dopolnitev Kille-ja (Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1977) vrednosti aritmetičnih sredin nadomestili z vrednostmi median (Frantar et al., 2004). Za ocenjevanje smo izbrali 61 reprezentativnih hidroloških merskih profilov in podatkovne nize povprečnih dnevni vrednosti pretokov v obdobju od leta 1990 do 2001.

Pri izračunu razpoložljivih količin podzemnih voda izhajamo iz stališča, da se ne sme povzročati potencialno negativnega količinskega vpliva na površinske vode, ki se napajajo iz telesa podzemne vode. Za to oceno je bila sprejeta predpostavka, da je ta vrednost enaka polovici razlike med srednjo in minimalno obnovljivo količino podzemne vode (slika 4).

Srednja obnovljiva količina podzemne vode (v sliki 4 je označena s prekinjeno črto) je mediana dolgoletnih dnevni minimumov v posameznih mesecih obravnavanega obdobja. Minimalna obnovljiva količina podzemne vode je najmanjše letno povprečje (mediana) mesečnih minimumov. Razpoložljiva količina podzemne vode je:

$$Q_r = \frac{1}{2} \cdot (Q_{o, sr} - Q_{o, min}) = \frac{1}{2} \cdot \Delta Q$$

$Q_r$  – razpoložljiva količina podzemne vode

$Q_{o, sr}$  – srednja obnovljiva količina podzemne vode

$Q_{o, min}$  – minimalna obnovljiva količina podzemne vode

Vpliv pomembnih obremenitev količinskega stanja teles podzemnih voda je izračunan kot porabljeni delež celotne razpoložljive količine oz. kot količnik med odvzemom

in razpoložljivo količino podzemne vode, izraženo v odstotkih. Dobro količinsko stanje v telesih podzemnih voda s prevladujočimi vodonosniki kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti je doseženo, če je vzpostavljeno ravnovesje med viri in odvzemi oz. tedaj, ko je vsota vseh odvzemov manjša od razpoložljive količine podzemne vode. Tveganje za nedoseganje dobrega količinskega stanja je takrat, ko je vsota vseh odvzemov večja od 75 odstotkov razpoložljivih količin podzemne vode.

## Rezultati ocenjevanja

### *Količinsko stanje teles podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki medzrnske poroznosti*

Za pet teles podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki medzrnske poroznosti (slika 1) je bila izvedena analiza vplivov pomembnih obremenitev količinskega stanja teles podzemnih voda na podlagi podatkov o vodostajih podzemne vode v daljšem časovnem obdobju. Za ugotavljanje tveganja je bilo izbranih 91 reprezentativnih merilnih mest državnega hidrološkega monitoringa podzemnih voda (Agencija Republike Slovenije za okolje, 1990–2001). Analize ravnovesja in tveganja so izdelane za vsako posamezno merilno mesto, rezultati pa so združeni tudi za celotno telo podzemne vode. Rezultati statistične analize Spearmanovih koeficientov korelacije rangov nam omogočajo določitev značaja in statistične zanesljivosti trenda (tabela 1).

Razmerje med skupnim številom hidroloških merilnih mest z negativnim in verjetnim negativnim trendom ter številom vseh merilnih mest na obravnavanem telesu pod-

Tabela 1. Ugotavljanje ravnovesja v telesih podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki medzrnske poroznosti

Ime vodnega telesa	Število hidroloških merilnih mest	Delež, ki ga predstavlja negativni trend (%)	Ali je telo podzemne vode v količinskem ravnovesju?
Savska kotlina in Ljubljansko Barje	24	66,67	nezanesljivo
Savinjska kotlina	13	23,08	da
Krška kotlina	17	23,53	da
Dravska kotlina	16	31,25	nezanesljivo
Murska kotlina	21	9,52	da

zemne vode je pomemben pokazalec ravnovesja. Delež negativnih trendov je najnižji v Murski kotlini (9,52 %) in najvišji v Savski kotlini in na Ljubljanskem Barju (66,67 %). V treh telesih podzemne vode (Savinjska kotlina, Krška kotlina in Murska kotlina) so izraženi predvsem pozitivni trendi spreminjanja gladin podzemne vode z deležem negativnih trendov pod 25 odstotkov. Sklepamo lahko, da je v omenjenih treh telesih podzemne vode ravnovesje količin in da obstaja dobro količinsko stanje brez tveganja za poslabšanje.

V dveh telesih podzemne vode je bil delež negativnih trendov višji od predpostavljene

kritične vrednosti 25 odstotkov. Za Savsko kotlino in Ljubljansko Barje je bila potrebna nadaljnja presoja tveganja in analiza vpliva obremenitev na količinsko stanje podzemne vode. Za 16 merilnih mest v telesu podzemne vode Savske kotline in Ljubljanskega Barja ter 5 merilnih mest v telesu podzemne vode Dravske kotline je bila izvedena ekstrapolacija trenda in ocenjena nevarnost doseganja kritičnega vodostaja. V okviru razširjene presoje je bilo ugotovljeno preseganje kritičnega vodostaja le na merskem mestu 0721 Ptuj v vodnem telesu Dravske kotline, kar ne presega kritične vrednosti 25 odstotkov za celotno vodno telo (tabela 2).

Tabela 2. Razširjeno ugotavljanje ravnovesja količin vodnih teles podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki medzrnske poroznosti

Ime vodnega telesa	Skupno število hidroloških merilnih mest	Število merilnih mest s skupnim negativnim trendom	Število merilnih mest, kjer prognozni vodostaj preseka kritičnega	Delež, ki ga predstavlja število merilnih mest s preseženim kritičnim vodostajem (%)	Ali je telo podzemne vode v količinskem ravnovesju?
Savska kotlina in Ljubljansko Barje	24	16	0	0,0	da
Dravska kotlina	16	5	1	6,25	da

*Količinsko stanje teles podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti*

Za šestnajst teles podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti (slika 5) je bila izvedena analiza vplivov pomembnih obremenitev na količinsko stanje teles podzemnih voda po metodi obnovljive količine podzemne vode.

Analiza je pokazala, da so pri kraški, razpoklinski in mešani poroznosti največje razpoložljive količine podzemne vode v telesu Dolenjski kras (199,3 mio. m<sup>3</sup>/leto), najmanjše pa v telesu podzemne vode Goričko (6 mio. m<sup>3</sup>/leto). V obdobju 1990–2001 je bilo največ podzemne vode odvzete iz telesa Posavsko hribovje do osrednje Sotle (12,79 mio. m<sup>3</sup>/leto), najmanj pa iz telesa

podzemne vode Goriškega (0,13 mio. m<sup>3</sup>/leto) (Statistični urad Republike Slovenije, 1990–2004). Največji delež porabljene podzemne vode je ugotovljen v telesu podzemne vode Posavsko hribovje do osrednje Sotle (36,71%), najmanjši pa v telesu podzemne vode Julijske Alpe v porečju Soče (1,23%) (tabela 3).

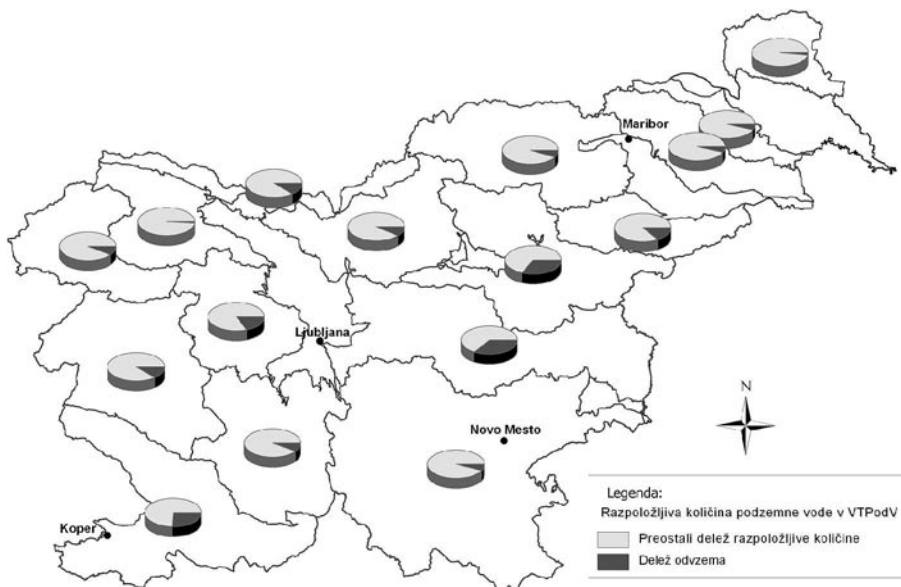
### Sklepi in priporočila

Ocena količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji je zasledovala razmerje med viri in odvzema podzemne vode. V telesih podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki medzrnske poroznosti je ugotovljeno ravnovesje za obdobje od leta 2001 do 2010. Iz tega sledi tudi ocena njihovega dobrega količinskega stanja brez tveganja za poslab-

Tabela 3. Razpoložljiva količina podzemne vode po vodnih telesih in delež odvzema podzemne vode proti razpoložljivi količini

Ime vodnega telesa	Razpoložljiva količina podzemne vode na celotno vodno telo (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /leto)	Razpoložljiva količina podzemne vode glede na površino vodnega telesa (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /leto/km <sup>2</sup> )	Delež odvzema podzemne vode proti razpoložljivi količini (%)
Julijske Alpe v porečju Save	103,9	132,7	1,23
Karavanke	38,4	95,0	10,93
Kamniško-Savinjske Alpe	69,3	62,3	8,54
Cerkljansko, Škofjeloško in Polhograjsko	59,5	70,0	17,00
Posavsko hribovje do osrednje Sotle	34,8	19,4	36,71
Spodnji del Savinje do Sotle	35,8	25,6	33,97
Kraška Ljubljana	92,0	70,4	7,54
Dolenjski kras	199,3	59,4	5,59
Vzhodne Alpe	62,6	49,3	6,29
Haloze in Dravinjske gorice	19,6	32,8	13,74
Zahodne Slovenske gorice	12,7	16,8	4,93
Vzhodne Slovenske gorice	6,1	19,7	4,82
Goričko	6,0	12,1	2,22
Obala in Kras z Brkini	36,7	23,1	25,96
Julijske Alpe v porečju Soče	62,3	76,2	7,74
Goriška Brda in Trnovsko-Banjška planota	121,5	84,2	10,85





Slika 5. Razpoložljiva količina podzemne vode v telesih s prevladujočimi vodonosniki kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti

šanje v obdobju do leta 2010. V telesih podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti delež odvzetih razpoložljivih količin podzemne vode ne presega 37 odstotkov, kar je manj od predpostavljene kritične vrednosti razpoložljivih količin podzemne vode. Tako določena in analizirana vodna telesa podzemne vode so v količinskem ravnovesju. Tudi pri vodnih telesih s prevladujočimi vodonosniki s kraško, razpoklinsko in mešano poroznostjo je ugotovljeno dobro količinsko stanje brez tveganja za poslabšanje stanja do leta 2010 (Andjelov et al., 2006).

Pri ocenjevanju količinskega stanja podzemnih voda se je pokazala potreba po podrobnejši členitvi vodnih teles in dodatnem ocenjevanju količinskega stanja tistih delov vodnih teles, za katere je značilna velika hidrogeološka pestrost in velika prostorska spremenljivost razpoložljivih količin podzemne vode. Najizrazitejša potreba po nadaljni prostorski členitvi in podrobnejši analizi manjših delov vodnih teles se je pokazala pri vodnem telesu Obala in Kras z Brkini in pri vodnem telesu Dolenjski kras ter še pri nekaterih drugih. Pri analizi se je pokazala tudi potreba po dopolnitvi mreže merilnih mest državnega hidrološkega monitoringa, ki je še posebej izrazita pri ocenje-

vanju stanja vodnega telesa Savska kotlina. Poleg tega bo v prihodnje potrebna podrobnejša členitev vodnih teles, ki bo omogočala ločeno spremljanje in reševanje posledic vplivov tudi ostalih antropogenih posegov (Mikulič, 2006). S predstavljenim pristopom sicer ugotavljamo dobro količinsko stanje vseh vodnih teles podzemnih voda, hkrati pa se v Sloveniji srečujemo z nekaterimi velikimi regionalnimi vodooskrbnimi težavami. Presoja potrebe po razdelitvi vodnih teles v manjše enote ocenjevanja količinskega stanja in dopolnitvi državne mreže merilnih mest bi bila potrebna tudi iz vidika pričakovanih dolgoročnih vplivov podnebne spremembe na vodni krog, ki lahko omenjene oskrbovalne težave prebivalstva z vodo še zaostrijo.

#### Literatura

Agencija Republike Slovenije za okolje 1990–2002: Hidrološki letopisi Slovenije 1990–2002.– Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

Andjelov, M., Trišič, N., Frantar, P., Gale, U., Kukar, N., Mikulič, Z., Miklavčič, J. & Uhan, J. 2005: Izdelava strateških smernic in ocena količinskega stanja podzemnih voda.– Interno poročilo, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

Andjelov, M., Gale, U., Kukar, N., Trišič, N. & Uhan, J. 2006: Ocena količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji. – Zbornik



povzetkov, 2. Slovenski geološki kongres, str. 105. Idrija.

Deutschen Geologischen Gesellschaft 1977: Arbeitskreis Grundwasserneubildung der Fachsektion Hydrogeologie der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 19, 98 pp., Hannover.

Directive 2000/60/EC 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.– Official Journal of the European Communities, 43, L 327, 1–72. Brussels.

Frantar, P., Gale, U., Andjelov, M. & Trišič, N. 2004: Ocena količinskega stanja podzemne vode – telo Kraške Ljubljani.– Zbornik referatov, 15. Mišičev vodarski dan, 204–210, Maribor.

Prestor, J., Janža, M., Urbanc, J. & Meglič, P. 2005: Delineation of groundwater bodies in Slovenia. – Poster, Workshop on Groundwater Bodies in Europe and Adjacent Countries, Berlin.

Helsel, D.R. & Hirsch, R.M. 1993: Statistical Methods in Water Resources. – Studies in environmental science, 49, 522 pp., Elsevier Publishing Company.

Holler, 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, 89 pp., Güssnig.

Mikulič, Z. 2006: Podzemne vode – ogroženo bogastvo Slovenije, Neopazno izgubljeno Blejsko jezero. – Delo Znanost, 16.3.2006, Ljubljana.

Statistični urad Republike Slovenije 1996–2004: Statistični letopisi Republike Slovenije 1996–2004.– Statistični urad Republike Slovenije, Ljubljana.

Uradni list RS, št.65/2003: Pravilnik o metodologiji za določanje vodnih teles podzemnih voda.– Uradni list Republike Slovenije, Ljubljana.

Uradni list RS, št.63/2005: Pravilnik o določitvi vodnih teles podzemnih voda.– Uradni list Republike Slovenije, Ljubljana.

