



*Stal je sred dvorišča, kot zlat rudnik
(Ciril Zlobec)*

Podzemna voda

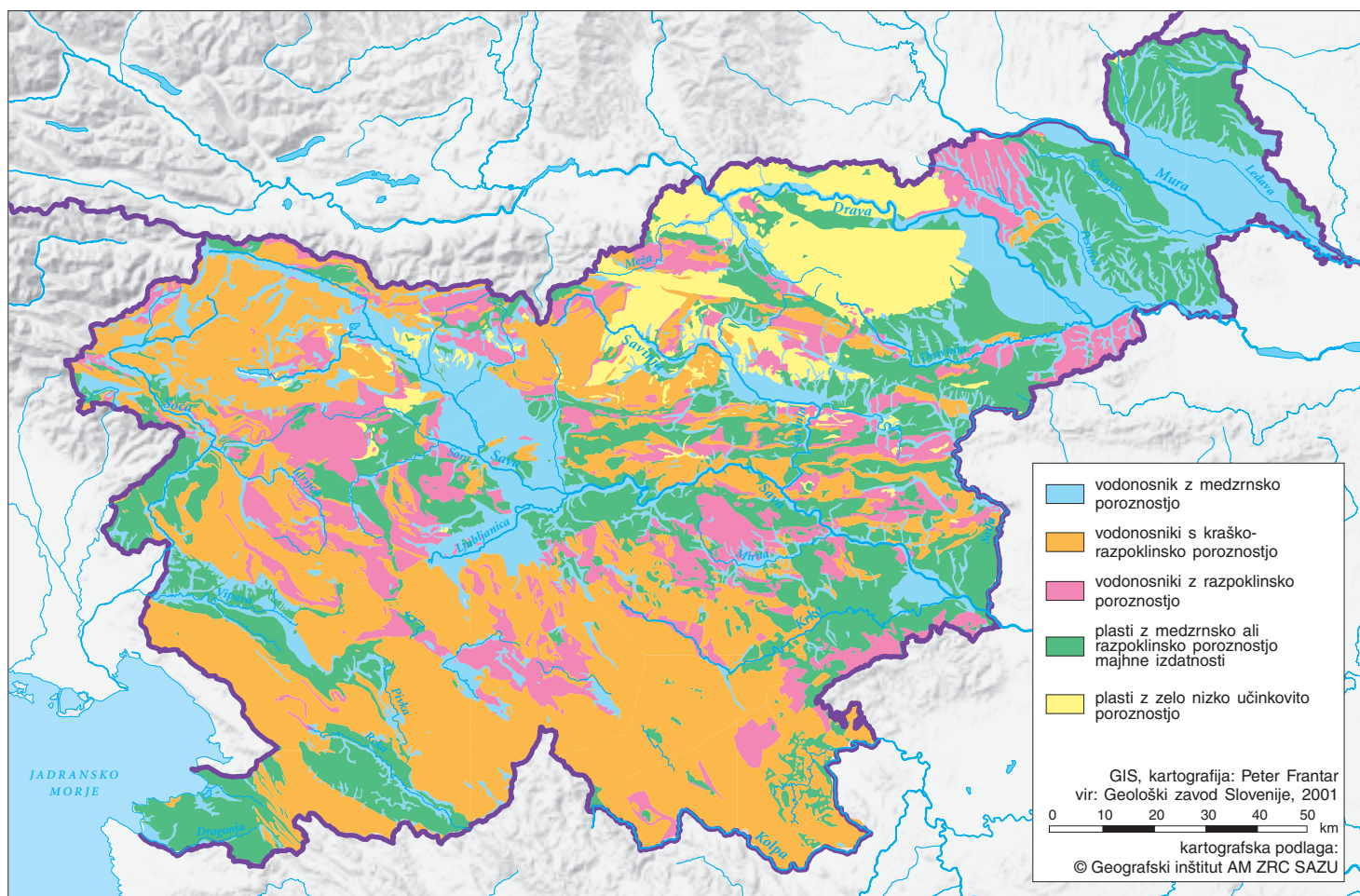
Jože Uhan, Marjeta Krajnc

Voda v tleh in podzemlju je med najtežje prepoznavnimi odseki krožnega toka vode. Pronicanje padavin in zatekanje površinske vode ter njeno pretakanje v podzemlju je najpogosteje očem skrito. V preteklosti je bilo pojavljanje podzemne vode v izvirih in ponikanje površinske vode v ponorih pogosto zavito v tančico skrivnosti. Izviri in ponori so človeku že v daljni preteklosti pomenili nekaj posebnega, tudi nekaj nadnaravnega. V preteklosti so ljudje mnoge izvire prepoznali kot blagodejne, celo zdravilne. Znani so izviri, kot npr. Marijin studenec na Kopanju, izviri

Timave, Žegnani studenec na Zaplazu, ki so jih množično obiskovali in jih razglašali za čudežne. Studenci, slatine in jame ter presihajoča jezera so posebej pritegnila že prvega popisovalca našega ozemlja Janeza Vajkarda Valvasorja, ki se v svoji znameniti Slavi vojvodine Kranjske (1689) ni mogel načuditi, da gre v tej deželi "toliko rek in voda pod zemljo".

Slovenski raziskovalci so v desetletjih in stoletjih raziskovanj poskušali spoznati skrivnostno zgradbo kamnin, v katerih se nahaja in pretaka voda. Razvozlati so poskušali skrivnostne poti vode v podzemlju in oceniti količino pod-

Karta 6.1:
Hidrogeološka zgradba
Slovenije (Geološki
zavod Slovenije)





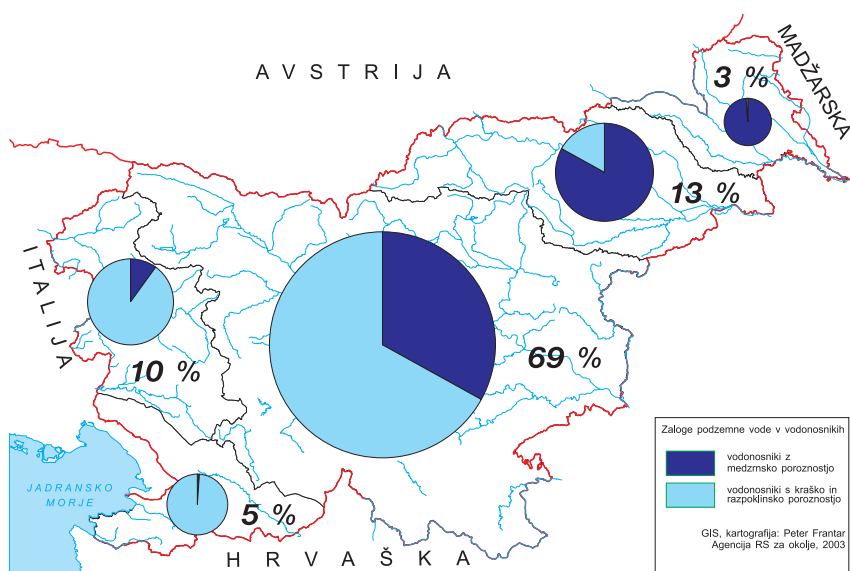
(foto: Jože Uhan)

Slika 6.1: Sorško polje

zemne vode ter jo primerjati s količinami voda na planetu. Po vodni bilanci UNESCO (World Water Balance and Water Resources of the Earth, 1978) hidrologi ocenjujejo, da količina podzemne vode več kot desetkrat presega količino vse površinske vode v rekah in jezerih. V Evropi so ocenili okoli 140 krat večje količine vode v podzemlju v primerjavi s površjem (1 000 000 km³ podzemne vode, 2 580 km³ površinske vode in 4 090 km³ vode v ledenikih). Podzemne vode znotraj človeku dosegljivih globin je še vedno okoli 70 krat več, kot vode na površju. Tudi v Sloveniji smo blizu razmerja, ki velja za Evropo, saj se uvrščamo med najbolj vodnate dežele na evropski celini (Stanners in Bourdeau, 1995).

Prostorska porazdelitev podzemne vode je pogojena z vrsto kamninske zgradbe in vrsto njene poroznosti oz. prepustnosti, torej je odvisna predvsem od hidrogeološke zgradbe. Večino slovenskega ozemlja prekrivajo razme-

Karta 6.2: Zaloge podzemne vode v Sloveniji po porečjih (vir podatkov: Kranjc, 1995)



roma dobro prepustne sedimentne kamnine z medzrnsko poroznostjo (19.8 odstotkov površine Slovenije), razpoklinsko (14.2 odstotka) in kraško razpoklinsko poroznostjo (33.2 odstotka). Preostale dele Slovenije (32.8 odstotkov) gradijo plasti z medzrnsko ali razpoklinsko poroznostjo manjše izdatnosti in kamnine s slabšo poroznostjo (Prestor et al., 2002).

Vodonosniki z medzrnsko poroznostjo so razmeroma plitve ravninske prožno peščene aluvialne zapolnitve tektonskih udorin ob naših največjih rekah. Kljub razmeroma majhni površini vodonosniki z medzrnsko poroznostjo prispevajo pomemben delež dinamičnih zalog podzemnih vod Slovenije (36.8 odstotkov). Največ zalog te vrste je v porečju Save (56.8 odstotkov) s Kranjskim in Sorškim poljem (5.1 m³/s), Ljubljanskim poljem (4.6 m³/s) ter Krškim in Brežiškim poljem (1.0 m³/s). Delež 28.5 in 7.4 odstotkov zalog imata porečji Drave (5.4 m³/s) in Mure (1.4 m³/s). Porečja Savinje, Sotle in Soče ter obalno območje prispevajo skupaj le 7.3 odstotke (1.4 m³/s). Skupno dosegajo vodonosniki z medzrnsko poroznostjo 18.8 m³/s dinamičnih zalog podzemne vode (Kranjc, 1995).

V pleistocenu in holocenu, v obdobju zadnjih dveh milijonov let zemeljske zgodovine, so površinske vode v tektonske udorine naplavile velike količine usedlin. Območje današnjega Kranjskega polja so takratne reke zapolnjevale s prodnimi in peščenimi sedimenti v debelini do 50 metrov, na območju današnjega Sorškega in Ljubljanskega polja ter barja pa tudi preko 100 metrov (Žlebnik, 1971; Kuščer, 1990).

Mnogo plitvejši so rečni sedimenti v tektonski udorini Krško-Brežiške kotline in v Spodnji Savinjski dolini, kjer gre povprečno za deset do dvajset metrov kvartarnih prodrnopedšenih usedlin. Tudi usedline prostranega vodonosnika Dravskega polja so le izjemoma debelejšee od dvajset metrov. Podobne razmere so tudi na največjem ravninskem vodonosniku ob reki Muri (Breznik, 1985). Tudi mnoge ožje rečne doline prekrivajo naplavinski sedimenti s podzemno vodo, ki sicer nimajo večjega pomena za oskrbo z vodo, vzdržujejo pa izredno pomembno pestrost obrečnih biotopov.

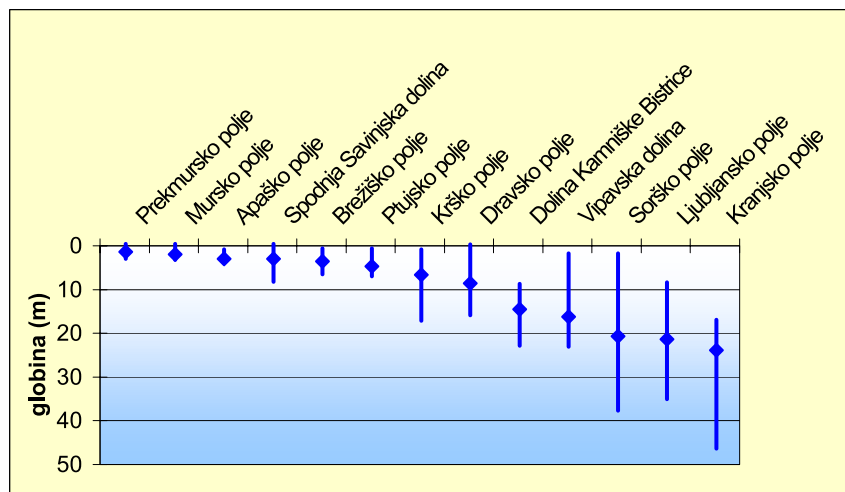
Gladina podzemne vode v vodonosnikih Ljubljanske kotline je na globini nekaj deset metrov pod površjem, povprečno med dvajset in petindvajset metri, le v iztočnih delih posameznih vodonosnikov je globina do gladine podzemne vode tudi manj kot deset metrov. Podzemna voda je na večjih globinah tudi v dolini Kamniške Bistrice, ponekod tudi v Vipavski dolini, plitveje je podzemna voda

Dravskega in Krškega polja, le nekaj metrov pod površjem pa je podzemna voda na Ptujskem in Brežiškem polju ter v Spodnji Savinjski dolini. Najplitveje pa so gladine podzemne vode na Apaškem, Murskem in Prekmurskem polju. Večjim globinam do podzemne vode sledi tudi večja amplituda gladin med najnižjo in najvišjo gladino (Hidrološki letopis, 1995-2002).

Aluvialni vodonosniki se napajajo predvsem s padavinami in z zatekanjem vode rek in ponikanjem potokov, kar je npr. značilno za pohorske potoke na Dravskem polju. V iztočnih delih pa se podzemna voda izteka nazaj v struge ali pa izvira v obliki dolinskih izvirov. Med najizrazitejšimi dolinskimi izviri v iztočnih delih aluvialnih vodonosnikov je izvir Lave pri Rojah v Spodnji Savinjski dolini. Na Dravskem polju so to Miklavška, Hajdinska, Pobreška ter Stražunska studenčnica, osrednji del Murskega polja pa je preprežen s studenčnicami, ki so v hidravlični povezavi z Muro in jih imenujejo Murice.

Drugačnega značaja pa so dolinski izviri, imenovani »okna«. Taki izviri so na Ljubljanskem barju, kjer je podzemna voda ujeta pod glinastimi plastmi nekdanjega jezera pod pritiskom. Na južnem obrobju Ljubljanskega barja je površinska plast neprepustne barjanske zemlje polžarice erodirana in podzemna voda se iz spodaj ležeče prodne plasti preliva na površje. Piezometrična gladina podzemne vode je nekaj metrov nad površjem in vzdržuje mokrišče šote in polžarice. Tudi na severnem obrobju Krakovskega gozda je pri Korenu in Kržišču nekajmetrska zgornja pretežno glinasta plast erodirana in pod pritiskom priteka na površje podzemna voda spodnje vodonosne plasti peska in prod.

Poleg prodov in peskov pa so vodonosni tudi apnenci in dolomitizirani apnenci, peščenjaki, laporji itd. Plasti apnencev in delno dolomitov, ki so zaradi tektonskih premikanj zdrobljene in kasneje zakrasele, imajo kraško razpoklinsko poroznost, za plasti dolomitov pa je značilna predvsem razpoklinska poroznost. Slabše prepustne in manj izdatne so plasti peščenjakov, laporjev itd. s pretežno razpoklinsko poroznostjo. Vodonosniki z razpoklinsko poroznostjo so na širšem idrijskem območju, v Škofjeloškem hribovju, med Ribnico in Ljubljanskim barjem, na Gorjancih in južno od Kočevja, vodonosniki s kraško razpoklinsko poroznostjo pa so na velikih sklenjenih območjih v zahodnem in južnem delu Slovenije, od Julijskih Alp do visokih kraških planot (Drobne et al., 1976). Debelina vodonosnikov s kraško in razpoklinsko poroznostjo je lahko več sto ali tudi tisoč metrov, v njih se v



Graf 6.1: Amplitude gladin podzemne vode v vodonosnikih z razpoklinsko in kraško poroznostjo

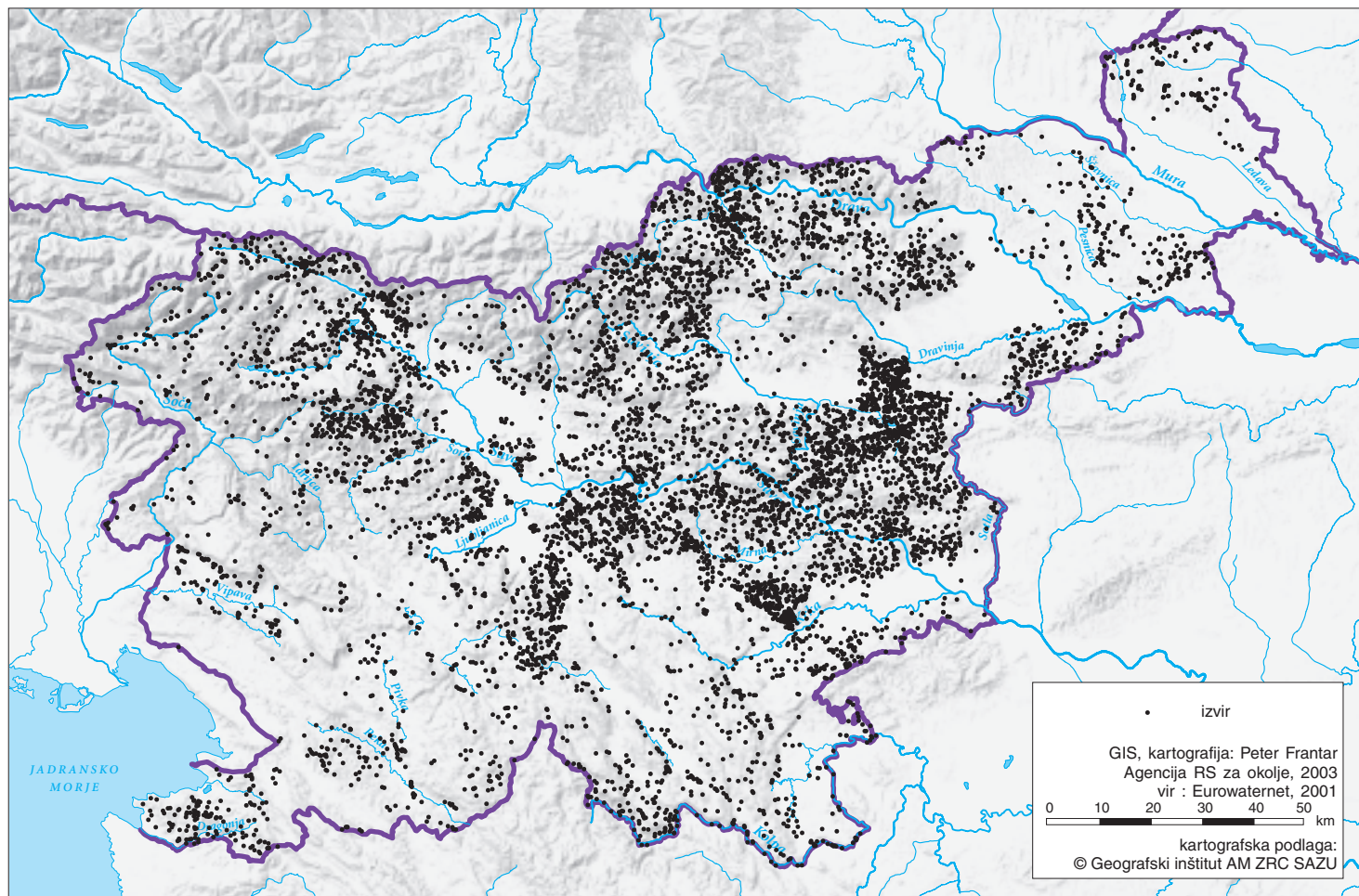
Sloveniji zadržuje okoli 62 odstotkov dinamičnih zalog podzemne vode. Največ dinamičnih zalog podzemne vode v vodonosnikih z razpoklinsko in kraško poroznostjo je v porečju Save od Gorenjske do Spodnjega Posavja ($18.2 \text{ m}^3/\text{s}$), v porečjih Soče ($4.6 \text{ m}^3/\text{s}$), Savinje in Sotle ($3.7 \text{ m}^3/\text{s}$). Skupaj je v vodonosnikih s kraško in razpoklinsko poroznostjo $31.6 \text{ m}^3/\text{s}$ dinamičnih zalog podzemne vode (Kranjc, 1995).

Vodonosniki z razpoklinsko in predvsem kraško poroznostjo se odlikujejo z izdatnimi izviri, ki so poleg ponorov površinskih voda med najbolj vznemirljivimi naravnimi hidrološkimi pojavi. Točkovno iztekanje podzemne vode iz vodonosnikov, kar izviri so, je najpogosteje povezano z vrsto kamninskih plasti, njihovo nagubanostjo, erodiranostjo, razpokanostjo, izvotljenostjo itd. Pojavljajo se povsod tam, kjer naravne geološke značilnosti dopuščajo ali omogočajo iztok vode iz vodonosnika. Glede na različne kriterije izbora so raziskovalci v Sloveniji našli preko 10 000 izvirov (karta 6.3). Med najizdatnejše izvire v Sloveniji se

Slika 6.2: Krakovski gozd



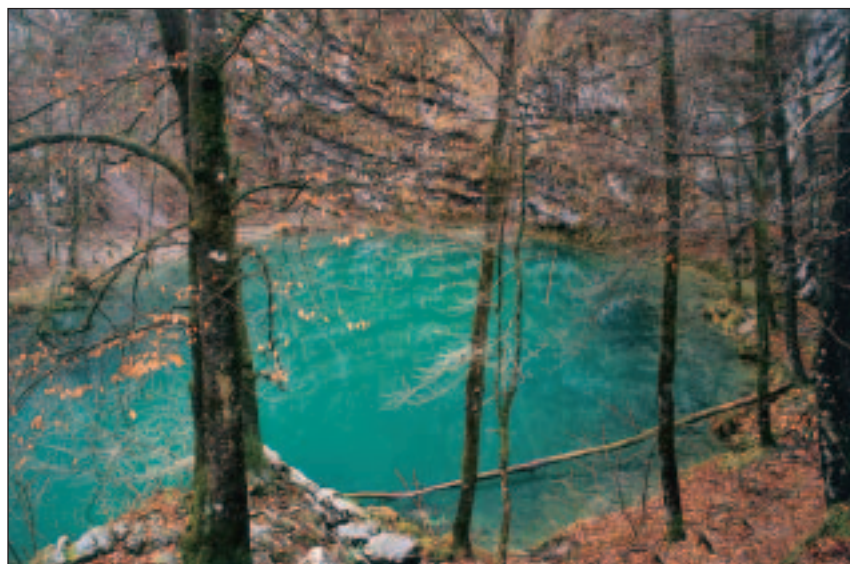
(foto: Gordana Beltram)



Karta 6.3: Izviri v Sloveniji

uvrščajo izviri v zahodnih alpskih in kraških predelih, med najzanimivejše izvire po mehanizmu izviranja pa nedvomno sodijo izviri vokliškega tipa (po izviru v pokrajini Vaucluse v Franciji), kot je Divje jezero (slika 6.3) ali visokovodne bruhalniške jame s sifonom vokliškega tipa, kot je izvir in slap Govic v zgornjetriasijskih dolomitiziranih apnenčastih strmih stenah Pršivca nad Bohinjskim jezerom (slika 6.4). Še redkejši je arteški tip izvirov (po izviri na

Slika 6.3: Divje jezero



(foto: Peter Skoberne)

grofiji Artois v Franciji), kot je npr. izvir na humu Kopanj na južnem delu Radenskega polja ter pojav zaganjalk, kot je npr. Lintvern pri Vrhniki, Minutnik v dolomitnem pobočju Pendirjevke pod Gorjanci, Mežnarjev studenec pri cerkvi Sv. Miklavža pri Ulaki in Presihajoči izvir Igla ob cesti za Solčavo. Svojevrstni pa so pojavi izvirov, ki so v povezavi z orudjenji: izvir z živim srebrom Podklanec pri Žireh, železova voda pod Olševo in žveplena izvira v dolini Trebuše in v Podvolovljeku v Zgornji Savinjski dolini (Skoberne in Peterlin, 1988, 1991).

Najpogostejši med izviri so plastni izviri, ki se pojavljajo na stiku neprepustnih plasti (glina, laporji, skrilavi glinavci) s poroznimi vodonosnimi kamninami. Neprepustne plasti so nagnjene proti izviru in podzemna voda zaradi težnosti odteka skozi prepustno kamnino nad neprepustno plastjo. Zaradi sorazmerno majhne prostornine kamninskih por, ki jih izpolnjuje podzemna voda, je izdatnost plastovnih izvirov odvisna od padavin, posebno v kraškem svetu. Ob daljši suši tovrstni izviri presahnejo. Na stiku neprepustnih plasti in poroznih vodonosnih kamnin so pogosto prelivni izviri. Večkrat se pojavljajo na vznožju dolomitnih in apnenčevih gorskih masivov v tektonsko razpokanih conah. Tudi tu odteka pod-

zemna voda v izvir težnostno, vendar je njeno gibanje delno tudi sifonsko. Skupna prostornina kamninskih por, ki jih izpolnjuje podzemna voda, je pri tej geološki zgradbi zelo velika. Zato je izdatnost teh izvirov skozi vse leto izravnana, izviri pa tudi po dolgotrajni suši ne presahnejo. Posebna oblika prelivnih izvirov so arteški izviri, kjer voda priteka iz hidravlično zaprtega vodonosnika v izvir pod tlakom. Po izdatnosti se odlikujejo kraški izviri, za katere so značilni enotni dotočni rovi. Razmerje nizkih, srednjih in visokih voda kraških izvirov je v razmerju 1:10:100, marsikje tudi 1 000 in več.

V sistemu kraške Ljubljani izstopajo izviri na obrobju Ljubljanskega barja. To so izviri Malo in Veliko okence ter Mali in Veliki Močilnik in izviri Bistre, Ljubije in Bele (Novak, 1965; Habič, 1996).

Ob vznožju plastnatega zgornjekrednega apnenca Nanosa se ob neprepustnem flišnem obrobju pojavljajo izviri Vipave z največjimi pretoki v času taljenja snega na kraški planoti Nanos in delno Hrušici. Hidrološko zaledje izvirov Vipave je tudi severno obrobje Postojnske kotline s ponikalnicama Lokve in Belščica. V srednjem delu doline reke Vipave, ob strmem južnem vznožju Trnovskega gozda, visoko nad dnem doline, izvira kraška voda Hublja (slika 6.5). Hubelj leži v dnu izrazite, ozke in globoke strukturne depresije v narivni ploskvi Trnovskega pokrova. V sušnem obdobju se v 300 metrov dolgi jami ohrani več sifonskih jezer. Vode večinoma pritekajo po korozijsko razširjenih tankih plasteh - lezikah med slabo prepustnimi apnenci in flišno podlago (Janež et al., 1997).

Velika hidrološka in hidrogeološka zanimivost je občasni kraški izvir Lijak pri Novi Gorici, s kraškim rovom v globini 90 metrov. Zanj so značilni nenavadno visoki, a kratkotrajni pretoki. Raziskovalci razlagajo izvir Lijak kot visokovodni preliv za kraške vode, ki sicer odteka proti izviru Mrzleka v dolini Soče (Petrič, 1993; Janež et al., 1997). Med najizdatnejše izvire se s kaninskim kraškim pogorjem v zaledju uvršča izvir Boka. Voda Boke se v najmočnejšem slovenskem slapu spušča v Sočo, ki ima svoj kraški izvir v Trenti. V globoki dolini Soče so pod Sabotinom, na desnem bregu Soče, razporejeni še številni kraški izviri Mrzleka (Habič, 1982; Janež et al., 1997).

Glavni vir pitne vode za območje slovenske obale predstavlja izvir Rižane, ki se pojavlja na stiku vodonosnika v apnencih z zelo slabo prepustnimi flišnimi plastmi. Dokazane so podzemne povezave z brkinskimi ponikalnicami (Krivic et al., 1987; Krivic et al., 1989).



(foto: Mojca Robič)

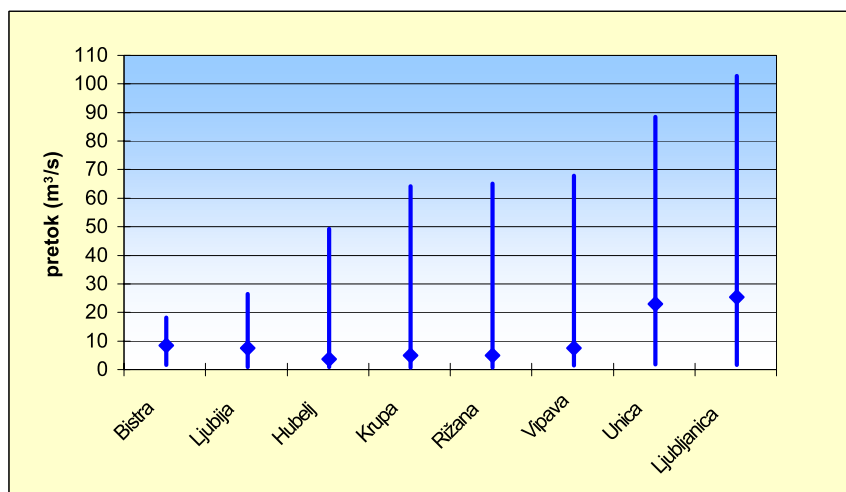
Izvir Krke in njeni pritoki, predvsem v zgornjem toku, so kraškega značaja. Nad glavnim izvirom Pod jamo je občasno izvirna Krška jama, ki se konča s sifonom. Ostali kraški izviri pritokov Krke so izviri Poltarice, izviri Lipovke, Podbukovski studenec in Gabrovski studenec. Dokazano je tudi, da se v izvire Krke podzemeljsko pretakajo vse vode Grosupeljsko-Radenskega polja (Novak, 1985; 1987).

Tudi v porečju Kolpe je več kraških izvirov. Med njimi je največji izvir Krupa pod zatrepno steno debeloplastnatega apnenca v sedimentu izvirnega jezera (slika 6.6). Izvir je povezan s ponikalnicami v zaledju (Habič in Kogovšek, 1992). V soteski Kolpe je pod visoko zatrepno steno tudi izvir Bilpe, v katerega se zaradi bifurkacije steka del vode Rinže, glavnega vodnega toka Kočevskega polja. Izviri z obliko obrha so v porečju Kolpe številni. Med bolj vodnatimi izviri tega tipa je tudi izvir Dobljčice z večjim izvirnim jezerom.

Ob morenskem nasipu in ostanku nekdanjega jezera je pri Ratečah izjemen dolinski izvir Zelenci (slika 6.7). Okolica mokrišča oz. barja v

Slika 6.4:
Kraški izvir Govic

Graf 6.2: Amplitude
pretokov kraških izvirov
(vir podatkov:
Brenčič, 2000)



Slika 6.5: Kraški izvir Hubelj (november, 1998)

Slika 6.7: Izvir Zelenci



(foto: Jana Meljò)



(foto: Florjana Ulaga)

Zelencih je polna izvirov, ki so poznani kot izviri Save Dolinke. Prvi izvir Save Dolinke pa je pravzaprav že kraški izvir Nadiže v ledeniški dolini Tamar. Voda izvira kot slapišče v ozkem predelu med dvema prelomoma v sivem zrnatem dolomitu, vendar že po kratkem površinskem toku voda ponikne v rečni in morenski nanos Tamarja in Planice (Gregori, 1994). Podoben hidrološki značaj pa ima tudi izvir in slap Rinka pod krnico Okrešelj. Pod slapom voda ponikne v prodno in gruščasto strugo in se po nekaj kilometrih podzemnega toka ponovno pojavi v izviru Črne v Logarski dolini, v izviru reke Savinje.

Slika 6.6: Kraški izvir Krupa



(foto: Niko Tršič)

Ponikalnice, površinski vodni tokovi, ki v ponorih tečejo v podzemlje, so značilne predvsem za kraški svet in številna so imena potokov in zaselkov, ki govorijo o tem pojavu (Ponikve, Ponikva, Ponikvanca itd.). Največja slovenska ponikalnica je 51.5 km dolga Reka, ki teče po manj prepustnih flišnih kamninah Brkinov. Nekaj kilometrov pred Škocjanom priteče Reka na prepustne zakrasele apnence. V sušnih obdobjih voda Reke ponikne že pred njenim velikim ponorom v Mahorčičevi jami pri Škocjanu (slika 6.8) ter skupaj s poniklimi vodami reke Vipave in Soče ter padavinsko vodo kraške planote izvira v Timavu ob Jadranskem morju (Mosetti, 1963)

Glede na število ponorov izstopa kraška reka Ljubljanica, ki jo hidrogeologi imenujejo tudi "reka sedmerih imen", saj se sedemkrat s sedmimi različnimi imeni pojavi na površju (Šušteršič, 1998). Med najpomembnejšimi odseki je Pivka, ki je oblikovala Postojnsko jamo. Med Zelškimi jamami in Tkalco jamo je Rak ustvaril kraško dolino Rakov Škocjan z naravnimi mostovi in udornicami. Posebnost kraškega podzemnega toka je tudi svojevrstno "podzemno sotočje" cerkniškega in pivškega toka v Unico, ki izvira iz Planinske jame. Vode Unice tečejo in poniknejo na pretočnem Planinskem polju ter podzemno odtekaajo v okoli 10 km oddaljene izvire Ljubljanice.



(foto: Janez Poljinar)



(foto: Florjana Ulaga)

Med najlepše ponore pa mnogi uvrščajo ponore na Cerkljskem polju. Mehanizme teh ponorov je Kraljevi družbi v Londonu že leta 1687 razlagal J.V. Valvasor in si prislužil izreden ugled. Še posebej zapleten je ponorni mehanizem osrednjega dela polja z estavelami, ki v sušnem obdobju požirajo vodo, v času po deževju pa se v njih voda dviguje. Na dnu jezera je skupina lijakov Retje, največji kompleks talnih požiralnikov pa je Vodonos in Rešeto pri Dolenjem jezeru (Gospodarič, 1970; Habič, 1974).

Ponikalnice se pojavljajo tudi v porečju Krke. Med največjimi je Temenica, ki izginja v številne požiralnike, pod Dolenjimi Ponikvami pa tudi ob največjih vodah popolnoma ponikne. Na površje pride v Zijalu blizu Vrhpeči in teče mimo Mirne Peči do Vrhovega, tu pa spet ponikne in njena kraška dolina se slepo konča. Vode Temenice pridejo spet na površje v zatrepni dolini v Luknji, severozahodno od Novega mesta, in se kot Prečna izlijejo v Krko (Novak, 1994).

Posebni jezerski ponor je Jezero pri Podpeči. Značilno kraško jezero ima površinski dotok in globinski odtok. V dnu jezera je kraški odtok skozi ponor in voda podzemsko odteka v več sto metrov oddaljene izvire Hruškega potoka v vasi Jezero.

Večina podzemnih odtokov pa ima daljšo in bolj zapleteno pot. Človek si je že stoletja priza-

(foto: Peter Frantar)

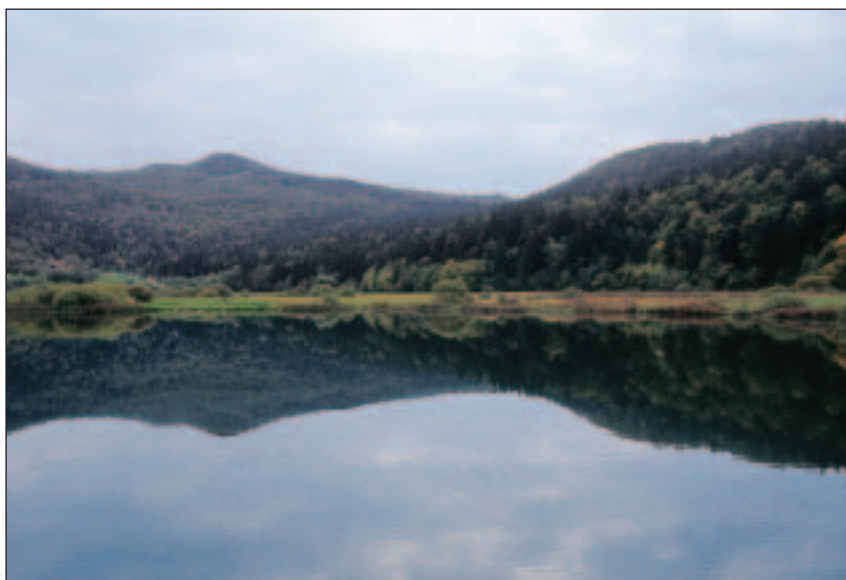
deval slediti toku podzemne vode. Po zapisih velikega prirodoslovca U. Aldovandija moramo prvi opisan poskus sledenja podzemskih voda na svetu pripisati F. Imperatiju. Leta 1599 je "z obteženimi kosi lesa in drugimi predmeti dokazal" enotnost toka Reke in Timave v Tržaškem zalivu (Cuscito et al., 1990). Raziskovalno sledenje toka podzemne vode se je množično razširilo v drugi polovici preteklega stoletja in raziskovalci so razvozlati marsikatero zapleteno vodno povezavo, mnogo pa je ostalo še skritega (Habič, 1989a; Novak, 1990).

Posebne pozornosti so bili med izviri že od nekdaj deležne "ogrete in kisle vode" - termalne in mineralne vode. Izvire termalne vode je človek koristil že zelo zgodaj, tudi izvire mineralne vode so za koristne prepoznavali že v srednjem veku. Danes je v Sloveniji vrsta naravnih zdravilišč, ki komercialno uporabljajo termalno ali mineralno vodo tudi preko vrtanih vodnjakov. Na območju Slovenije je poznanih

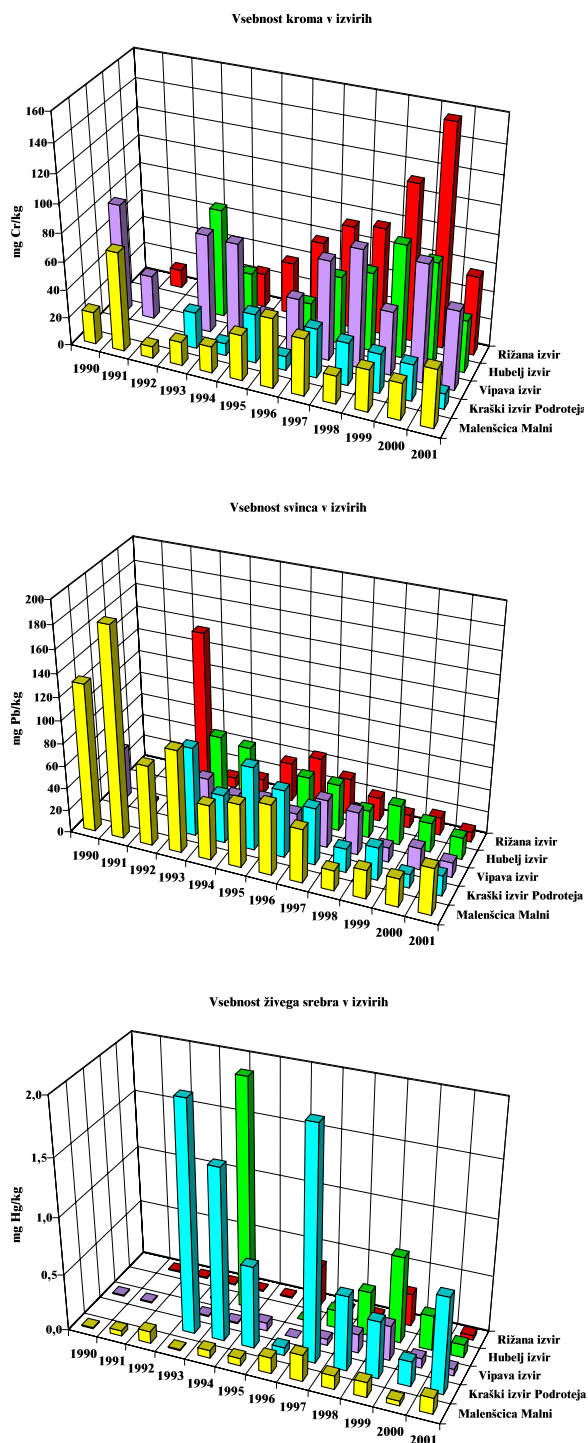
Slika 6.9: Rešeto na Cerkljskem polju

Slika 6.8: Ponor Reke pri Vremskem Britofu (avgust 1998)

Slika 6.10: Jezero pri Podpeči



Graf 6.3: Vsebnosti kroma, svinca in živega srebra v usedlinah kraških izvirov v obdobju od leta 1990 do 2001



28 prostoiztekajočih se naravnih termalnih in termomineralnih izvirov s temperaturo od 18 °C do 38 °C in skupno izdatnostjo okoli 480 l/s (Kralj, 1992).

Pojav termalnih voda je v Sloveniji vezan na globlji in ob tem najpogosteje tudi počasnejši tok podzemne vode ter ugodne litološke in tektonske razmere, kjer izvira podzemna voda najmanj 5 °C toplejša od povprečne temperature okolice. Zaradi razlik v hidrogeološki zgradbi Slovenije narašča geotermični potencial od zahodnega, pretežno bolj prepustnega kraško karbonatnega območja, do vzhodnih,

pretežno manjprepustnih klastično sedimentnih bazenov. Po ocenah geotermalnih študij so v globini 1 000 m na zahodu Slovenije temperature okoli 20 °C, na vzhodu pa okoli 70 °C. Termalni izviri se najpogosteje pojavljajo na obrobju večjih, geološko mladih sedimentnih bazenov. Značilno je celotno obrobje Panonske kotline v severovzhodni Sloveniji in Krško-Brežiška kotlina (Nosan, 1973). Mineralne vode pa so pravzaprav izviri termomineralnih voda, ki se zaradi majhnih količin in počasnega toka v poroznih peščenih plasteh mlajšega terciarja, na stiku s paleozojskimi kamninami, na poti proti površju ob prelomih počasi ohladijo. Ob njih izhaja plin CO₂, v vodi pa so raztopljene rudnine, predvsem železo.

Podzemna voda je v Sloveniji najpomembnejši in dragocen vir pitne vode, saj se z njo oskrbuje več kot 90 odstotkov prebivalcev. V primerjavi s površinskimi vodami jo odlikujejo mnoge prednosti, kot na primer sorazmerno stalna sestava, organizmu primerna vsebnost mineralnih snovi, manj suspendiranih snovi ter nižja vsebnost skupnega organskega ogljika (TOC) in mikroorganizmov. Neonesnažena podzemna voda je brez vsakršne fizikalne ali kemijske obdelave primerna kot pitna voda, medtem ko površinske vode (reke, jezera) brez ustreznih tehnoloških postopkov ne izpolnjujejo zahtev za pitno vodo. Praviloma vsak postopek obdelave iz vode odstrani določene snovi ali organizme, istočasno pa v vodo vnaša tudi nezaželene in težje kontrolirane spojine. Pri postopku dezinfekcije s klorom, ki uničuje mikroorganizme in parazite, se v pitni vodi ob prisotnosti organskih snovi tvorijo zdravju škodljive klorirane organske spojine.

V preteklosti je vir pitne vode predstavljal bližnji izvir, potok ali deževnica, kasneje so izkopavali plitve vodnjake, danes pa se poskuša z vrtnjem zajeti voda čim globlje v vodonosnikih. V javnem vodovodnem omrežju z okoli 400 000 priključki je bilo po podatkih za leto 2000 porabljeno okoli 220 milijonov m³ vode (7 m³/s), od tega 114 milijonov m³ vode iz vodonosnikov in 101 milijon m³ vode iz izvirov, preostanek pa gre za površinsko vodo (Statistični letopis Republike Slovenije, 2002).

Več kot tretjina potreb po pitni vodi, vključno z velikimi mesti Ljubljana, Maribor, Celje, idr. se pokriva s črpanjem podzemne vode iz prodnih ravninskih vodonosnikov, kjer je že pred desetletji prišlo do velikih navzkrižnih interesov porabnikov prostora. Začetki sistematičnega spremljanja kakovosti podzemne vode so bili zato razumljivo usmerjeni v plitve in izjemno ranljive vodonosnike z medzrnsko

poroznostjo. Postopno pa se je monitoring kakovosti voda širil tudi na vodonosnike s kraško in razpoklinsko poroznostjo.

Zviševanje števila prebivalcev in tehnološki razvoj sta v zadnjih stoletjih povzročila povečano obremenjevanje okolja tako z Zemlji lastnimi kot z umetno proizvedenimi snovmi. Izkoriščanje rud ter njihova predelava in kasnejša uporaba je na površje Zemlje spravila lažje topne oblike toksičnih težkih kovin, ki so v vodonosnikih bolj redke (živo srebro, krom, kadmij, svinec, nikelj itd.). Pospešen razvoj kmetijstva je zvišal vsebnosti dušikovih spojin, predvsem nitratov, pa tudi kalija in fosfata.

Od začetka 20. stoletja strmo narašča proizvodnja snovi, ki jih je za svoje potrebe sintetiziral človek in so naravi tuje. Iz osnovne surovine nafte ter halogenov so bile sintetizirane različne polimerne snovi, lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki, pesticidi in druge spojine. Mnoge teh snovi uvrščamo med POPs-e (Persistent Organic Pollutants), ki se zelo počasi razgrajujejo in se kopičijo v živih organizmih.

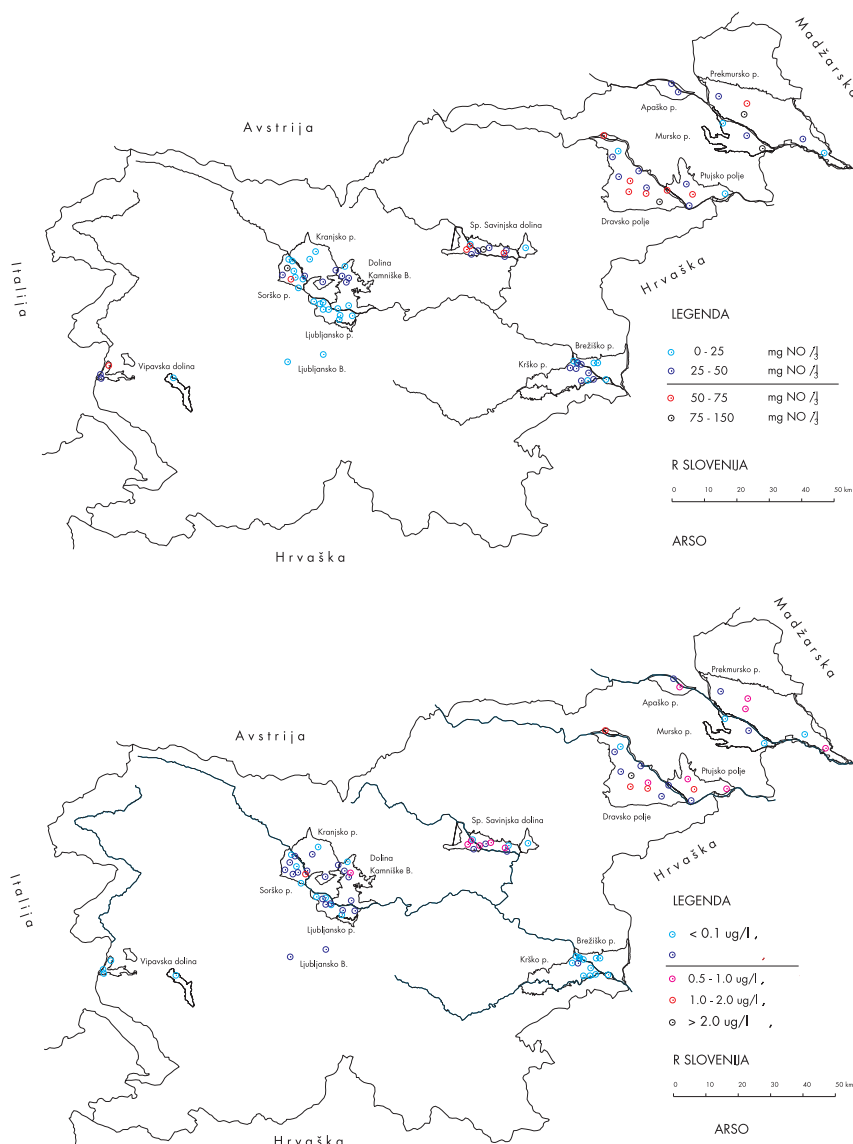
Neustrezni tehnološki postopki, nepravilna raba ter neodgovorno skladiščenje in odstranjevanje teh kemikalij je povzročilo onesnaženje vodnih okolij, tako površinske kot podzemne vode.

Mehanizmi onesnaženja podzemne vode so mnogoteri, odvisni od vrste vodonosnika, sestave in debeline nezasičene plasti, topografije, skratka odvisni od ranljivosti. Obremenjenost vodonosnika je odvisna tudi od vira onesnaževanja (točkovni ali razpršeni viri), ter od fizikalnih in kemijskih lastnosti snovi, ki onesnažujejo podzemno vodo.

Onesnaženje doseže vodonosnik po različnih poteh in sicer s spiranjem s površja, z infiltracijo površinske vode, z zatekanjem voda iz zaledja ali pa z neposrednim odvajanjem odpadnih voda v podzemno vodo. Neposreden vnos nevarnih snovi v podzemne vode je po evropski zakonodaji nedopusten.

S površja se snovi, ki onesnažujejo vodo, spirajo in skozi nezasičeno cono počasi prenašajo do podzemne vode vodonosnikov. Velik del teh spojin se veže na humusne snovi ali mineralne delce in se na ta način skladišči v nezasičenem delu vodonosnika. Ob spremenjenih pogojih lahko te spojine ali njihovi metaboliti nadaljujejo pot do gladine podzemne vode. V kraških vodonosnikih razpoke in podzemni kanali omogočajo hitrejši in učinkovitejši prenos onesnaženja do podzemne vode.

Spoznanje, da je prisotnost teh snovi v naravnem okolju nezaželena in zelo škodljiva, je prišlo potem, ko so bili številni naši vodni viri že onesnaženi. Kakovost podzemne vode

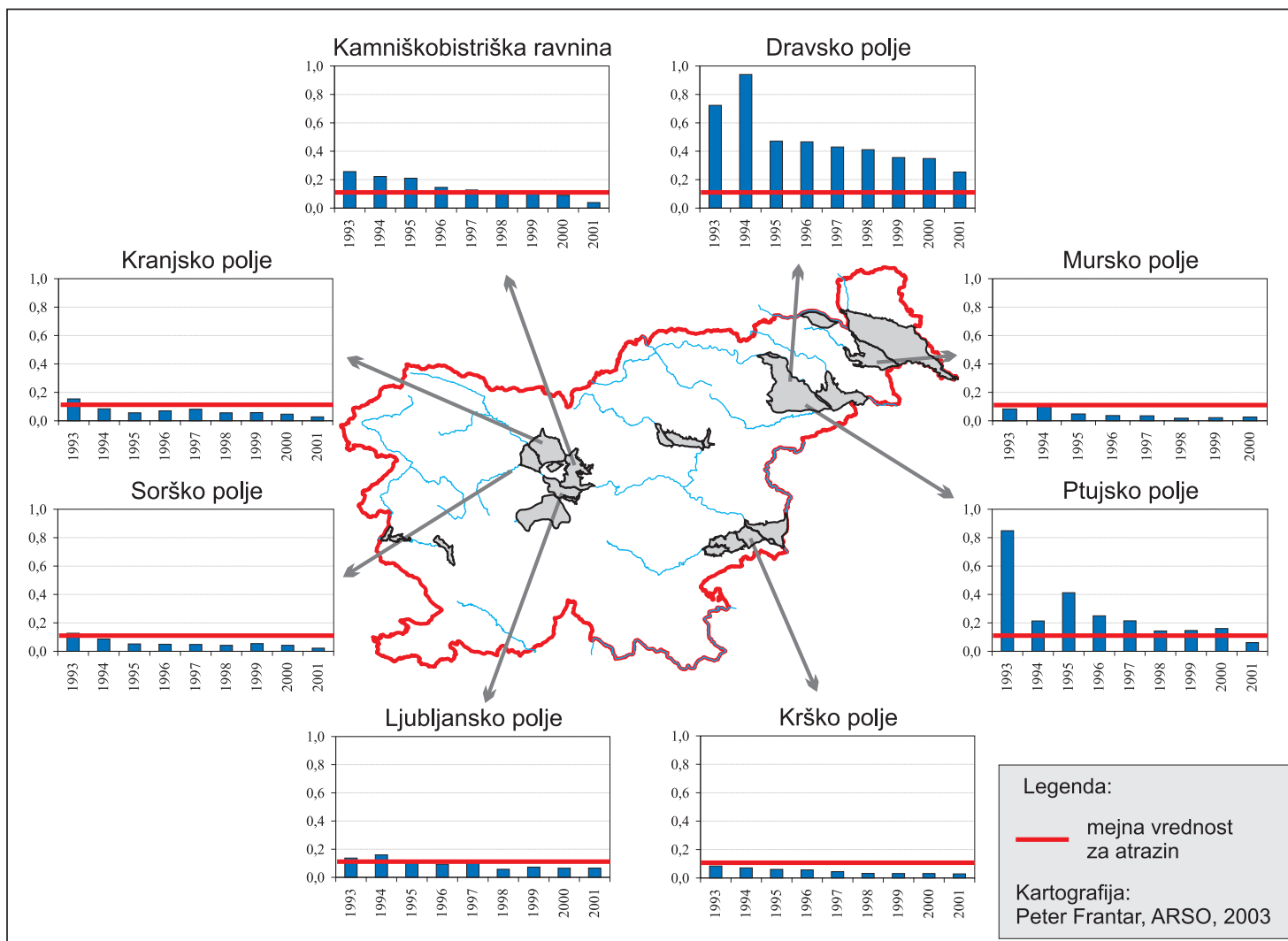


se v Sloveniji v okviru državnega monitoringa kakovosti voda že 16 let spremlja z namenom, da bi čim bolj spoznali proces onesnaževanja vodonosnikov in učinke ukrepov. Mreža monitoringa obsega 86 mest na aluvialnih vodonosnikih in 23 merilnih mest na kraških izvirih. Pogostost vzorčenja je največja na območjih, ki so pomembna za oskrbo s pitno vodo. V odvzetih vzorcih vode se analizira od 90 do 170 različnih fizikalnih in kemijskih ter mikrobioloških parametrov.

V podzemni vodi nekaterih plitvih aluvialnih vodonosnikov so povišane vsebnosti spojin, značilnih za izrazito kmetijstvo, predvsem nitratov in nekaterih pesticidov (karti 6.4 in 6.5). Na mnogih mestih so podzemne vode obremenjene z lahkohlapnimi halogeniranimi ogljikovodiki. Ta topila se uporabljajo predvsem za odstranjevanje maščob v kemijskih čistilnicah, kovinski industriji, živilsko-predelovalni industriji.

Karta 6.4: Povprečne letne vsebnosti nitratov na merilnih mestih monitoringa kakovosti podzemne vode v letu 2000

Karta 6.5: Povprečne letne vsebnosti pesticidov na merilnih mestih monitoringa kakovosti podzemne vode v letu 2000



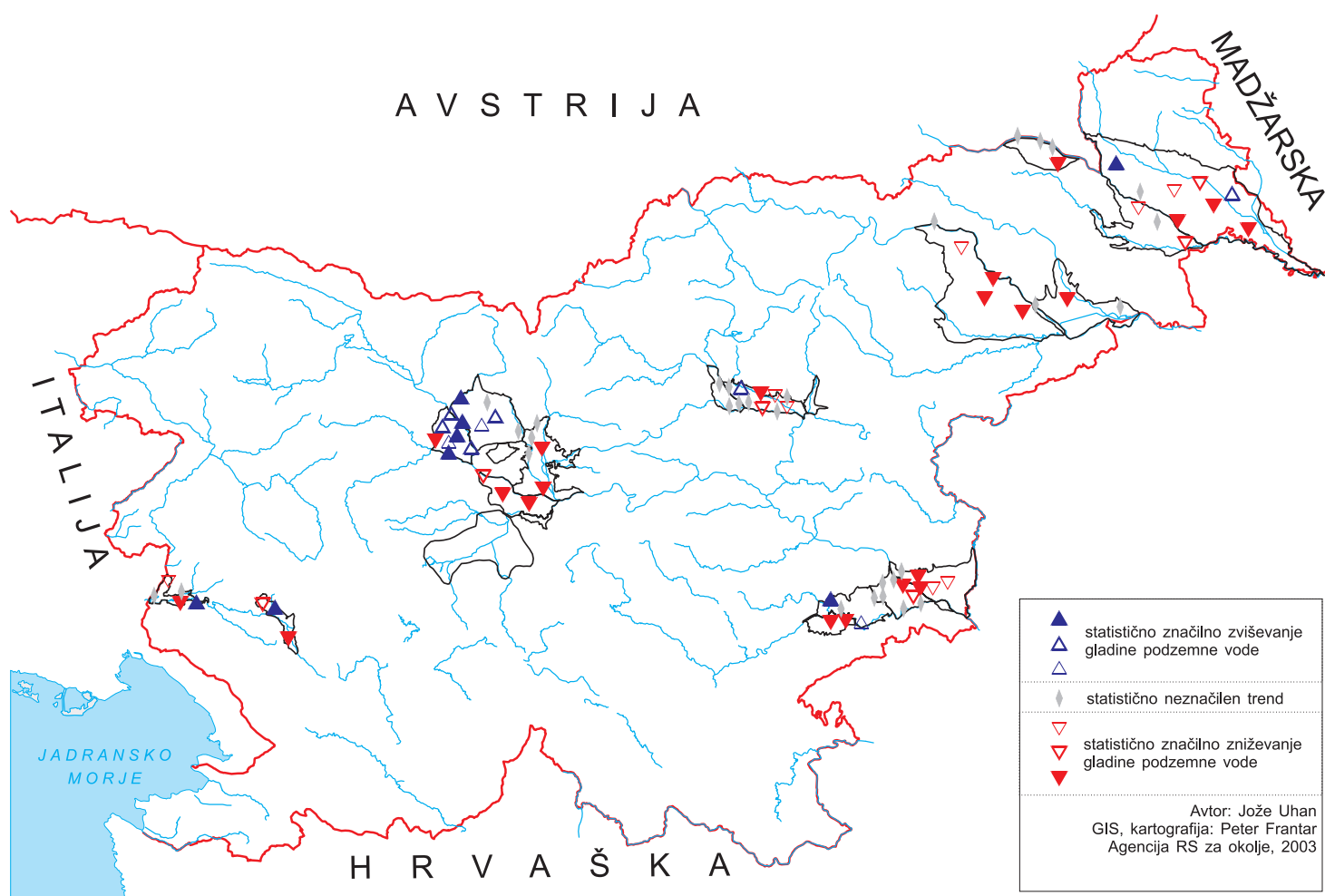
Karta 6.6: Trendi vsebnosti atrazina v podzemni vodi aluvialnih vodonosnikov v obdobju od leta 1993 do 2001

Neodgovorno odstranjevanje galvanskih odpadkov je v osemdesetih letih prejšnjega stoletja povzročilo močno onesnaženje najpomembnejšega vodnega vira Ljubljane - Kleče s kancerogenim VI-valentnim kromom. Del vodnega vira še vedno ni saniran in ga za pitno vodo ni mogoče uporabljati (Brilly et al., 2002). Navedene snovi so zdravju in okolju škodljive. Tudi za spojine, ki so do nedavnega veljale kot človeku nenevarne, na primer atrazin in nitrati, so strokovnjaki ugotovili, da lahko porušijo hormonsko ravnovesje, povzročijo nastanek raka in drugih bolezni (Porter et al., 1999).

Na gričevnatih in hribovitih prispevnih območjih razpoklinskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov se raba prostora razlikuje od ravninskih aluvialnih vodonosnikov. Prevladuje gozd, ki najbolje ščiti vodne vire, kmetijstvo ni izrazito. Ti vodonosniki so ogroženi predvsem od industrijskih in komunalnih odpadkov ter nenadzorovanih odlagališč

odpadkov. V podzemni vodi razpoklinskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov so prisotne številne bakterije, tudi fekalnega izvora (kolidiformne fekalne bakterije in fekalni streptokoki), občasno pa mineralna olja ter halogenirane organske spojine in organofosforne spojine, ki nakazujejo industrijsko onesnaženje. Zaradi »divjih« industrijskih odlagališč je v 80-tih letih prejšnjega stoletja prišlo do nepopravljivega onesnaženja kraškega izvira Krupa s polikloriranimi bifenili (Polič et al., 2000). Krupa, znana kot zelo kakovosten vodni vir, je bila pred tem namenjena za oskrbo prebivalcev Bele krajine s pitno vodo.

Analiza vode prikaže trenutno stanje ob odvzemu vzorca, z analizo usedline oziroma sedimenta pa ugotavljamo onesnaževanje za daljše časovno obdobje, ko so bili mineralni delci usedline v stiku z določenim elementom oziroma spojino. Vzorčenje sedimenta je za podzemne vode izvedljivo le na nekaterih kraških izviroh.



Vsebnosti težkih kovin v vodi kraških izvirov so običajno nizke, izjema je bilo leto 1998, ko smo v Malenščici, Podroteji in Vipavi določili visoke vsebnosti kadmija, v Vipavi tudi svinca. V usedlinah nekaterih kraških izvirov pa so bile analizirane težke kovine v višjih vsebnostih. V sedimentu Rižane, Vipave in Hublja so bile ugotovljene povišane vsebnosti kroma, v sedimentu Malenščice in Podroteje pa svinca. Vsebnost živega srebra je ves čas spremljanja najvišja v usedlinah izvira v Podroteji, v bližini Idrije. Vsebnosti živega srebra so bile visoke tudi v usedlinah Hublja.

Kraško razpoklinski in razpoklinski vodonosniki niso obremenjeni z nitrati in pesticidi, medtem ko so vsebnosti teh v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo višje. Najvišje vsebnosti pesticidov so bile določene v plitvih vodonosnikih severovzhodnega dela Slovenije. Vsebnosti atrazina in njegovega metabolita desetil-atrazina se v zadnjih osmih letih znižujejo, vendar se v mnogih vodonosnikih še niso znižale pod dopustne mejne vrednosti.

V zadnjih desetletjih so se posegi človeka v hidrološki vodni krog izrazito odrazili tudi na gladinah oz. zalogah ter tokovnih vzorcih pod-

zemne vode. Na aluvialnih vodonosnikih so odkriti trendi zniževanja gladin podzemne vode (Poročilo o stanju okolja, 2002). To je delno posledica stalnih naravnih procesov spreminjanja erozijske baze (Žlebnik, 1990), delno reguliranja površinskih vodotokov, črpanja podzemne vode za oskrbo gospo-

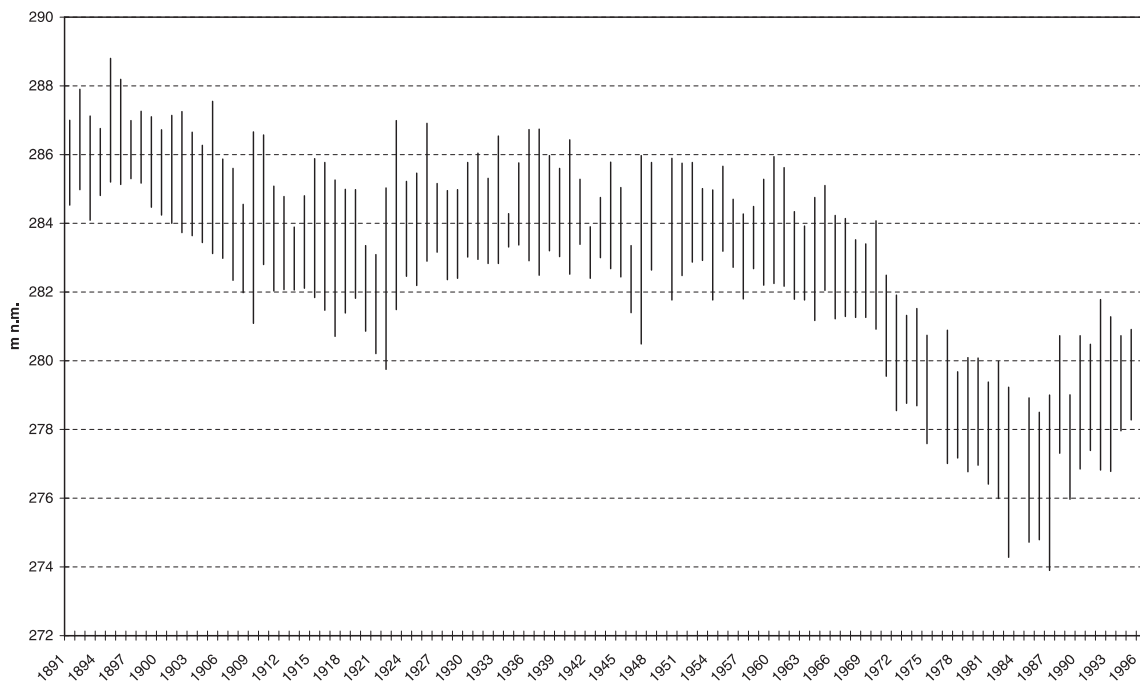
Karta 6.7: Trendi gladin podzemne vode v vodonosnikih z medzrnsko poroznostjo

Slika 6.11: Neodgovorno zasipavanje prodnih jam z odpadki na Krškem polju.



(foto: Jože Uhan)

Graf 6.4: Letne amplitude podzemne vode v vodonosniku Ljubljanskega polja na črpališču Kleče (vir: Mikulič, 1997)



Slika 6.12: Zadrževalnik na Savi za vodno elektrarno Mavčiče

Slika 6.13: Podzemna voda v opuščnem delu gramoznice Reteče na Sorškem polju

dinjstev, industrije in kmetijstva, odvodnjevanja območij zaradi nizkih gradenj in pridobivanja mineralnih surovin, odvodnjevanja kmetijskih površin ter spreminjanja naravnih površin v kmetijska in urbana območja. Najizrazitejše znižanje podzemne vode je znano v vodonosniku Ljubljanskega polja, kjer se je zaradi regulacij reke Save na prehodu v prejšnje stoletje gladina podzemne vode znižala za štiri metre in pol. Gladina podzemne vode se je kasneje še zniževala in v zadnjih desetletjih prejšnjega stoletja se je znižala za okoli osem metrov v primerjavi z letom 1890, ko so začeli črpati vodo v prvi slovenski vodarni v Klečah (Mikulič, 1997).

V posameznih območjih pa je opaženo zvišanje gladine podzemne vode, ki je skoraj praviloma v povezavi s človekovimi posegi: z opustitvijo industrijske rabe podzemne vode, izgradnjo hidroenergetskih objektov na površinskih vodah ter v bogatenju vodonosnikov in melioriranju kmetijskih površin.



(foto: Jože Uhan)

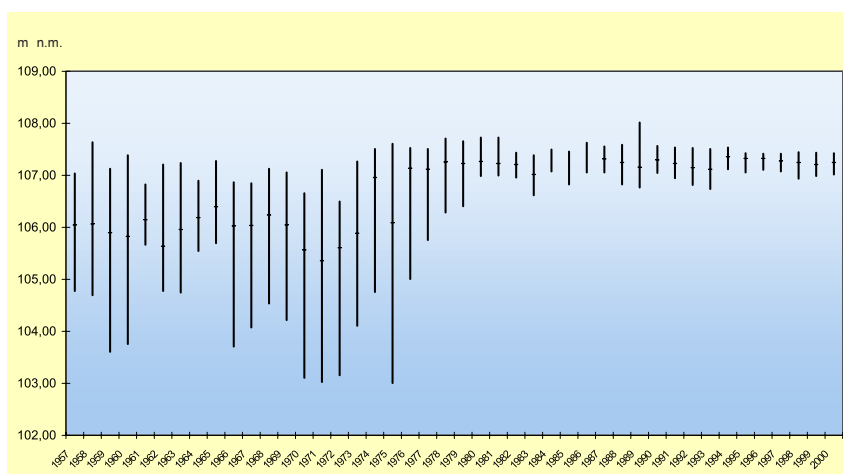
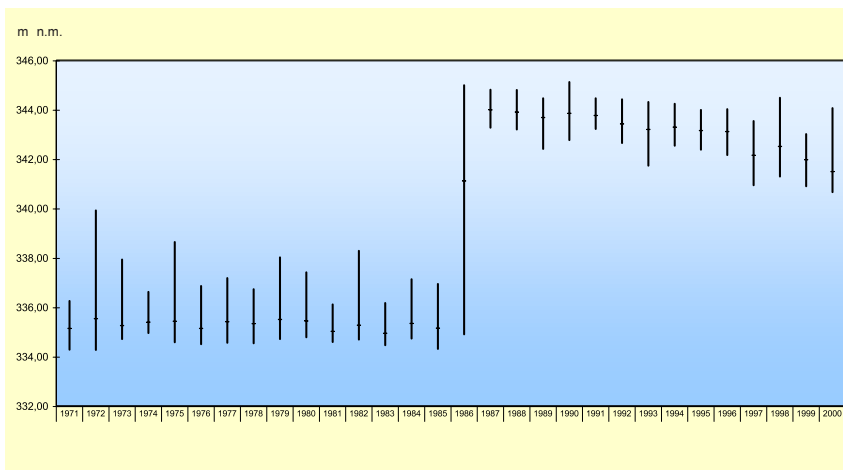


(foto: Marjan Bat)

Najizrazitejši primer vpliva izgradnje vodnih zadrževalnikov na gladine podzemne vode je vodna elektrarna Mavčiče, ki je v letu 1985 povzročila več kot osemmetrsko zvišanje gladine na Sorškem polju in malo manj na Kranjskem polju. V letih po izgradnji se zaradi domnevne zablatenosti dna vodnega zbiralnika že nakazuje trend zniževanja gladine podzemne vode. Tudi na Dravskem polju so zaradi gradnje elektroenergetskih objektov na Dravi zaznavne večje spremembe gladin podzemne vode. Več kot metrsko zvišanje gladine podzemne vode in zmanjšanje njene letne amplitude, je domnevno kot posledica posegov v vodni režim, zabeleženo tudi v Vipavski dolini ob koncu sedemdesetih let prejšnjega stoletja.

Spreminjanje gladin podzemne vode lahko primarno vpliva na potencial vodonosnikov za oskrbo z vodo, posredno pa tudi na stabilnost posameznih območij vodonosnika. Z gladinami podzemne vode so močno povezana tudi mokrišča. Mnogo mokrišč je na poplavnih ravninah, njihov obseg pa je najpogosteje odvisen tudi od gladine podzemne vode, kjer že centimetrške spremembe povzročijo pomembne vplive na ekosisteme. Poleg tega podzemna voda preko izvirov vzdržuje bazni vodni tok rek in potokov v sušnih obdobjih.

Učinki človekovega poseganja, onesnaževanja in prevelikega izkoriščanja se v podzemni vodi izražajo z zakasnitvijo, lahko tudi nekaj let, dolgotrajen je tudi proces regeneracije, saj so procesi v vodonosnikih počasni. Hitrosti toka vode v slovenskih rekah merimo v kilometrih na uro, hitrosti podzemne vode v vodonosnikih pa le v metrih, največ sto metrih na dan. V splošnem gre torej za okolja brez svetlobe in z malo hranil in raztopljenega kisika v počasi pretakajoči se vodi. Kljub temu pa to okolje skriva pravo bogastvo biološke raznovrstnosti (Brancelj, 2003). Iz slovenskih podzemnih voda je znanih blizu 200 vrst in podvrst vodnih živali, ki so v desetisočletjih ali stotisočletjih prilagodile življenje razmeram pod površjem in danes prispevajo tudi k vzdrževanju kakovosti vode. Njihovo izginjanje zaradi onesnaževanja in spreminjanje vodnega režima med drugim kaže tudi na zmanjševanje samočistilne sposobnosti podzemne vode.



Graf 6.5: Vpliv izgradnje zadrževalnika vodne elektrarne Mavčiče na letne amplitude podzemne vode Sorškega polja na vodomerni postaji Breg

Graf 6.6: Vpliv melioracijskih posegov na letne amplitude podzemne vode v Vipavski dolini na vodomerni postaji Vipavski križ



(foto: Anton Brancelj)

Slika 6.14: Jamska slepa vodna bolha Alona sketi