

Podzemna voda

Mihael Brenčič



Slika 1: Izdanek podzemne vode v gramoznem jezeru na območju Apaškega polja.

Foto: Mihael Brenčič.

Skoraj povsod v Sloveniji, kjer odpremo pipo, iz nje priteče čista hladna in osvežujoča pitna voda. Nihče izmed nas se ne sprašuje, od kod je pritekla in kako to, da imamo za razliko od številnih drugih krajev po svetu srečo, da pod pipo kozarec samo podstavimo in že je polna osvežujoče tekočine. Ne zavedamo se tega, kakšen privilegij je to. Pred sto leti je bilo to za večino Slovencev nepredstavljivo razkošje. Slovenija je bogata z vodo, v večini predelov naše države je vode dovolj, pogosto je vode še preveč. Redki so tisti predeli, kjer imajo prebivalci težave s preskrbo s pitno vodo. Tam pa, kjer jih imajo, so to problemi, ki za rešitev terjajo veliko finančnih in materialnih sredstev.

Ko v Sloveniji v kuhinji odpremo pipo, bo iz nje skoraj z gotovostjo pritekla voda, ki je po svojem izvoru podzemna voda. Statistike o tem, kakšen delež pitne vode predstavlja podzemna voda, se med seboj nekoliko razlikujejo, toda v vseh primerih je ta odstotek zelo visok. Med 90 in 95 odstotkov pitne vode v Sloveniji je po svojem izvoru podzemne vode, ostalih 5 do 10 odstotkov pa predstavljajo zajete površinske vode ali kapnica.

Kaj je podzemna voda? Zelo preprosta in enostavna definicija pravi, da je podzemna voda tista voda, ki jo najdemo pod površjem tal, ne glede na to, v kakšnem agregatnem stanju se nahaja. Ob tem kateri od bralcev

poreče, kaj pa podtalnica, kaj pa talna voda, kaj pa ..., in tako dalje in dalje. Kaj hitro bi lahko ugotovili, da imamo Slovenci zelo veliko izrazov za vodo, ki se nahaja pod površjem tal. Prav tako bi ugotovili, da so med temi izrazi številni pomenski odtenki, še več, nekatere stroke, ki se srečujejo z vodo pod površjem tal, za isti pojav uporabljajo različne izraze ali isti izraz razumejo drugače. Poleg že naštetih bomo v vsakdanji rabi in v strokovni terminologiji naleteli še na naslednje izraze: podzemnica, talnica, podzemeljska voda, podzemna voda, podtalna voda, studenčnica, precejnica, precejna voda ali pa kar samo voda v tleh. Če pustimo vnmear vprašanje, ali so vsi ti izrazi v duhu slovenskega jezika, in pod njih in njihove pomene potegnemo črto, ugotovimo, da na tem področju vlada velika zmeda. To pa je v stroki in znanosti nedopustno. Izrazi, ki jih uporabljamo, morajo biti enoznačno in nedvoumno opredeljeni. Zaradi tega smo v Sloveniji že pred časom sprejeli odločitev, da vso vodo, ki se nahaja pod površjem tal, imenujemo podzemna voda. Takšna odločitev se kaže tudi v zakonih. Od leta 2000 dalje, ko je bil sprejet posodobljeni *Zakon o vodah*, zakonodaja pozna le še pojem podzemne vode. Žal v vseh teh letih na terminološkem področju še nismo naredili dovolj napora, da bi kateremu od teh izrazov podelili nekoliko drugačen pomen in se zanj dogovorili, saj bi nam lahko zaradi pojavnosti pestrosti vode pod površjem tal prišel še kako prav.

S podzemno vodo se srečuje veliko ved, od geologije, agronomije, geografije, gradbeništva do okoljskega inženirstva in še bi lahko naštevali. Pogosto bomo zasledili, da te stroke v literaturi védo o podzemni vodi poimenujejo malce po svoje. Tako bomo v starejši literaturi našli izraze, kot so geohidrologija, hidrologija podzemnih vod, geohidravlika in hidrogeodinamika. Ne glede na te izraze in njihove številne podpomene ter ne glede na to, kdo se s podzemno vodo ukvarja, se je v zadnjih desetletjih za vé-

do, ki se ukvarja s podzemno vodo, uveljavil izraz hidrogeologija, strokovnjake, ki se ukvarjajo s podzemno vodo, pa imenujemo hidrogeologe.

Podzemne vode človek preučuje že zelo dolgo. Sprva zaradi povsem praktičnih potreb. Brez vode ni življenja in na mnogih področjih Zemljine oble je podzemna voda edini vir pitne vode. Resno znanstveno preučevanje podzemne vode se je začelo v Franciji sredi 19. stoletja, tako kot na mnogo drugih področjih preučevanja značilnosti in zakonitosti hidromehanike, ko je inženir Henry Darcy odkril osnovni zakon toka podzemne vode, ki je danes poimenovan po njem. Kmalu za tem se je stroka začela intenzivno razvijati. Danes je hidrogeologija sestavni del študija geologije, pa tudi del izobraževanja za druge poklice, ki se srečujejo s podzemno vodo.

Podzemna voda je na videz paradoksen pojav, ker je ne vidimo in ne zaznavamo neposredno, tako kot lahko opazujemo vodo v rekah in potokih ali pa kot občutimo dež in sneg, ki padata izpod neba. Ko podzemno vodo zagledamo, je to že površinska voda. Izjemoma podzemno vodo vidimo, če se zazremo v kakšen star globoko kopan vodnjak, ali pa v kraških jamah in breznihi. V nekaterih primeri podzemno vodo vidimo tudi v globokih gramoznicah, kjer so v prod zakopali tako globoko, da so segli do gladine podzemne vode. Te pojave zaznavamo kot gramozna jezera in kdor je kdaj plaval v njih, ve, da je njihova voda vse leto zelo mrzla in da se segreje le v neposredni bližini površja. Takšna gramozna jezera bomo v Sloveniji našli na območju Apaškega polja (slika 1), Pomurja in tudi ponekod na Dravsko-Ptujskem polju. Vendar pa so gramozna jezera, v kolikor smo natančni in sledimo definicijam, po svoji pojavnosti že telesa površinske vode. Prav poseben in zanimiv pojav podzemne vode so tudi izviri (slika 2), ki niso nič drugega kot podzemna voda, ki iz kamnin ali sedimentov priteče na površje. Podobno kot v geologiji, ko o kamninah ali



Slika 2: Izvir reke Krupe v Beli krajini. Foto: Mihael Brenčič.

sedimentih, ki pogledajo na površje, govorimo o izdankih, so izviri izdanek podzemne vode, zaradi česar jih hidrogeologi s prav posebno skrbnostjo preučujejo in opazujejo. Podzemna voda je sestavni del vodnega kroga, s katerim opišemo neprestano kroženje vode v naravi, celo več, predstavlja enega od treh velikih sestavnih podsistemov sistema vodnega kroga. Poleg podsistema površinske vode, kamor sodijo vodotoki in morje, ter podsistema atmosferske vode je tretji velik podsistem podzemne vode. Zaradi energije Sonca voda v naravi neprestano kroži iz enega podsistema v drugega. Vsi trije podsistemi so med seboj neločljivo povezani, česar pa se ljudje vse premalo zavedamo, saj z vplivanjem na en podsistem vplivamo tudi na druga dva podsistema. Številne hidromelioracije in drugi posegi v površinske vode so spremenili porazdelitev

podzemne vode v kamninah in sedimentih, pri teh posegih pa tudi brez vplivov na vode v ozračju ni šlo.

Med vsemi podsistemi vodnega kroga je podsistem podzemne vode najslabše poznan, čeprav sodobne raziskave kažejo, da je v Zemljini notranjosti vode mnogo več kot na površju. Vzrok za to je seveda zelo enostaven. Podzemna voda nam je mnogo težje dosegljiva, kot sta površinska in atmosferska voda. Za preučevanje podzemne vode potrebujemo drage in zapletene naprave. Z razvojem sodobne tehnologije lahko pričakujemo razvoj metod, ki nam bodo v prihodnosti omogočale tako natančno raziskovanje podzemne vode, kot je danes to mogoče pri preučevanju vremena s pomočjo satelitov. Pa pustimo prihodnost za druge razmisleke in si oglejmo nekaj značilnosti pojavljanja podzemne vode v kamninah in sedimentih.



Slika 3: Medzrnska poroznost v produ. Foto: Mihael Brenčič.

Odpravimo se v naravo tik pred dežjem in počakajmo, da prične deževati. Prve dežne kaplje bodo namočile tla, z nadaljevanjem dežja pa bo voda pričela ponikati v notranjost tal. Šele s časom, če bo deževalo dovolj dolgo in bo višina padavin ustrezna, bomo opazili, da se je voda pričela pojavljati tudi na površini. Pustimo vodi na površini svojo pot in si oglejmo, kaj se dogaja z vodo pod površino tal. Voda s površja steče v notranjost in nato naprej v sediment ali kamnino, ki leži pod tlemi. Temu pojavu pravimo infiltracija padavinske vode. Toda kako se lahko voda infiltrira v notranjost, pod površje? Voda lahko s površja in nato naprej steče le skozi prazne prostore, ki jim pravimo pore. Zaradi tega o kamninah in sedimentih pogosto govorimo kot o porozni snovi ali poroznem mediju. V naravi bomo našli anorganske in biološke porozne snovi,

kot sta na primer les ali koža. Prav tako je poroznih veliko umetnih materialov, takšne so med gradbenim materialom različne opeke ali v vsakdanjem življenju različni filtri in papir. Lastnost snovi, da vsebuje pore, imenujemo poroznost. Pore in poroznost opišemo in kvantitativno opredelimo na zelo različne načine, bodisi da merimo njihovo velikost bodisi opisujemo njihov nastanek. Opredelitve poroznosti so povezane tudi z namenom njihove uporabe. Tako se opredelitve poroznosti v hidrogeologiji razlikujejo od opredelitev poroznosti na drugih področjih, na primer v sedimentologiji. Med vsemi sta najpomembnejši opredelitvi, ki opisujeta medsebojno povezanost por in njihovo obliko.

Voda skozi pore steče le, kadar so te med seboj povezane. Takšno poroznost imenujemo učinkovita ali efektivna poroznost. Se-



Slika 4: Razpoklinska poroznost v kamninah. Foto: Mihael Brenčič.

veda so v vsaki kamnini ali sedimentu tudi pore, ki so ločene od drugih por in ne prevajajo vode, takšni poroznosti pravimo mrtva poroznost. Če te pore dodamo učinkoviti poroznosti, dobimo celotno ali totalno poroznost. Če izmerimo prostornino por, ki tvorijo celotno poroznost, je ta prostornina vedno večja od prostornine učinkovite poroznosti, le zelo redko se dogodi, da sta prostornini obeh vrst poroznosti skoraj enaki. Takšno skoraj identično razmerje obeh poroznosti bi opazili v debelozrnatih prodirih. Zelo pogosto pa imamo opraviti z razmerami, ko je celotna poroznost mnogo večja od učinkovite poroznosti. Lep primer takšnega sedimenta so gline. Od učinkovite poroznosti je odvisna tudi sposobnost kamnine ali sedimenta, da prevaja vodo. Tam, kjer bo učinkovita poroznost visoka, bo visoka

tudi prepustnost, tam, kjer bo učinkovita poroznost nizka, pa bo nizka tudi prepustnost. Zaradi tega so prodi za podzemno vodo dobro prepustni, gline pa zelo slabo prepustne, pogosto jih obravnavamo kar kot neprepustne. Seveda odnos med prepustnostjo in učinkovito poroznostjo ni enostaven. Le v zelo redkih primerih lahko s pomočjo poznavanja celotne in učinkovite poroznosti napovemo, kakšna bo prepustnost kamnine ali sedimenta. V hidrogeologiji prepustnost merimo na najrazličnejše načine v laboratoriju in v naravi, saj je to najpomembnejši hidrogeološki podatek. Vendar naj na tem mestu zapišemo le to, da se kamnine in sedimenti po svoji prepustnosti med seboj razlikujejo tudi za več kot deset velikostnih redov.



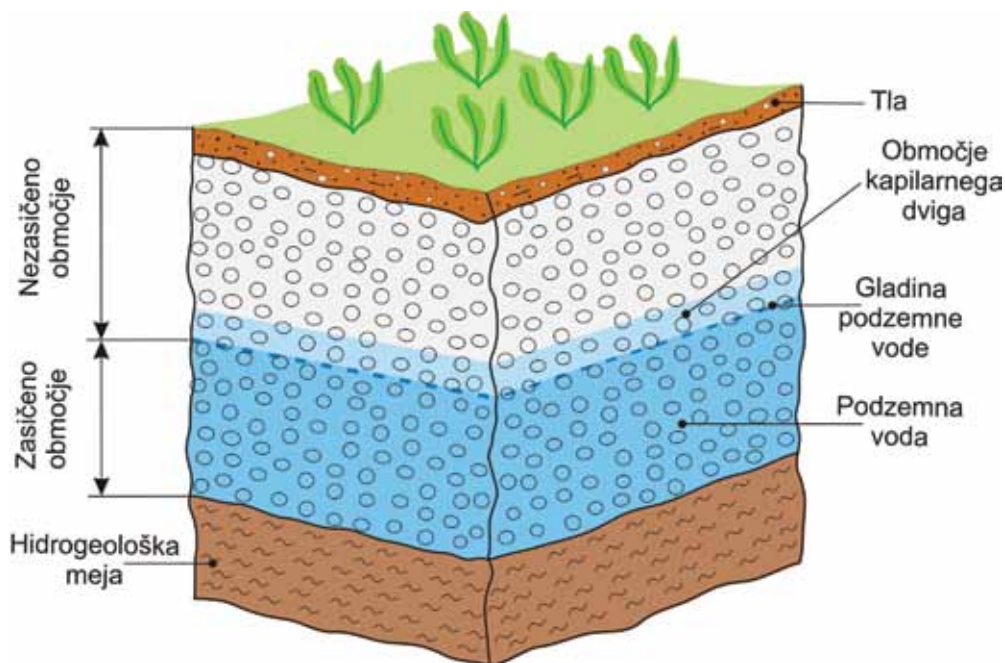
*Slika 5: Rakov Škocijan.
Ostanki nekdanje
kanalske poroznosti.*

Foto: Mihael Brenčič.

Za poznavanje in razumevanje toka podzemne vode je zelo pomembno tudi poznavanje geometrije por. Ta je v veliki meri povezana z vrsto kamnin in sedimentov ter njihovim nastankom. Razlikovanje geometrije por je pomembno predvsem takrat, ko želimo ugotoviti značilnosti toka podzemne vode ter določiti njene količine v času in prostoru. V grobem ločimo po obliki tri vrste por. To so *medzrnska poroznost*, *razpoklinska poroznost* in *kanalska poroznost*.

Medzrnsko poroznost bomo našli v vseh vrstah sedimentov. V kamninah jo zasledimo predvsem v sedimentnih kamninah. Prav

tako je prisotna v metamorfnih in magmatskih kamninah, vendar je njen delež praviloma zanemarljivo majhen. Medzrnska poroznost nastane kot posledica stika med zrni v sedimentu (slika 3) ali na stikih med kristali mineralov, ki tvorijo kamnino. Zaradi zelo raznolike oblike zrn imajo pore zelo nepravilne oblike. Morda si njihovo obliko še najlažje predstavljamo tako, da si predstavljamo prod, nato pa v mislih odstranimo zrna. Dobili bomo nepravilno mrežo čudnih povezav zelo različnih oblik, od med seboj prepletenih trakov do skoraj sferičnih medprostorov. Zaradi tega obliko



Slika 6: Posplošeni hidrogeološki model. Risba: Mihael Brenčič.

teh por fizikalno zelo težko opišemo. Kadar želimo izmeriti ali izračunati pretok podzemne vode skozi takšne pore, uporabimo povprečne vrednosti ali statistične izračune, ki temeljijo na verjetnostnih porazdelitvah fizikalnih parametrov poroznega medija. V Sloveniji medzrnsko poroznost zasledimo na območju kotlin in obsežnih izravnjav, kot so Ljubljanska kotlina z Ljubljanskim barjem, Spodnja Savinjska dolina, Krško-Brežiško polje, Dravsko-Ptujsko polje in Pomurje. Pojavljanje medzrnske poroznosti bomo zasledili tudi povsod tam, kjer imamo opraviti z rečnimi sedimenti v dolinah. Prav tako prevladuje medzrnska poroznost na območju mlajših kamnin in sedimentov na območju Slovenskih goric in Goriškega.

Druga vrsta poroznosti je *razpoklinska poroznost*, ki nastopa le v kamninah. Pod vplivom različno usmerjenih napetosti in premikov v Zemljini skorji kamnine v vsej svoji zgodovini doživljajo različne poškodbe (slika 4). Od trenutka dalje, ko sediment prične prehajati v kamnino ali ko se magma ali la-

va pričneta strjevati, se v kamnini pričnejo pojavljati raznolike razpoke različnih velikosti - od mikrorazpok, širokih le nekaj mikrometrov, do makrorazpok, katerih dolžina presega tudi več deset metrov. Različne vrste kamnin se deformirajo in lomijo na zelo različne načine, zato je pojavljanje razpok v naravi raznoliko in pestro, kar zelo vpliva na tok podzemne vode. A pri tem je najbolj pomembno, da so razpoke med seboj povezane in odprte, tako da lahko voda skozi steče. Razpoko si najlažje predstavljamo kot odprtino med dvema vzporednima ploskvama, kjer je njena širina mnogo manjša od ostalih dveh razsežnosti. Pri obravnavi toka podzemne vode skozi razpoke obstajajo zelo različni pristopi: od tega, da analiziramo vsako posamezno makrorazpoko, do tega, da tok podzemne vode skozi goste sisteme razpok obravnavamo na enak način kot v primeru medzrnske poroznosti. V Sloveniji so kamnine z razpoklinsko poroznostjo zelo razširjene. Razpoke nastopajo v vseh karbo-

s krasom. V njih razpoke nastopajo v povezavi z sledečo obliko poroznosti.

Kanalska poroznost nastopa tam, kjer se znotraj kamnin pojavijo kanali (slika 5). Morda je nekoliko nenavadno, da se kanali v manjši meri pojavljajo tudi znotraj sedimentov. Kanal si med vsemi vrstami poroznosti najlažje predstavljamo kot nekakšno cev znotraj kamnine. Na tem temelji tudi kvantitativna obravnava toka podzemne vode v kanalski poroznosti. Izračune izvajamo na podlagi teorije toka vode v kanalih s prosto ali tlačno višino, težava pri tem pa je seveda, kako opisati geometrijo kanalov. Resničnost je mnogo bolj zapletena, kot to poenostavlja teorija. Opraviti imamo z zelo raznolikimi oblikami kanalov: od kanalov, ki skorajda spominjajo na cevi, do kanalov, katerih oblika, predvsem njihov prečni profil, je zelo spremenljiv. Tudi njihove razsežnosti so zelo raznolike, od mikrokanalov, dolgih le nekaj milimetrov, do makrokanalov, katerih dolžine presegajo stotine metrov. V Sloveniji so pojavi kanalov v kamninah in tudi sedimentih zelo pogosti. Ti kanali so nastali kot posledica zakrasevanja apnencev in deloma tudi dolomitov, ki pokrivajo skoraj polovico ozemlja naše države. Vendar kanali ne nastajajo le zaradi kraških procesov, lahko so posledica zelo raznovrstnih procesov. Takšni kanali so lavine cevi, ko se lava na površju strdi, v notranjosti pa teče še naprej, ali pa kanali, ki nastanejo kot posledica mehanske erozije zaradi zelo hitrega toka podzemne vode na območjih, kjer ta izteka na površino. Ker so kanali v Sloveniji posledica procesov zakrasevanja, pri nas takšno vrsto poroznosti imenujemo kar kraška poroznost, a ker skoraj noben rov na območju Alpsko-Dinarskega krasa ne nastane brez predhodnega toka skozi razpoke in imajo te tudi po nastanku kanalov pri toku podzemne vode pomembno vlogo, govorimo o kraško razpokliniski poroznosti.

Na primeru razvoja krasa vidimo, da lahko znotraj kamnin nastopajo kombinacije različnih poroznosti. V takšnem primeru

govorimo o kombinirani poroznosti. V kolikor sta prisotni dve poroznosti, je to dvojna poroznost, v kolikor pa vse tri poroznosti, pa govorimo kar o trojni poroznosti. Razvrščanje poroznosti na dvojno ali trojno poroznost ni pomembno le zaradi znanstvene pedantnosti. Ima tudi pomembne praktične posledice pri obravnavi toka podzemne vode. Enačbe toka rešujemo ločeno za vsako vrsto poroznosti posebej, nato pa rešitve združimo.

Oboroženi z znanjem o porah, skozi katere se pretaka podzemna voda, si oglejmo še, kako je podzemna voda porazdeljena znotraj kamnin in sedimentov. Porazdelitev podzemne vode razlagamo s posplošenim hidrogeološkim modelom (slika 6). Ko se padavinska voda infiltrira v tla, pod vplivom težnosti steče navzdol. Slej ko prej bo naletela na oviro, na kateri se bo zadržala. Ker se ti procesi dogajajo v zelo dolgih časovnih obdobjih, se voda za takšnimi ovirami zadrži. Tako se v kamninah in sedimentih vzpostavi dve območji: spodnje območje, ki je v celoti zasičeno z vodo, in zgornje območje, kjer je voda prisotna, a v celoti ne zapolnjuje por. Spodnjemu predelu, ki je v celoti zasičen s podzemno vodo, pravimo zasičeno območje, ki mu s tujko pravimo tudi freatično območje. Beseda izvira iz starogrške besede φρέαρ – *phrear*, kar pomeni vodnjak, cisterna ali tudi izvir. Takšno poimenovanje je razumljivo, saj je to območje, v katerem ljudje vodo zajemamo, gradimo in izdelujemo vodnjake. Nad zasičenim območjem se nahaja nezasičeno območje, ki mu s tujko pravimo tudi vadozno območje. Beseda izvira iz latinskega pridevnika *vadosus*, kar pomeni plitev. Tudi v tem primeru gre za sprejemljivo pojmovanje, saj se vadozno območje nahaja plitvo pod površino. Globoka nezasičena območja so prej izjema kot pravilo. Takšna izjema je visokogorski kras.

Zasičeno in nezasičeno območje med seboj deli gladina podzemne vode, a to seveda ni povsem enakomerna in zvezna površina, kot jo poznamo z jezer, temveč gre v mi-

kroskopskem merilu za nekoliko valovito ploskev, ki jo prekinjajo posamezna zrna sedimenta ali pa bloki kamnin med razpokami in kanali, v katerih ni proste vode. Ko hidrogeologi na karto ali na geološki profil zarišejo gladino podzemne vode, je to le statistično določena povprečna črta poteka meje med zasičenim in nezasičenim območjem.

Tik nad gladino podzemne vode naletimo še na razmeroma tanko območje kapilarnega dviga. Prav gotovo smo bili že kdaj soočeni s tem, da smo v vodo pomočili tanko cevko – kapilaro – in opazovali, kako se v njej dvigne voda nad okoliško gladino. Podoben učinek zasledimo tudi pri podzemni vodi. Ker je premer por majhen, se na stikih zrn pojavi kapilarni dvig. Njegova višina je odvisna od tega, s kakšnim sedimentom imamo opraviti. Pri drobnozrnatih sedimentih, kot so gline, znaša kapilarni dvig tudi do deset metrov, pri debelo zrnatih sedimentih, kot je prod, pa bi ta dvig komajda zaznali, saj ne presega nekaj milimetrov.

Poznavanje splošnega hidrogeološkega profila pa ni pomembno le zaradi razdelitve območja pojavljanja podzemne vode na zasičeno in nezasičeno območje in deleža por, ki so zapolnjene z vodo, temveč tudi zaradi razumevanja smeri toka podzemne vode. V nezasičenem območju prevladuje navpično usmerjeni tok. Voda iz te smeri skrene le občasno, ko na svoji poti naleti na oviro ali spremembo v navpični prepustnosti. Ko voda na svoji poti iz nezasičenega območja doseže zasičeno območje, se smer njenega toka spremeni skoraj za devetdeset stopinj, praviloma se spremeni tudi njena hitrost. V zasičenem območju teče podzemna voda pod zelo majhnim gradientom. Ta poenostavljeno rečeno predstavlja spremembo višine gladine podzemne vode na dolžino poti in je odvisen od prepustnosti ter geometrije plasti, skozi katere teče voda. V večini medzrnskih poroznosti padec gladine podzemne vode znaša le od enega metra do pet metrov na tisoč metrov. To je eden od vzrokov, za-

kaj podzemna voda teče zelo počasi. Hitrosti toka, večje od enega metra na dan, so za podzemno vodo zelo visoke, večina hitrosti je mnogo nižja in ne redko teče podzemna voda le s hitrostjo en centimeter na leto. Pri tem je ponovno izjema podzemna voda v krasu, kjer v skrajnih primerih v strmih kanalih s prosto gladino naletimo tudi na hitrosti vode do enega metra na sekundo. Zaradi nizkih hitrosti se podzemna voda zelo dolgo zadržuje pod površino tal, včasih je potrebno nekaj desetletij ali stoletij, da se infiltrirana padavinska voda ponovno pojavi v obliki izvira na površini.

Stari slovenski pregovor pravi: »Vsaka voda je pri izviru čista.« Ta pregovor lahko razumemo na veliko načinov. Potrjuje pa nam tudi, da so naši predniki na posreden način na podlagi izkušenj poznali vse, kar smo zapisali v prispevku. Zato je zdravnik Alojzij Homan pred sto leti v svojem učbeniku *Higiena* zapisal: »Dobra pitna voda mora biti čista, brez barve, brez posebnega duha in okusa, mrzla in trda. Najboljša pitna voda je iz vodnjakov in studencev.« Takšna je lahko le podzemna voda, ki se je počasi precejala skozi sedimente in kamnine ter se na svoji poti bogati z minerali, ki jih je raztaplja. Prav zaradi tega podzemno vodo v Sloveniji v pretežni meri uporabljamo kot vir pitne vode še danes. Za nameček nas je na stiku Alp, Dinaridov in Panonske nižine narava z njo še bogato obdarila. Ker pa je podzemna voda naravni vir, ki je ranljiv, ga moramo varovati in ohraniti za zanamce.