

sin ali AVP). CRH in AVP prek portalnega sistema hipofize dosežeta adenohipofizo in sprožita izločanje kortikotropina (angleško *AdrenoCorticoTropic Hormone* ali ACTH) in še nekaterih drugih peptidov. ACTH preko sistemskega krvnega obtoka v nadledvični žlezi uravnava sintezo in izločanje kortizola v skorji. Na delovanje osi vpliva več negativnih povratnih zvez. V povratnih zvezah delujejo receptorji za glukokortikoide v adenohipofizi, hipotalamusu in hipokampusu. Vzporedno z osjo hipotalamus-hipofiza-nadledvična žleza se aktivira simpatično-adrenalni sistem (avtonomno simpatično živčevje in sredica nadledvične žleze).

C-reaktivni protein (CRP). Reaktant akutne faze vnetja. Je protein, ki nastane v jetrih in se sprosti v krvni obtok nekaj ur po poškodbi tkiva, ob okužbi ali vnetju. Z znaki in simptomi bolezni nam pomaga določiti, ali gre za težko ali lažjo, akutno ali kronično stanje pri bakterijskih okužbah, glivičnih okužbah, pelvičnih vnetjih, vnetnih črevesnih boleznih, nekaterih oblikah artritisa, avtoimunih boleznih, na primer lupusu ali vaskulitisu. Ni specifičen za bolezen, je pa glavni, cenovno ugodni označevalec okužbe in vnetja, ki ga uporabljajo tudi zdravniki splošne medicine.

Hidrogeologija • Prepustnost sedimentov in kamnin. Pogled skozi oči zgodovine znanosti

Prepustnost sedimentov in kamnin Pogled skozi oči zgodovine znanosti

Mihael Brenčič

Slovenski ljudski pregovor pravi: »Voda, ki preteče sedem kamnov, se očisti.« Ta in še mnogi drugi pregovori nam odkrivajo lastnosti vode in zakonitosti okolja, v katerem se pojavlja. Hkrati nam dokazujejo, da so številne naravne zakonitosti poznali in uspešno izkoriščali že prednamci. Tako je eden najstarejših tehnoloških postopkov čiščenja onesnažene vode, ki jo želimo uporabiti za pitje, precejanje vode skozi peščen filter. V skladu s pregovorom peščen filter ni nič drugega kot veliko drobnih kamnov, preko katerih teče voda in se očisti. Napotek za izdelavo in uporabo takšnega peščenega filtra bomo našli v vsaki knjigi ali priročniku, ki se ukvarja s preživetjem v naravi ali s tem, kako ravnati v primeru naravnih nesreč. V prazen sod nasujemo različno debele plasti peska, katerih debelina zrn se zmanjšuje od mesta vtoka vode proti njenemu iztoku. Če se želimo še dodatno zavarovati, med plasti peska vstavimo še plast aktivnega oglja. Podob-

ne peščene filtre, le da mnogo večjih dimenzij, bomo še danes našli v marsikaterem zajemnem objektu za pitno vodo ali pa v kakšni od tovarn, ki kot surovino potrebuje čisto vodo. Postopek čiščenja vode s peščenimi filtri je že zelo star, poznala so ga stara ljudstva. Za potrebe oskrbe prebivalstva s pitno vodo ga na posreden način uporabljamo tudi takrat, ko zajemamo podzemno vodo. V primerjavi z drugimi vodami je ta po svoji sestavi povsem drugačna, ker teče skozi številne plasti kamnin in sedimentov in se pri tem prečisti ter obogati z raztopljenimi snovmi.

Preselimo se v Francijo prve polovice 19. stoletja, v mesto Dijon, glavno mesto vzhodne Burgundije, ki leži približno 200 kilometrov jugovzhodno od Pariza. Že stoletja dolgo je imelo mesto težave z zdravo pitno vodo. Moderni razvoj, ko se je pričela razvijati industrija ter so se gradile nove transportne povezave, je terjal tudi izboljšanje sanitarno-higienskih razmer v me-

stu. Kot mestni inženir je v takratnem obdobju služboval Henry Darcy, ki je dobil nalogo, naj izpelje izgradnjo novega vodovodnega sistema ter poskrbi za zdravo in čisto pitno vodo. Kot vseh drugih svojih projektov se je tudi tega dela lotil zelo zavzeto. V letih od 1828 do 1834 je Darcy na podlagi zamisli, ki so segale še v 16. stoletje, skrbno analiziral razmere v mestu in v okolici. Na podlagi teh rezultatov je nato izdelal projekt in ga predložil mestnemu svetu. Tako kot danes je tudi takrat preteklo veliko časa od načrtov do izvedbe. Z gradnjo so začeli leta 1839 in glavnino del dokončali leta 1840, zaključna dela pa opravili šele leta 1844. Ko je bil vodovod dokončan, je bil to eden najsoodobnejših vodovodnih sistemov v Evropi in je

pomenil zgled številnim drugim. Dijon je dobil sodoben vodovodni sistem dvajset let pred svetovno prestolnico Parizom.

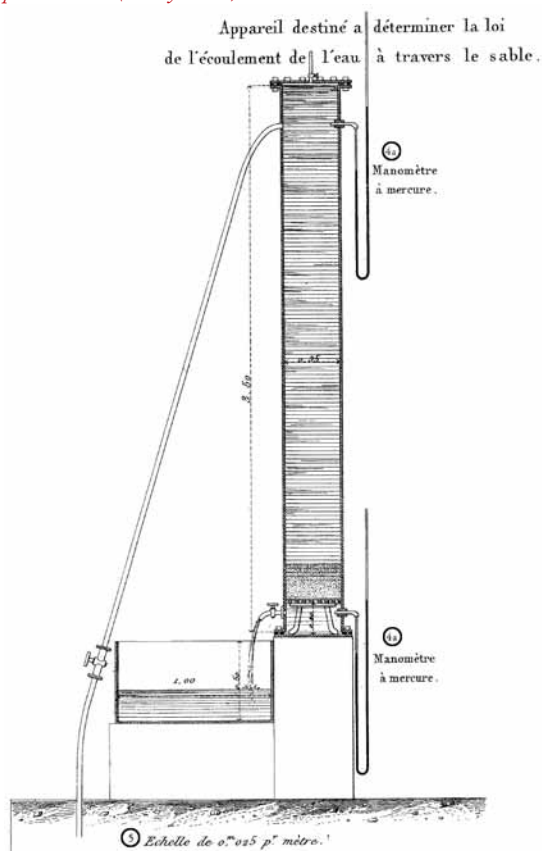
Kot rešitev za občasno onesnaženje vode iz kraškega izvira z imenom Rosoir, ki je napajal vodovodni sistem, si je Darcy zamislil čiščenje vode s pomočjo peščenega filtra. Zgradil je podobno napravo, kot jo je kasneje uporabljal tudi pri svojih poskusih (slika 1). V jekleni cilinder je nasul pesek. Vodo je v cilinder dovajal zgoraj in jo izpuščal spodaj, poleg tega je na mestu vtoka in izтока vode iz cilindra meril tlak vode. Ker ga je zanimalo, kateri pesek je za čiščenje onesnažene vode primernejši, je v cilinder vstavljal peske različne zrnavosti, eksperimentiral pa je tudi z različno dolžino in prečnim presekom cevi. Mnogo let kasneje je poskus ponovil v nadzorovanih razmerah in opis tudi objavil.

Darcy je s svojimi poskusi prišel do preprostih, a zelo pomembnih sklepov. Peski, ki jih je vgradil v cilinder, so vodo prevajali zelo različno. Skozi nekatere je voda komajda tekla, skozi druge pa tako hitro, da je le stežka uspel napolniti cilinder z vodo in vzpostaviti stalen pretok. Prav tako je ugotovil, da na pretok vode skozi cev vplivajo razlika v tlaku vode med spodnjim in zgornjim delom cilindra ter tudi prečni presek in dolžina cilindra. Ugotovil je, da je volumski pretok vode skozi cilinder premosorazmeren razliki tlakov, izmerjenih na manometrih, in prečnemu preseku cilindra ter obratno sorazmeren dolžini cilindra. Če želimo ta razmerja predstaviti kvantitativno, to je z enačbo, moramo v ta razmerja vstaviti še premosorazmernostni koeficient. Ker ta koeficient podaja prepustnost peska v cilindru, ga imenujemo koeficient prepustnosti. Ta razmerja lahko zapišemo s preprosto enačbo, ki jo po njegovem odkritlju imenujemo Darcyjev zakon:

$$Q = -KA \frac{\Delta h}{L},$$

kjer je Q volumski pretok, A prečni presek cilindra, K koeficient prepustnosti, Δh

Slika 1: Darcyjeva naprava za merjenje prepustnosti permeameter (Darcy, 1856).



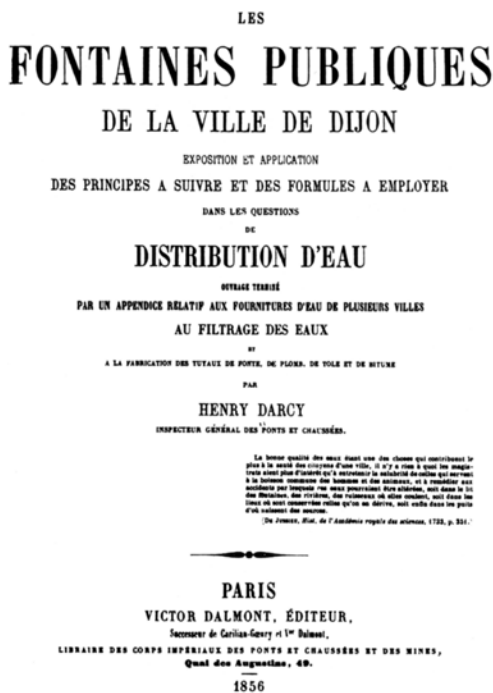
razlika tlaka med manometroma in L dolžina cilindra med manometroma. Razmerje $\Delta h/L$ imenujemo hidravlični gradient. Čeprav bomo v hidrogeologiji zasledili še številne druge fizikalne zakone, ki so mnogo bolj zapleteni, je Darcyjev zakon temeljni hidrogeološki zakon, ki nam pomaga razumeti osnovne značilnosti toka podzemne vode in njene porazdelitve v prostoru.

V znanosti in vsakdanji hidrogeološki praksi nas ne zanima le prepustnost peskov, temveč vseh sedimentov in kamnin, zato na splošno govorimo o prepustnosti geoloških snovi, če to prenesemo še na vse porozne materiale, pa o prepustnosti poroznih snovi. Prepustnost opredelimo kot sposobnost sedimenta ali kamnine, da prevaja vodo. Fizikalni parameter prepustnosti zasledimo tudi pri drugih materialih, za katere je značilna poroznost: od gradbenih materialov do hrane in različnih umetnih mas. Prav tako materiali niso prepustni le za vodo, temveč tudi za druge tekočine, tako pline kot kapljevine. Če bi bili dosledni, bi morali govoriti o vodoprepustnosti, ko imamo v mislih tok vode skozi pore, in o drugih vrstah prepustnosti, kadar govorimo o prepustnosti drugih kapljev. Tako bi na primer pri onesnaženjih prodov z razlitjem nafte govorili o naftoprepustnosti.

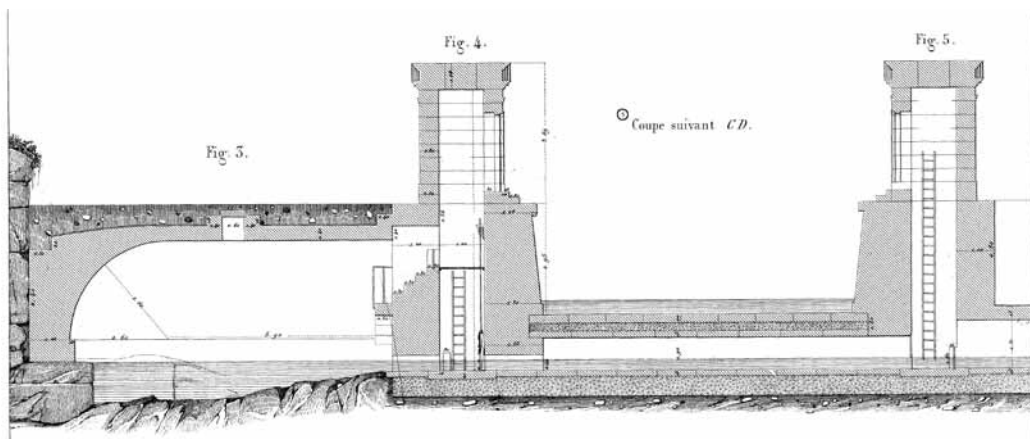
Svoje odkritje in rezultate eksperimentiranja je Darcy objavil leta 1856 v danes znameniti knjigi *Javni vodnjaki mesta Dijon*. V francoščini se naslov knjige glasi *Fontaines publiques de la ville de Dijon* (slika 2). V delu na dolgo in na široko opisuje načrtovanje, gradnjo in pogoje obratovanja mestnega vodovoda. Hkrati s tem so v tej knjigi temeljito opisani številni drugi poskusi. Knjiga vsebuje obsežne grafične priloge, ki predstavljajo mojstrovino inženirske risbe. Tako pretanjeno izrisanih risb (slika 3) v inženirski praksi danes ne bomo več zasledili, včasih pa so bile standard in dokaz za dobro opravljeno načrtovalsko delo. Darcy je v svoji

knjigi razmišljal in izpeljeval dinamiko podzemne vode tudi širše, kar dokazujejo poenostavljeni geološki profili (slika 4). Pri listanju knjige naletimo na nenavadni položaj opisa morda njegovega najpomembnejšega odkritja, zakona, ki nosi njegovo ime. Ta je sramežljivo skrit kot dodatek na koncu knjige. V knjigi ga najdemo le z največjim trudom in čeprav v njej kar mrgoli različnih enačb, saj je bil Darcy odličen hidravlik in torej več matematike in fizike, je zakonitost, do katere je prišel, opisal le z besedami. To je tudi vzrok, zakaj je preteklo kar nekaj časa, da se je Darcyjev zakon uveljavil v praksi in teoriji. Pravo uporabnost Darcyjevega zakona je pokazal šele Darcyjev sodobnik in vrstnik Jules Dupuit (1804–1866), drugi pomembni francoski inženir za razvoj hidravlike podzemne vode, katerega delo je v mednarodnih znanstvenih krogih mnogo bolj znano v mikroekonomiji kot na področju hidravlike podzemne vode.

Delo Henrya Darcya je izredno pomembno tudi na mnogih drugih področjih mehanike tekočin in hidrotehnike. Skupaj z nemškim

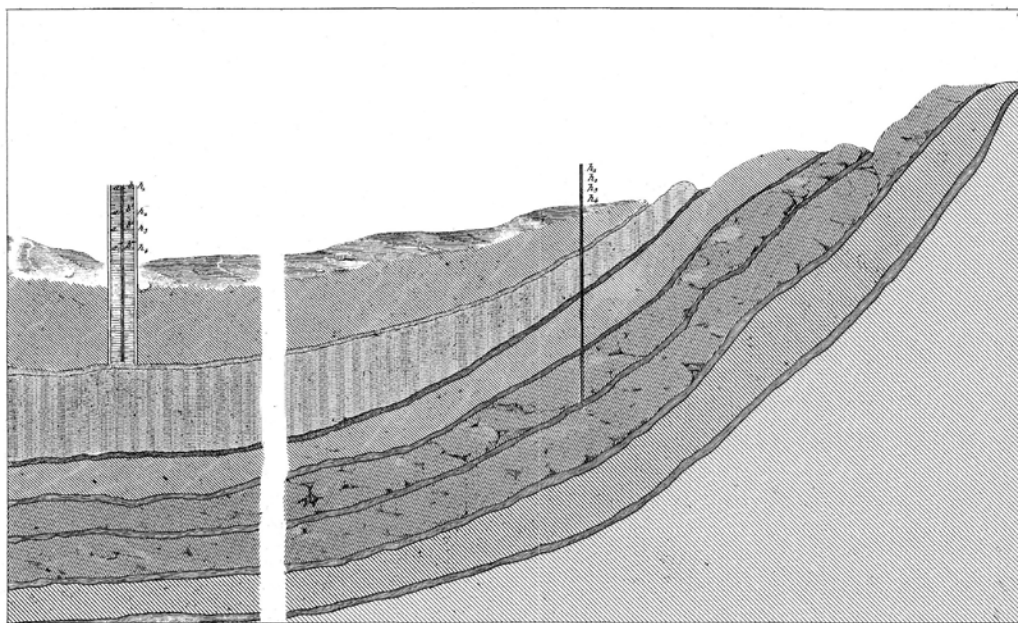


Slika 2: Naslovnica Darcyjeve knjige *Javni vodnjaki mesta Dijon*.



Slika 3: Načrt zajetja na kraškem izviru Rosoir pri Dijonu (Darcy, 1856).

Slika 4: Shematski geološki prerez s prikazom arteških vodonosnikov (Darcy, 1856).



inženirjem Juliusom Weisbachom sta odkrila osnovne zakonitosti toka tekočin v cevi pod tlakom in po njima se ta zakonitost imenuje Darcy–Weisbachov zakon. Našteli bi lahko še mnoge druge njegove znanstvene in inženirske dosežke.

Kdo je bil Henry Darcy, ki je tako pomembno zaznamoval razvoj hidravlike in hidrogeologije? Henry Darcy se je rodil leta 1805 v Dijonu očetu dacarju in materi gospodinj. Leta 1807

se mu je pridružil še brat, ki je kasneje naredil izredno uspešno kariero v državni administraciji in je v poznejšem življenju s svojimi zvezami v marsičem pomagal svojemu starejšemu bratu. Ko je bil Henry star 14 let, mu je umrl oče. Družina je ostala brez sredstev za preživljanje, a se je mati zelo dobro zavedala pomena dobre izobrazbe za sinova. Uspela jima je priskrbeti štipendiji mesta Dijon, pomagali pa so jima tudi premožnejši sorodniki. Mladi Henry se je



Slika 5: Henry Darcy leta 1821 v času šolanja na L'École Polytechnique (po Simmons, 2008).



Slika 6: Henry Darcy v kasnejših letih svojega življenja (po Simmons, 2008).

leta 1815 najprej vpisal na gimnazijo v Dijonu, nato pa je v Parizu leta 1821 pričel obiskovati znamenito L'École Polytechnique (slovensko Politehnika), na kateri je v času njegovega študija predaval Baptiste Joseph Fourier, utemeljitelj fizike prevajanja toplote in odkritelj številnih pomembnih matematičnih metod, ki imajo med drugim tudi velik pomen pri preučevanju toka podzemne vode. Kdo ve, če se nekatere od idej, ki so ga proslavile kasneje, v mladem Henryu (slika 5) niso zasidrale že takrat, saj so matematični zapisi nekaterih enačb toka podzemne vode in transporta toplote enaki. Leta 1823 se je Darcy vpisal na L'École des Ponts et Chaussées (Šola za mostove in ceste), prav tako znamenito in še danes prestižno šolo, na kateri so šolali gradbene inženirje, ki so skrbeli za javne stavbe po celotni Franciji in njenih kolonijah. Iz vrst te šole so izšli številni znameniti arhitekti in gradbeniki. Na njej so delovali svetovno znani znanstveniki, kot so Saint-Venant, Biot, Cauchy, Coriolis, Fresnel, Gay-Lussac in

Navier. Šolanje je končal leta 1826. Čeprav je bil takoj po dokončanju šole s strani nadrejenega ministrstva dodeljen v javno službo na območju Departmaja Jure na meji s Švico, je mestni svet Dijona kmalu dosegel, da so ga prestavili v rojstno mesto. Na položaju mestnega in departmajskega gradbenega inženirja različnih uradniških stopenj je ostal vse do leta 1848, ko se je moral zaradi političnih razlogov, ob vzponu Druge republike, odseliti v Pariz. Darcy se je med svojim delovanjem v Dijonu proslavil s številnimi javnimi deli, od gradnje plovnih kanalov, mostov in izgradnje mestnega vodovoda do svojega največjega gradbeniškega dosežka, gradnje dela železniške proge Pariz–Dijon, po kateri še danes teče trasa francoske hitre železnice TGV. Kot uspešen gradbeni inženir je imel za takratne čase zelo solidne dohodke, ki so presenetljivo visoki tudi v današnjih razmerah. Njegova letna plača, preračunana v današnje vrednosti, je znašala 1,5 milijona evrov. Kljub temu, da je bil v svojem

delovanju povsem apolitičen in je s svojim denarjem pogosto podpiral številne javne ustanove, ob revoluciji leta 1848 kot uspešni javni delavec prejšnjega režima ni bil več zaželen in je moral oditi. Intenzivno delo je pri njem že pred tem povzročilo izgorelost, kar je močno načelo njegovo zdravje, po politični odstavitvi pa se je njegovo zdravstveno stanje le še poslabšalo. Ko se je v nekašnem pregnanstvu naselil v Parizu, je začel močno bolehati. Kljub temu, ali pa morda prav zaradi tega, se je v tem zadnjem obdobju svojega življenja intenzivno posvetil raziskavam. S poskusi je začel preverjati izkušnje, ki si jih je nabral med svojim praktičnim gradbeniškim delom. To je počel predvsem z namenom, da bi izboljšal vsakdanjo inženirsko prakso. Leta 1855 se je lahko vrnil v Dijon (slika 6), kjer je nato dokončal svoje temeljno delo *Javni vodnjaki mesta Dijon*. V okviru teh naporov je nadaljeval tudi z eksperimentalnim delom s cilindrom in peščenimi filtri, ki ga je začel že ob načrtovanju mestnega vodovoda. Poskuse je izvajal v eni od dijonskih bolnišnic. Po smrti matematika in fizika Augustina Cauchyja je bil leta 1857 izvoljen v Francosko akademijo znanosti, vendar te časti ni dolgo užival. V začetku leta 1858 je umrl star 54 let.

Nekoliko spremenjeno obliko naprave, ki jo je sestavil Darcy, bomo še danes našli v vseh hidrogeoloških in geomehanskih laboratorijih. Te naprave danes imenujemo permeometri. Poznamo njihove številne različice, odvisno od tega, kaj želimo in pod kakšnimi pogoji želimo izmeriti prepustnost. Naprave se med seboj razlikujejo predvsem glede na to, ali želimo meriti prepustnost kamnin ali sedimentov in ali gre za dobro ali slabo prepustne preizkušance. Merimo lahko tudi posebne vrste prepustnosti, kot je prepustnost nezasičenih poroznih snovi. Tako kot večina laboratorijskih poskusov se tudi ti izvajajo v nadzorovanih razmerah. Pomembno je predvsem, da jih izvedemo ob natančno določeni temperaturi vode in s čisto vodo. To nakazuje, da je koeficient prepustnosti odvisen od temperature, ta pa vpliva na viskoznost in gostoto vode, s katero izvajamo poskus. Zaradi tega poznamo tudi

pojem specifične prepustnosti. Koeficient prepustnosti je sestavljen iz dveh delov. Prvi del predstavlja koeficient med prostorninsko težo in kinematično viskoznoznostjo in tako podaja lastnosti tekočine. Drugi del imenujemo specifična prepustnost. Ta je neodvisna od lastnosti tekočine v porah in je povezana z obliko in velikostjo por, torej gre za parameter, ki je odvisen od geometrije por. Vendar pa specifično prepustnost v hidrogeologiji uporabljamo zelo redko. Najpogosteje se ta pristop uporablja v naftnem in plinskem inženirstvu, včasih tudi pri študiji onesnaženj vodnih virov z naftnimi derivati in drugimi organskimi spojinami.

V literaturi, tudi slovenski, bomo pogosto našli izraz vodoprevodnost ali krajše prevodnost kot sinonim za prepustnost. A to je povsem drug fizikalni parameter, ki ga ne smemo zamenjevati s prepustnostjo. Prevodnost ali s tujko transmisivnost je fizikalni parameter, ki je opredeljen kot zmnožek koeficienta prepustnosti in debeline plasti, nasičene z vodo, in nam pove, koliko vode lahko prevaja ta plast. Ta parameter ima zelo pomembne praktične posledice pri črpanju pitne vode. Opraviti imamo lahko s plastjo, ki ima zelo veliko prepustnost, a če je tanka, kljub svoji veliki prepustnosti ne prevaja veliko vode. V nasprotnem primeru pa imamo lahko plast, ki je razmeroma slabo prepustna, a zelo debela, in lahko zaradi tega prevaja veliko vode. Ta fizikalni parameter porozne snovi ima zelo podobno lastnost kot prevodnost elektronskih elementov v elektrotehniki.

V mednarodnem sistemu enot (SI) je enota za koeficient prepustnosti meter na sekundo (m/s), kar nas napeljuje na to, da koeficient prepustnosti na posreden način nakazuje na hitrost toka podzemne vode. Razen v zelo izjemnih primerih, ko gre za tok podzemne vode na krasu ali v okolici črpalnih vodnjakov, podzemna voda v primerjavi s površinsko vodo teče zelo počasi. Če v vodotokih na površini voda neredko teče tudi s hitrostjo 1 m/s , pa pri podzemni vodi ni tako. Primerjalno gledano o razmeroma visokih hitrostih podzemne vode govorimo že, če znaša hitrost toka dva metra na dan, pravi-

Sedimenti			
	Minimum [m/s]	Maksimum [m/s]	Povprečje [m/s]
prod	$3,0 \times 10^{-4}$	$3,1 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-3}$
debelozrnati pesek	$9,0 \times 10^{-7}$	$6,6 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-4}$
srednjezrnati pesek	$9,0 \times 10^{-7}$	$5,7 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$
drobnnozrnati pesek	$2,0 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$2,3 \times 10^{-5}$
melj	$9,0 \times 10^{-11}$	$7,1 \times 10^{-6}$	$2,8 \times 10^{-7}$
glina	$1,0 \times 10^{-11}$	$4,7 \times 10^{-9}$	$9,0 \times 10^{-10}$
Kamnine			
	Minimum [m/s]	Maksimum [m/s]	Povprečje [m/s]
drobnnozrnati peščenjak	$5,0 \times 10^{-9}$	$2,3 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-6}$
meljevec	$1,0 \times 10^{-11}$	$1,4 \times 10^{-8}$	$1,9 \times 10^{-9}$
bazalt	$2,0 \times 10^{-11}$	$4,3 \times 10^{-7}$	$9,5 \times 10^{-8}$
skrilavi glinavec	$2,0 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-8}$
zakraseli apnenec	$1,0 \times 10^{-6}$	$8,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-4}$
dolomit	$3,0 \times 10^{-9}$	$8,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-7}$
laporovec	$1,0 \times 10^{-13}$	$2,0 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-10}$

Tabela 1: Prikaz značilnih vrednosti prepustnosti za različne sedimente in kamnine. Prirejeno po različnih virih.

loma pa so te hitrosti mnogo manjše, pogosto ne dosežejo niti enega milimetra na leto. Vse to je posledica koeficienta prepustnosti, ki poleg višinskih razlik vpliva na pretok podzemne vode. Ko govorimo o enotah za koeficient prepustnosti, moramo omeniti tudi enoto darcy, ki je enota za specifično prepustnost. To je enota, ki se jo tradicionalno uporablja v naftnem inženirstvu in ne sodi med enote v merskem sistemu SI, izražena pa je kot kvadrat dolžine. Hitrost, ki jo izračunamo s pomočjo koeficienta prepustnosti, je le navidezna hitrost. To hitrost pogosto imenujemo tudi Darcyjeva hitrost. Dejanska hitrost toka podzemne vode je nekoliko višja od hitrosti, kot jo dobimo neposredno iz Darcyjevega zakona. Vzrok za to je, da pore, skozi katere teče voda, zavzemajo le manjši del prostora celotnega sedimenta, ostali del pa tvorijo zrna. Voda teče okoli zrn različnih oblik,

zaradi tega je njena pot daljša, kot je dolžina med točko, pri kateri voda vstopa, in točko, iz katere izstopa. Zato je realna hitrost, ki jo imenujemo tudi filtracijska hitrost, nekoliko višja od Darcyjeve hitrosti.

Iz vsakdanje življenjske izkušnje vemo, da so nekatera tla prepustnejša od drugih. Če opazujemo dež, ki pada na prodna tla, voda ponikne v trenutku. V nasprotnem primeru se na glinenih tleh voda po deževju še dolgo zadrži, pogosto tako dolgo, da luže posuši šele sonce. Vse to nakazuje, da se sedimenti in kamnine po svoji prepustnosti med seboj zelo razlikujejo. V tabeli 1 so navedene vrednosti prepustnosti za nekatere sedimente in kamnine. Tabela je prirejena po različnih literaturnih virih in podaja le okvirne vrednosti z razponi od najmanjše do največje pričakovane vrednosti koeficienta prepustnosti. V zadnjem stolpcu je podana še pričakovana

Prepustnost [m/s]	Spodnja meja	Zgornja meja
zelo dobra prepustnost	$5,0 \times 10^{-3}$	
dobra prepustnost	$1,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-3}$
srednja prepustnost	$1,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-5}$
slaba prepustnost	$1,0 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-7}$
zelo slaba prepustnost		$1,0 \times 10^{-9}$

Tabela 2: *Opredelitev razredov prepustnosti za sedimente in kamnine.*

povprečna vrednost, za katero pa ni nujno, da se nahaja na sredini intervala med najmanjšo in največjo vrednostjo. Na prvi pogled opazimo zelo velike razlike med posameznimi kamninami in sedimenti, poleg tega nam pade v oči tudi to, da gre za zelo majhne vrednosti, ki so manjše od števila ena in jih izražamo z negativnimi potencami števila deset. Prav zaradi takšnih vrednosti koeficienta prepustnosti je hitrost toka podzemne vode zelo nizka.

Med najprepustnejše sedimente sodijo prodi, ti so v povprečju skoraj desetkrat bolj prepustni kot debeložrnati peski. Med peski opazujemo velik razpon prepustnosti. Nekateri peski imajo za štiri velikostne rede višjo prepustnost kot drugi, to pomeni, da so desettisočkrat prepustnejši, in v takšnih peskih pri enakem hidravličnem gradientu skozi enako debelo plast teče desettisočkrat več vode. Še skrajnejša je primerjava med prodi in glinami. Če si ogledamo njihove povprečne vrednosti, vidimo, da se razlikujejo za sedem velikostnih razredov, kar pomeni, da so gline v povprečju desetmilijonkrat slabše prepustne kot prodi. Svet podzemne vode je dežela skrajnosti. Podobno velike razlike opazimo tudi med kamninami, le da imamo že znotraj posameznih vrst kamnin velike razlike v prepustnosti. Na tak primer širokega razpona vrednosti prepustnosti naletimo pri apnencih. Zelo zakrasel apnenec je tako prepusten kot kakšen prod, apneneci, ki niso zakraseli, pa so lahko izredno slabo prepustni. Njihove prepustnosti so velikostnega reda 10^{-13} m/s. Podobno zelo slabo prepustne so metamorfne in magmatske kamnine, njihova prepustnost pa

se zelo poveča, če so razpokane. Med sedimentnimi kamninami imajo zelo nizke prepustnost glinavci in laporovci, podobno kot sedimenti, iz katerih so nastali.

Tako velike razlike v prepustnostih kažejo, da skozi nekatere sedimente ali kamnine teče razmeroma veliko vode, druge pa zaradi zelo nizke prepustnosti vode skorajda ne prevajajo. Pri tako velikih razlikah v prepustnosti potrebujemo način, kako opredeliti posamezne razrede in intervale prepustnosti. V ta namen se je v hidrogeologiji vzpostavil sistem različnih razredov, kot ga prikazuje tabela 2. To klasifikacijo so že pred časom vpeljali francoski hidrogeologi. O zelo dobri prepustnosti govorimo, kadar je ta večja od 5×10^{-3} m/s, o slabši prepustnosti pa takrat, ko je ta nižja od 10^{-7} m/s. Znotraj slabe prepustnosti ločimo dva razreda, pod prepustnostjo 10^{-9} m/s govorimo o zelo slabih prepustnosti. Čeprav v naravi ni neprepustnih kamnin ali sedimentov, pa v primeru, da je prepustnost nižja od 10^{-9} m/s, iz praktičnih razlogov govorimo o neprepustnih geoloških snoveh. Plasti s takšno prepustnostjo delujejo kot hidrogeološke meje ali bariere. V primerih zelo slabih prepustnosti je v naravnem okolju tok vode vezan predvsem na procese difuzije in osmoze, torej na fizikalno kemijske razmere v sedimentu ali kamninah in ne na tok pod vplivom sile teže, kot je to primer pri višjih prepustnosti, ko tok podzemne vode opišemo z Darcyjevim zakonom.

Darcyjevo inženirsko in znanstveno delo je sredi 19. stoletja odprlo pot k razumevanju pojavljanja in toka podzemne vode. Šele z objavo

njegovega temeljnega in edinega objavljene-ga dela *Javni vodnjaki mesta Dijon* se je začel znanstveni razvoj hidrogeologije. Pred tem je obravnava podzemne vode temeljila predvsem na izkušnjah. Danes je pomemben del hidrogeologovega dela ugotavljanje vrednosti koeficienta prepustnosti kamnin in sedimentov na obravnavanem območju. Rezultati meritev prepustnosti, sprva peskov, ki so bili pomembni predvsem kot sestavni deli filtrov za čiščenje pitne vode, nato pa še vseh drugih kamnin in sedimentov, so odprli razumevanje hidrogeoloških značilnosti kamnin in sedimentov. Od tod

dalje je bil le še korak do razumevanja vodonosnikov in drugih hidrogeoloških pojavov. O tem pa bo tekla beseda na drugem mestu.

Literatura:

Darcy, H., 1856: *Fontaines publiques de la ville de Dijon*. Angleški prevod: Bobeck, P., 2004: *The Public Fountains of the City of Dijon*. Dubuque, Iowa: Kendal/Hunt Publishing Company, 506 str.
Simmons, C. T., 2008: *Henry Darcy (1803–1858): Immortalised by his scientific legacy*. *Hydrogeological Journal*, 16: 1023–1038.

Paleontologija • Triasni rinholiti iz Crngroba

Triasni rinholiti iz Crngroba

Matija Križnar in France Stare

Skoraj vsakdo je že slišal za ostanke starodavnih živali z zavito hišico – amonite. A hišice niso edini ostanki, ki so se ohranili za glavonožci. Med množico ostankov fosilnih glavonožcev najdemo tudi pogoste aptihe, ki naj bi bili nekakšni pokrovčki ali celo čeljusti teh mehkužcev. Veliko bolj redki – predvsem v Sloveniji – pa so roževinasti ostanki čeljusti ali rinholitov glavonožcev.

Rinholiti (angleško *rhyncholites*) so kleščam podobne čeljusti, ki jih imajo danes mnoge sipe, hobotnice, lignji in navtilidi (slika 1). Te čeljusti spominjajo na kljun večjih papig, zato jim biologi tudi rečejo kar kljuni. Zgrajeni so iz roževine, kjer je konica kljuna verjetno tudi kalcificirana. Tudi v geološki preteklosti so že živeli mnogi glavonožci, kot so hobotnice, si-



Slika 1: Roževinasti del čeljustnice ali kljun današnje hobotnice iz Jadrana. Dolg je približno dva centimetra.

Foto: Matija Križnar.