

11 POJAVA I UTJECAJ PODZEMNE VODE

Oborina (precipitacija) je glavni izvor slatke vode; kada padne na površinu zemlje rasprši se na tri načina:

Evapotranspiracija: kombinacija evaporacije s otvorenih vodenih površina i transpiracije s biljaka; oba ova načina vraćaju vodu u atmosferu; u umjerenim klimama može varirati u rasponu od 20% oborine u ogoljelim planinskim područjima do 70% u pošumljenim nizinama.

Otjecanje: površinska voda teče potocima i rijekama (površinskim tokovima); povećava se u područjima izgrađenim od stijena male propusnosti, na strmim padinama, za vrijeme intenzivnih oborina i u urbaniziranim područjima.

Infiltracija: procjeđivanje u podzemlje i stvaranje podzemne vode; značajno u terenima izgrađenim od propusnih stijena i tamo gdje je slabo otjecanje.

Podzemna voda je sva voda koja teče kroz podzemlje ili se nalazi u podzemlju, u stijenama i tlima; nastala pomoću infiltracije, a gubi se istjecanjem na površinu kroz izvore i procjeđivanje na dnu mora.

Zalihe vode: količina vode u sustavu koji se sastoji od površinskih tokova i podzemne vode; prirode zalihe je lako poremetiti ljudskim aktivnostima, a osobito tamo gdje drenažni sustavi ili urbanizacija umanjuju mogućnosti za infiltraciju i obnavljanje podzemne vode.

PROPUSNOST STIJENA

Propusnost je sposobnost stijene da kroz njezine međusobno povezane pore (šupljine) protječe voda.

Vodonosnik (vodonosni sloj): stijena značajne propusnosti, pogodna za uskladištenje podzemne vode, npr. pješčenjak.

Izolator: nepropusna stijena s vodom koja se ne kreće, a nalazi se u slabo povezanim porama, npr. glina.

Propusnost (= hidraulička vodljivost = koeficijent propusnosti = K) = tok kroz jediničnu površinu materijala u jedinici vremena uz jedinični hidraulički gradijent (pad potencijala za 1 m na udaljenosti 1 m u smjeru tečenja vode). K se izražava kao brzina, pravilno u metrima/sekundu, u praksi češće u metrima/dan.

Intrinsična propusnost (k), izražena u darsijima, također je funkcija viskoziteta; važna samo ako se razmatra tečenje nafte i plina kroz stijenu.

Brzina podzemne vode puno je manja od K vrijednosti zbog toga što su prirodni hidraulički gradijenti puno manji od 1, koji se nalazi u jednadžbi koeficijenta. Tipične brzine toka podzemne vode variraju od 1 m/dan do 1 m/godinu, ali su puno veće kroz kaverne u vapnencima.

Porozitet: % volumena šupljina ili pornog prostora u stijeni.

Specifično otpuštanje: % volumena vode koja se može slobodno ocijediti iz stijene; mora biti manji od poroziteta i definiran je nekim faktorom u odnosu na porozitet; indikacija je vrijednosti vodonosnika u smislu rezervi podzemne vode.

Tipične hidrološke vrijednosti za stijene

	Propusnost m/dan	Porozitet %	Sp. Yield %
granit	0,0001	1	0,5
šejl	0,0001	3	1
glina	0,0002	50	3
pješčenjak (raspucani)	5	15	8
pijesak	20	30	28
šljunak	300	25	22
vapnenac (kavernozni)	promjenjivo	5	4
kreda	20	20	4
raspucana zona	50	10	
K < 0,01 m/dan = nepropusna stijena			
K > 1 m/dan = iskoristiv vodonosnik			

VODONOSNICI

Razina podzemne vode (= površina podzemne vode) je razina u stijeni ispod koje su sve pore ispunjene vodom; može se reći da prati topografiju površine, ali je blažeg reljefa i podudara se s površinom vode u jezerima i većini rijeka.

Vadozna voda se drenira uslijed gravitacije, a nalazi se u zoni iznad razine podzemne vode u kojoj su pore ispunjene zrakom.

Freatska voda teče lateralno uslijed hidrostatskog tlaka ispod vodnog lica; iz nje crpe vodu izdašni bunari; na većim dubinama i pritiscima sve je manje freatske vode; većina stijena je suha na dubinama >3 km.

Kapilarna voda se uzdiže iznad razine podzemne vode uslijed površinske napetosti; ima je vrlo malo u šljuncima, a u glinama je i do 10 m.

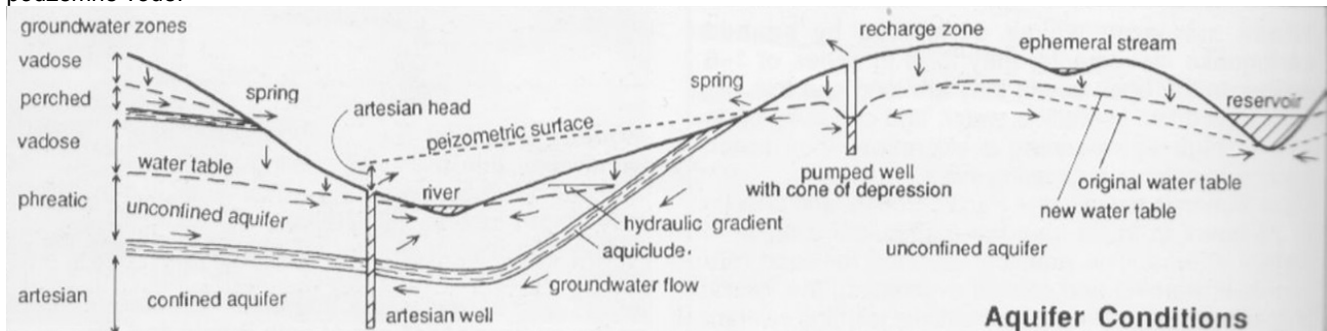
Hidraulički gradijent je nagib razine podzemne vode, nastao uslijed pada potencijala na promatranom putu, odnosno gubitak mehaničke energije fluida zbog otpora trenja. Razina podzemne vode je strmija kada je propusnost mala ili kada je protok veliki; tipičan gradijent je 1:100 u dobrim vodonosnicima. Tok podzemne vode je u smjeru nagiba razine podzemne vode i utvrđuje se bunarima.

Rijeke imaju razinu vode koja je nagnuta u smjeru toka, a podzemna voda utječe u njih. Povremeni tokovi leže iznad razine podzemne vode i procjeđuju se u vodonosnik.

Lebdeći (viseći) vodonosnik leži iznad regionalne razine podzemne vode.

Slobodni (otvoreni, neograničeni vodonosnik) ima vadoznu zonu u gornjem dijelu.

Zatvoreni (ograničeni vodonosnik) ima artešku vodu ispod naližežućeg izolatora s potencijalom arteškog pritiska koji diže vodu iznad vodonosnika, vjerojatno do površine; arteška voda je karakteristična za izmjene aluvijalnih pijesaka i glina i kod složenih klizišta.



Tok podzemne vode = $Q = Kbw$, gdje je K =propusnost, b = debljina vodonosnika, w = širina vodonosnika i i =hidraulički gradijent. To je Darcyjev zakon, primjenjiv za jednostavne geološke strukture ili kao grubu pokazatelj toka kroz jediničnu površinu. Račun je puno složeniji za konvergentni tok prema bunaru ili izvoru

VRSTE PROPUSNOSTI

Međuzrnska: raspršeni tok između zrna u pijescima i šljuncima u slabo cementiranim pješčenjacima i mladim poroznim vapnencima.

Pukotinska: tok kroz pukotine u gotovo svim stijenama; povremeni tok u rasjednoj zoni, ali sustavi gustih pukotina omogućuju raspršeni tok u pješčenjacima, kredi i mladim bazaltima; većina pukotina je uska na dubinama >100 m.

Sekundarna: tečenje podzemne vode povećava propusnost otapanjem i to osobito u vapnencima; neraspršeni tok kroz kanale je povremen i to kroz proširene pukotine i kaverne.

PODZEMNA VODA

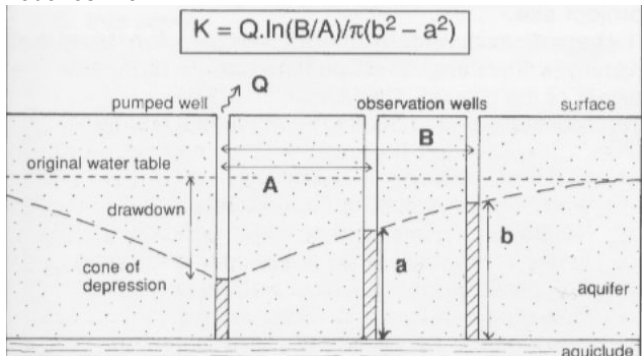
Izvori su mjesta prelijevanja podzemne vode iz vodonosnika; mnogi su kaptirani ili su u obliku jezera za vodoopskrbu; veliki izvor otpušta 0.1 – 1.0 m³/s; manji izvori se koriste u ruralnim područjima; kaverne u vapnencu mogu prihranjivati velike izvore.

Nekada su se ručno kopali horizontalni rovovi do nagnute razine podzemne vode koji su omogućavali njezinu slobodnu drenažu na površinu.

Bunari su kopani ili bušeni do ispod razine podzemne vode; kopani bunari mogu imati horizontalne kanale koji presijecaju raspucane zone bogate vodom; bunari se moraju pumpati ukoliko nisu arteški; izdašnost bunara ovisi o dubini ispod razine podzemne vode, negovom promjeru i propusnosti vodonosnika; izdašnost dobrog bunara je 0.1 m³/s ili oko 3 l/s/m.

Stožac depresije vodnog lica nastaje kada se tok podzemne vode pumpanjem preusmjeri prema bunarima, pri čemu se hidraulički gradijent ustrmljuje; dubina stožca depresije je sniženje, koje je u funkciji s propusnosti i tečenjem.

Pokusno crpljenje bunara služi za određivanje potencijalnog otpuštanja kao i regionalne propusnosti vodonosnika.



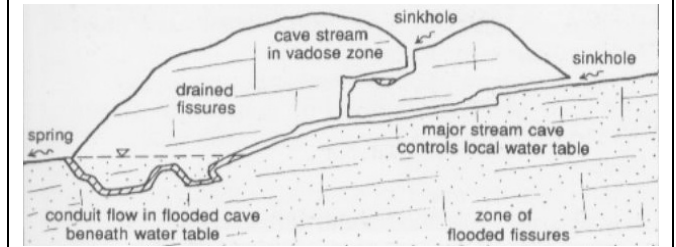
POZEMNA VODA U KRŠU

Kavernozni vapnenac ne podliježe uobičajenim pvalnostima vezanim za podzemnu vodu, jer se voda nalazi u nepredvidivoj mreži kaverni i to samo povremeno.

Vapnenci imaju složenu razinu podzemne vode koja nije u vezi s topografijom.

Kršku podzemnu vodu teško je identificirati ili kontrolirati, budući da se bunarima ili bušotinama vrlo lako mogu pronaći glavni podzemni tokovi.

Tokovi u špiljama prenose zagađivače do izvora.



IZVORI PODZEMNE VODE

Stabilnost vodonosnika je osigurana samo u slučaju kada je crpljenje < obnavljanja.

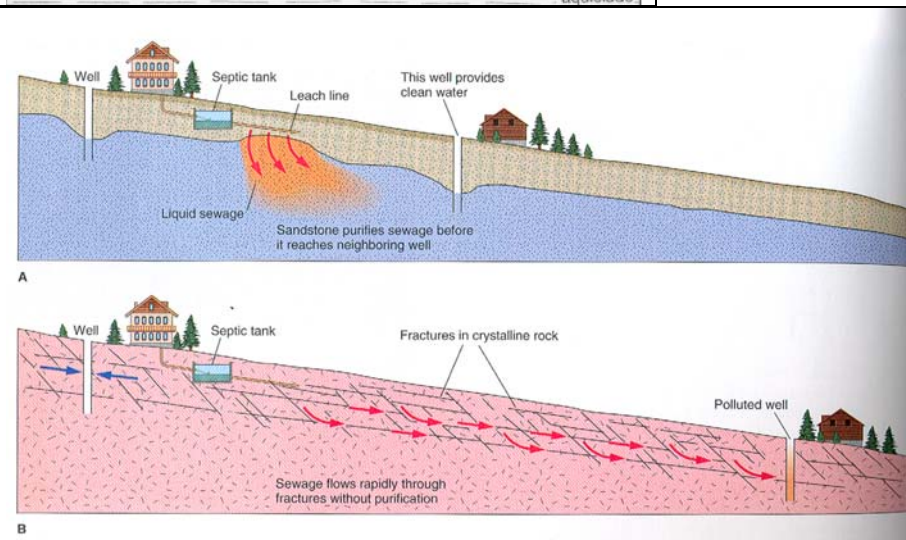
Crpljenje > obnavljanja je rudarenje podzemne vode – vodonosnik se isprazni; razina podzemne vode se trajno spusti, izvori i bunari mogu presušiti; troškovi crpljenja se povećavaju, arteški izvori mogu prestati teći, izvori će biti nepovratno izgubljeni.

Obnavljanje vodonosnika je moguće pomoću priljevni bunara ili rezervoara u obliku jezera.

Arteška voda izlazi bez crpljenja iz arteških bunara. Veliki resursi mogu se nalaziti u sinklinalama.

Kvaliteta podzemne vode osigurava se filtracijom u vodonosniku, a u funkciji je zadržavanja vode u podzemlju gdje je voda u kontaktu s absorbirajućim glinama i bakterijama koje ju čiste u tlu.

Potencijalno najveće zagađenje je moguće u plitkim aluvijalnim šljuncima i kavernoznim vapnencima; glavni izvori zagađivača su procjeđivanja iz rezervoara u kojima su uskladištene štetne tekućine ili iz odvodnje cesta u zonama obnavljanja. Tvrdoću vodi daju karbonati (vapnenac) i sulfati.



Vrsta stijene i udaljenost od zagađivača utječu na mogućnost zagađenja bunara otpadnim vodama. (A) U pješčenjacima i sličnim stijenama i sedimentima otpadne vode se mogu pročistiti već i na udaljenosti manjoj od 30 metara. (B) Ako stijena ima velike otvorene pukotine, zagađenje se može širiti kroz njih i na udaljenostima većim od nekoliko stotina metara.