

## PODZEMNE VODE I IZVORI

Kako su gradovi u našoj prošlosti rasli, sve je više ljudi živelo jedni uz druge. Individualni domaći bunari su postajali nepraktični zbog sve veće mogućnosti zagađenja, te su tokom vremena u urbanim područjima zamenjivani vodovodom. U svakom gradu ili većem naselju voda je postala kritičan faktor.

Svaka urbana sredina mora zato voditi računa:

- da li postoji dovoljno vode na tom području;
- ako je ima da li zadovoljava zahteve za upotrebu;
- da li se voda u tom trenutku racionalno koristi i
- da li je moguća eksploatacija vode za potrebe vodovoda datog područja.

Voda, kao što je rečeno, pokriva najveći deo Zemljine površine. Od ukupne vode prisutne u prirodi:

- 97,2% čine **okeani**;
- 2,15% su **glečerske kalote**;
- 0,02% **jezera i reke**;
- 0,6 % predstavlja **podzemna voda** i
- ostatak čini **voda u atmosferi**.

Od ukupne vode na kopnu:

- 75% su **glečerske kalote**
- 22% čine **podzemne vode**
- 3% čine **reke i jezera**

Postoji tri tipa vode:

- **atmosferska** (meteorska);

- **površinska** (hidrosfera u oba agregatna stanja), i
- **podzemna** u litosferi u sva tri agregatna stanja

### **Sl. 78. Migracija vode u prirodi (hidrološki ciklus), prema Todd-u**

Na sl. 78 prikazan je veliki hidrološki ciklus prisutan u prirodi. Opšte kruženje vode u prirodi se izražava formulom:

$$P = E + T + S + V$$

gde je:

- P** - ukupna količina padavina,
- E** - isparavanje,
- T** - transpiracija
- S** - površinski tokovi
- V** - podzemne vode.

Za planiranje gradnje i urbanizaciju poseban značaj imaju podzemne vode i izvori.

### **poreklo podzemnih voda**

Podzemne vode mogu biti descedentne, ascedentne i konatne.

**Descedentne** nastaju poniranjem atmosferske (kiša, sneg, uopšte padavine) i hidrosferske vode (reka, jezera, morske vode). Podređenije ove vode nastaju i kondenzovanjem vodene pare u zoni biosfere. Ovaj tip podzemne vode je jako značajan u vreme sušnih perioda jer prihranjuje biosferu.

**Ascedentne - juvenilne vode** potiču od lakoisparljivih komponenata magmi utisnutih u gornja područja Litosfere. Voda je među lakoisparljivim komponentama najznačajnija i najzastupljenija.

**Konatne** (zahvaćene vode) uklopljene su u vreme stvaranja stena, kao što je, na primer, voda koja prati ležišta nafte.

Podzemna voda u gornjim delovima Zemljine kore je skoro redovno prisutna u ovom ili onom obliku ali njena korisnost zavisi od:

- dubine na kojoj se nalazi
- vrste stena u kojima se nalazi
- vrste i količine rastvorenih soli u njoj.

Srednja granica prostiranja podzemnih voda je do 2 km, maksimalna dubina je oko 12 km a posle ove dubine, usled geotermskog stupnja, voda prelazi svoju kritičnu tačku od 364°C

Kumulacija podzemnih voda i njeno ponašanje zavisi od stenske poroznosti, koja može biti dvojaka:

- **primarna** ili porna poroznost, koja je posledica postojanja međuzrnskih šupljina i
- **sekundarna**, koja je posledica ispucalosti ili kavernoznosti.

### Vidovi podzemnih voda

Agregatno stanje podzemnih voda u Zemljinoj kori može biti:

Gasovito

Tečno

Čvrsto

Fiz. vezane

Fiz. slobodne

Higroskopne  
Osnene

Kapilarne  
Lutajuće  
Izdanske

**Gasovito stanje** - vodena para se zajedno sa vazduhom nalazi u slobodnim porama; količina vode u ovom obliku je vrlo mala.

**Čvrsto stanje** - voda se javlja u vidu sitnih kristalića ili sočiva leda kada može da ima funkciju cementa sve dok se ne otopi. U našim prostorima na visinama iznad 1000 metara, zimi ide do dubine od 0,5 m a oko polova i do 600 metara.

### **Tečno stanje**

## **FIZIČKI VEZANE VODE**

**Higroskopne** se vode javljaju u vidu sitnih kapljica po zidovima pora; ne podležu gravitaciji, mrznu se na  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$  a isparavaju na  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Opnene vode** se javljaju kao tanak (do  $0,0002\text{ mm}$ ) film oko mineralnih zrna, takođe ne podležu gravitaciji a isparavaju i mrznu se kao higroskopna voda.

## **FIZIČKI SLOBODNE VODE**

**Kapilarne vode** ispunjavaju kapilarne pore i mogu se kretati naviše usled površinskog napona. Nalaze se kao zona iznad akumuliranih podzemnih voda čija širina zavisi od veličine kapilara i od njihove otvorenosti ili zatvorenosti. Potpomažu vegetaciju ali se ne mogu odstraniti niti koristiti za vodosnabdevanje.

Najveći deo podzemne vode do dubine od par stotina metara ne miruje. Njeno kretanje nije turbulentno kao kod reka gde se meri i u kilometrima na sat, ono je zapravo tako sporo da se brzina katkad može meriti i u cm/godinu. To zavisi od permeabilnosti stena. Pojava turbulentnih kretanja moguća je jedino u karstnim područjima.

**Lutajuće** ili **freatske** vode su slobodne podzemne vode koje se kreću pod uticajem gravitacije. Kretanje je laminarno kada su pore i pukotine male i turbulentno kada su podzemni kanali veći.

**Izdanske vode**, uglavnom predstavljaju ustaljene akumulacije podzemnih voda obično u superkapilarima. Mogu se eksploatirati te važe za najznačajniji vid podzemnih voda.

### **fizičke i hemijske osobine podzemnih voda**

Ove osobine mogu biti vrlo različite i zavise od vrste stena kroz koje prolaze ili u kojima su akumulirane podzemne vode.

#### **FIZIČKE OSOBINE**

**Ukus** zavisi od količine i vrste rastvorenih soli, pri čemu vode mogu biti osvežavajuće, kisele, slane, gorke, bljutave.

**Miris** potiče od lakoisparljivih jedinjenja a intenzitet mirisa zavisi od njihove količine. Mogu mirisati na trulež, treset, sumporvodoničnik i dr.

**Boja** je različita i zavisi od primesa organskog ili neorganskog porekla. Čiste vode su bezbojne a nečiste mogu biti žućkaste, crvenkaste ili sive.

**Prozračnost** zavisi od prisustva razmućenih koloidnih materija. Čiste vode su bistre, a mogu biti slabo zamućene, mutne i neprovidne.

**Temperatura** u prvom redu zavisi od zagrejanosti stenskih masa kroz koje voda prolazi i varira od 0-120 °C. Dnevna kolebanja atmosferskih temperatura utiču na podzemnu vodu do dubine od 2 metra. Sve vode temperatura ispod 20 °C smatraju se hladnim.

**Termalne ili tople vode**, čiji povećan stepen zagrejanosti može biti uticaj magmatske aktivnosti, geotermnog stupnja ili radioaktivnog raspadanja, dele se na **hipoterme** do 36 °C, **homeoterme** sa temperaturom 36 °C i **hiperterme** sa temperaturom iznad 36 °C.

## HEMIJSKE OSOBINE

U podzemnim vodama je prisutan obično veliki broj hemijskih primesa, naročito rastvora hlorida, sulfata i karbonata, ali i nitro-jedinjenja.

Hemijska aktivnost podzemnih voda meri se koncentracijom vodonikovih jona u njima (pH) te razlikujemo kisele (sa pH manje od 7), neutralne (sa pH=7) i alkalne (sa pH većim od 7).

**Tvrđina** zavisi od količine rastvorenih soli - meke i umereno tvrde vode mogu se koristiti za piće dok tvrde vode stvaraju teškoće pri korišćenju.

**Agresivnost** podzemnih voda na beton, gvožđe i druge građevinske materijale određuje se prema količini rastvorenih sulfata i ugljendioksida.

**Mineralne vode** su one podzemne vode koje sadrže više od 1g/l rastvorenih mineralnih materija ili gasova. Mogu biti termomineralne ili lekovite. Prema rastvorenim materijama i lekovitosti nazivaju se gorke, sumporovite, kisele, termalne i dr. (Koviljača, Soko Banja, Vrnjačka Banja, Vranjska Banja i dr.).

### hidrogeološke funkcije stenskih masa

Sa hidrogeološkog gledišta najvažniji pokazatelji su poroznost i vodopropustljivost stenskih masa.

Generalno posmatrano, šljunkovite i peskovite stene su najpovoljnija sredina za akumulaciju podzemnih voda. Gline, magmatske i metamorfne stene su u principu nepovoljne sredine sem ako u njima ne postoje pukotine lučenja ili tektonske pukotine. Za karbonatne sredine važe posebni kriterijumi.

Stenske mase delimo na hidrogeološke kolektore i hidrogeološke izolatore.

Hidrogeološki kolektori se odlikuju superkapilarnošću i sastoje se od dve zone:

- Hidrogeološkog provodnika (1)
- Hidrogeološkog rezervoara (2) (sl. 79).

### **Sl. 79. Šema hidrogeološkog kolektora**

Visoki kolektori se nalaze iznad površinskih depresija i iz njih voda odlazi u depresije i niske kolektore u koje se voda iz depresija sliva.

**Hidrogeološki izolatori** su stenske mase bez pora ili sa subkapilarnim porama (mada su apsolutni izolatori veoma retki). Prema svom položaju prema kolektoru mogu biti podinski i povlatni. Podinski izolator je obavezno prisutan (sl. 80).

**Hidrogeološki kompleksi** predstavljaju više kolektora i više izolatora koji se smenjuju.

### **Sl. 80. Presek terena sa različitim hidrogeološkim funkcijama stenskih masa**

- 1 - hidrogeološki izolator**
- 2 - hidrogeološki kolektor - rezervoarska zona**
- 3 - hidrogeološki kolektor - sprovodnička zona**
- 4 - prelivni izvor**

Nivo podzemnih kolektora (nivo izdani) oscilira u zavisnosti od količine atmosferskih taloga. Ne retko u sušnim periodima nivo vode u bunarima (pa i rekama) znatno opada, ali se situacija normalizuje posle prvih obilnijih padavina. U našim područjima to dosta zavisi i od količine snega tokom zime. Obično se vodi evidencija o maksimalnom i minimalnom nivou izdani za neko područje ili lokalitet.

**Izdani** su sve značajnije akumulacije slobodnih podzemnih voda. Gornja površina je nivo izdani i obično unekoliko prati konfiguraciju terena.

**Slobodne izdani** imaju samo podinski HG izolator, te im se nivo može podizati.

**Uklještene izdani** su arteske izdani i imaju oba HG izolatora. Najveća dubina arteskkih izdani je 50-300 metara, ali su poznate i na dubinama i do 2000 metara (sl. 81).

Slobodna površina ili hidrološka granica izdani se prikazuje na hidrološkim kartama. Linije koje spajaju tačke istih apsolutnih visina slobodne površine izdani nazivaju se hidroizohipse. Oblik površine izdani ispod površine terena prikazuje se hidroizobatama koje predstavljaju tačke iste udaljenosti površine izdani od površine terena.

Slobodna površina izdani je horizontalna kod podzemnih voda koje miruju dok je kod ostalih blago nagnuta.

**Sl. 81. Presek terena sa arteskkom izdani**  
**1 - podinski hidrogeološki izolator;**  
**2 - hidrogeološki kolektor sa arteskkom izdani;**  
**3 - povlatni hidrogeološki izolator.**

**Arteske izdani** (sl. 82) imaju HG kolektor između povlatnog i podinskog HG izolatora. Ceo sistem je pritom najčešće iskošen tako da kolektor svojim hipsometrijski najvišim delom negde izbija na površinu radi prihranjivanja vodom. Za obrazovanje arteskog izvora pak potrebno je da postoji na terenu neka depresija hipsometrijski niža od od slobodne površine izdani.

Hidraulički pritisak koji vodenu masu arteskkih delova izdani potiskuje ka površini zove se arteski pritisak.

Pojave arteskkih i subarteskkih voda konstatovane su u tercijarnim i kvartarnim sedimentima u Panonskoj niziji, na njenom obodu, u Timoćkom basenu, na obodima starih jezerskih kotlina (Moravski basen) i dr.



## Izvori

Mesta gde podzemna voda izbija na površinu nazivaju se izvori. Izvori krupnijih razmera nazivaju se vrela. Prema mehanizmu razlikujemo gravitacione, arteske i hidropneumatske izvore.

**Gravitacioni** ili **silazni izvori** se karakterišu time što se voda od akumulacije prema izvorištu kreće silazno, po zakonima gravitacije (sl. 82). Ovi izvori su uglavnom iz plićih delova tla, i veliki uticaj na količinu vode u njima ima količina atmosferskih taloga. Oni mogu biti ocedni i prelivni, u zavisnosti da li se izvorište nalazi ispod ili iznad.

### Sl. 82. Gravitacioni izvor

**Arteski** ili **uzlazni izvori**(sl. 83) predstavljaju mlazeve vode koja izbija iz arteskkih delova izdani potisnuta hidrostatičkim pritiskom. Po pravilu su manje izdašni od gravitacionih.

### Sl. 83. Arteski izvori

**Hidropneumatski izvori** su oni kod kojih se voda penje pod pritiskom komprimiranih zemnih gasova. Kao poseban vid hidropneumatskih izvora smatraju se gejziri, koji u određenim vremenskim razmacima izbacuju mlazeve vruće vode. Javljaju se u područjima sa veoma mladim vulkanskim stenama i smatra se da nastaju na taj način što se poniruća voda zagreva u blizini neohlađene magmatske mase i, potom, pod unutrašnjim pritiskom, izbija na površinu. Gejziri su poznati na području Jeloustonskog parka (Yellowstone) u SAD i na Islandu, a veštački gejziri funkcionišu kod nas u Sijarinskoj banji.

**Karstni izvori** su veoma specifični. Postoje estavele kroz koje voda na površinu izbija samo za visokih vodostaja. Javljaju se na obodima kraških polja (sl. 84).

### **Sl. 84. Šematski prikaz rada estavele**

**Vrulje** su podvodni slatkovodni ili poluslani izvori.

**Termalni izvori** su oni čija temperatura vode premaša 20oC.

Izdašnost izvora je različita. Razlikujemo vrlo postojane, koji daju stalno istu količinu vode, zatim postojane, kada je odnos između minimalne i maksimalne izdašnosti najviše 1:2, izvore promenljive izdašnosti kod kojih pomenuti odnos varira od 1:2 do 1:10 i izvore veoma promenljive izdašnosti gde su variranja veća od 1:10.

## **INŽENJERSKOGEOLOŠKI USLOVI IZGRADNJE NASELJA**

Za izgradnju novih i proširenje postojećih naselja, kao i za izgradnju, sa njima vezanih, komunikacijskih objekata, potrebna je uz ostalo i veoma detaljna geološka dokumentacija koja bi trebalo da sadrži podatke o:

- geološkom sastavu terena,
- morfološkim karakteristikama;

- hidrogeološkim karakteristikama (podzemne vode, izvori);
- inženjerskogeološkim karakteristikama tla;
- mineralnim sirovinama na datom području.

Na osnovu ovih podataka donose se zaključci o pogodnosti terena za izgradnju naselja kao jedan od elemenata GUP-a i DUP-a.

Svaki od pomenutih pokazatelja klasificira terene na četiri grupe sa četiri stepena pogodnosti za izgradnju.

1. **Optimalno povoljni tereni** su tereni bez ikakvog ograničenja za gradnju.
2. **Povoljni tereni** su tereni sa manjim ograničenjima koja se mogu otkloniti bez većih teškoća.
3. **Uslovno povoljni tereni** koji predstavljaju terene sa većim ograničenjima koja se mogu ekonomično otkloniti.
4. **Nepovoljni tereni** su tereni sa velikim ograničenjima koja zahtevaju skupe tehničke intervencije, tj. velike investicije za njihovo otklanjanje.

### **Uticaj geološke građe**

1. **Optimalno povoljni tereni** su izgrađeni od čvrstih stenskih masa, granulisanog i negranulisanog šljunka i peska.
2. **Povoljni tereni** su izgrađeni od manje čvrstih stenskih masa, nečistih glinovitih stena (šljunkovita i peskovita glina) ili lesa.
3. **Uslovno povoljni tereni** su oni izgrađeni od sipkih nevezanih sedimenata, aktivnih glina (bubrenje) bogatih organskim primesama

4. **Nepovoljni tereni** su izgrađeni od lako rastvorljivih stena, tresetišta, močvare, deponije otpada.

Kada su tereni izgrađeni od litoloških kompleksa u kojima se smenjuju članovi različitih karakteristika kao merodavan kriterijum se uzima nepovoljnija vrsta stenskih masa.

Nepovoljni uslovi	Povoljni uslovi
Razvijeni reljef: strme padine, obale sklone rušenju, jaruge	Horizontalni tereni
Različiti slojevi s velikim nagibima površina na kontaktima	Različiti slojevi u horizontalnom položaju
Postojanje tankog površinskog sloja koji pokriva čvrste stene	Naslage rastresitih nanosa debljine preko stotinu i hiljadu metara
Raspadnute stene i stene znatno poremećene fizičko-geološkim procesima. Spoljni delovi konusa nanosa	Područja dobro složenih sedimenata
Delovi na kojima se u tlu nalaze zaostala naprezanja od potresa pod delovanjem gravitacijskih sila: klizišta, odroni, osuline, zarušavanje svodova kraških šupljina i dr.	Delovi bez zaostalih naprezanja
Zone u blizini strmih površinskih tektonskih kontakata: smicanja, rasedi, navlačenje i sl.	Delovi udaljeni od zona i linija tektonskih poremećaja

### Uticaj morfoloških karakteristika

Od ovih kriterijuma najznačajniji su nagibi padina, visina i oblik reljefa; od njih zavisi obim zemljanih radova koji je potrebno izvoditi.

	nagib	obim zemljanih radova
1. <b>Optimalno povoljni</b>	1-5%	mali
2. <b>Povoljan teren</b>	manji od 1% i 5-10%	povećan
3. <b>Uslovno povoljan</b>	10-20%	znatan
4. <b>Nepovoljan</b>	veći od 20%	veliki

### Hidrogeološka svojstva

Za urbanizaciju nekog područja od hidrogeoloških osobina su najznačajnije su:

- vodopropustljivost
- nivo izdani i njegova oscilacija
- oceditost
- mogućnost vodosnabdevanja

	vodopropustljivost (cm/min)	dubina izdani (m)
1. <b>Optimalno povoljni</b>	veća od 0,25	veća od 12
2. <b>Povoljni tereni</b>	0,05-0.25	3-12
3. <b>Uslovno povoljni</b>	0.025-0.05	1-3
4. <b>Nepovoljni tereni</b>	manja od 0.025	manja od 1

Bez obzira na dubinu izdani povoljni su svi tereni gde je maksimalni nivo izdani na dubini većoj od 2 m ispod najniže kote fundiranja. U protivnom se pojavljuje pokazatelj agresivnosti izdani o

čemu je već bilo reči (agresivnost na beton, gvožđe i kamen - osnovne materijale fundamenta).

Oceditost zavisi od nagiba terena, pri čemu je na terenima I i II stepena pogodnosti laka i pod uticajem gravitacije, a na terenima III i IV stepena velika i zahteva dopunsko ograničavanje oceditosti zbog denudacije i erozije.

### **Geodinamička stabilnost**

Podaci o geodinamičkoj stabilnosti područja obuhvataju:

1. Pojave sipara, odrona i klizišta
2. Pojave plavljenja
3. Seizmičnost terena (koja se daje u stepenima Merkalijeve skale)

	1	2	3
	Sipari, odroni,  klizišta	plavljenja	Seizmičnost  terena
<b>1. Optimalno povoljni</b>	bez pojava	bez pojava	manje od 5
<b>2. Povoljni tereni</b>	retke i male pojave	vrlo retke	5-6
<b>3. Uslovno povoljni</b>	retke veće, brojne male	retke	6-9
<b>4. Nepovoljni</b>	česte velike	česte jače od 9	

Izgradnja naselja obuhvata četiri glavne grupe objekata

- **Stambene reone** (40-60% naselja), pri čemu gradnja solitera zahteva terene I i II stepena pogodnosti, a individualna gradnja se može vršiti i na terenima III stepena pogodnosti.

- **Industrijski reoni** (10%) zahtevaju terene I, II i III stepena pogodnosti.

- **Saobraćajnice** (20%) zahtevaju terene I i II stepena eventualno i III stepena pogodnosti

- **Sportski tereni**, parkovi i objekti slične namene mogu se graditi na terenima svih pogodnosti, ali se obično planiraju na terenima III i IV stepena pogodnosti.