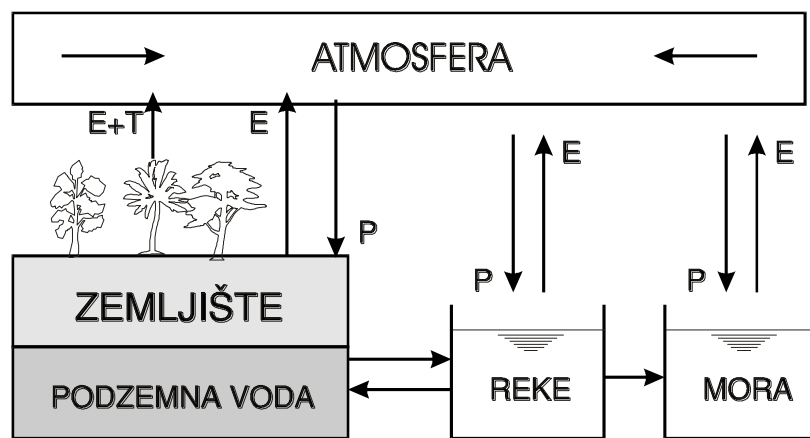


## 1. HIDROLOGIJA

Pod nazivom **Hidrologija**<sup>1</sup> u hidrotehnici se podrazumevaju ona proučavanja kojima je svrha procena količina vode na određenim područjima i njihov vremenski i prostorni raspored. Voda na površinu zemlje dolazi iz atmosfere, padavinama, vraća se u atmosferu isparavanjem, a izvesna, tokom vremena promenljiva, količina vode nalazi se u površinskim vodama i pod zemljom. Voda neprestano kruži, što je simbolički prikazano na Slici 2.



P-padavine, E-isparavanje, T-transpiracija

Slika 2

Hidrologija se ne može zamisliti isključivo kao nauka koja načelno raspravlja šta se sa vodom zbiva i pod kojim zakonitostima, nego se mora preći na metode utvrđivanja količina voda, jer se bez uvida u to ne može prilaziti hidrotehničkim zahvatima. Besmisleno je i zamišljati hidrocentralu bez uvida u raspoložive količine vode u reci,

<sup>1</sup> U Uvodu i poglavlju Hidrologija korišćeni su tekstovi iz knjige Hajdin G, *Hidrotehnika*, Građevinski fakultet, Beograd, 1980.

navodnjavanje se projektuje za predviđeni manjak vode, pa se mora raspolagati analizom kiša i stanjem voda u podzemlju, velike poplavne vode treba da budu procenjene da bi se moglo raspravljati o merama zaštite od njih.

Saznanje o količinama voda zasniva se na merenjima. Sredstvima, metodama merenja i propisivanju uslova da se obezbedi zahtevana tačnost merenja, bavi se Hidrometrija. Izmereni podaci se sređuju, podvrgavaju se statističkim analizama da bi se dobili pokazatelji iz kojih se može dobiti uvid u prosečne, veoma retke, visoke i niske vrednosti, u raspodelu po vrednostima, učestalost i periodičnost pojava. Iz sređenog prikaza stanja može se, na primer, zaključiti da planirani vodovod ima uvek dovoljno vode na predviđenom zahvatu.

Posebno su značajna saznanja koja se dobijaju opažanjem na već sagrađenim objektima i hidrosistemima. Samo sa utvrđenim količinama vode i razjašnjenim uslovima pod kojima teku i kako se koriste, mogu se sprovesti pouzdana rasuđivanja. Iz merenja na sagrađenim objektima stižu se dragocena iskustva za projektovanje novih sistema.

Upravljanje već izgrađenim hidrotehničkim sistemima takođe je nemoguće bez neprekidnog merenja, odnosno registrovanja, merodavnih veličina.

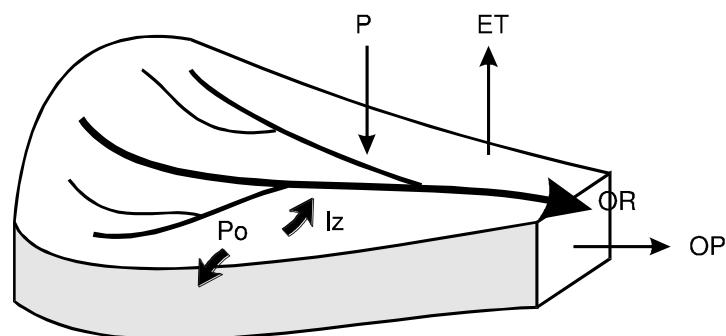
## **1.1 Vodni bilans**

Za određeni omeđeni prostor, kroz određeno vreme, doticanje (ulazna veličina) kroz površinu koja omeđava prostor, mora da bude jednaka povećanju količine vode u tom prostoru umanjenom za oticanje (izlazna veličina). To proizilazi iz stava o konstantnosti mase, jer voda ne može jednostavno nestati, ili se naprasno stvoriti. U hidrotehničkim razmatranjima upotrebljava se naziv vodni bilans i on je upravo to - račun o ulazu, izlazu i zalih koji se mora "knjigovodstveno" slagati.

Vodni bilans se može prikazati za bilo koje područje i za bilo koji period. Prethodno se mora utvrditi granica prostora za koji se bilans radi i istovremeno se moraju posmatrati ulaz, izlaz i promena stanja. Svi uticaji se moraju izraziti u

istim jedinicama, na primer, sve u zapreminama, ili u visini sloja vode, ili u proticajima.

U narednom tekstu data su dva primera. U prvom (Slika 3.) se količina vode koja će oteći u reku upoređuje sa količinom padavina, što je i redovno zadatak hidrotehničkih razmatranja.

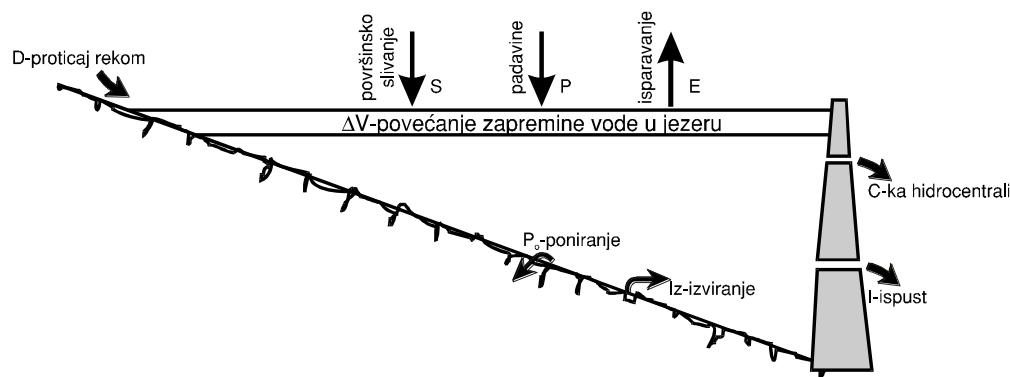


Slika 3.

Jednačina vodnog bilansa

$$P - ET - (P_o + OP - Iz) = OR$$

U drugom primeru (Slika 4.) prikazan je jedan hidrotehnički sistem i data jednačina njegovog vodnog bilansa.



Slika 4.

$$D - C - I + S + P - E - P_o + Iz = \Delta V$$

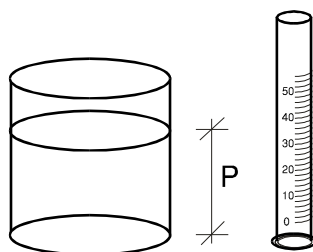
Pored pokazivanja sadašnjeg stanja, u koga su uključeni i već izgrađeni objekti, kao neophodna podloga za dalji rad, prikazuje se i izmenjeno stanje - koje će nastati ako se izgrade hidrotehnički objekti. Rade se projektovani, budući, vodni bilansi za razne varijante eksploatacije sistema.

Bilansi izgrađenih hidrotehničkih sistema pokazuju njihov rad i postignute rezultate i daju mogućnost za ispravne poduhvate, za doterivanje i moguće dograđivanje, a pružaju i dragocena saznanja od opšteg značaja za dalje radove.

## 1.2 Padavine

Padavine se izražavaju visinom. To je visina padavina ili visina vodenog taloga - visina, upravo dubina vode u cilindričnom sudu u koga je padala kiša (Slika 5).

Za merenje padavina postavlja se kišomer gde se voda, skupljena u unutrašnjem sudu, pretače u stakleni sud sa obeleženom skalom, podešenom tako da se odmah očita visina padavina. Otvor kišomera je veći od preseka staklenog suda pa je punjenje u sudu srazmerno veće, što olakšava merenje. Kišomer treba tako postaviti da padavine koje u njega padnu budu iste kao na istoj tolikoj površini na tom području - ne sme da bude na zaklonjenom mestu.

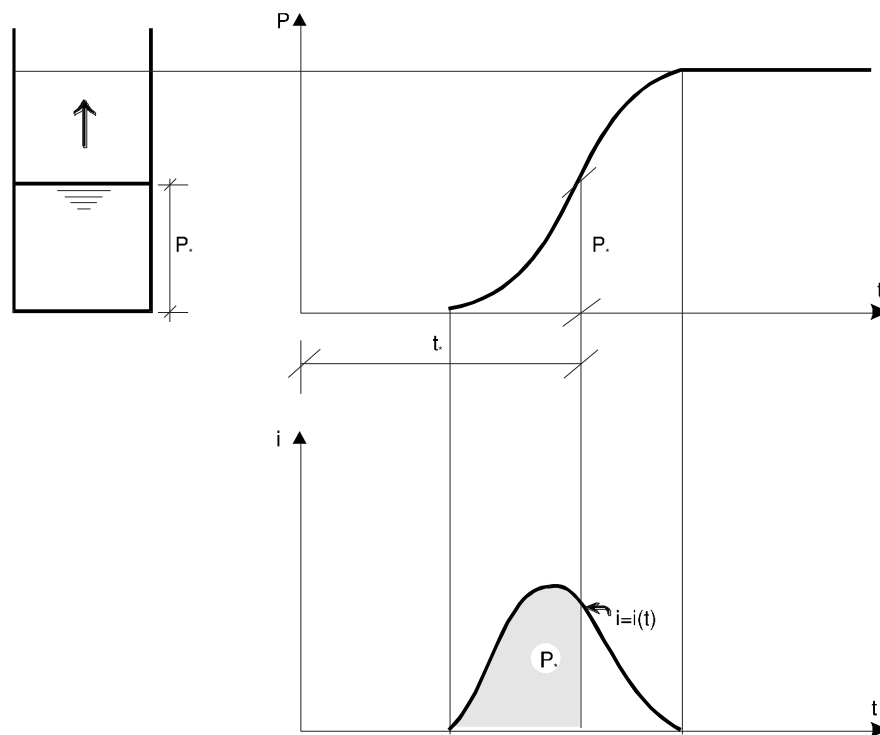


Slika 5.

Na kišomernoj stanici merenja obavlja hidrometeorološka služba, koja o tome svake godine izdaje javni izveštaj u kome su date dnevne padavine za celu zemlju. Obično se registruju dnevne padavine. Registrovanje dnevnih padavina znači pražnjenje kišomera svakog dana, u isto vreme, i utvrđivanje padavina za protekla 24 časa. Sem navedenih merenja zvanične službe, pojedine istraživačke, projektantske i upravljačke organizacije obavljaju i svoja merenja.

Na opisan način, iz zapisanih dnevnih padavina, ne zna se koliko je trajala kiša, da li je padala celog dana ili u vidu

kratkotrajnog pljuska i da li je padala u više navrata. Vremenski tok padavina prikazuje dubina vode u sudu koga puni kiša u funkciji vremena (Slika 6).



Slika 6.

$$i = \frac{dP}{dt}$$

$$P_* = \int_0^{t_*} i dt$$

Brzina punjenja vode u sudu je pokazatelj intenziteta kiše. Pod pojmom intenzitet kiše (ili intenzitet padavina) podrazumevaju se padavine u jedinici vremena. Matematička veza između intenziteta i visine padavina data je uz Sliku 6 - druga je izvod prve, odnosno, prva je integral druge.

Poznavanje mogućih intenziteta kiša, kao i trajanje pojedinih kiša, zahteva izvesna hidrotehnička proučavanja, jer nije dovoljno poznavati samo dnevne padavine. Na primer, kiša manje visine, ali velikog intenziteta (kratak pljusak) daje veći proticaj slivanja u objekat koji sprovodi oteklu vodu od kiše koja pada dugo sa slabim intenzitetom, i postiže veće dnevne padavine od prve.

Radi praćenja vremenskog toka padavina postavlja se i pluviograf - pisač kiše, koji ispisuje pluviogram - grafikon zavisnosti padavina od vremena. Pluviograf se sastoji od plovka koji registruje nivo vode u kišomeru koji je povezan sa pisačem. Pisač ispisuje nivo vode u sudu na hartiju namotanu na valjak koji okreće satni mehanizam.

Iz svih kišomernih stanica na jednom slivu može se napraviti pregledni raspored padavina na slivu. To je karta izohijeta - linija istih padavina. Karta izohijeta se može odnositi na jednu godinu, ili na prosek iz niza godina, a može i posebno na letnji period, posebno na zimski, ili po mesecima, ili na jednu jedinu kišu.

Množenjem padavina  $P$  sa površinom  $A$  na koju su pale - dobija se zapremina  $V_p$  pale vode

$$V_p = P A$$

što bi važilo ako su padavine po površini  $A$  svuda iste. Ako su različite treba uzimati integral

$$V_p = \int_A P dA$$

do koga se dolazi iz nacrtanih izohijeta. U praktičnim zadacima se integral zamenjuje zbirom konačnih sabiraka

$$V_p = \sum_{i=1}^n P_i \Delta A_i$$

gde je  $\Delta A_i$  površina pojasa između dve susedne izohijete, dok je  $P_i$  srednja vrednost padavina između dve granične izohijete pojasa.



## 1.3 Oticaj

### 1.3.1 Vodostaj, proticajni presek

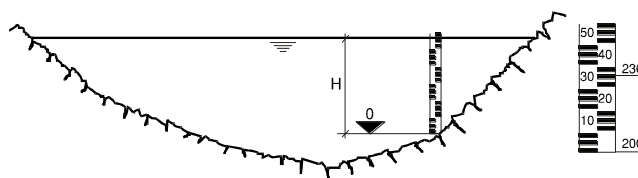


Pod pojmom oticaj ovde se podrazumeva površinski oticaj - površinski tokovi, a utvrđivanje količine vode u njima je zadatak koga zahteva pretežan deo hidrotehničkih poslova.

Mere se nivoi, proticaji i brzine u otvorenim tokovima, a zatim i nanos po dnu i u toku, utvrđuje se zagađenje tokova i stanje leda u zimskom periodu. Pre svega nabrojenog, vrše se geodetska snimanja korita.

Nivo ili vodostaj se najčešće očitava na vodo-mernoj letvi ugrađenoj na vodomernoj stanici. Hidrometeorološka služba obavlja svakodnevna merenja na utvrđenim stanicama i o tome izdaje zvanični izveštaj, kao i o padavinama. Nivogram je prikaz zavisnosti nivoa (vodostaja) od vremena, hronološkim redom.

Uz podatke o izmerenim vodostajima raspolaže se poprečnim presekom na mestu merenja. To se naziva i profil na vodomernoj stanici (Slika 7).



Slika 7

Isti presek mora da bude povezan i sa geodetskim premerom (nivelmanom) tako da se zna apsolutna kota (nadmorska visina) "nule" na vodomernu. Čitanje na letvi, ono što se naziva vodostaj, je uslovno, ne mora da znači ni kotu, ni dubinu i može da bude čak i negativno ako je nula vodomera postavljena iznad minimalnog nivoa. Ta cifra koja znači vodostaj sama po sebi ne mora da znači ništa određeno, ali daje potpuno određen i jasan utisak za one koji raspolažu podacima o proseku i o dosadašnjem kolebanju vodostaja.

Letva sa nacrtanim podeocima i ispisanim ciframa je veoma prost i veoma koristan uređaj i stoga se zadržao i do današnjih dana. Još u starom Egiptu postojala je organizovana služba za osmatranje vodostaja koja se služila sličnim instrumentom.

Ako se poznaju istovremeni vodostaji duž toka može se nacrtati linija nivoa. Uz vodostaje i njihovo odvijanje kroz vreme i duž toka, treba imati i saznanje o stanju korita. Uz osnovna merenja na rekama idu i geodetska merenja korita, da se stekne uvid o promenama korita po trasi i poprečnim presecima, koja treba češće obavljati, jer poznavanje poprečnih preseka korita uz izmerene vodostaje znači poznavanje proticajnih preseka i dubina, koji su merodavni elementi za dalju hidrauličku analizu. Ova geodetska merenja obavljaju se uobičajenim geodetskim postupcima, uz upotrebu, radi merenja dubina, i čelične užadi sa tegovima, motke i slično. U novije vreme upotrebljava se i ehosonder. To je uređaj koji uronjen u vodu proizvodi mali poremećaj pritiska, koji se talasom širi do dna i vraća natrag, pa vreme proteklo od slanja do povratka signala određuje dubinu, što uređaj odmah ispisuje.

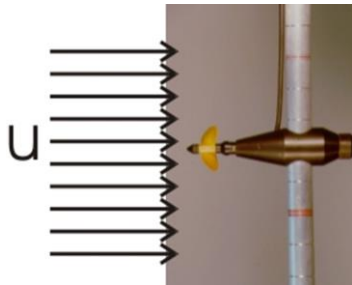
Vremenski tok vodostaja ili nivogram automatski ispisuje nivograf ili limnigraf. Drugi naziv je uobičajeniji, pa se i merno mesto naziva limnigrafska stanica. Ako se ne raspolaže limnigrafom, mogu promaći veoma važni podaci, jer ostaju nezapaženi vodostaji između dva čitanja. Za nekoliko sati može da prođe poplavni talas sa visokom vodostajima.

Sem navedenih načina, gde se nivo neposredno meri, mogu se primenjivati i elektronski uređaji, gde se mere električne veličine, čiji je priraštaj srazmeran priraštaju dubine vode. Iz-merene vrednosti se mogu prenositi na daljinu, računarskim mrežama, a zatim statistički obrađivati na jednom mestu.

### 1.3.2 Proticaj

Za određivanje raspoloživih količina vode u tokovima treba raspolagati podacima o proticaju. Proticaj se može odrediti integriranjem brzine po poprečnom preseku a za to treba izmeriti brzinu u dovoljnom broju tačaka preseka. Podaci o brzinama su sami po sebi potrebni za izvesna razmatranja u hidrotehnici - za otpore plovnim objektima, sile na hidrotehničke objekte, za analizu stabilnosti korita, za predviđanje taloženja itd.

Za merenje brzine u tokovima najčešće se koristi hidrometrijsko krilo. To je elisa (Slika 8), čiji je broj obrtaja zavisn od brzine struje koja je okreće i ta zavisnost je poznata za svako krilo. Ona je utvrđena tariranjem krila u opitnom kanalu.



Slika 8

U kanalu je voda mirna, a krilo se jednoliko kreće kroz vodu duž kanala, unapred utvrđenom brzinom. Regstruje se broj obrtaja krila za tu brzinu, i to se radi za niz brzina da se dobije navedena zavisnost.

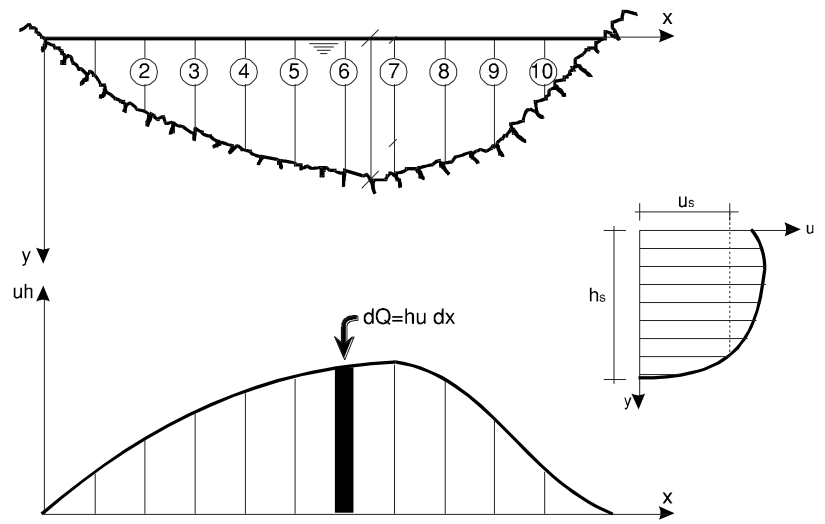


Za vreme merenja krilo je na motki i iz vode šalje meraču, na obali ili u čamcu, zvučni signal na svakih 10, 20, 50 ili 100 obrtaja, ili neki drugi broj obrtaja, ili se ti obrtaji digitalno pokazuju na brojaču. Poznavanjem broja obrtaja u jedinici vremena zna se i brzina strujanja, shodno poznatoj zakonitosti.

Na preseku se odabere nekoliko vertikalala i u svakoj od njih se izmeri brzina u nekoliko tačaka (ne manje od 5). Na površini vode ne može se koristiti krilo pa se brzina meri plovkom - meri se pređeni put plovka i odgovarajuće vreme (Slika 9).

Iz merenja u jednoj vertikali odredi se prosečna brzina za tu vertikalu i potom elementarni proticaj  $dQ$  uz verikalu, da bi se integrisanjem elementarnog proticaja po širini odredio proticaj.

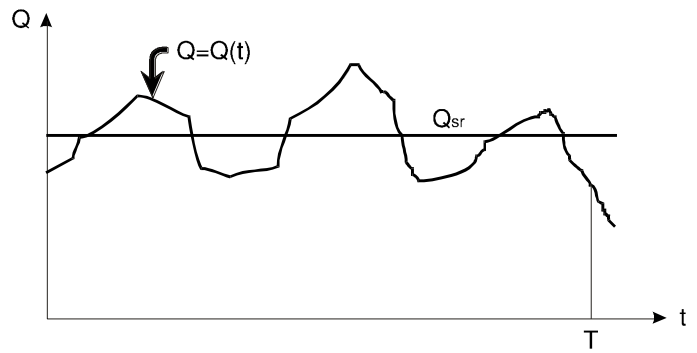
Ako se raspolaže određenim proticajima tokom vremena može se grafički prikazati zavisnost proticaja od vremena. To je hidrogram a iz njega se integracijom dobija zapremina otekle vode. Ista zapremina bi se dobila kada bi celo vreme tekao srednji ili prosečni proticaj (Slika 10).



Slika 9

$$Q = \int_0^B hu dx$$

$$u_s = \frac{1}{h_s} \int_0^{h_s} u dy$$

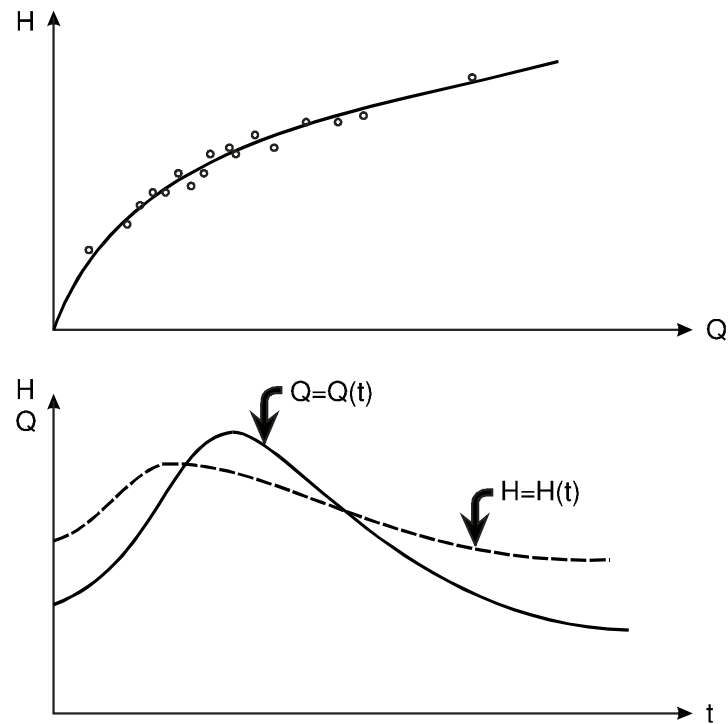


Slika 10

### **1.3.3 Veze između vodostaja i proticaja**

Utvrđivanje veze između vodostaja i proticaja ima veliki praktičan značaj, jer se raspolaže sa neuporedivo više podataka o vodostajima nego o proticajima, pošto se vodostaj meri neprekidno, ili bar svakodnevno, dok se proticaji mere povremeno. Poznavanje veze vodostaj - proticaj ima presudan uticaj na procenu količina voda. Prema tome, pouzdanost te procene zavisi od pouzdanosti veze između proticaja i vodostaja i podataka o merenju proticaja.

Veza proticaj - vodostaj naziva se kriva proticaja, jer se misli na njen grafički prikaz. To je jedan od najčešćih pojmova u hidrotehničkim razmatranjima. Ako se raspolaže krivom proticaja, iz nivograma se dobija hidrogram (Slika 11).



Slika 11

Kriva proticaja može da se menja vremenom, jer se menja korito reke (zasipa se ili produbljuje, ili se smenjuje i jedno i drugo), ili se menjaju uslovi oticanja (menjaju se nizvodni uslovi koji nameću uzvodne nivoe). Tada se kaže da vodomerna stanica nije pouzdana i trebalo bi istraživati razloge za ove promene.

Može se reći da je jednoznačna i ustaljena kriva proticaja pre izuzetak nego pravilo, čak i ako je korito stabilno, jer promenljivi nizvodni uslovi utiču na obrazovanje nivoa na vodomernoj stanici.

Potrebno je napomenuti da isti vodostaj ne daje isti proticaj u perioda porasta i opadanja, nego je proticaj pri porastu veći. Ovo se objašnjava time što su pri nailasku talasa velike vode padovi nivoa veći nego pri jenjavanju.

Posebne teškoće javljaju se u praktičnim razmatranjima za visoke vodostaje, odnosno velike vode, jer se tu ne raspolaže sa dovoljno podataka, čak ih često i nema, jer su merenja proticaja pri velikim vodama veoma teška i retka. Tada se pristupa ekstrapolaciji krive proticaja, što kao i svaka ekstrapolacija unosi dosta nesigurnosti.

Hidraulika se može shvatiti kao istraživanje veze između proticaja i visinskih razlika (denivelacija). Bez snižavanja nivoa nema proticaja. Hidraulika nudi jednačine za proračun kanalskih tokova, ali se samo merenjem može pouzdano utvrditi veza vodostaj - proticaj - pad nivoa. Za rečne tokove se bez merenja ova veza ne može uspostaviti, pa se pre toga ne može ni započeti bilo kakvo izučavanje reke.

#### **1.3.4 Pronošenje nanosa i leda. Kvalitet vode**

U prethodnim izlaganjima razmatrana su ona merenja koja se odnose na određivanje najvažnijih podataka o stanju voda koje otiču, a to su nivoi i proticaji. U nastavku će se dati kratak osvrt na opažanja o nanosu koji voda nosi ili vuče po dnu, o ledu na površini vode i o kvalitetu vode.

Nanos koji lebdi u vodi naziva se lebdeći ili suspendovani nanos i određuje se njegova količina, odnosno proticaji, granulometrijski sastav, kao i njegove fizičke i hemijske osobine.

Proticaj suspendovanog nanosa računa se na osnovu merenja koncentracije u pojedinim tačkama poprečnog preseka. Koncentracija pri dnu je najveća, a ka površini vode opada. Utvrđivanje koncentracije lebdećeg nanosa obavlja se veoma prosto - hvataju se uzorci vode iz određenih tačaka preseka pa se izmeri lebdeći nanos koji se nalazi u svakom zahvaćenom uzorku. To se ponavlja nekoliko puta za svaku tačku i uzima se prosek iz niza uzoraka, a



nadalje se utvrđuje raspored koncentracije po vertikali, pa prosek po vertikali i na kraju prosek za ceo presek. Obično se suspendovani nanos meri zajedno sa brzinama, na istim vertikalama, što je i potrebno radi dalje analize.

Vučeni nanos vuče voda po dnu - zbog toga je tako i nazvan. Njegov proticaj zavisi od tangencijalnog napona po dnu i krupnoće nanosa. Nanos miruje dok navedeni napon ne pređe neku kritičnu granicu. Kada se ona pređe, zrna više ne mogu da se održe u mirovanju, jer je pokretačka sposobnost tangencijalnog napona veća od ternja kojim se zrno odupire. Tangencijalni napon  $\tau$ , po dnu, zbog čega se ponekad zove i vučna sila, zavisi od pada linije energije i hidrauličkog radijusa, koji se kod širokih korita može zameniti dubinom  $h$  i specifične težine nanosa  $\gamma$ .

Pad  $I$  u određenom preseku zavisi od proticaja i poprečnog preseka. Tangencijalni napon nije ravnomerno raspoređen po obimu korita, što uzrokuje i neravnomernost proticaja nanosa po obimu, pa se proticaj nanosa ustanovljava merenjem na više mesta u istom preseku. Iz toga se obračunava proticaj za ceo presek. Pogodno je da se meri u dnu vertikala gde se mere i brzine, jer se iz rasporeda brzina po vertikali može ceniti napon na dnu, što je potrebno radi tumačenja rezultata.

Prikazivanje izmerenih podataka i proračuna, kojima kao podloge služe merenja, može se obaviti na različite načine - zavisno od onoga što se želi prikazati. Može se proticaj vučenog nanosa prikazati u zavisnosti od proticaja vode, mogu se prikazati sređeni podaci uz prethodnu statističku analizu itd.

Merenje se obavlja postavljanjem hvatača kroz koji prolazi voda, a nanos se zadržava. Hvatač je spreda otvoren za vreme opažanja, dok pozadi sito zadržava nanos koji je ušao. Zahvaćena težina podeljena sa vremenom opažanja čini težinski proticaj po pojasu koji zauzima hvatač. Iz niza mernih mesta po obimu korita, u istom preseku, lako može da se sračuna proticaj nanosa kroz presek. Uz težinu zahvaćenog nanosa utvrđuje se i granulometrijski sastav.

U novije vreme vučeni nanos se opaža pomoću radioaktivnih obeležavača - pojedina zrna nanosa se određenim postupkom učine radioaktivnim, te se onda prate. Utvrđuju se vremena kretanja i stajanja, pređeni putevi i prosečne brzine obeleženih zrna.

Prirodni rečni tokovi i iskopani kanali su provodnici ne samo vode nego i nanosa. Nemoguće je tačno uskladiti pronosanje nanosa duž celog toka sa momentalnom transportnom sposobnošću vodotoka, pa dolazi do odlaganja, deponovanja, ili do odnošenja, erozije, i taj se proces odvija i menjuje kroz vreme i duž toka. Regulisanje reke znači sređivanje toka tako da u buduće ne dolazi do neprihvatljivih zasipanja, odnosno produbljivanja, korita i menjanja trase reke usled toga. Reka se poznaje ako se poznaju ne samo vodostaji i proticaji već i stanje nanosa, kao i veza između promena u koritu i kretanja nanosa, i sve to u vezi sa hidrauličkim elementima toka. Tek kada se reka tako upozna, može se predvideti šta će se desiti posle regulisanja.

Dugotrajna opažanja, kada se srede, mogu da posluže za stvaranje modela rečnog procesa. To može da bude fizički model odnosno hidraulički model gde se u smanjenoj veličini izučava kretanje reke i nanosa ili matematički model gde je proces predstavljen nizom jednačina i graničnih uslova kao i ogromnim brojem podataka o parametrima koji u to ulaze. Stvaranje modela je njegovo doterivanje da prikaže šta se stvarno desilo, pa se dopunjuje ili fizički model ili sistem jednačina i uslova. Kada se model tako osposobi da stvarno modeluje proces, on je sposoban da pruži i rezultate o tome šta će se desiti ako se uslovi promene, ako se sagrađe novi objekti.

Opažanje i proučavanje leda na rečnim tokovima ima praktičan značaj jer led onemogućava plovidbu, povećava nivoe (jer zakrčuje proticajni presek), oštećuje nasipe, obaloutvrde i druge objekte na rekama. Nagomilavanje leda stvara veće zapreke i uzrokuje poplave i kada proticaji nisu toliko veliki da bi izazvali poplave ako ne bi bilo leda. Kod podizanja brana i stvaranja uspora treba u projektovanju procenjivati posledice od usporavanja i gomilanja leda na usporenom toku i rešiti prolazak leda kroz hidrotehničke objekte.

Na vodomernim stanicama na većim rekama beleži se uz dnevni podatak o vodostaju i podatak o ledu, i to u vidu zapisa ledohod (toga dana voda nosi led) ili ledostaj (toga dana led stoji). Ponekad ima zapisa i o tome koji deo površine vode je pokriven ledom i koliko je led debeo.

Za upoznavanje pojave leda i za smišljenije analize te pojave trebalo bi imati podatke i o zastupljenosti i rasporedu leda po površini vode, brzini kretanja leda, o debljini leda koji se zaustavio ili se tu stvorio, o gomilanju i pokretanju

zaustavljenog leda. Te podatke trebalo bi povezati sa hidrauličkim veličinama u toku, sa posebnim osvrtom na mesta zaustavljanja leda - proširenja, krivine, rukavci, uspori.

Kod površinskih tokova određuje se i kvalitet vode. Za zahvaćeni uzorak vode utvrđuje se hemijski sastav suspendovanog i rastvorenog materijala, fizičke karakteristike vode i bakteriološka analiza. Tako se dobijaju pokazatelji koji ukazuju na kvalitet vode. Za pojedine slučajeve, sa jasno određenom svrhom, rade se i specifične analize.

Svaki korisnik ima neke zahteve o kvalitetu vode i dovodenje vode na zahtevani kvalitet znači troškove, zavisno od kvaliteta raspoložive vode. Prema tome, kvalitet vode ima i važan vodoprivredni značaj. Zagađenost vode ima svog uzročnika i on se lako utvrđuje kroz pogoršani kvalitet vode posle uliva otpadnih voda. Zagađivaču treba pripisati sve one nevolje koje nizvodno zagađena voda izaziva. To ima negativne ekonomske posledice koje su znatno veće od troškova kojima bi se sprečilo zagađivanje.

U novije vreme pojavljuju se i primetne promene temperature iza postrojenja koja troše mnogo vode za hlađenje (termocentrale i slično). Voda koja se ispušta u reku je toplija a toplota se širi difuzijom. Nizvodni korisnici dolaze u otežanu situaciju a menjaju se i biološki uslovi. Tako se danas govori o termičkom zagađenju.

Da bi se ovako ozbiljna pitanja mogla raspravljati, uz podloge koje iskazuju stanje, mora se redovno utvrđivati kvalitet vode i o tome izdavati odgovarajući javni izveštaji.

Može se reći da je utvrđivanje kvaliteta vode neophodno za hidrotehnička razmatranja u projektovanju i održavanju objekata i sistema, i da se ona obavljaju i od strane pojedinih projekatana, zdravstvenih i komunalnih organizacija.

## 1.4 Veze između padavina i oticaja

Jedan deo padavina slije se u površinske tokove, u oticaj, i taj deo se često naziva neto padavine ili efektivne padavine, dok drugi deo ispari ili ga upije zemljište. Sa stanovišta oticaja navedeni nazivi su opravdani, jer se smatra da otiču neto padavine od ukupnih bruto padavina. Ono što se pojavi u oticaju je efektivno, dok se ono što ne stigne može smatrati izgubljenim.

Proučavanje padavina i oticaja, uključujući i njihovu međusobnu vezu, znači izdvajanje iz celokupnog vodnog bilansa onoga što se lakše određuje, što je i opravdano i što u izvesnim slučajevima i zadovoljava potrebe konkretnog zadatka.

Oticaj je posledica padavina, ali uz uticaj uslova slivanja - iste padavine na različitim slivovima daju međusobno veoma različite oticaje. Uslovi oticanja su promenljivi. U hidrotehničkim poduhvatima, sa uređenjem slivova, popravljaju se i uslovi slivanja, da bi se oticanje učinilo manje razornim. Ovo zahteva proučavanje veze padavine - oticaj u postojećem stanju i procenu budućeg stanja.

Padavine se mere jednostavno, dok se oticaj meri teže i merenja su manje pouzdana. Poznavanje veze padavine - oticaj, utvrđene za jedan kraći period, dozvoljava da se sva saznanja o padavinama iskoriste za ocenu mogućeg oticaja.

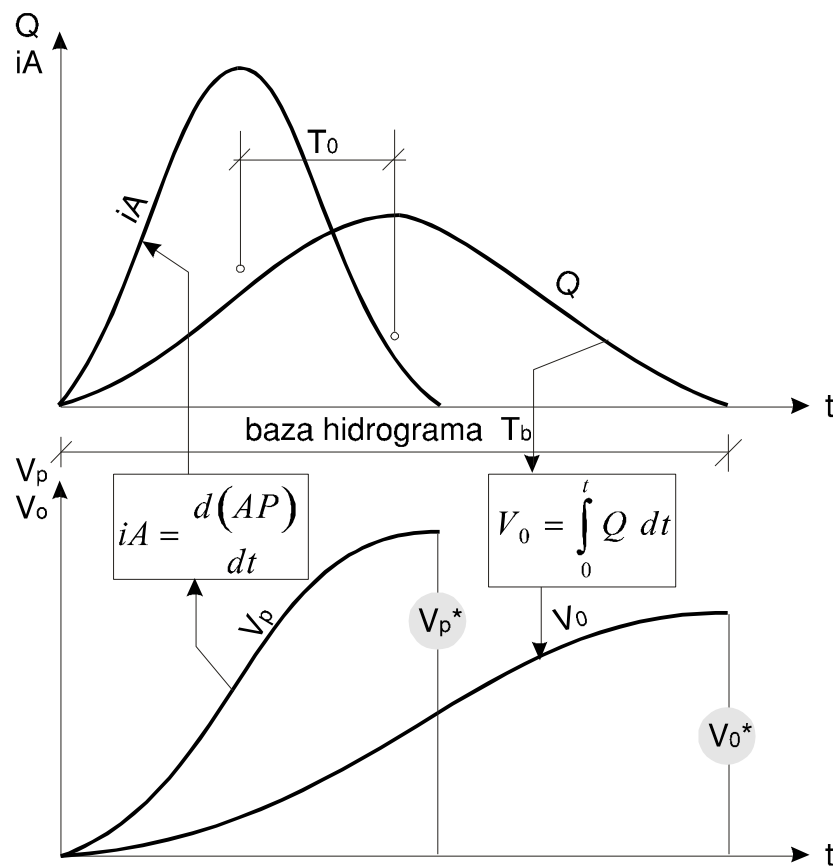
Upoređivanje jedne kiše i njene posledice u vidu oticaja sa jednog sliva prikazana je na Slici 13. Na istom grafiku prikazani su linija dobijena množenjem intenziteta kiše sa površinom sliva ( $iA$ ) i hidrogram.

Može se uvesti pojam

$$K_0 = \text{koeficijent oticaja} = \frac{\text{zapremina oticaja}}{\text{zapremina padavina}}$$

što se može iskazati kao odnos neto padavina prema bruto padavinama, ili pokazatelj koliko je kiša efektivna.

Treba uočiti dva vremenska pokazatelja - zakašnjenje oticaja u odnosu na padavine (to je vremenski razmak  $T_0$  između težišta površina ispod linija  $iA$  i  $Q$  i trajanje oticanja, takozvana baza hidrograma označena sa  $T_B$ ).



Slika 12

Ranije objašnjeni koeficijent oticaja i ova dva vremenska pokazatelja daju dve osnovne karakteristike između padavine i oticaja jer ukazuju na to koliko vode oteče u odnosu na palu, koliko oticanje kasni za padavinama i koliko oticaj traje.

U praktičnim razmatranjima dozvoljavaju se izvesna uprošćavanja. Kiša se prikazuje sa konstantnim intenzitetom kroz celo njeno trajanje. Za hidrogram se bira oblik koji je određen sa što manjim brojem parametara.

## 1.5 Isparavanje i transpiracija

U ovom poglavlju se razmatra deo padavina koji ispari ili ga upije zemljište. Voda ne stigne u atmosferu samo neposrednim isparavanjem sa tla, deo vode koje je upilo zemljište vrati se u atmosferu kroz biljke, transpiracijom.

Treba istaći da je u nekim hidrotehničkim razmatranjima upravo od interesa onaj deo vode koji ne ode u oticaj. Za navodnjavanje i odvodnjavanje mora se znati potreba biljke za vodom i isparavanje sa tla, a uz to i stanje podzemne vode, jer je baš to bitno za rešavanje zadatka.

Merenje isparavanja nije tako jednostavno kao merenje padavina. Isparavanje ili evaporacija meri se visinom, isto kao i padavine. Sud u kome se isparavanje meri naziva se isparitelj ili evaporimetar. Ako je tokom vremena za koje se određuje isparavanje pala i kiša, u sudu će se nivo vode povisiti za (padavine - isparavanje), čime je određeno isparavanje jer se padavine takođe mere.

Isparavanje sa tla se određuje posredno, jer se mogu meriti padavine i količine vode koje upije zemljište a njihovu razliku čini ono što je otišlo u atmosferu. To je međutim isključivo isparavanje samo ako je zemljište golo, neobraslo, a ako je pod vegetacijom, onda je to isparavanje i transpiracija zajedno što se naziva evapotranspiracija.

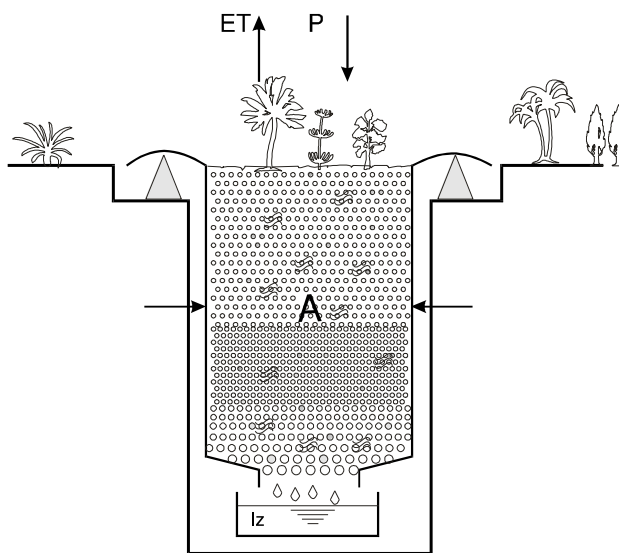
Isparavanje sa površine vode zavisi od relativne vlažnosti vazduha i što je ona manja isparavanje je veće. Treba se podsetiti da je relativna vlažnost odnos između momentalne stvarne količine vlage u vazduhu i maksimalno moguće količine koju vazduh može da primi, koja je, opet, zavisna od temperature i veća je što je temperatura veća. Ovo znači da se sa povećanjem temperature relativna vlažnost smanjuje (jer sada vazduh može više vlage da primi), a to pospešuje isparavanje.

Padavine i njihov raspored imaju uticaj na vlažnost vazduha, a kroz to i na isparavanje. Vetar ima takođe posredno dejstvo, on odnosi vazduh iznad površine vode koji je već zasićen vlagom, a donosi suvlji, manje relativne vlažnosti, što pogoduje isparavanju. Svi navedni uticaji imaju posredan uticaj na isparavanje. Međutim, ovde treba naglasiti i

dodati i uticaj nivoa podzemne vode i vrste zemljišta.

Kao što je već rečeno, isparavanje sa tla, odnosno zbir isparavanja i transpiracije, određuje se posredno - ono je razlika između izmerenih padavina i izmerenog upijanja vode u zemljište. Uređaj kojim se meri količina vode koju je zemljište upilo naziva se lizimetar, što bi se moglo prevesti kao merenje vaganjem. To je ukopan sud napunjen zemljištem tako da se postigne stanje što približnije prirodnom, a zasađen je biljkama čija se evapotranspiracija određuje. Drenaža na dnu skuplja vodu koja dotle prodre, i to se meri. Takođe se mere padavine, a mogu se uključiti i veštačke (zalivanje), ako se želi odrediti evapotranspiracija za uslove koji će se stvoriti navodnjavanjem.

Evapotranspiracija će biti poznata ako se izmeri i priraštaj vode u sudu, a to se može odrediti vaganjem suda, pošto je promena težine ustvari promena količine vode.



Slika 13.



gde je

$A$  – horizontalni presek suda

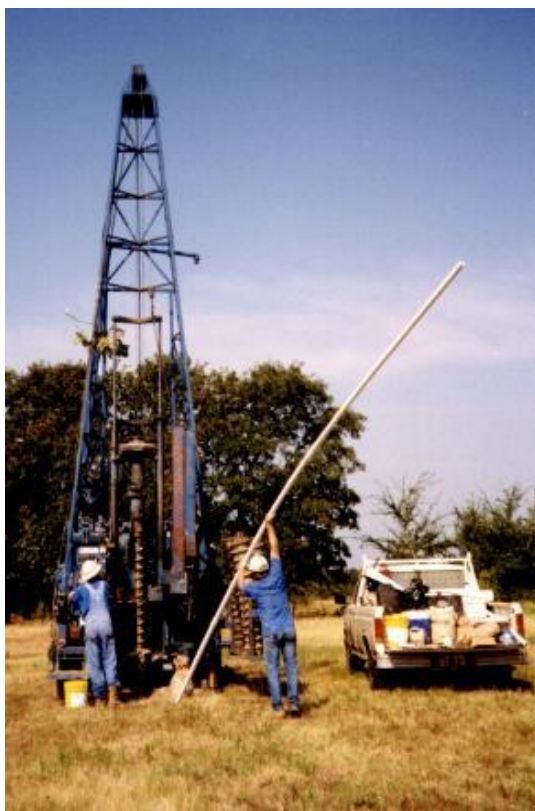
$\Delta V$  - povecanje zapremine vode u sudu (meri se)

$I_z$  – izasla voda

Evapotranspiracija se može određivati za sadašnje, prirodno stanje, i to treba uraditi, ali se može istražiti i za neko izmenjeno stanje koje se želi postići. U sadašnjem, prirodnom stanju, biljka je obično ograničena u potrošnji, što znači da je ograničen njen razvoj. U izmenjenom, projektovanom stanju, ona treba da ima dovoljno vode za svoj optimalan razvoj, tada će i evapotranspiracija biti drugačija. Na opitnim površinama sa lizimetrima uzgajaju se različite kulture, prskaju veštačkom kišom, ili se drugačije zalivaju, a nivo podzemne vode se održava na poželjnoj visini. Takva istraživanja daju merodavne i pouzdane uslove za projektovanje navodnjavanja.

## 1.6 Podzemne vode

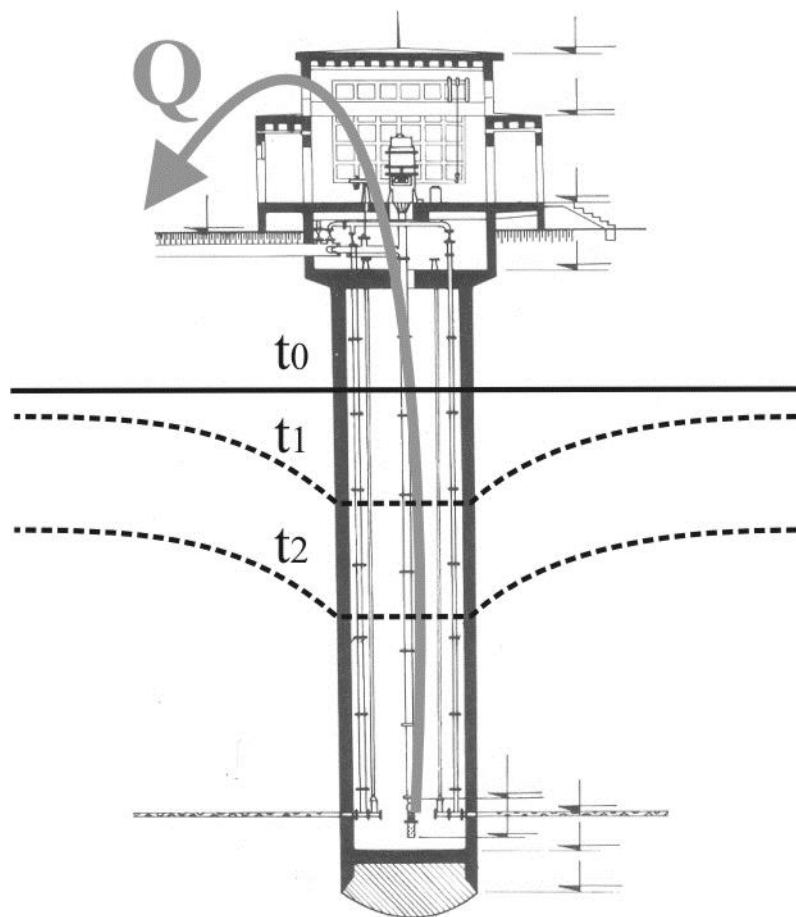
Sem takvih istraživanja koja se odnose na stanje vode pri površini i koja je obično namenjena potrebama navodnjavanja i odvodnjavanja, stanje vode u podzemlju ima ogroman značaj za najveći broj hidrotehničkih objekata i sistema. Na primer, za snabdevanje naselja i industrije vodom često se koristi podzemna voda. Odvodnjavanje ne obuhvata samo odvodnjavanje površinskih voda, nego i uticaje na stanje dublje u podzemlju, da bi se sprečilo prodiranje vode odozdo ka površini. Pri podizanju, ne samo hidrotehničkih objekata, nego i zgrada i drugih građevina, treba poznavati stanje podzemnih voda radi preduzimanja odgovarajućih mera pri fundiranju.



Za istraživanje podzemnih voda pre svega služi bušotina koja se naziva bunar ili pijezometar. Bušotine služe i za uvid u geološko stanje u tlu, o čemu se stižu zaključci iz izvađenog materijala. U raspravljanju strujanja podzemnih voda ustanovljena propustljivost se mora protumačiti i sa geološkog odnosno geomehaničkog stanovišta. Za rastresiti materijal merodavna je propusnost i granulometrijski sastav, a za stenu veličina, oblik i pravac pružanja pukotina. Opažanjem nivoa u bunarima raspoređenim po području koje se istražuje dolazi se do uvida u stanje nivoa podzemne vode i pravac njenog kretanja. Ubacivanjem obeležavača (nekog rastvora ili izotopa, na primer) u jedan bunar i utvrđivanjem vremena kada rastvor stigne u drugi bunar postavljen u pravac toka, može se oceniti brzina filtracije.

Propusne sposobnosti tla se utvrđuju probnim crpljenjem iz bunara (Slika 14) jer se meri proticaj i spuštanje nivoa. Njihova međusobna veza određuje propustljivost. Obično se određuje koeficijent filtracije koji ulazi u hidrauličke obrasce. Praksa najčešće traži da se odredi spuštanje nivoa za zadati proticaj, a to zahteva poznavanje propustljivosti (koeficijenta filtracije) koji se prethodno dobija merenjem i proticaja i spuštanja nivoa. Istražna crpljenja iz niza bunara

dovode do poznavanja propustljivosti po celom področju, a to onda omogočava sagledavanje stanja podzemne vode i promena koje će nastati ako se to stanje promeni.



Slika 14

Za vode u podzemlju posebni uslovi se nameću u kraškim predelima, gde izvesni vodotoci teku pod zemljom po načelima površinskih tokova, da bi povremeno bili stavljeni pod pritisak, i gde je celokupno podzemno područje puno većih i manjih mogućih akumulacionih prostora, provodnika i pukotina. Međusobne veze podzemnih kraških tokova određuju se ubacivanjem boje u ponore, koja izađe na izvore. Treba pomenuti da su neki ponori povremeno izvori, takozvane estavele i da od piježometarskog stanja zavisi šta će trenutno da budu. Potrebna i korisna saznanja dobijaju se iz merenja piježometarskog stanja u području i u određivanju nivoa vode na površini (u kraškim poljima, površinskim tokovima...). Dalje treba meriti proticaj gde je to moguće, obaviti pokušaje oko utvrđivanja brzine kretanja u podzemlju i oceniti zadržavanje vode u podzemnim akumulacijama.

U poglavlju o oticaju obrazložena je potreba kontrole kvaliteta površinske vode. Isto važi i za podzemne vode i može se i ovde ponoviti da se kvalitet vode određuje fizičkim, hemijskim i bakteriološkim analizama, kao i da kvalitet vode ne treba posmatrati samo sa sanitarnog stanovišta već i sa ekonomskog - koliki su troškovi za njeno prečišćavanje.