

**SPECIJALNO IZDANJE ČASOPISA
RUDARSKI RADOVI 2008/1-1 SA TEMOM**

ODVODNJAVA VJEŠTINA U RUDARSTVU

Autor: Dr Mirko Ivković, dipl.inž.rud.

**Recenzenti: Dr Miroslav Ignjatović
Dr Milenko Ljubojević**

ČITAOCIMA ČASOPISA „RUDARSKI RADOVI“

UREDNIŠTVO ČASOPISA „RUDARSKI RADOVI“ PROCENJUJE DA JE SVRSISHODNO DA U OKVIRU SVOJE IZDAVAЧKE KONCEPCIJE POVREMENO UVRSTI I POSEBNE TEME KOJE SU ŠIRE OBRAĐENE PO OBIMU OD DRUGIH PRILOGA U ČASOPISU, A KOJE PO TEMATICI OBOGAĆUJU IZDAVAЧKE SADRŽAJE OVOG ČASOPISA.

IZDAVANJE OVIH SPECIJALNIH IZDANJA TO JEST TEMATSKIH BROJEVA NEĆE ZNAČAJNO REMETITI UOBIČAJENU DINAMIKU IZLAŽENJA REDOVNIH BROJEVA ČASOPISA SEM U SLUČAJEVIMA KAD OBIM PRIPREME VREMENSKI USLOVE POMERANJE ODNOSNO IZDAVANJE DVOBROJEVA U ODLOŽENOM TERMINU.

TEMA SADAŠNJEG SPECIJALNOG IZDANJA JE POSVEĆENJA ODVODNJAVAњU U RUDARSTVU KOJA JE OBRAĐENA OD STRANE DR MIRKA IVKOVIĆA U DVE CELINE. OBRAĐEN JE TEORETSKI DEO KOJI SE ODNOSI NA ODVODNJAVAњE U RUDNICIMA I DEO PRAKTIKUM ZA ODVODNJAVAњE U RUDNICIMA.

UREDNIŠTVO SE ZAHVALJUJE AUTORU KAO I SPONZORU RUDNIKU „JPU ZA PODZEMNU EKSPLOATACIJU UGLJA RESAVICA“ ŠTO SU ULOŽILI STRUČNU I MATERIJALNI NAPOR DA SE OVA TEMA CELOVITO OBRADI.

TAKOДE, KORISTIMO PRILIKU DA POZOVEMO DRUGE AUTORE I PREDUZEĆA DA PREDLAŽU I UKLJUЧE SE U IZDAVANJE DRUGIH ZANIMLJIVIH SPECIJALNIH IZDANJA OVOG ČASOPISA.

UREDNIŠTVO

ODVODNJAVA VANJE U RUDARSTVU
DEWATERING IN MINING

Izvod

Pri razmatranju svih uticaja na ovodnjenost ležišta mineralnih sirovina kako objekata tako i tehničkih rešenja za zaštitu od voda, potrebno je dobro poznavati i istražiti: osnove hidrologije, hidraulike, hodnike podzemnih voda i metodologiju proračuna i izbor opreme na odvodnjavanje rudnika.

Na osnovu prikazanih veličina ovodnjenosti i kretanja voda mogu se prikazivati odgovarajuća hidrotehnička rešenja zaštite rudnika od voda i zaštite voda od rudarskih radova.

Između radova na dobijanju mineralnih sirovina i podzemnih i površinskih voda postoji stalna interakcija. Istovremeno, rudarskim radovima i objektima se ugrožavaju površinske i podzemne vode koje predstavlja značajan ekološki faktor životne okoline, čime se ugrožavaju flora i fauna. U održavanju rudnika je potrebno izgraditi hidrotehničke objekte za zaštitu i čišćenje ugroženih voda.

Ključne reči: ovodnjenost, površinske vode, podzemne vode, baraže, hidrotehnički objekti, taložnici, vodosabirnici, pumpna postrojenja, ekrani.

Abstract

In discussion the watering of mineral deposits as well as the facilities and technical solution for protection on water, it is required to know and investigate well the following: bases of hydrology, hydraulics, underground water drifts and methodology of calculation the equipment selection for mine dewatering.

Based on presented values of watering and water flows, the appropriate hydrotechnical solutions for mine protection on water and water protection on mining works could be presented.

There is a permanent interaction between works for mining the mineral resources and underground and surface water. Simultaneously, the surface and underground water, that present an important ecological factor of environment, are endangered by mining works, what jeopardize the flora and fauna in mine maintenance and vicinity, so the construction of hydrotechnical facilities is required for protection and treatment the endangered water.

Key words: watering, surface water, underground water, barages, hydrotechnical facilities, settlers, watercollectors, pump stations, screens.

UVOD

Pod odvodnjavanjem u rudarstvu podrazumevaju se kompleksne mere vezane za borbu sa podzemnim i površinskim vodama u svim fazama izgradnje i eksploatacije ležišta mineralnih sirovina. Između rudarskih radova za dobijanje mineralnih sirovina i podzemnih i površinskih voda postoji stalna interakcija. Površinske i podzemne vode ugrožavaju rudarske objekte i ometaju rad u njima. Istovremeno, rudarskim radovima i objektima se ugrožavaju podzemne i površinske vode koje predstavljaju značajan ekološki faktor životne okoline. Njegovim ugrožavanjem ugrožava se flora i fauna u području rudnika i šire, pa je potrebno izgraditi objekte odvodnjavanja za zaštitu i čišćenje ugroženih voda.

Pod objektima odvodnjavanja u rudarstvu podrazumevaju se rudarski hidrotehnički objekti koji služe za odvodnjavanje i zaštitu voda. U podzemnoj eksploataciji mineralnih sirovina prisustvo vode, zajedno sa gasovima i prašinom, čini kompleks prirodnih faktora koje ugrožavaju eksploatacione radove. Veći prodori vode, pored ekonomskih izdataka (gubici opreme usled potapanja, prekidi proizvodnje...) mogu ugroziti i živote rudara u podzemnim objektima - jamama. Da bi se ovaj problem uspešno rešavao, moraju se, pre svega, detaljno upoznati hidrološke i hidrogeološke karakteristike ležišta i okoline, a takođe i fizičko-mehaničke karakteristike stena, kao i tektonski poremećaji koji su često nosioci vode. U tu svrhu koriste se hidrogeološki planovi rudnika koji sadrže sve potrebne podatke, a rezultat su prethodno sprovedenih istraživanja i ispitivanja. Kada se utvrde mogući faktori ugrožavanja podzemnih rudarskih radova od voda, daju se rešenja zaštite, koja za konkretnе uslove predstavljaju racionalno rešenje sa aspekta sigurnosti i ekonomičnosti.

Problematika odvodnjavanja površinskih kopova i odlagališta donekle se razlikuje od problematike odvodnjavanja podzemnih radova, što je uslovilo i razvoj posebnih metoda odvodnjavanja. Razlika je izražena prvenstveno u mogućnosti da se odvodjava sa površine (buštinama, filtrima, bunarima, ekranima i sl.), što ima poseban značaj za sigurnost i ekonomičnost rada.

Odvodnjavanje jalovinskih masa je posebno pitanje važno za održavanje nagiba radnih kosina, generalne radne kosine kopa i za nosivost tla, kao važnog faktora primene otkopne mehanizacije za masovnu proizvodnju. Odvodnjavanje odlagališta je vitalno pitanje u celom procesu uklanjanja otkrivke i jalovih masa jer samo dobro ovodnjeno odlagalište može garantovati sigurnost i uspešno izvođenje ovog tela tehnološkog procesa.

Realizacija uspešnog odvodnjavanja u rudarstvu zahteva znanja iz velikog broja disciplina koja zalaze u oblast geologije, hidrologije, dinamike podzemnih voda, hidrotehnike, mehanike tla i stena, bušačkih radova, kao i poznavanja tehnike izrade dubinskih bunara, drugih rudarskih hidrotehničkih objekata i podzemnih rudarskih prostorija. Tako kompleksan pristup može imati samo onaj

stručnjak koji je detaljno upoznat ne samo sa sistemima podzemne i površinske eksploatacije mineralnih sirovina, već i sa svim neophodnim pratećim naučnim disciplinama, kao i osnovnim teoretskim postavkama i tumačenjima vezanim za problem dinamike površinskih i podzemnih voda.

1. HIDROLOGIJA

Hidrologija je nauka o vodama, koja proučava, kvantitativno i kvalitativno, pojavu voda u prirodi i njihova kretanja. Na osnovu podataka sistematskog osmatranja hidroloških pojava izučava zakonitosti koje vladaju u režimu voda. Utvrđene zakonitosti, po pravilu, služe za prognozu o budućem stanju i kretanju vode.

Hidrološka proučavanja baziraju se na raznovrsnim merenjima na rekama, jezerima i drugim površinskim i podzemnim vodotocima, a obavljaju se i na hidrološkim modelima.

Voda na zemlji stalno kruži. To kruženje je nadzemno (atmosfera i površina Zemlje) i podzemno. Opšti podaci o rasporedu voda na Zemlji dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Podaci o rasporedu vode na Zemlji

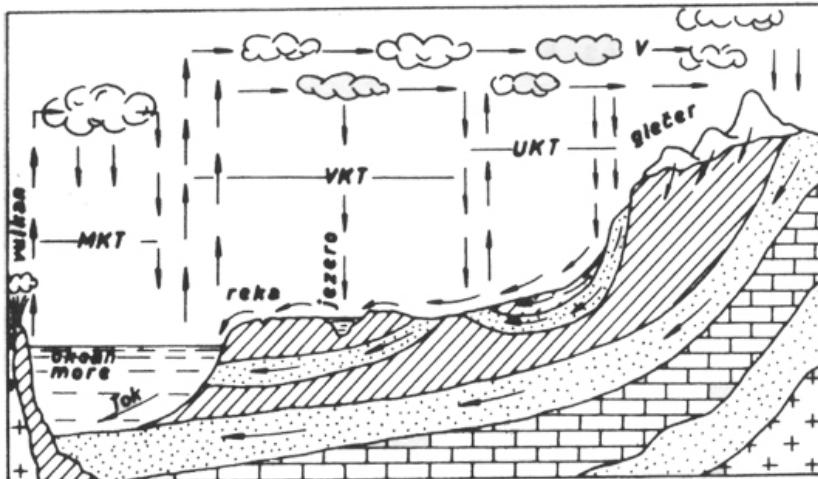
Br.	Oblast	Površina	Padavine		Isparavanje		Razlika	
		10^6 km^2	10^3 km	mm	10^3 km	mm	10^3 km	mm
1.	Okeani i mora	361,5	411,6	1140	447,9	1240	- 36,3	- 100
2.	Kopno - ukupno	148,5	107,0	720	70,7	480	+ 36,3	+ 240
2.1.	Kopno sa oticajem	116,8	99,3	850	63,0	540	36,3	310
2.2.	Kopno bez oticaja	31,7	7,7	240	707	240	0	0
Zemlja svega:		510,0	518,6	1020	518,6	1020	0	0

Voda se u prirodi nalazi u neprekidnom kretanju, obrazujući na neki način zatvoreni krug koji je poznat kao "kružni tok vode". Ovaj kružni tok ostvaruje se pod dejstvom sunčeve energije i zemljinog jezgra. Mogu se izdvojiti tri karakteristična toka: veliki, mali i unutrašnji.

U velikom kružnom toku (VKT) voda koja se isparava sa površina okeana i mora kondenzuje se u atmosferi i u vidu atmosferskog taloga pada na kopno, pa se površinskim i delimično podzemnim oticanjem ponovo vraća u mora i okeane.

Mali kružni tok (MTK) čini voda koja se isparava sa površine mora i okeana i u vidu atmosferskog taloga ponovo vraća u mora i okeane.

Unutrašnji kružni tok (UKT) čini voda koja je isparila sa kopna i u vidu atmosferskog taloga ponovo pala na kopno.



Slika 1. Prikaz kružnog toka vode

1.1. VODNI BILANS

Kruženje vode u prirodi se izražava opštom jednačinom u obliku:

$$P = E + O \quad (1)$$

gde je:

- P - padavine,
- E - isparavanje,
- O - oticaj.

Kod jednačine kružnog kretanja vode u prirodi (1.) član O (oticaj) obuhvata i vodene mase koje poniru u zemljiste (podzemni oticaj).

Osim vode koja stalno kruži u prirodi, postoji i voda koja se prvi put pojavljuje - to je juvenilna voda formirana od elemenata zemljine litosfere. Isto tako, izvesna količina vode se gubi i u procesima hidratacije. Pri opštoj jednačini kružnog kretanja vode u prirodi, juvenilna voda i voda koja se gubi u procesima hidratacije nije uzeta u obzir zbog relativno malih količina, koje bitnije ne utiču na sam proces kruženja.

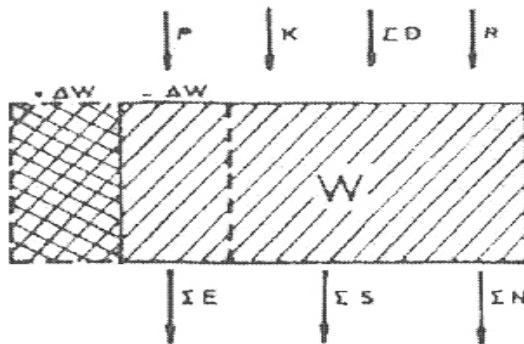
Proučavanjem količine vode koje za određeni period ulaze, izlaze ili se zadržavaju na nekom određenom delu terena, može se utvrditi vodni bilans. Formulisanje vodnog bilansa zasniva se na primeni jednačine kontinuiteta: da je razlika mase vode uđe u izabrani prostor i izade iz njega u posmatranom vremenskom intervalu jednaka razlici zapremine vodne mase koja se akumulira u datom prostoru. Na taj način može se odrediti bilans vodnih masa bilo kog dela

zemljine površine i za bilo koje vreme. Na osnovu opšte šeme, date na slici 2. vodni bilans može se definisati jednačinom:

$$(P + K) + (D_1 + D_2 + D_3) + R - (E_1 + E_2) + (O_1 + O_2 + O_3) + (N_1 + N_2) = \pm \Delta W \quad (2)$$

gde su:

- P - padavine,
- K - količina kondenzovane vode,
- D_1 - površinski doticaj vode,
- D_2 - podzemni doticaj vode,
- D_3 - doticaj vode podzemnim karstnim tokovima,
- R - veštački dovod vode iz drugih slivova,
- E_1 - isparavanje sa svih vodnih površina ograničenog prostora,
- E_2 - ukupno isparavanje kroz biljni pokrivač,
- O_1 - površinski oticaj,
- O_2 - podzemni oticaj vode,
- O_3 - oticaj podzemnim karstnim tokovima,
- N_1 - veštački odvod vode u druge slivove,
- N_2 - vezana količina vode u samom prostoru i
- ΔW - promena početne zapremine vodene mase u određenom prostoru i određenom vremenu.



Slika 2. Opšta šema vodnog bilansa

Opšta jednačina vodnog bilansa može se uprostiti uvođenjem sledećih izraza:

$$D_1 + D_2 + D_3 = \Delta D$$

$$E_1 + E_2 = \Delta E$$

$$O_1 + O_2 + O_3 = \Delta O$$

$$N_1 + N_2 = \Delta N$$

što daje uprošćen oblik jednačine vodnog bilansa (2.) koji glasi:

$$(P + K + \Delta D + R) - (\Delta E + \Delta O + \Delta N) = \pm \Delta W \quad (3)$$

Kako zbir vrednosti $P + K + \Delta D + R$ predstavlja ulaz vodnih masa u definisanu zapreminu, može se označiti sa U , a zbir vrednosti $\Delta E + \Delta O + \Delta N$ izlaz vodnih masa, koji se može označiti sa I , to konačan oblik uprošćene jednačine vodnog bilansa glasi:

$$U - I = \pm \Delta W \quad (4)$$

1.2. SLIVNE POVRŠINE, PADAVINE, VODOSTAJ I OTICAJ

Za izbor tehničkih mera i projektovanje zaštite od površinskih voda neophodno je poznавање промене процеса у дужем временском периоду или прлив воде у зону рудника (јама - коп). Подручје са кога вода дође у ову зону представља слив рудника, који са глеђиšta карактера дотичаја може бити подземни или површински. Слив је одређен вододелником. Контуре слива површинских и подземних вода се, по правилу, не морaju поклапати. Ова одступања су нарочито карактеристична за карстне средине.

Карактеристике које утичу на режим површинског дотичаја воде из слива у рударске објекте су: геометријски облик слива, геолошки и педолошки покриваč, биолошки покриваč, висински услови, климатски услови, густина водотока на сливу итд.

По правилу, контуре сливних површина одређују се на ситуационим картама. Површине слива, у оквиру граница слива, одређују се планиметријом.

Значajna фаза у оквиру метода одводњавања у рударству је мерење висине и интензитета падавина, а што се обавља кишомерима, плувиографима и таласометрома. Падавине се, најчешће, приказују у облику дневних, седмиčних, месечних, сезонарних и годишњих просечних падавина.

Водостај представља висину воде у реци, језеру, мору и другим акумулацијама, у односу на унапред утврђену nullu тачку водомера и израžава се, по правилу, у cm. Ката водостаја у речном кориту представља збир коте нуле водомерне летве и регистрованог водостаја. За дисковинуално мерење водостаја на речним коритима користе се водомерне летве, а за континуирано регистовање вредности водостаја лимнографи.

Ниво подземне воде мери се на осматрачким бунарима - пижометрима. То се чини у односу на утврђену коту цеви која се назива нула пижометра, а ката нивоа подземне воде представља разлику између коте нуле пижометра и измерене дубине до нивоа воде у бунару.

Oticaj predstavlja pojavu kod koje se deo padavina koncentriše u otvorene vodotokove i podzemne tokove i otiče dalje. To je jedna od faza u stalnom kruženju vode na Zemlji. Mechanizam oticaja izražava se tako što se deo

padavina zadržava na bilnjom pokrivaču, deo padavina upija zemljište do svog zasićenja, a deo padavina (slivanjem vode niz teren) otiće u slučaju kada je intenzitet padavina veći od intenziteta upijanja, s tim što se prvo ispune lokalne depresije, a zatim se sliva u vodotokove. Oticanje vode u okviru jednog sliva zavisi od prirodnih i veštačkih činilaca. Prirodni činioci su geografske karakteristike, sklop terena, oblik sliva, visinski odnosi u slivu, nagib terena i njegova dispozicija, gustina rečne mreže, površina sliva, postojanje jezera i močvara i biljni pokrivač, dok se pod veštačkim činiocima podrazumevaju oni koji nastaju usled delovanja čovjeka.

2. HIDRAULIKA

Pri reševanju problema odvodnjavanja u rudarstvu, stručnjaci se, između ostalog, često sreću i sa problemima iz oblasti hidraulike cevi i kanala. Problemi strujanja podzemnih voda ulaze, takođe, u domen hidraulike, pa je to još jedan od razloga da se ovde detaljnije izlože osnovni elementi hidraulike.

Hidraulika je nauka koja se bavi proučavanjem i kvantitativnim definisanjem zakona mirovanja i kretanja tečnosti (etimološki reč hidraulika vuče koren iz grčkog jezika: *hidor* - voda, *aulon* - cev).

2.1. OSNOVNE FIZIČKE OSOBINE TEČNOSTI

Gustina tečnosti (ρ) predstavlja masu (m) jedinice zapremine (∇), pa se za uslove homogene tečnosti može napisati

$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta \nabla}$$

Zapreminska težina tečnosti (γ) predstavlja težinu (G) jedinice zapremine (∇)

$$\gamma = \frac{\Delta G}{\Delta \nabla}$$

Kako je težina tečnosti izražena u obliku

$$G = m \cdot g$$

to je veza između gustine i zapreminske težine tečnosti definisana odnosom

$$\gamma = \rho \cdot g .$$

Gustina i zapreminska težina vode se menjaju sa temperaturom. U tabeli 2. date se vrednosti gustine i zapreminske težine vode u zavisnosti od temperature.

Tabela 2. Vrednost gustine i zapreminske težine vode u zavisnosti od temperature

t°C	0°	4°	10°	20°	50°	100°
$\rho(\text{kg/m}^3)$	999,87	1,000	999,73	999,23	989,07	958,38
$\gamma(\text{N/m}^3)$	9809	9810	9807	9802	9693	9402

Tečnost je stišljiva i podvrgava se Hukovom zakonu koji se za praktične proračune izražava u obliku

$$-\frac{\Delta \nabla}{\nabla} = -\frac{\Delta p}{E},$$

gde je:

$\frac{\Delta \nabla}{\nabla}$ - relativni priraštaj zapremine tečnosti,

Δp - priraštaj pritiska,

E - modul elastičnosti (za vodu E ~ $2 \cdot 10^9$ Pa).

Viskozitet predstavlja svojstvo tečnosti koje uslovljava pojavu unutrašnjeg trenja u tečnosti (engleski: *viscosity* - lepljivost).

Kao karakteristika viskoziteta koristi se koeficijent absolutnog viskoziteta μ (dimenzija Pa · T).

U praksi se često koristi i kinematski koeficijent viskoziteta (v) gde je:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Kinematski koeficijent viskoziteta ima dimenziju ($L^2 T^{-1}$), (na primer: m^2/s).

Viskozitet tečnosti se menja sa temperaturom i karakteriše prirodu tečnosti. U tabeli 3. prikazane su vrednosti kinematskog koeficijenta viskoziteta vode u zavisnosti od temperature.

Tabela 3. Vrednost kinematskog koeficijenta viskoziteta vode u zavisnosti od temperature

t°C	0°	4°	10°	20°	50°	100°
v(m ² /s)	1,78·10 ⁻⁶	1,52·10 ⁻⁶	1,31·10 ⁻⁶	1,01·10 ⁻⁶	0,55·10 ⁻⁶	0,28·10 ⁻⁶

2.2. HIDROSTATIČKI PRITISAK

Hidrostaticki pritisak (p) predstavlja silu hidrostatickog pritiska (P) koja deluje na jedinicu površine (W) i izražava se u obliku

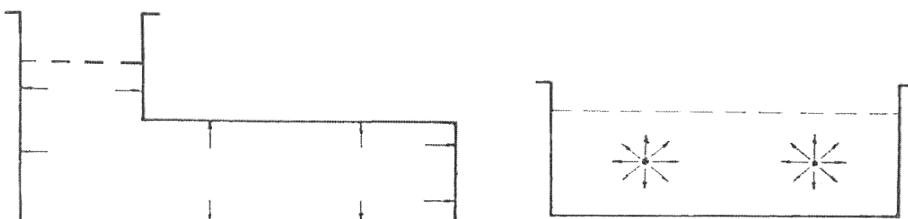
$$p = \frac{dP}{dW} \tag{5}$$

odnosno u praktičnim proračunima:

$$p = \frac{\Delta P}{\Delta W}$$

Dve osnovne osobine hidrostatičkog pritiska su:

- hidrostatički pritisak je uvek upravan na površinu na koju deluje (slika 3.)
- hidrostatički pritisak u svakoj tački deluje podjednako u svim pravcima (slika 3.)



Slika 3. Osobine hidrostatičkog pritiska

Osnovna jednačina hidrostatike dobija se iz uslova ravnoteže tečnosti i može se izraziti u obliku:

$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} + Z_0 = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 = \text{const.} \quad (6)$$

odnosno

$$\Pi_0 = \Pi_1 = \text{const.}$$

gde je:

$\frac{P}{\rho \cdot g}$ - energija hidrostatičkog pritiska jedinice težine tečnosti (visina kroz

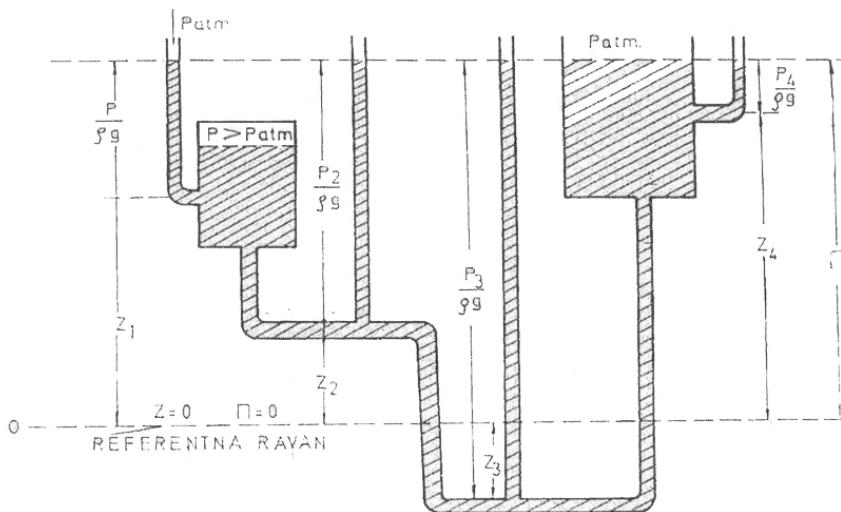
koju se izražava hidrostatički pritisak tečnosti u posmatranoj tački),

Z - energija položaja jedinice težine tečnosti (geometrijska visina posmatrane tačke u odnosu na usvojenu referencu ravninu),

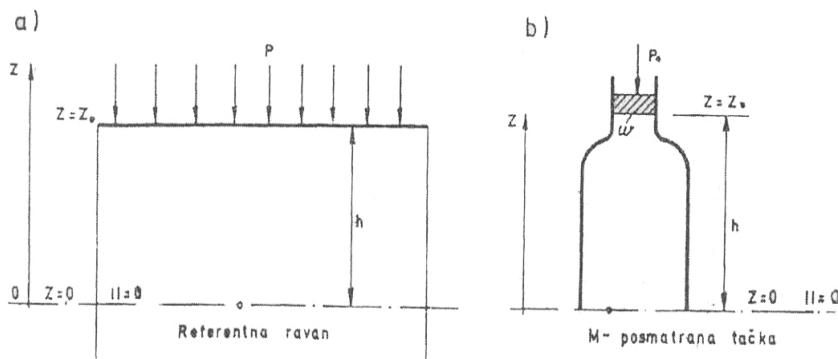
Π - ukupna energija (zbir energije hidrostatičkog pritiska i energije položaja) jedinice težine tečnosti (pijezometarska visina) u odnosu na usvojenu referentnu ravan (potencijalna energija).

$$\Pi = \frac{P}{\rho \cdot g} + Z$$

Na slici 4. prikazan je jedan spojeni sistem tečnosti u miru, na kome je ilustrovan fizički aspekt osnovne jednačine hidrostatičkog pritiska (6.).



Slika 4. Prikaz fizičkog aspekta jednačine hidrostatičkog pritiska



Slika 5. Prikaz osnovne jednačine hidrostatike

Kada se referentna ravan ($\Pi = 0$) postavi na nivo posmatrane tačke, onda se osnovna jednačina hidrostatike (6.) može napisati u sledećem obliku (slika 5).

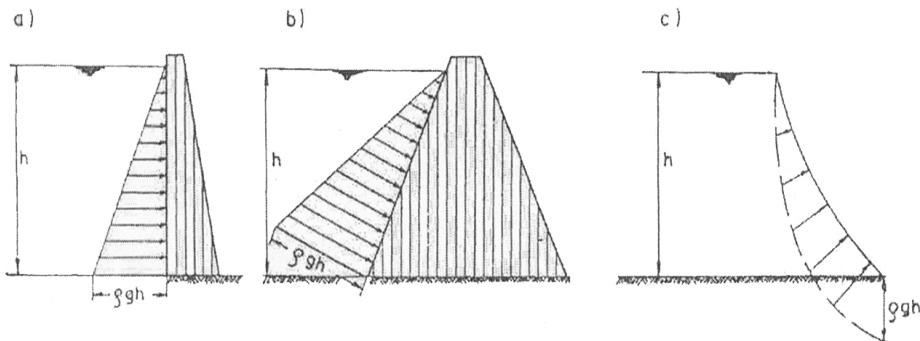
$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot Z_0$$

odnosno

$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

koji je poznat kao Paskalov zakon.

Grafički prikaz rasporeda hidrostatičkog pritiska na neku površinu ili konturu naziva se dijagram hidrostatičkog pritiska (slika 6.).



Slika 6. Dijagram hidrostatičkog pritiska

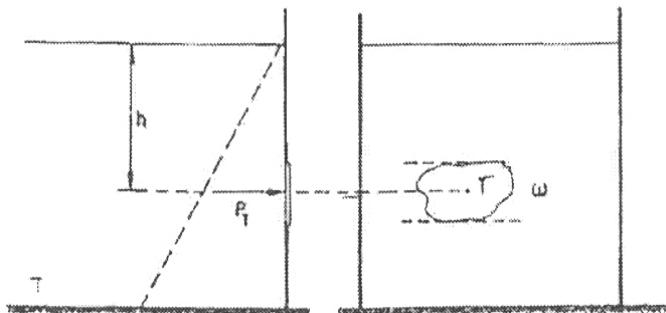
Ukupna sila hidrostatičkog pritiska (P) koja deluje na posmatranu površinu (ω) predstavlja zbir (integral) svih elementarnih sil hidrostatičkog pritiska, pa se u skladu sa izrazom (5.) može napisati:

$$P = \int_{\omega} \rho \cdot d\omega$$

Ukupna sila hidrostatičkog pritiska koja deluje na ravnu površinu može se odrediti kao:

- proizvod posmatrane površine (ω) i hidrostatičkog pritiska u težištu površine (P_T) (slika 7).

$$P = \omega \cdot P_T \quad (7)$$



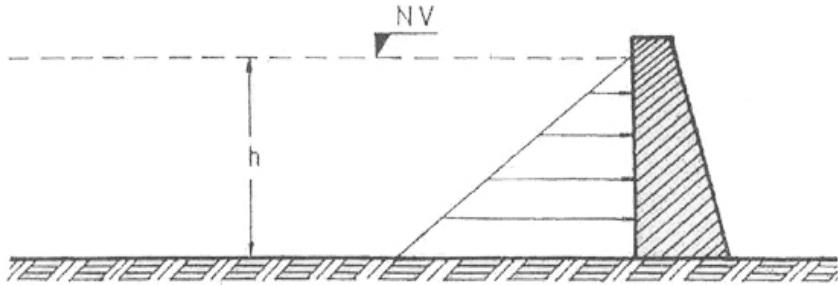
Slika 7. Hidrostatički pritisak u težištu površine

$$P_T = \rho \cdot g \cdot h$$

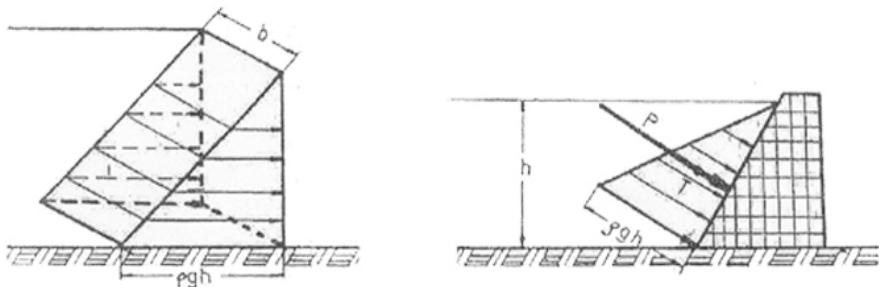
$$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot \omega$$

- zapremina tela dijagrama hidrostatičkog pritiska koji deluje na datu površinu (slika 8).

$$P = b \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot h^2}{2} \quad (8)$$



Slika 8. Delovanje hidrostatičkog pritiska



Slika 9. Težište tela dijagrama hidrostatičkog pritiska

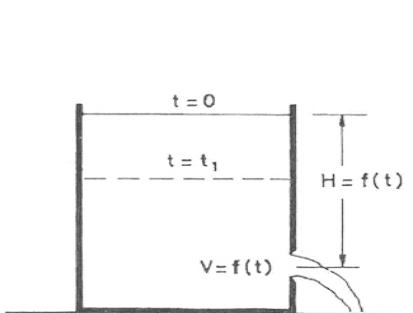
Napadna tačka rezultujuće (ukupne) sile hidrostatičkog pritiska prolazi kroz težište dijagrama hidrostatičkog pritiska, odnosno kroz težište tela dijagrama hidrostatičkog pritiska (slika 9.).

2.3. HIDRODINAMIKA

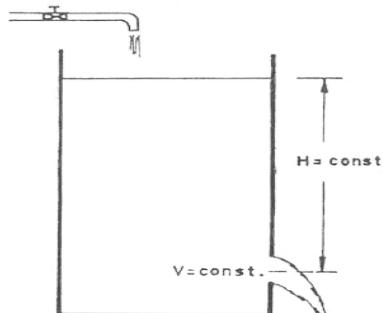
2.3.1. Osnovni pojmovi

Strujanje vode u prirodi odvija se po pravilu u neustaljenom (nestacionarnom) režimu strujanja, odnosno brzina (V) i pritisak (p) se menjaju u zavisnosti od položaja tačke u strujnom prostoru i po vremenu (slika 10.).

$$\begin{aligned} V &= V(x, z, y, t) \\ p &= p(x, z, y, t) \end{aligned} \quad (9)$$



Slika 10. Primer neustaljenog kretanja



Slika 11. Primer ustaljenog kretanja

Ako je strujanje tečnosti takvo da se brzina i pritisak ne menjaju po vremenu (već zavise samo od položaja u strujnom toku), kretanje se naziva ustaljeno (stacionarno, slika 11)

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} &= 0 & V &= V(x, y, t) \\ \frac{\partial p}{\partial t} &= 0 & p &= p(x, y, t) \end{aligned} \quad ; \quad (10)$$

Strujanje je ravansko, ako se odvija u ravni (na primer jedno ustaljeno ravansko strujanje)

$$\begin{aligned} V &= V(x, y) \\ p &= p(x, y) \end{aligned} \quad (11)$$

ili jednodimenzionalno, ako se brzina i pritisak menjaju samo duž jednog pravca (na primer za slučaj ustaljenog strujanja)

$$\begin{aligned} V &= V(x) \\ p &= p(x) \end{aligned} \quad (12)$$

odnosno za slučaj neustaljenog strujanja

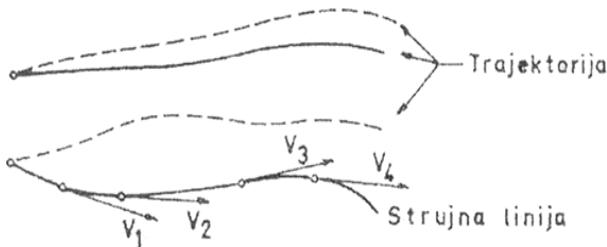
$$\begin{aligned} V &= V(x, t) \\ p &= p(x, t) \end{aligned} \quad (13)$$

Prema vrsti kretanja tečnosti razlikuje se:

- strujanje pod pritiskom (na primer tečenje u vodovodnim cevima)
- strujanje sa slobodnom vodnom površinom (na primer tečenje u rekama i kanalima).

Trajektorijom se naziva trag kretanja pojedinih delića tečnost (slika 12).

Strujna linija (strujnica) određuje pravac kretanja niza uzastopnih čestica tečnosti u datom trenutku. Karakteristika strujnice je da je u svakoj njenoj tački vektor brzine tangenta na strujnu liniju (slika 12).



Slika 12. Prikaz trajektorije i strujne linije

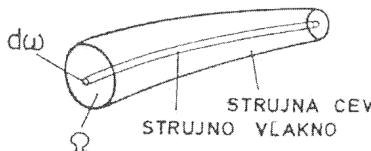
Kod ustaljenog kretanja strujna linija i trajektorija se podudaraju.

Proticaj (Q) predstavlja zapreminu tečnosti koja u jedinici vremena (slika 13) protekne kroz dati poprečni presek (ω)

$$Q = \int_V d\omega \quad (14)$$

gde je:

V - brzina u elementarnom preseku $d\omega$



Slika 13. Strujna cev

Kod praktičnih proračuna koristi se pojam srednje brzine preseka (V), pa se jednačina (14) može napisati

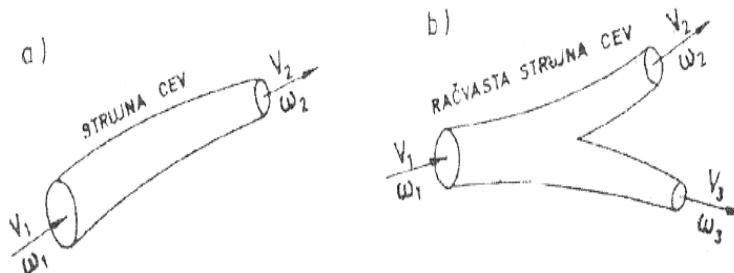
$$Q = V \cdot \omega \quad (15)$$

Jednačina kontinuiteta dobija se iz uslova da masa fluida u strujnom toku ostaje nepromenjena, pa se kod praktičnih proračuna može napisati (primer na slici 14-a.).

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2 \quad (16)$$

a za primer na na slici 14-b.

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2 + V_3 \cdot \omega_3$$



Slika 14. Prikaz strujnih cevi

2.3.2. Osnovna jednačina strujanja tečnosti (Bernulijeva jednačina)

Osnovna jednačina strujanja realne tečnosti poznata je kao Bernulijeva jednačina za realnu tečnost i ona se za slučaj strujnog toka, posmatranog u dva poprečna preseka (slika 15) može napisati:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{\alpha V_1^2}{\rho \cdot g} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{\alpha V_2^2}{\rho \cdot g} + h_{\omega 1-2} \quad (17)$$

odnosno:

$$\Pi_1 + \frac{\alpha V_1^2}{\rho \cdot g} = \Pi_2 + \frac{\alpha V_2^2}{\rho \cdot g} + h_{\omega 1-2} \quad (18)$$

gde je:

V - srednja brzina u posmatranom poprečnom preseku strujnog toka,

Π - Koriolisov koeficijent ($1,06 < \alpha < 1,13$), koji se često u praktičnim proračunima uzima $\alpha \sim 1$,

$\frac{\alpha V^2}{\rho \cdot g}$ - kinetička energija jedinice težine tečnosti strujnog toka u posmatranom preseku,

$h_{\omega 1-2}$ - energetska gubitak (rad sila otpora) jedinice težine tečnosti prijenom premeštanju od preseka 1 - 1 do preseka 2 - 2.

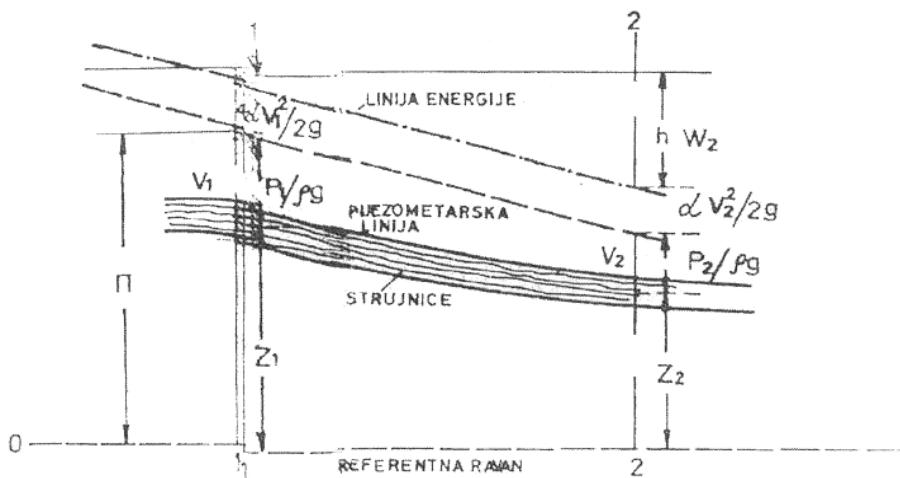
Izraz (18) može se napisati i u sledećem obliku:

$$E_1 = E_2 + h_{\omega 1-2} \quad (19)$$

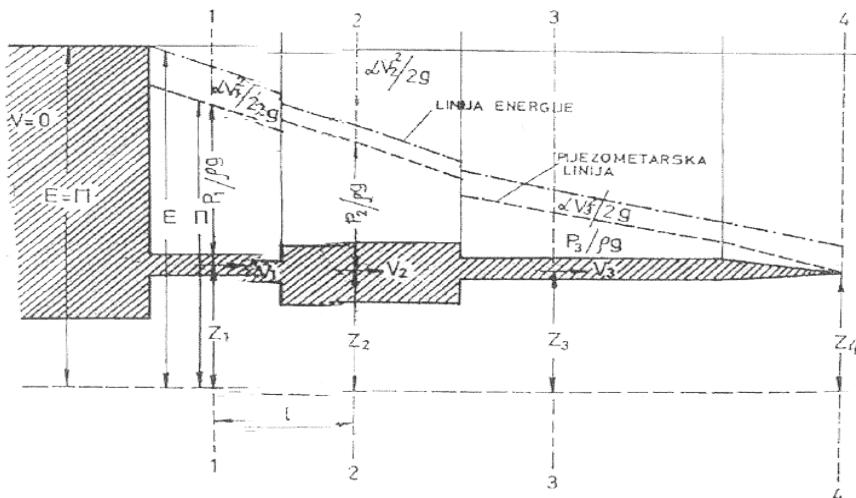
gde je:

E - energija jedinice težine tečnosti posmatranog preseka strujnog toka.

$$E = \frac{P}{\rho \cdot g} + z + \frac{\alpha V^2}{\rho \cdot g}$$



Slika 15. Strujni tok između poprečnih preseka 1 - 1 i 2 - 2



Slika 16. Strujanje kroz cevi sa promenljivim presekom

Da bi se ilustrovala primena Bernulijevе jednačine na jednom praktičnom slučaju slika 16. prikazuje linije energije i pijezometarske linije u slučaju strujanja kroz cevi sa promenljivim prečnikom.

Kao što se iz primera može zaključiti, linija energije mora da opada duž strujnog toka (kao rezultat gubitka energije duž toka, tok pijezometarske linije može da se spušta i podiže duž toka u zavisnosti od rasporeda brzina duž toka).

2.3.3. Hidraulički otpori

Ako se posmatra fizika procesa strujanja, razlikuju se dva režima strujanja tečnosti:

- *Laminarni režim strujanja*, pri kome se strujanje odvija u paralelnim slojevima. Osnovne karakteristike ovog režima strujanja su u tome da je gubitak energije proporcionalan brzini strujanja.
- *Turbulentni režim strujanja*, karakterišu pulsacije brzina i mešanje delića tečnosti duž strujnog toka. U uslovima turbulentnog režima strujanja gubitak energije je proporcionalan kvadratu brzine.

Eksperimentalno je dokazano da se kod strujanja u cevima turbulentni režim strujanja javlja kada je bezdimenzionalan Rejnoldsov broj (Re)

$$Re > 2300,$$

gde je:

Re - Rejnoldsov broj dat odnosom:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (20)$$

D - prečnik cevi,

v - kinematički koeficijent viskoziteta.

Iz izraza (20) se može videti, da u slučaju strujanja u cevima i pri relativno malim brzinama toka, dolazi do pojave turbulentnog strujanja. Na osnovu već iznete konstatacije može se zaključiti, da se kod rešavanja pozitivnih jednačina iz oblasti strujanja u cevima i kanalima, po pravilu računa sa turbulentnim režimom strujanja (odnosno računa se da su gubici energije proporcionalni kvadratu brzine). Međutim, u uslovima strujanja podzemnih voda režim tečenja je, po pravilu, laminaran (izuzev retkih slučajeva strujanja kroz izrazito krunpnozrne materijale i u karstifikovanim sredinama), pa je i gubitak energije proporcionalan brzini strujanja.

Gubici energije duž toka nastaju kao posledica savlađivanja hidrauličnih otpora strujanja i oni se, sa gledišta karaktera gubitaka, mogu podeliti na dve osnovne grupe:

- gubici na trenje ili linijski gubici (koji su proporcionalni dužini strujnog toka) i
- lokalni gubici (koji nastaju kao posledica lokalnih poremećaja strujnog toka).

2.3.4. Gubici na trenje

Za proračun gubitaka na trenje duž cevi (u uslovima turbulentnog režima strujanja) u praksi se koristi jednačina (poznata kao Darsi-Vajsbahova jednačina) u obliku

$$h_w = \lambda \cdot \frac{I}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (21)$$

gde je:

λ - koeficijent trenja (bezdimenzionalan izraz), koji se u praksi kreće u granicama $0,02 < \lambda < 0,05$

I - dužina cevi,

D - prečnik cevi.

Za proračun kanala u određenim uslovima i za proračun cevi (u praksi se koristi Šezijeva jednačina u obliku *)

$$V = C\sqrt{RJ} \quad (22)$$

gde je:

C - Šezijev koeficijent,

R - hidraulički radius koji predstavlja odnos površine (ω) i okvašenog obima (λ)

$$R = \frac{\omega}{X}$$

J - hidraulični pad (gubitak energije na jedinicu dužine toka).

$$J = \frac{h_w}{I}$$

Ako se Šezijeva jednačina izrazi kao gubitak energije (h_w), onda bi izraz (22) bio dat u obliku $h_w = \frac{I}{C^2 R} \cdot V^2$

Za Šezijev koeficijent C se u savremenoj praksi najčešće primenjuje Maningova formula

$$C = \frac{I}{n} \cdot R^{1/6} \quad (23)$$

gde je:

n - koeficijent hrapavosti (po Maningu)

Šezijseva jednačina sa Maningovom formulom glasi:

$$V = \frac{I}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (24)$$

odnosno, uvodeći proticaj:

$$Q = \omega \cdot \frac{I}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/3} \quad (25)$$

Zavisnost između Darsi-Vajsbahovog koeficijenta trenja (λ) i Maningovog koeficijenta hrapavosti (n) data je relacijom:

$$\lambda = 125 \frac{n^2}{d^{1/3}} \quad (26)$$

odakle se za praktične proračune može jednostavno sračunati koeficijent trenja (λ) koristeći rezultate eksperimentalnog određivanja veličine koeficijenta hrapavosti.

2.3.5. Lokalni gubici

Lokalni gubici nastaju kao posledica gubitaka energije usled lokalnih poremećaja u strujnom toku. Opšti izraz za proračun lokalnih gubitaka u uslovima turbulentnog strujanja glasi:

$$h = \xi \frac{V^2}{2} \quad (27)$$

gde je:

ξ - koeficijent lokalnog gubitka (bezdimenzionalni izraz) koji zavisi od geometrijskih odnosa lokalne deformacije strujnog toka.

Lokalni gubici se javljaju u slučaju:

- naglog proširenja toka,
- naglog suženja toka,
- dijafragme u cevi,
- kolena sa oštrim prelomom,
- krivine,
- zatvarača itd.

Tabela 4. Vrednost koeficijenta hrapavosti $n(m^{-1/3} \cdot s)$ za Maningovu formulu

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

Karakter površina	Stanje površine			
	vrlo dobro	dobro	obično	rđavo
Mesingane i staklene cevi	0,009	0,013	0,014	0,015
Drvene cevi	0,010	0,011	0,012	0,013
Vučene cevi (bez šava)	0,010	0,011	0,013	—
Livene cevi sa asfaltnim premazom	0,011	0,012	0,013	—
Obične livene cevi	0,012	0,013	0,014	0,015
Crne gvozdene cevi	0,012	0,013	0,014	0,015
Pocinkovane gvozdene cevi	0,013	0,014	0,015	0,017
Obične keramičke drenažne cevi	0,011	0,012	0,014	0,017
Kanalizacione cevi sa glazurom	0,010	0,013	0,015	0,017
Betonske cevi	0,012	0,013	0,015	0,016
Kovane čelične spiralne cevi	0,013	0,015	0,017	—
Površina od čvrstog cementa	0,010	0,011	0,012	0,013
Opeke sa glazurom, klinker	0,011	0,012	0,013	0,015
Premaz cementnim malterom	0,011	0,012	0,013	0,015
Zid od opeke u cementnom malteru	0,012	0,013	0,015	0,017
Kanal u betonu	0,012	0,014	0,016	0,018
Obloga od tesanog kamena	0,013	0,014	0,015	0,017
Zid od lomljenog kamena u cementu	0,017	0,020	0,025	0,030
Suv zid od lomljenog kamena	0,025	0,030	0,033	0,035
Kanal i rečni tokovi				
Zemljani kanali pravilnog oblika	0,017	0,020	0,023	0,025
– krivudavi sa laganim tokom	0,023	0,025	0,028	0,030
– zemljani iskopani bagerom	0,025	0,028	0,030	0,033
– čisto usećeni u steni, pravilnog oblika	0,025	0,030	0,033	0,035
– zemljano dno i kosine ozidane kamenom	0,028	0,030	0,033	0,035
– grubo dno od kamena, sa zarašlim zemljanim kosinama	0,025	0,030	0,036	0,040
– grubo usećeno u steni sa nepravilnim presekom	0,035	0,040	0,045	—

Tabela 5. Vrednost koeficijenta C za Meningovu formulu $C = \frac{1}{n} E^{1/6}$ (m)

n R y m	0,010	0,013	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,05	60,7	46,7	43,4	35,7	30,4	24,3	20,2	17,3	15,2
0,06	62,6	48,1	44,7	36,8	31,3	25,0	20,9	17,9	15,6
0,07	64,2	49,4	45,9	37,8	32,1	25,7	21,4	18,3	16,0
0,08	65,6	50,5	46,9	38,6	32,8	26,3	21,9	18,8	16,4
0,10	68,1	52,4	48,7	40,1	34,1	27,3	22,7	19,5	17,0
0,12	70,2	54,0	50,2	41,3	35,1	28,1	23,4	20,1	17,6
0,14	72,1	55,4	51,5	42,4	36,0	28,8	24,0	20,6	18,0
0,16	73,7	56,7	52,6	45,3	36,8	29,5	24,5	21,1	18,4
0,18	75,1	57,8	53,7	44,2	37,6	30,1	25,0	21,5	18,8
0,20	76,5	58,8	54,6	45,0	38,2	30,6	25,5	21,8	19,1
0,22	77,7	59,8	55,5	45,7	38,8	31,1	25,9	22,2	19,4
0,24	78,8	60,6	56,3	46,4	39,4	31,5	26,3	22,5	19,7
0,26	79,9	61,5	57,1	47,0	39,9	32,0	26,6	22,8	20,0
0,28	80,9	62,2	57,8	47,6	40,4	32,4	27,0	23,1	20,2
0,30	81,8	63,0	58,4	48,1	40,9	32,7	27,3	23,4	20,4
0,35	83,9	64,6	59,9	49,4	42,0	33,6	28,0	24,0	21,0
0,40	85,8	66,0	61,3	50,5	42,9	34,3	28,6	24,5	24,4
0,45	87,5	67,3	62,5	51,5	43,8	35,0	29,2	25,0	21,9
0,50	89,1	68,5	63,6	52,4	44,5	35,6	29,7	25,5	22,3
0,55	90,5	69,6	64,6	53,3	45,3	36,2	30,2	25,9	22,6
0,60	91,8	70,6	65,6	54,0	45,9	36,7	30,6	26,2	23,0
0,65	93,1	71,6	66,5	54,7	46,5	37,2	31,0	26,6	23,3
0,70	94,2	72,5	67,3	55,4	47,1	37,7	31,4	26,9	23,6
0,80	96,4	74,1	68,8	56,8	48,2	38,5	32,1	27,5	24,1
0,90	98,3	75,6	70,2	57,8	49,1	39,3	32,8	28,1	24,6
1,00	100,0	77,0	71,4	58,8	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0
1,10	101,0	78,5	72,6	59,8	50,8	40,6	33,9	29,0	25,4
1,20	103,1	79,3	73,6	60,6	51,5	41,2	34,4	29,5	25,8
1,30	104,5	80,4	74,6	61,5	52,2	41,8	34,8	29,8	26,1
1,50	107,0	82,3	76,4	62,9	53,5	42,8	35,7	30,6	26,8
1,70	109,3	84,1	78,0	64,3	54,6	43,7	36,4	31,2	27,3
2,00	112,3	86,3	80,2	66,0	56,1	44,9	37,4	32,1	28,1
2,50	116,5	89,6	83,2	68,5	58,3	46,6	38,8	33,3	29,1
3,00	120,1	92,4	85,8	70,6	60,0	48,0	40,0	34,3	30,0
3,50	123,2	94,8	88,0	72,5	61,6	49,3	41,1	35,2	30,8
4,00	126,0	97,0	90,0	74,1	63,0	50,4	42,0	36,0	31,5
5,00	130,8	100,6	93,4	76,9	65,4	52,3	43,6	37,4	
10,00	146,8	112,9	104,8	86,3	73,4	58,7	49,0	41,9	
15,00	157,0	120,8	112,3	92,4	78,5	62,8	52,3	44,9	

3. FIZIČKA SVOJSTVA STENSKIH MASA OD ZNAČAJA ZA SADRŽAJ VODE U NJIMA

Glavna fizička svojstva stenskih masa koja imaju uticaje na sadržaj vode, pa prema tome i na problematiku odvodnjavanja, jesu poroznost i vlažnost.

3.1. POROZNOST

Poroznost neke stenske mase predstavlja celokupnost svih pora koje se nalaze u toj stenskoj masi, bez obzira na nihov oblik, način postanka i veličinu.

Poroznost stene (p) se definiše kao odnos zapremina pore (V_p) prema ukupnoj zapremini stene sa porama (V), to jest:

$$p = \frac{V_p}{V} = \frac{V_p}{V_c + V_p} \quad (28)$$

gde je:

$$V = V_c + V_p$$

V_c - zapremina stene bez pora (čvrste stenske mase ili čvrste faze),

V_p - zapremina pora.

Glinovite stene se odlikuju svojstvom promene zapremine pri kvašenju. Kod povećane vlažnosti glina bubri, a smanjenjem vlage ona se skuplja. Zbog toga poroznost glinovitih stena treba izražavati odnosom zapremine svih pora prema zapremini čvrste faze.

Veličina poroznosti (p) glinovitih stena obično se proračunava preko gustine i zapremske mase stene po obrascu:

$$p = \frac{\rho - \gamma}{\rho} 100 \quad (29)$$

gde je:

ρ - gustina (specifična masa) stene (g/cm^3),

γ - zapreminska masa čvrste faze (ili mase jedinice zapremine stene prirodne proroznosti ali bez mase vode u porama) (g/cm^3).

Zapremska masa čvrste faze određuje se po obrascu:

$$\gamma = \frac{\gamma_o}{1 + 0,1w} \quad (g/cm^3) \quad (30)$$

gde je:

γ_o - zapreminska masa vlažne stene (ili mase jadnice zapremine stena pri prirodnjoj poroznosti i vlažnosti) (g/cm^3)

w - prirodna vlažnost stena (%)

Iz obrasca 29. i 30. proizilazi

$$p = \left[1 - \frac{\gamma_o}{1 + 0,01w} \right] \quad (31)$$

Poroznost čvrstih stena najčešće se određuje težinskim načinom, zbog čega prethodno treba odrediti zapreminsku masu stena.

Za neke čvrste stene date su vrednosti poroznosti u tabeli 6.

Tabela 6. Poroznost stena

Vrsta stena	Poroznost (%)
Sitnozrni granit	0,06 - 0,70
Krupnozrni granit	0,03 - 0,90
Sijenit	0,50 - 1,40
Gabro	0,60 - 0,70
Bazalat	0,60 - 1,30
Bazaltna lava	4,40 - 5,60
Peščar	3,20 - 15,20
Rastresiti peščar	6,90 - 26,90
Mermer	0,10 - 0,20
Krečnjak	0,60 - 16,90
Kreda	14,40 - 43,90

Zapreminska masa stene može se izračunati putem sledećeg obrasca

$$\lambda = \frac{m}{V - V_p} \quad (g / cm^3) \quad (32)$$

gde je:

m - masa uzorka stene (g),

V - zapremina uzorka stene (cm³),

V_p - zapremina pora (cm³),

pri čemu je

$$V - V_p = V_c \quad (\text{zapremina čvrste faze}).$$

Iz jednačine (32) zapremina pora je:

$$V_p = V - \frac{m}{\gamma} \quad (33)$$

Zamenom vrednosti za $V_p = pV$ (jednačina (28)) i unošenjem u jednačinu (33) dobija se obrazac za proračun poroznosti čvrstih stena:

$$p = 1 - \frac{m}{\gamma V} = \left(1 - \frac{m}{\gamma V}\right) 100\% \quad (34)$$

Koeficijent poroznosti (*e*) predstavlja odnos zapremine pora prema zapremini čvrste mase:

$$e = \frac{V_p}{V_c} \quad (35)$$

Ako se u jednačini (28) brojilac i imenilac podele sa V_c dobija se zavisnost između poroznosti (*p*) i koeficijenta poroznosti (*e*):

$$p = \frac{e}{1 + e} \quad (36)$$

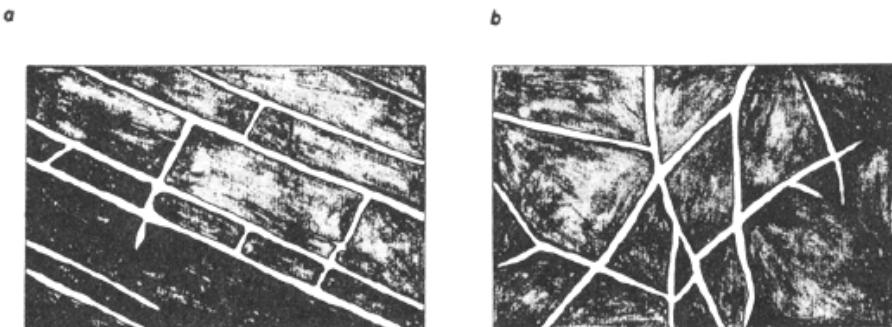
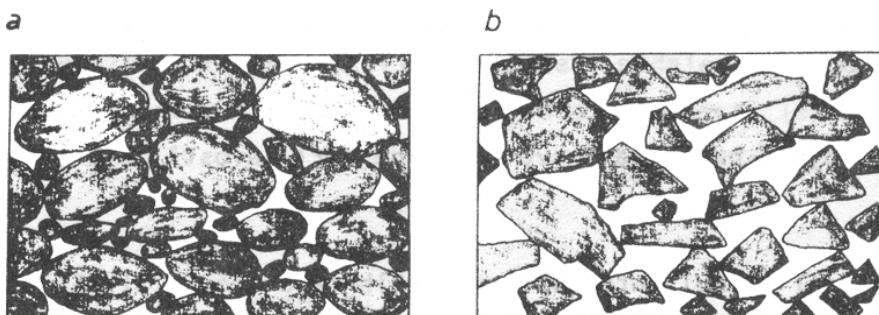
Odavde je koeficijent poroznosti:

$$e = \frac{p}{1 - p} \quad (37)$$

U tabeli 7. date su vrednosti koeficijenta poroznosti za pojedine poroznosti nekih vrsta stena.

Tabela 7. Poroznost i koeficijent poroznosti

Vrsta stena	Poroznost <i>p</i> (%)	Koeficijent poroznosti (<i>e</i>)
Šljunak	27	0,37
Krupan pesak sa šljunkom	38	0,61
Krupan pesak	40	0,67
Sitan pesak	42	0,73
Peskovita glina	47	0,89
Glina	50	1,00

**Slika 17. Pukotinska poroznost****Slika 18. Intergranularna poroznost**

Kod rastresitih stena međuzrnska poroznost zavisi od krupnoće i oblika zrna. U slučaju da su sva zrna jednaka po veličini i obliku, poroznost bi zavisila samo od rasporeda tih zrna.

S obzirom na poreklo i način postanka pora i šupljina poroznost može biti:

- primarna (singenetska) i
- sekundarna (epigenetska).

Primarna poroznost je ona koja je nastala istovremeno sa formiranjem same stene. Najčešće se javlja kod nekih sedimentnih stena, jer je nastala prilikom same sedimentacije, ali može se susresti i kod nekih magmatskih i metamorfnih stena.

Pukotine koje su nastale prilikom očvršćavanja magme takođe predstavljaju primarne pore.

Sekundarna poroznost je ona koja je nastala posle formiranja stena pod dejstvom drugih uticajnih faktora.

Ovakvu poroznost imaju stene koje su same nepropusne, ali su naknadno raspucale.

Većina međuslojnih pukotina i sve pukotine škriljavosti daju sekundarnu poroznost.

Glavni strukturni tipovi poroznosti stenskih masa mogu biti:

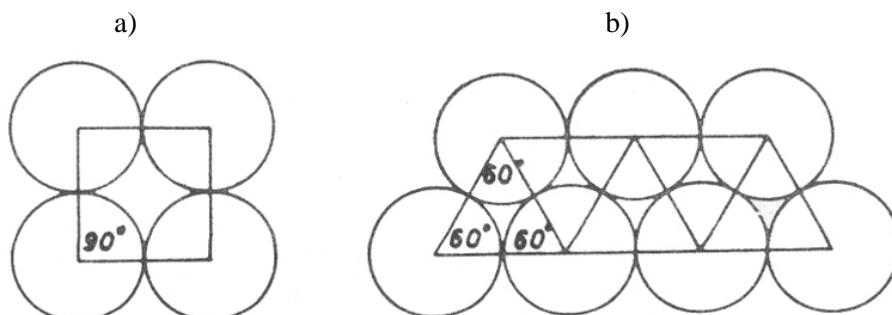
- pukotinski (klastični),
- međuzrnski (intergranularni),
- sunđerasti (spongijarni),
- crevasti (intestinarni),
- kavernozni (sasvim nepravilne šupljine).

Pukotinsku poroznost čini ponekad pravilna, a češće nepravilna mreža pukotina i prslina u stenskoj masi, kako se to vidi na slici 17-a i 17-b. Stene sa takvom poročnošću imaju veliki značaj za kretanje podzemnih voda. To su najčešće magmatske i neke metamorfne stene. Takvu porozost mogu imati i neki kruti sedimenti jer je pukotinska poroznost karakteristična za sve krute stene.

Međuzrnska (intergranularna) poroznost se sastoji iz agregata pora koje su zatvorene između zrna stenske mase, a može biti pravilna i nepravilna (slike 18-a. i 18-b.).

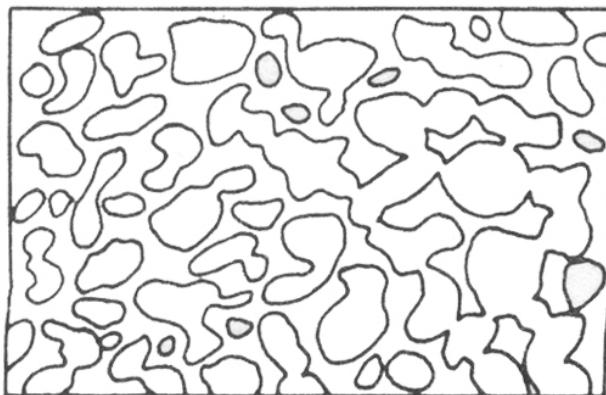
Naročito je izražena kod nekih sedimentnih stena kod kojih su se prilikom taloženja pojedina zrna redala tako da su između njih ostale šupljine i pore poliedarskog oblika. Najčešće se susreću kod peska, šljunka, breča i konglomerata. Karakteristična je za sve nevezane klasične sedimente, kao i za nepotpuno cementovane klasične stene. Vrednost ovakve poroznosti može biti veoma različita. Na primer, u pesku se menja u širokim granicama i dostiže 45%. Kod šljunka međuprostori su često zapunjeni peskom ili glinastim materijalom, pa je u tom slučaju poroznost manja, nego kod čistog šljunka.

Na slici 19-a prikazana su zrna rastresitog materijala (jednaka po veličini i obliku) raspoređena tako da centri pojedinih zrna stoje jedan prema drugom pod uglom od 90° , pa je tada poroznost maksimalna (47,6%). U drugom slučaju (slika 19-b) ugao je manji zrna se postave tako da njihovi centri stoje pod uglom od 60° , pa poroznost iznosi svega 25,9% (tj. minimalna je).



Slika 19. Zrna rastresitog materijala

Sunderasta poroznost strukturno je prikazana na slici 20. Karakteristična je za bigar (ili traverin) koji se taloži iz vode, a javlja se i kod nekih zoogenih krečnjaka. Veliku šupljikavost sunderaste strukture može imati lava, naročito ona koju su izbacivanja oblikovala gasovima.



Slika 20. Sunderasta poroznost

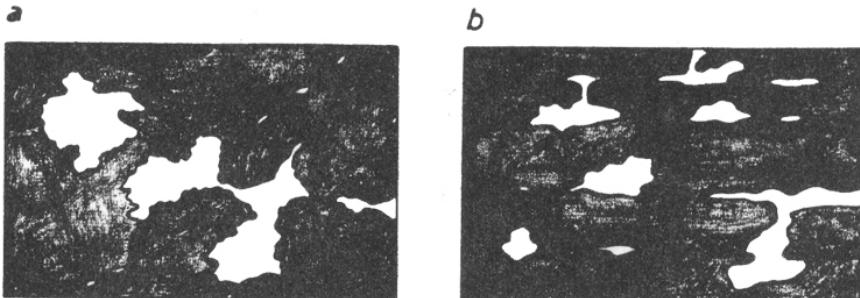
Crevasta poroznost je strukturno prikazana na slici 21. Ovakvu poroznost čine izdužene i vijugave pore, sa mnogobrojnim suženjima i proširenjima. Mogu biti razgranate i međusobno raznoliko spojene. Ovakva se poroznost retko kad se sama pojavljuje. Uglavnom je udružena sa drugim tipovima poroznosti.



Slika 21. Crevasta poroznost

Kavernozna poroznost predstavlja najpromenljiviji strukturni tip poroznosti, jer je čine pore vrlo nepravilnih oblika, naravnomerno raspoređene u steni, a međusobno spojene pukotinskim, crevastim i drugim porama. Izuzetno, ove pore mogu biti povezane i direktno. Struktura kavernozne poroznosti prikazana je na slici 22-a i 22-b. Dimenzija ovih pora (šupljina) kreću se od malih do najvećih, a imaju

vrlo nepravilne oblike. Susreću se kod raznih vrsta stena i vrlo je čest strukturni tip, skoro uvek udružen sa drugim tipovima poroznosti. Može se sresti takođe kod organskih krečnjaka, zatim kao sekundarna poroznost kod karbonatnih i sulfatnih stena, nastala procesom karstifikacije.



Slika 22. Kavernoza poroznost

Bez obzira na strukturni tip, pore prema veličini mogu biti:

- superkapilarne,
- kapilarne i
- subkapilarne.

Njihove dimenzije su date u tabeli 8.

Tabela 8. Vrste i dimenzije pora

Vrste pora	Dimenzije pora	Dimenzije pukotina
Superkapilarne	preko 0,5 mm	preko 0,25 mm
Kapilarne	od 0,0002 do 0,5 mm	od 0,0002 do 0,25 mm
Subkapilarne	ispod 0,0002 mm	ispod 0,0001 mm

Superkapilarne porozne stene propuštaju vodu bez dejstva hidrostatičkog pritiska.

Kapilarne pore su polupropustljive, što znači da propuštaju vodu pod većim ili manjim hidrostatičkim pritiskom.

Subkapilarne pore su vodonepropusne.

3.2. VLAŽNOST STENA

Sadržaj vode u stenama određuje njihovu vlažnost. Kvantitativno, vlažnost stena može se izraziti kao masena vlažnost (w), zapreminska (n_w) i relativna (k_w) vlažnost.

Masena vlažnost predstavlja odnos mase vode u steni (M_w) i mase stene (M_{st}) sušene na temperaturi 100 - 150°C (tj. apsolutno suve stene).

$$w = \frac{M_w}{M_{st}} \cdot 100\% \quad (38)$$

Zapreminska vlažnost (n_w) je odnos zapremine vode koja se nalazi u steni (V_w) i zapremine stene (V):

$$n_w = \frac{V_w}{V} \cdot 100\% \quad (39)$$

Celokupna količina vode koja se nalazi u porama stena u prirodnim uslovima naziva se *prirodna vlažnost stena*.

Postoji više metoda za određivanje vlažnosti stena, ali se, uglavnom, mogu podeliti u dve glavne grupe: termičke i mehaničke.

Kod termičkih metoda vode iz stena se izdvaja isparavanjem, a kod mehaničkih metoda istiskivanjem.

Najviše se primenjuju termičke metode. Postoje i metode određivanja vlažnosti bez odstranjanja vode u koje spadaju električne, radioaktivne, optičke i druge. U poslednje vreme se dosta koriste radioaktivne metode koje omogućuju određivanje vlažnosti bez uzimanja uzoraka (in situ).

Relativna vlažnost (stepen vlažnosti) (K_w) predstavlja odnos zapremine vode u steni i ukupne zapremine pora:

$$K_w = \frac{V_w}{V_p} \quad (40)$$

Veličina K_w može se teoretski menjati od 0 (apsolutno suve stene) do 1 (sve pore ispunjene vodom).

Ispitivanja su pokazala, da se stepen vlažnosti stena ispod nivoa podzemnih voda (u zoni zasićenja) kreće od 0,8 do 1,0.

3.3. OBLICI POJAVE VODE U STENAMA

Voda se u stenama nalazi u različitim oblicima i različitim stanjima, i to slobodna ili jače i slabije vezana, bilo u tečnom, gasovitom ili čvrstom stanju.

Prema obliku pojave, vode mogu biti slobodne, fizički vezane, vode u gasovitom stanju i vode u čvrstom stanju.

Oblici pojave vode u stenama i njihove karakteristike date su u tabeli 9.

Tabela 9. Oblici pojave vode

Stanje vode	Oblik vode	Stanje stena prema stepenu vlažnosti (zapunjenošću vodom)	Raspšrođenost oblika vode	pokretljivost vode	Sile koje utiču na pokretljivost vode
Tečno stanje	Slobodna	Gravitaciona	Jako vlažne ili vlažne (potpuno ili delimično zapunjava pore)	Vodonosni horizontalni, zone, kompleksi	Lako pokretljiva
		Kapilarna		Zone kapilarnog zasićenja i kvaćenja	Gravitacione i kapilarne
		Nepokretna		U slabopropusnim i vodonepropusnim stenama	Slabo pokretljiva
	Fizički vezana	Opnena	Slabo vlažne	Zona aeracije, sitne zone i mikropukotinske zone u stenama	Gravitacione
		Adsorbovana			
Gasovito stanje	Slobodna	Suve	Zona aeracije	Pokretljiva	-
	povezana sa atmosferom	Jako vlažne	U raznim stenama (zatvorene)	Nepokretljiva	-
Čvrsto stanje	Zatvorena u porama				
	Disperzno stanje	Smrznuta (de imično ili potpuno)	Zona većeg leda	Praktički nepokretljiva	-
	Krupnii kristali, nagomi lavanje, žile, sočiva, slojevi				

4. HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA STENA

Glavna hidrogeološka svojstva su: sposobnost upijanja vode, sposobnost odavanja vode (izdašnost) i vodopropustljivost.

4.1. SPOSOBNOSTUPIJANJA VODE

To je svojstvo stena da prime određenu količinu vode po jedinici zapremine. Razlikuje se ukupna, kapilarna, maksimalna molekularna i higroskopska sposobnost upijanja.

Ukupna sposobnost upijanja je mogućnost primanja vode do potpunog zasićenja stene, odnosno do ispunjavanja svih pora. Zbog toga je ona brojčano jednaka poroznosti.

Kapilarna sposobnost upijanja predstavlja takvo svojstvo stena pri kojem dolazi do ispunjavanja vodom kapilarnih pora.

Maksimalna molekularna sposobnost upijanja vode je svojstvo stena da primi fizički vezanu vodu.

Higroskopna sposobnost upijanja je svojstvo stena da prime i trajno zadrže izvesnu količinu vode.

U tabeli 10. su dati podaci o ukupnoj i maksimalnoj molekularnoj sposobnosti upijanja vode za neke stene.

Tabela 10. Ukupna sposobnost i maksimalna molekularna sposobnost upijanja za neke stene

Vrsta stene	Ukupna sposobnost upijanja (%)	Maksimalna molekularna sposobnost upijanja (%)
Krupnozrni pesak	31	2
Pesak	32	7
Glinac	33	16
Glina	45	35

4.2. SPOSOBNOST ODAVANJA VODE (IZDAŠNOST)

Izdašnost je sposobnost stena da kod postojanja slobodne podzemne vode predaje izvesnu količinu. Pokazatelj koji karakteriše ovo svojstvo naziva se *koeficijent izdašnosti* (μ).

Ovaj koeficijent predstavlja razliku između ukupne vode i maksimalne molekularne vode, a izražava se u zapreminskim procentima, pa je:

$$\mu = w_{uk} - w_{mol} \quad (41)$$

gde je:

w_{uk} - ukupna voda u steni,

w_{mol} - molekularna voda u steni.

Koeficijent (μ) određuje količinu slobodne vode u steni u odnosu na zapreminu stene.

U tabeli 11. su date vrednosti koeficijenta izdašnosti, kao i procentualni iznos ukupne vode koju mogu da prime neke vrste stena.

Tabela 11. Procentualni iznos ukupne vode koju mogu da prime neke stene i koeficijent izdašnosti

Vrsta stene	Stena prima vodu w_{uk} (%)	Stena odaje vodu μ (%)
Prašinasti pesak	42 - 38	10 - 15
Sitnozrni pesak	40 - 36	14 - 18
Srednjezrni pesak	38 - 34	17 - 21
Krupnozrni pesak	36 - 32	19 - 23
Šljunak	32 - 28	24 - 28
Vrlo krupan šljunak	34 - 30	22 - 25

4.3. PROPUSTLJIVOST

Propustljivost je svojstvo stene da propušta vodu kroz svoju masu. Veličina propustljivosti zavisi od dimenzija pora i pukotina, kao i njihovog procentualnog učešća, a nije direktno zavisna od poroznosti.

Prema propustljivosti, stene se mogu podeliti u tri grupe:

- propustljive (permeabilne),
- polupropustljive (polupermeabilne),
- nepropustljive (impermeabilne).

U prvu grupu spadaju jako ispucale kompaktne stene, šljunak i pesak. U drugu grupu spadaju: laporci, les, glinovite vrste peska, slabo šupljikavi krečnjaci, cementni peščari i sl. Trećoj grupi pripadaju eruptivne, sedimentne i metamorfne stene (ukoliko nisu ispucale) i gline.

Veličina propustljivosti određuje se putem *koeficijenta filtracije* (k). Ovaj koeficijent jednak je brzini filtracije, ako je hidraulički gradijent jednak jedinici. Dimenzijsko vrijednost je (m/s), (m/dan) ili (cm/s).

Propustljive stene imaju koeficijent filtracije veći od 1 m/dan, polupropustljive u granicama 0,001 do 1,0 m/dan i nepropustljive ispod 0,001 m/dan.

Koeficijent filtracije zavisi od više faktora: temperature, granulometrijskog sastava i dr.

Uticaj granulometrijskog sastava na veličinu koeficijenta filtracije za neke stene dat je u tabeli 12.

Tabela 12. Koeficijent filtracije u zavisnosti od granulometrijskog sastava

Vrsta stene	Prečnik zrna (mm)	Koeficijent filtriranja (m/dan)
Krupan šljunak	100 - 10	500 - 100
Šljunak	10 - 2	100 - 50
Krupnozrni pesak	2 - 1	50 - 20
Srednjezrni pesak	1 - 0,5	20 - 5
Sitnozrni pesak	0,5 - 0,25	5 - 1
Prašinasti pesak	0,25 - 0,05	1 - 0,1
Prašina	0,05 - 0,005	10^{-4} - 10^{-6}
Glina	0,005	10^{-6} - 10^{-8}

Vrednosti koeficijenta filtracije iz tabele 12. odnose se na temperaturu 10°C. Za druge temperature potrebno je popraviti koeficijenta filtracije (k) množenjem sa τ , koji se određuje pomoću obrasca

$$\tau = 0,70 + 0,03t \quad (42)$$

gde je:

t - temperatuta vode u (°C).

Koeficijent filtracije se može odrediti, uglavnom, na dva načina: računski, na osnovu raznih empirijskih obrazaca, i laboratorijski.

Jedan od najpoznatijih načina određivanja vrednosti "k" je preko Hazenovog obrasca:

$$k = \tau C d_{ef}^2 \quad (m / dan) \quad (43)$$

gde je :

τ - temperaturna popravka (42),

C - empirijski koeficijent,

$$C = 400 + 40(p - 26) \quad (44)$$

P - poroznost u (%),

d_{ef} - efektivni prečnik zrna (mm), brojno jednak prečniku onih zrna kojih u steni ima manje od 10% po težini.

Obrazac Hezena se može primeniti samo na jednorodne vrste peska. Kod neravnomernog granulometrijskog sastava potrebno je prethodno odrediti koeficijent nehomogenosti stena (f) po obrascu:

$$f = \frac{d_o}{d_{ef}} \quad (45)$$

Ovde je :

d_o - prečnik čestica u (mm) kojih po težini ima manje od 60%.

Koeficijent nehomogenosti ne sme biti veći od 5, jer u tom slučaju treba primeniti Slihterov obrazac:

$$k = 496 M d_{ef}^2 \quad (46)$$

gde je:

M - koeficijent koji zavisi od poroznosti i određuje se iz tabele 13. (Slihterove)

Tabela 13. Vrednost koeficijenta (M) u zavisnosti od poroznosti (p)

p	M
0,26	0,1187
0,27	0,135
0,28	0,1517
0,29	0,1694
0,30	0,1905
0,31	0,2122
0,32	0,2356
0,33	0,2601
0,34	0,2878
0,35	0,3136
0,36	0,3473
0,37	0,3808
0,38	0,4154
0,39	0,4254
0,40	0,4922
0,41	0,5339
0,42	0,5783
0,43	0,6269
0,44	0,6776
0,45	0,7295
0,46	0,7838
0,47	0,8455

Laboratorijski način određivanja koeficijenta filtracije sastoji se u sledećem:

U cilindričnu posudu stavlja se uzorak materijala i dovodi do stanja zasićenja, pri čemu dolazi do istiskivanja vazduha iz pora. Posle toga se voda filtrira kroz zasićen materijal.

Koeficijent filtracije se izračunava po obrascu:

$$k = \frac{q}{AI} \quad (m/dan) \quad (47)$$

gde je:

q - količina utrošene vode u eksperimentu (m^3/dan),

A - površina poprečnog preseka ispitivanog uzorka (m^2),

I - hidraulički gradijent primjenjen tokom eksperimenta.

Određivanje koeficijenta filtracije rastresitiog materijala i peskova vrši se pri hidrauličnom gradijentu $I \leq 1$.

Za određivanje koeficijenta filtracije slabo vezanih materijala (slabo vezanih peščara, glinica i glina) primjenjuju se pribori kod kojih se može ostvariti hidraulički gradijent veći od jedinice.

4.4. SLOBODNE PODZEMNE VODE

Mogu se izdvojiti dva glavna tipa slobodnih podzemnih voda:

- lutajuće i
- akumulirane.

Ova dva tipa u prirodi vrlo često prelaze jedan u drugi.

Lutajuće podzemne vode se kreću kroz stenske mase u vidu krupnijih kapljica, vodenih pramenova i mlazeva, putevima najmanjeg otpora. Formiraju se, uglavnom, za vreme kišnih perioda i topljenja snega, ponirući iz površinskih slojeva čak i u veće dubine. Deo ovih prelazi i u fizički vezanu vodu.

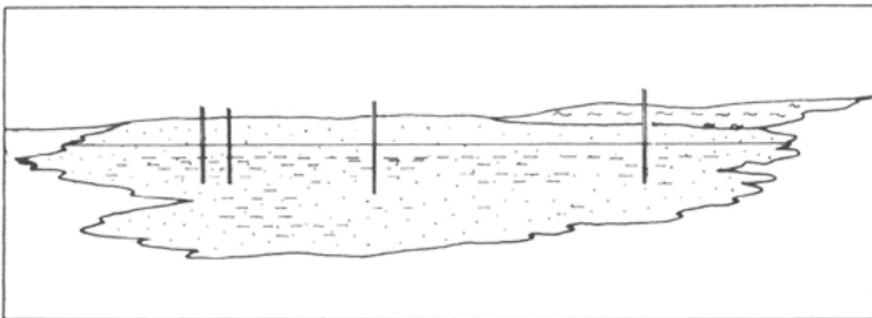
Akumulirane slobodne podzemne vode zauzimaju stalna mesta u stenama. Imaju svojstvo da uspore ili spreče kretanje lutajućih voda. Takve akumulacije obično se nazivaju *izdani*.

4.4.1. Izdani

Prema svojoj strukturi izdani mogu biti zbijene i razbijene.

Zbijene izdani formiraju se obično u stenama sa intergranularnom poroznošću, kao što su pesak i šljunak. Vodena masa takvih izdani srazmerno je zbijena, odnosno

koncentrisana, zato što se pore ispunjene vodom nalaze vrlo blizu i višestruko su povezane. Zbijena izdan u naslagama peska prikazana je na slici 23.



Slika 23. Zbijena izdan

Razbijene izdani su one kod kojih je celokupna struktura razbijena u mnogobrojne ogranke u stenskoj masi. Formiraju se u stenama koje su same po sebi vodonepropusne, ali su ispresecane mrežom pukotina i prslina (slika 24.). Za ovaj tip izdani važno je istaći da se ne može otkriti svakom buštinom, čak ni kada su u pitanju veće akumulacije vode. Razbijene izdani su naročito karakteristične za kraške terene.



Slika 24. Razbijena izdan

4.4.2. Tipovi izdani prema hidrodinamičkim karakteristikama

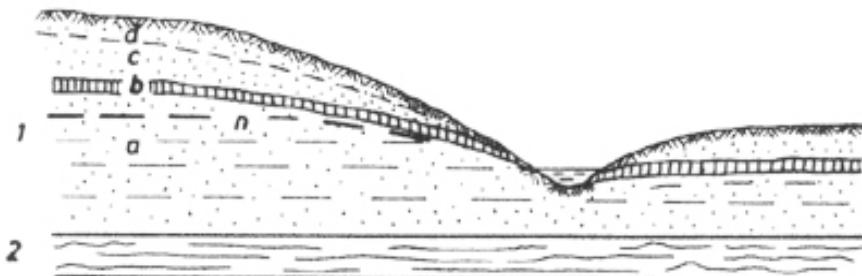
Na osnovu položaja, odnosno površine izdani, mogu se izdvojiti:

- izdani sa slobodnim nivoom (freatski tip izdani) i
- izdani sa nivoom pod pritiskom (sapete ili arteške izdani).

Izdan sa slobodnim nivoom nastaje na sledeći način (slika 25.): jedan deo atmosferskih taloga proniće kroz vodopropusne stene (1) i dopire do

vodonepropusnih stena (2) iznad kojih se sakuplja ispunjavajući intergranularne pore i obrazuje izdan sa slobodno formiranim gornjim nivoom (n). Nivo podzemne vode, pod uticajem kapilarnih sila u ovom slučaju, podiže se nešto iznad ravni (n) i ispunjava pore između zrna peska formirajući tzv. kapilarni pojasa.

Visina kapilarnog pojasa zavisi od krupnoće zrna.



1 - vodopropusne stene, 2 - vodonepropusne stene, a - zona podzemne vode, b - kapilarni pojasa, c - prelazni pojasa, d - rudinska voda, n - gornji nivo podzemne vode

Slika 25. Izdan sa slobodnim nivoom

U tabeli 14. date su približne visine kapilarnog pojasa za neke karakteristične stene.

Tabela 14. Visina kapilarne stene

Stene	Visina kapilarnog penjanja vode (m)
Prašinski pesak	0,75 - 0,50
Sitnozrni pesak	0,50 - 0,25
Srenjezrni pesak	0,25 - 0,10
Krupnozrni pesak	0,30 - 0,05
Šljunak	0,01
Krupni šljunak	0,05 - 0,01

Kod prirodnog ili veštačkog odvodnjavanja gornji nivo, koji se slobodno formira, zauzima paraboličan oblik (slika 25.).

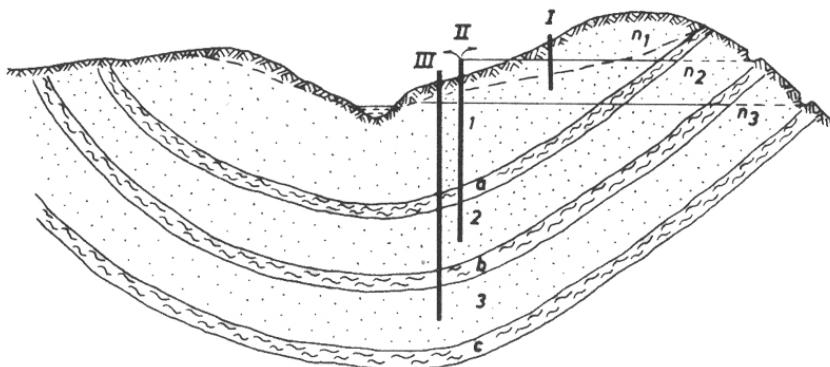
Slobodno formiran gornji nivo zavisi od reljefa terena i propustljivosti stena. Ukoliko nema oticanja vode, njen nivo neće biti horizontalan. Takav će biti samo u slučaju kada je reljef terena na površini ravan, a vodonepropusne podinske stene horizontalne.

Moćnost tzv. prelaznog pojasa (c) zavisi od reljefa terena, klimatskih prilika i zbog toga može varirati u srazmerno širokim granicama.

Najviši položaj zauzima rudinski pojaz (d), a on je male debljine, prosečno oko 2 m.

Zona iznad slobodnog nivoa izdani, pa sve do površine terena naziva se nadizdanskim ili aeracionom zonom.

Sapeti tip izdani čine vode akumulirane u terenu u kojem se vodopropusne i vodonepropusne stene po nekoliko puta smenjuju zauzimajući sinklinalni položaj, (slika 26.)



1, 2, 3 - vodopropusne stene-kolektori
a, b, c - vodonepropusne stene-izolatori
n₁, n₂, n₃ - nivoi podzemnih voda

Slika 26. Sapeti tip izdani (sa nivom pod pritiskom)

U vodopropusnim stenama (1, 2 i 3) formira se izdan sa slobodnim nivoom. Izdani (2 i 3) usled prisustva vodonepropusnih slojeva (a, b i c) su delimično sapete i nalaze se pod hidrostatickим pritiskom te daju arteški tip izdani.

Ako se izradi bušotina I (slika 26.) do prvog vodonosnog sloja (I) nivo izdani u njoj će se popeti do takozvanog piezometrijskog (statičkog) nivoa (n₁), koji odgovara hidrauličnom pritisku pod kojim se nalazi voda na tom terenu.

U bušotini II (slika 26.) voda će pod dejstvom hidrostatickog pritiska izbijati na površinu. To je primer arteške vode sa pozitivnim piezometrijskim nivoom.

Bušotina III (slika 26.) nabušće takozvanu subartešku vodu sa negativnim piezometrijskim pritiskom koji nije dovoljan da vodu podigne na površinu.

4.5. KRETANJE PODZEMNE VODE

Voda se kreće kroz stene pod uticajem prirodnih i veštačkih faktora. Zavisno od oblika vode u steni ovo kretanje može biti izazvano dejstvom različitih sila u uslovima različitih agregatnih stanja vode. Pri tome se razlikuje zona aeracije i zona zasićenja. Zona aeracije se nalazi iznad zone potpunog zasićenja stene.

4.5.1. Kretanje vode u zoni aeracije

U zoni aeracije mogu se javiti sledeći vidovi kretanja vode:

- kretanje vode u vidu pare,
- kretanje vezane vode (higroskopne i opnene),
- kretanje kapilarnih voda,
- kretanje gravitacionih voda.

Kretanje vode u vidu pare usmereno je od stena veće vlažnosti u pravcu stena manje vlažnosti, slojeva više temperature, ka slojevima niže temperature (npr. zimi odozdo naviše, a leti odozgo naniže).

Higroskopska voda se može kretati u vidu pare samo na temperaturama preko 100 °C.

Opnena voda, kao poseban vid vezane vode, kreće se pod uticajem sorpcionih sila od čestica sa debljom opnom u pravcu čestica sa tanjom opnom. Ovakvo kretanje nastaje samo ako je vlažnost stene neujednačena i manja od maksimalne molekularne sposobnosti upijanja vlage. Ako je vlažnost veća od maksimalne molekularne sposobnosti upijanja javlja se kretanje kapilarnih voda.

Kretanje kapilarnih voda je posledica uticaja kapilarnih sila i može se vršiti u bilo kom pravcu, a kretanje kapilarne vode pod uticajem sile teže samo naniže. Pravac kretanja ili nepokretljivosti kapilarnih voda zavisi od toga koja od ovih sila ima veću vrednost.

Kretanje gravitacionih voda u zoni aeracije svodi se na pronicanje površinskih voda i atmosferskih taloga (infiltracija).

Slobodno pronicanje vode nastaje pod uticajem kapilarnih i gravitacionih sila. Slobodnom pronicaju suprostavljaju se sile trenja i vazduh u stenskim porama. Kretanje slobodne vode u zoni aeracije, kada ova nije potpuno zasićena, podleže zakonu Darsija. Najveći praktični značaj za kretanje vode u zoni aeracije ima pronicanje (infiltracija).

4.5.2. Kretanje vode u zoni zasićenja (filtracija)

Kretanje gravitacionih podzemnih voda u zoni zasićenja kroz pore, pukotine i kaverne, naziva se filtracija. Ovo kretanje može biti laminarno ili turbulentno.

a. Laminarno kretanje

Kod laminarnog kretanja odvojeni slojevi (elementarne struje) vode kreću se međusobno paralelno.

Laminarno strujanje javlja se kod vrlo malih brzina kretanja vode kroz rastresite stene i pukotine malih dimenzija. Ovo kretanje podleže linearnom zakonu Darsija:

$$Q = A w \quad (48)$$

ili

$$Q = A k l \quad (49)$$

gde je:

Q - količina, odnosno zapremina vode u m^3 koja prođe kroz stenu u jedinici

vremena (m^3/s), ($m^3/\text{čas}$), (m^3/dan)

A - površina poprečnog preseka vodonosnog sloja (m^2)

k - koeficijent filtracije (m^3/s), ($m^3/\text{čas}$), (m^3/dan)

l - hidraulički gradijent

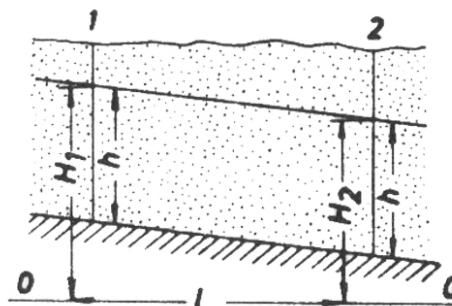
Hidraulički gradijent se određuje iz jednačine:

$$l = \frac{H_1 - H_2}{l} = \frac{\Delta h}{l} \quad (50)$$

ovde je:

$\Delta h = H_1 - H_2$ - visinska razlika između dva preseka na nivou izdani (sl. 27.)

l - horizontalno rastojanje između dva preseka (m)



Slika 27. Šema određivanja hidrauličkog gradijenta

Ako levu i desnu stranu jednačine podelimo sa A dobiće se izraz za brzinu filtracije:

$$w = \frac{Q}{A} = k l \quad (51)$$

Iz jednačine (51) proizilazi da je brzina filtracije (w) proporcionalna koeficijentu filtracije i hidrauličkom gradijantu.

Pošto je u jednačini (51) površina poprečnog preseka vodene struje izjednačena sa površinom poprečnog preseka vodenog sloja (A), to brzina (w) nije stvarna brzina kretanja vode, već prividna.

Voda se u steni kreće samo kroz pore, pa će poprečni presek vodene struje biti:

$$A_l = A \cdot p \quad (52)$$

gde je:

p - poroznost stena

Stvarna brzina kretanja vode u porama će biti:

$$w_{st} = \frac{Q}{A \cdot p} \quad (53)$$

Ako u jednačini (53) umesto količnika Q/A uvrstimo brzinu (w) dobijemo

$$w_{st} = \frac{w}{p} \quad (54)$$

Obrazac (54) pokazuje da je stvarna brzina kretanja vode (w_{st}) veća od brzine filtracije (w), pošto je poroznost uvek manja od jedinice.

Iz jednačine (48) i (49) imamo da je:

$$w = \frac{Q}{A} \quad \text{i} \quad k = \frac{Q}{Al} \quad (55)$$

Ako se uzme da je vrednost hidrauličkog gradijenta jednaka jedinici, proizilazi de je:

$$k = w \quad (56)$$

Laminarno strujanje na koje se odnosi Darsijev zakon nastaje kod malih Rejnoldsovi brojeva. Ispitivanja su pokazala da vrednost Rejnoldsovog broja pri laminarnom kretanju podzemnih voda iznosi od 7 do 9.

Vrednost Rejnoldsovog broja određuje se putem obrasca Pavlovskog:

$$Re_{kr} = \frac{l}{0,75e + 0,23} \cdot \frac{wd_{ef}}{\nu} \leq 9 \quad (57)$$

gde je:

e - koeficijent poroznosti

w - brzina filtracije (m/s)

d_{ef} - efektivni prečnik zrna (m) - tj. prečnik onih zrna kojih u steni ima manje od 10% po težini

ν - kinematička viskoznost filtrirajuće vode (m^2/s), određuje se iz tabele 15.

Tabela 15. Kinematička viskozrnost vode u zavisnosti od temperature

Temperatura vode t (°C)	Kinematička viskozrnost filtrirajuće vode v (m ² /s)
0	1,78 10 ⁻⁶
5	1,52 10 ⁻⁶
10	1,31 10 ⁻⁶
20	1,14 10 ⁻⁶
30	1,01 10 ⁻⁶
40	0,66 10 ⁻⁶
50	0,55 10 ⁻⁶

b. Turbulentno kretanje

Ovo kretanje nastaje kod većih brzina strujanja. Za određivanje brzine turbulentnog kretanja podzemnih voda (u pukotinama, u krupnozrnnim stenama i sa kupnim porama) važi zakon Šezi :

$$W = k_k \sqrt{l} \quad (\text{m/dan}) \quad (58)$$

gde je:

W - brzina filtracije (Q/A) u (m/dan),

k_k - koeficijent filtracije, odnosno koeficijent propustljivosti (m/dan),

l - hidraulički gradijent.

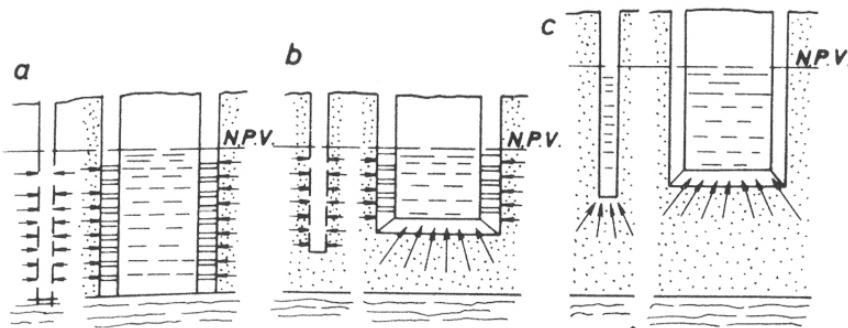
4.6. BUNARI

Bunari predstavljaju vertikalne objekte izrađene do akumulacije podzemne vode. Ako se takvim objektima dopre do vodonosnog horizonta pod pritiskom, naziva se arteškim bunarima.

I jedna i druga vrsta bunara mogu biti savršeni ili nesavršeni.

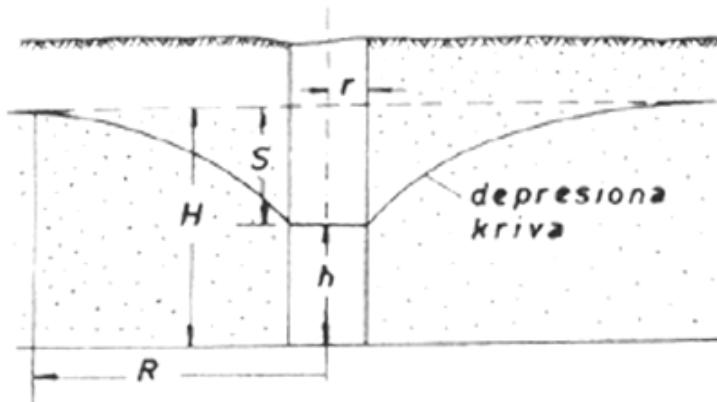
Savršeni bunari moraju se izraditi do vodonepropusnog sloja prodirući celom visinom kroz vodonosni horizont. Nesavršeni bunari ulaze samo delom u vodonosni sloj.

Voda u savršeni bnar dotiče samo kroz zidove (sl. 28-a.), a u nesavršeni kroz zidove i dno (sl. 28-b.) ili samo kroz dno bunara (sl. 28-c).



Slika 28. Savršeni (a) i nesavršeni (b, c) bunar

Pumpanjem vode iz savršenog bunara obrazuje se oko njega depresiona kriva u vidu levka (slika 29.).



Slika 29. Depresiona kriva kod bunara

Horizontalno rastojanje između ose bunara i tačke gde se depresiona kriva spaja sa statickim nivoom naziva se poluprečnik dejstva bunara (R).

Proučavajući zonu dejstva bunara, razni autori su dolazili do različitih obrazaca za određivanje poluprečnika dejstva. Tako na primer:

Prema I. P. Kusakinu:

$$R = 2S \sqrt{Hk} \text{ (m)} \quad (59)$$

Prema V. Zihardtu:

$$R = 10S \sqrt{k} \text{ (m)} \quad (60)$$

Prema E. E. Karkisu:

$$R = \sqrt{30kHS(1 + 0,00015r^2)} \quad (\text{m}) \quad (61)$$

gde je:

k - koeficijent filtracije (m/dan),

H - visina vodenog stuba od bunara do statičkog nivoa vode (m),

h - vertikalno rastojanje od dna do nivoa vode u bunaru (m),

S = H - h - sniženje nivoa vode pri pumpanju (m),

r - poluprečnik bunara (m).

Smatra se da obrazac Karkisa treba primeniti za vode koje se nalaze pod pritiskom.

Praktične vrednosti poluprečnika dejstva (R) za neke slojeve su date u tabeli 16.

Tabela 16. Poluprečnik dejstva (R)

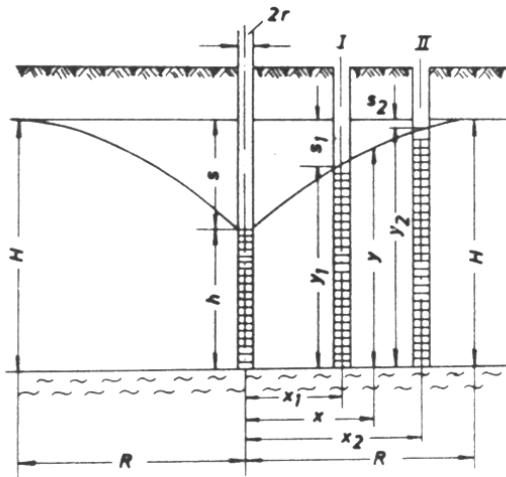
Slojevi	Prečnik čestica (mm)	Poluprečnik dejstva (m)
Sitnozrni pesak	0,5 - 0,25	25 - 100
Srednjezrni pesak	1,0 - 0,5	100 - 200
Krupnozrni pesak	2,0 - 1,0	200 - 400
Veoma krupan pesak ili sitan šljunak	10,0 - 2,0	400 - 600
Srednje krupni šljunak	100,0 - 10,0	600 - 1500
Krupan šljunak	200,0 - 100,0	1500 - 3000

4.6.1. Količina vode koja pritiče ka savršenom bunaru

Količina vode koja pritiče ka savršenom bunaru Q (m^3/dan) može se odrediti na sledeći način:

Površina A, kroz koju pritiče voda (sl. 30.), za proizvoljnu visinu (y) i horizontalno rastojanje od centra bunara (x) iznosi:

$$A = 2\pi \cdot x \cdot y \quad (62)$$



Slika 30. Određivanje količine vode kod savršenog bunara

Količina vode koja pritiče na osnovu Darsijevog zakona je:

$$Q = Akl = 2\pi xyk \quad (63)$$

a hidraulički gradijent:

$$l = \frac{dy}{dx} \quad (64)$$

Na osnovu toga će biti:

$$Q = 2\pi xyk \frac{dy}{dx} \quad (65)$$

odnosno :

$$\frac{Q}{2\pi k} \cdot \frac{dx}{x} = ydy \quad (66)$$

Ako posmatramo proticanje vode od preseka I do preseka II (sl. 30.) i integralimo biće:

$$\frac{Q}{2\pi k} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \int_{y_1}^{y_2} ydy \quad (67)$$

odnosno:

$$\frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{x_2}{x_1} = \frac{1}{2} (y_2^2 - y_1^2) \quad (68)$$

Jednačina (68) je matematički izraz depresione krive pri pumpanju vode iz savršenog bunara.

Pošto je $x_1 = r$, a $x_2 = R$, odnosno $y_1 = h$ i $y_2 = H$, iz jednačine (69) može se izvesti da je:

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} (lnR - lnr) \quad (70)$$

ili

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{lnR - lnr} \quad (71)$$

Ako se sniženje nivoa vode u bunaru označi sa S , onda je:

$$H^2 - h^2 = (2H - S)S, \text{ pa će } Q \text{ biti:}$$

$$Q = \pi k \frac{(2H - S)S}{lnR - lnr} \quad (72)$$

i dalje:

$$Q = 1.367k \frac{(2H - S)S}{\log R - \log r} \quad (73)$$

4.6.2. Količina vode koja pritiče ka savršenom arteškom bunaru

Pošto se vodonosni horizont kod arteških voda nalazi pod pritiskom, moguće je da voda izbjije na površinu, ali isto tako da se u slučaju manjeg hidrostatičkog pritiska samo podigne iznad vodonosnog horizonta. Ako se voda pumpa iz takvog horizonta formira se depresioni levak u krovinskim naslagama tj. iznad vodonosnog horizonta (sl. 31.).

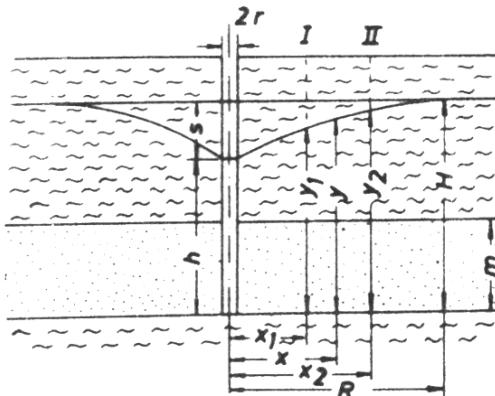
Koristeći ranije izvedene zaključke može se napisati da je:

$$Q = \frac{2\pi km(H - h)}{\ln R - \ln r} \quad (74)$$

ili:

$$Q = 2.73 \frac{km(H - h)}{\log R - \log r} = 2.73 \frac{kmS}{\log R - \log r} \quad (75)$$

pri čemu je $S = H - h$.



Slika 31. Određivanje količine vode kod savršenog arteškog bunara

Obrazac (75) pokazuje da kapacitet arteškog bunara zavisi od snižavanja vode u bunaru i da je ta zavisnost linearna, pa se može napisati da je:

$$Q = qS \quad (\text{m}^3/\text{dan}) \quad (76)$$

gde je:

q - specifični kapacitet bunara, odnosno pritok vode u bunar (m^3/dan), kod sniženja nivoa vode za 1m ($q = \text{m}^3/\text{dan}/\text{m}^3$)

Ova linearна zavisnost između Q i S važi samo u slučaju malih sniženja nivoa. Kod većih sniženja nivoa dolazi do povećanog otpora kretanju vode kroz vodonosni horizont, kroz filter cevi, pa nastaje krivolinijska zavisnost sniženja nivoa "S". Ovo sniženje nivoa S najbolje se može izraziti jednačinom:

$$S = aQ + bQ^2 \quad (77)$$

Na osnovu toga kapacitet bunara iznosi:

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4bS} - a}{2b} \quad (78)$$

Obrazac (78) može se primeniti ako je $\frac{S}{S_{\max}} < 2$,

gde je:

S_{\max} - maksimalno sniženje nivoa u probnom pumpanju, a
 S - sniženje nivoa za traženi kapacitet.

U jednačinama (77 i 78) a i b su koeficijenti koji se moraju praktično odrediti. Postupak određivanja koeficijenta a i b je sledeći:

Potrebno je izvršiti dva pumpanja sa dva merenja, pa utvrditi kapacitet bunara Q_1 pri sniženju nivoa vode S_1 i kapacitet bunara Q_2 pri sniženju nivoa S_2 . Nakon toga vrednosti koeficijenata izračunavaju se po obrascima:

$$b = \frac{S_2 Q_1 - S_1 Q_2}{Q_1 Q_2 (Q_2 - Q_1)} \quad (79)$$

$$a = \frac{S_1}{Q_1} - b Q_1 \quad (80)$$

4.6.3. Količina vode koja pritiče u nesavršeni bunar

Voda ka nesavršenom bunaru pritiće se kako sa bočnih površina, tako i preko dna bunara (ili bušotine). Zbog toga linije proticanja u blizini bunara imaju oblik krivih (sl. 32.), a na izvesnoj udaljenosti postaju horizontalne prave. Time pritok vode dobija karakteristike podzemnog toka kod savršenog bunara. Forhajmer je pritok vode definisao kao odnos kapaciteta savršenog (Q) i nesavršenog (Q_1) bunara sledećom jednačinom:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{h}{t}} \cdot \sqrt[4]{\frac{h}{2h-t}} \quad (81)$$

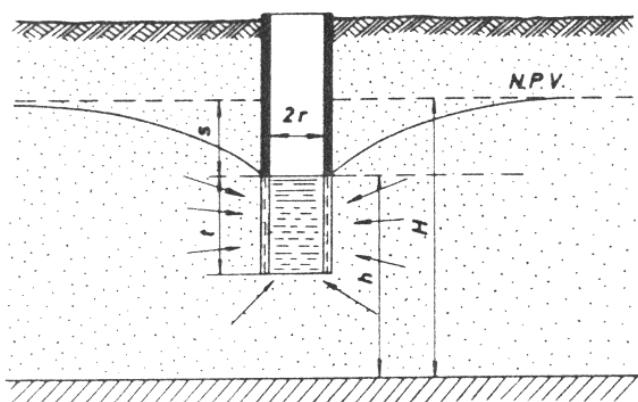
Ovde je :

Q - kapacitet savršenog bunara

Q_1 - kapacitet nesavršenog bunara

h - visina od vodonepropusnog sloja do nivoa vode u bunaru

t - visina vode u nesavršenom bunaru



Slika 32. Određivanje količine vode kod nesavršenog bunara

Ako se u jednačinu (81) uvrsti obrazac Duit-a (71) za savršen bunar, može se odrediti pritok vode u nesavršen bunar koji ima propustljive zidove i nepropusno dno.

$$Q_1 = \frac{k\pi(H_2^2 - h^2)}{1nR - 1nr} \sqrt{\frac{t}{h}} \sqrt[4]{\frac{2h-t}{h}} \quad (82)$$

Forhajmer daje sledeće obrasce za nesavršeni bunar sa propustljivim dnom i nepropustljivim zidovima:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{h}{t+0,5r}} \sqrt{\frac{m}{2h-t}} \quad (83)$$

Kada je u pitanju arteški nesavršen bunar sa propustljivim zidovima i nepropustljivim dnom koristi se obrazac:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{m}{t}} \sqrt[4]{\frac{m}{2m-t}} \quad (84)$$

gde je:

m - moćnost horizonta sa arteškom vodom.

Ako nesavršen arteški bunar ima propustljivo dno i nepropustljive zidove važi obrazac:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{m}{t+0,5r}} \sqrt[4]{\frac{m}{2m-t}} \quad (85)$$

4.6.4. Određivanje koeficijenta filtracije (k) kod bunara

Da bi se odredio koeficijent filtracije (k) potrebno je vršiti opitno pumpanje vode i postaviti dve osmatračke bušotine.

Ako se količina ispumpane vode označi sa Q_1 , nivoi vode u osmatračkim bušotinama sa h_1 i h_2 , a udaljenost osmatračkih bušotina od bunara sa a_1 i a_2 , koeficijent filtracije će biti:

$$k = \frac{Q(\ln a_2 - \ln a_1)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \quad (86)$$

Za arteški bunar:

$$k = \frac{Q(\ln a_2 - \ln a_1)}{2\pi m(h_2 - h_1)} \quad (87)$$

Obrazac (87) može se napisati i u sledećem obliku:

$$k = \frac{Q(\ln a_2 - \ln a_1)}{\pi(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \quad (88)$$

kada se zameni $h_1 = H - S_1$ i $h_2 = H - S_2$

Ovaj obrazac je pogodniji za praktičnu primenu pošto se vrednost S_1 i S_2 tj. sruštanja nivoa mogu direktno meriti.

II ODVODNJAVA VJEĆE PODZEMNIH RUDNIKA

1. PRILIV VODE U RUDNIČKE PROSTORIJE

U fazi istraživanja, odnosno pre početka izrade rudarskih prostorija i otvaranja rudnika prikupljaju se osnovni podaci o radnoj sredini, i posebno sa stanovišta hidroloških i hidrogeoloških uslova.

Osnovne prostorije otvaranja i razrade ležišta mineralnih sirovina, pojavljuju se u obliku:

- vertikalnih okana koja presecaju više slojeva stena različitih hidrogeoloških karakteristika,
- horizontalnih prostorija (potkopa, smernih i poprečnih hodnika u odnosu na pružanje ležišta i pratećih stena),
- kosih prostorija (niskopa, uskopa, kosih okana, sipki).

Pritok vode u rudničke prostorije može biti različit od slučaja do slučaja i veoma promenljiv u toku izrade, a i kasnije tokom korišćenja. Zavisno od hidrogeoloških uslova zaleganja ovodnjениh stena, priliv vode u prostorije koje se izrađuju je obično, kod statičkih voda, najveći u početku izrade prostorije, da bi se potom ustalio kao konstantan priliv. U pojedinim slučajevima izradom prostorije ocede se okolne stene, tako da priliv vode opadne na neku malu, konstantnu vrednost. To nije slučaj kod ovodnjениh stena, kolektora vode, koji se prihranjuju površinskim vodama ili iz okolnih kolektora arteških voda, pod pritiskom. Pored konstantnog priliva vode u rudničke prostorije, može se dogoditi i iznenadni prodor vode pod većim ili manjim hidrostatičkim pritiskom.

Na osnovu hidrogeoloških osobina stena i ležišta u kojima se izrađuju rudničke prostorije, rudnici se razvrstavaju u četiri kategorije:

- I kategorija - stene i ležišta koja se pojavljuju u neporoznim i čvrstim stenama,
- II kategorija - stene i ležišta koja se pojavljuju u sredinama sa zbijenom izdanskom vodom i intergranularnom poroznošću,
- III kategorija - stene i ležišta sa pukotinskom poroznošću i razbijenom izdanskom vodom,
- IV kategorija - stene i ležišta sa kavernozonom poroznošću i povezanim pukotinama.

Priliv vode u rudarske prostorije pri njihovoj izradi i kasnije, u fazi eksploatacije, prognozira se na osnovu vodoobilnosti slojeva kroz koje prostorije prolaze, dubine zaleganja i moćnosti vodonosnih horizonata, načina izrade prostorija i njihovog osiguranja. Svi ovi podaci prikupljaju se tokom istraživanja ležišta dubinskim bušenjem.

1.1. PRILIV VODE PRI IZRADI VERTIKALNIH PROSTORIJA

Pri izradi ili produbljenju okana odvodnjavanje je uslov koji omogućava izvođenje ovih radova, naročito ako se radi o vodonosnim stenama. Pritok vode u okno može biti različit, a može se očekivati priliv podzemne rudničke vode, zatim izdanske vode (izdan sa slobodnim nivoom) iz kolektora na površini ili arteške vode. U okno može prodreti površinska voda reka i potoka, ako je okno locirano tako da mu je ušće ispod maksimalnih voda u stogodišnjem povratnom periodu.

1.2. PRILIV VODE U HORIZONTALNE RUDNIČKE PROSTORIJE

Pri otvaranju vodonosnih stena (kolektora vode) horizontalnim rudničkim prostorijama dolazi do njihovog dreniranja i pojave vode u prostorijama. Horizontalne rudničke prostorije se izrađuju sa nagibom do 5% sa obaveznim iskopom kanala za odvođenje vode. Zbog toga pojava vode u hodnicima direktno ne ometa u većoj meri izradu hodnika. Pojava kapajuće vode ugrožava radne uslove, umanjuje produktivnost rada, produžava vreme izrade i povećava troškove. Nakon izrade hodnika, po dreniranju vodonosnih slojeva u zoni uticaja prostorije, priliv vode u prostoriju se smanjuje ako se izdan ne prihranjuje atmosferskim ili vodozanim vodama. Zbog toga se, obično, prognozira pri projektovanju maksimalni priliv vode u toku njegovog korišćenja. Uopšteno, priliv vode u horizontalne rudničke prostorije u toku njihove izrade i korišćenja posmatra se u funkciji međusobnih položaja kolektora i prostorije i vremena oceđivanja vode koja gravitira prostoriji. Voda u horizontalnu prostoriju pritiče iz stropa, bokova i sa čela, te se priliv određuje iz relacije:

$$Q = [(bp - 2hp)i + b \cdot l] \frac{K}{p} \cdot p \cdot \frac{D_{ki}}{X_{ki}} \quad (m^3/h), \text{ odnosno}$$

$$Q = 2 \text{ kihb Sl} \left(R - \frac{b}{2} \right) (m^3/h),$$

gde su:

bp - širina hodnika (m),

hp - visina hodnika (m),

i - dužina hodnika izrađena u kolektoru vode (m),

D_{ki} - vertikalna visina (debljina kolektora) na mestu ulaska hodnika,

X_{ki} - rastojanje od čela hodnika dokle doseže uticaj hodnika u pravcu ose hodnika,

K - koeficijent filtracije (m/h),

p - poroznost stena (%).

$\ell = D_{ki}/i$ – hidraulički gradijent

1.3. PRILIV VODE U KOSE RUDNIČKE PROSTORIJE

Mehanizam priticanja vode u kose rudničke prostorije isti je kao i kod priticanja vode u okna i hodnike. Ipak, položaj kosih prostorija je takav da najčešće presecaju ili prate kolektore vode u većoj dužini nego što se dešava pri otvaranju hodnicima i oknima. Zbog toga se ovde vodi računa o načinu zaledanja vodonosnih naslaga i lociranja kosih prostorija u nepropusnim stenam imajući u vidu da u njih prodire voda iz stropa, bokova i poda prostorije.

Odvodnjavanje kosih prostorija je teže od odvodnjavanja okna zbog veće dužine i zbog teže manipulacije sa opremom za odvodnjavanje, koja ne može slobodno da visi ili da se spušta pomoću užadi.

Maksimalni priliv vode u kosu prostoriju javlja se pri otvaranju kolektora vode, odnosno ovodnjene stene. Daljom izradom, priliv vode se povećava do neke dužine zbog priliva vode iz podine, a potom opada zbog smanjenja priliva iz stropa. Maksimalni priliv se određuje po formuli:

$$Q_{\max} = K \left[(2b + 2h)li + b \cdot h \right] \frac{S}{\left(R - \frac{b}{2} \right)} \quad (m^3/h),$$

gde su:

b - širina prostorije (m),

h - visina prostorije (m),

S - srednja dubina prostorije od slobodnog nivoa vode u kolektoru,

R - radijus uticaja niskopa na formiranje depresionog levka,

S/R - hidraulički gradijent,

l - dužina prostorije u kolektoru vode (m).

Po izradi kose prostorije dolazi do ocedivanja vode iz zone uticaja, pa se priliv stabilizuje na prosečni (minimalni) koji zavisi od prihranjivanja kolektora vodom. Cela dužina kose prostorije biće suva do najniže tačke preseka niskopa sa vodonepropusnim slojem. U tom slučaju maksimalni i minimalni priliv vode može biti određen u funkciji depresionog levka.

$$Q_{\max} = 2Klbh \cdot \frac{S}{\left(R - \frac{b}{2} \right)} \quad (m^3/h)$$

$$Q_{\min} = 2Klb \cdot 0,01h \cdot \frac{S}{\left(R - \frac{b}{2} \right)} \quad (m^3/h)$$

U zavisnosti od položaja niskopa prema kolektoru biće i priliv vode. Niskop obično seče dijagonalno kolektor, pa je moguć veći priliv vode u

prostoriji, jer voda pritiće iz veće zapremine dreniranog prostora. Zapremina dreniranog prostora iznosi:

$$V = \left(\frac{2R \cdot S}{2 \sin \alpha} + b \cdot S \right) \cdot m \quad (m^3)$$

1.4. UTICAJ METODE OTKOPAVANJA LEŽIŠTA NA OVODNJENOST RUDNIKA

Primenjeni sistemi i metode podzemnog otkopavanja ležišta mogu imati bitan uticaj na uspostavljanje veza između rudarskih prostorija i otkopa sa atmosferskim, nadzemnim i podzemnim vodama. Kakve će se veze između vodopropusnih stena i zemljine površine ostvariti, zavisi od načina upravljanja otkopanim prostorima u ležištu i litološkog sastava krovinskih naslaga iznad njega. Prema načinu upravljanja sa otkopanim prostorom razlikuju se četiri grupe metoda otkopavanja i to:

- metode sa zarušavanjem otkopanih prostora,
- metode sa ostavljanjem zaštitnih stubova,
- metode sa zapunjavanjem otkopanih prostora i
- metode sa magazioniranjem rude i zarušavanjem krovnih stena.

Otkopne metode čijom se primenom izaziva zarušavanje krovine i deformisanje zemljine površine doprinose da se u stenama, usled njihovog zarušavanja, stvara sekundarna poroznost koja omogućava veze između voda i okolnih stena i rudničkih prostorija. Ako zona zarušavanja i zona pukotina dopru do zemljine površine ostvaruju vezu između površinskih i atmosferskih voda koje gravitiraju ka koritu uleganja krovine. Ovo ulegnuće se formira na površini iznad otkopanog prostora u ležištu. Ta pojava utiče na povećanje ovodnjenosti rudarskih prostorija usled prodiranja ukupnih nadzemnih ili atmosferskih voda koje gravitiraju ka zoni zarušavanja krovine.

Pod uticajem podzemnih radova, u zavisnosti od njihove geometrije i litoloških karakteristika pratećih stena, deformisće se zemljina površina iznad ležišta. Postepeno, kako se povećeva površina otkopnih radova tako se povećava i otkopna šupljina, te dolazi do neminovnog zarušivanja krovine do određene visine:

$$h = 3m(K_p - 1)\cos \alpha \quad (m)$$

gde su:

h - visina krovine koja se lomi i zarušava u otkopani prostor (m),

m - visina otkopane šupljine (m),

K_p - koeficijent ratresanja krovine (1,1 - 1,4),

α - ugao nagiba otkopne šupljine.

2. ORGANIZACIJA ODVODNJAVA VJE RUDNIKA

2.1. PRIRODNO ODVODNJAVA VJE POTKOPIMA

Prirodno odvodnjavanje ili oticanje pod uticajem gravitacije, obično se vrši u rudnicima sa izraženom morfologijom - brdskog tipa koji su otvoreni potkopima. Voda koja pritiče u rudarske prostorije kod ovakvih rudnika sakuplja se u kanale i odvodi u površinske vodotokove. Kod izuzetno velikih priliva vode izrađuju se posebni hidrotehnički objekti, rovovi i kanali, koji mogu da prihvate povećani dotok i odvedu vodu van eksplotacionog polja rudnika. Hidrotehnički objekti za prirodno odvodnjavanje su:

- kanali raznih poprečnih preseka, nagiba i gradnje;
- potkopi, propusti, različitih dužina zavisno od konfiguracije terena i
- taložnici, prečistači i drugi objekti za čišćenje vode pre ispuštanja u vodotokove.

Odluka o izboru organizacije odvodnjavanja i izgradnje objekata odvodnjavanja donosi se na osnovu ekonomske opravdanosti, odnosno ako je:

$$C_k < C_{od}$$

C_k - cena izrade objekata odvodnjavanja,

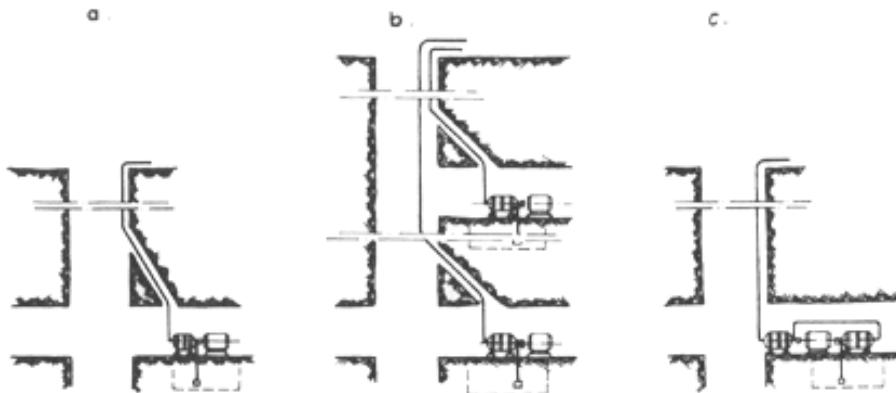
C_{od} - cena mehaničkog odvodnjavanja rudnika.

2.2. MEHANIČKO ODVODNJAVA VJE RUDNIKA

Mehaničko odvodnjavanje rudnika vrši se primenom pumpi i cevovoda kojima se voda izbacuje na površinu. Objekti za mehaničko odvodnjavanje su prihvatni kanali, vodosabirnici, pumpne komore, pumpe i cevovodi. Pri ovom načinu odvodnjavanja moguća su tri sistema:

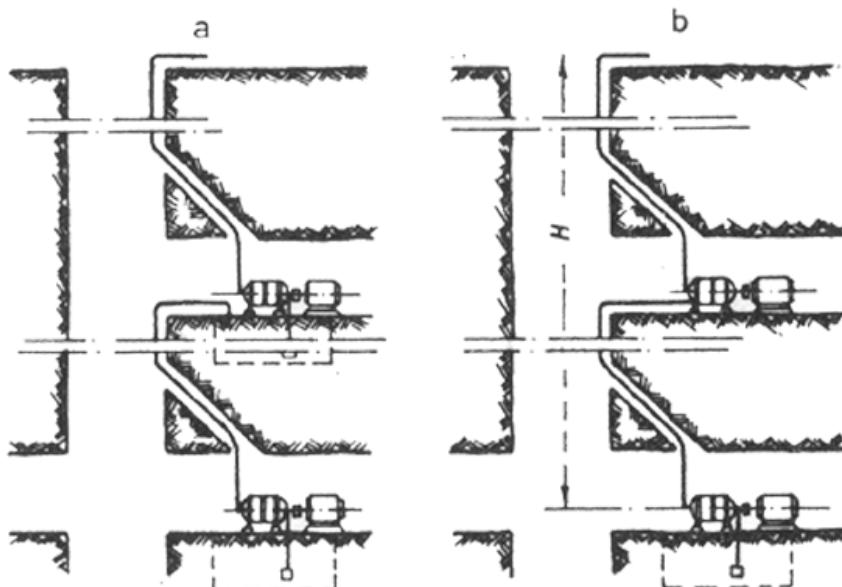
- neposredno ispumpavanje,
- posredno ispumpavanje i
- pumpanje kroz bušotine.

Neposredno ispumpavanje sastoji se u sprovođenju vode iz svih delova rudnika do centralnog vodosabirnika iz kog se voda pumpa na površinu. Ukoliko se radi na više horizontata, istovremeno, jedno od mogućih rešenja je sakupljanje vode u vodosabirnike na svakom horizontu, i ispumpavanje vode iz njih direktno na površinu. Kod ovog načina svaki horizont mora imati organizovan zaseban sistem odvodnjavanja. Šematski prikaz sistema varijanti neposrednog ispumpavanja prikazan je na slici 1 (a, b i c).



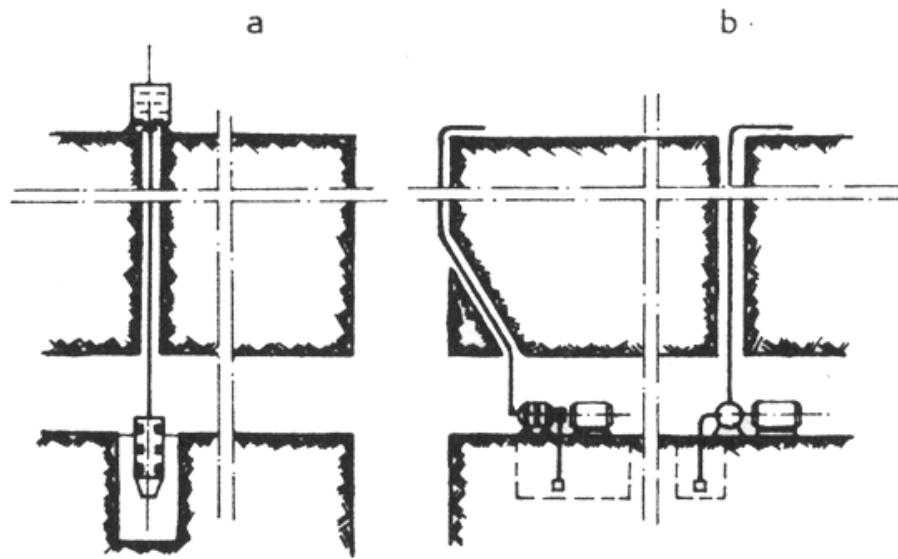
Slika 1. Odvodnjavanje rudnika neposrednim ispumpavanjem

Posredno ispumpavanje vrši se tako što se voda sa jednog horizonta prebacuje na drugi, pa tek onda izbacuje na površinu (slika 2). Posredno ispumpavanje vode može se vršiti i iz pojedinih revira u cilju izbegavanja izrade kanala za vodu u dugačkim hodnicima i smanjenja vlažnosti prostorija i vazduha.



Slika 2. Odvodnjavanje rudnika posrednim ispumpavanjem

Pumpanje vode kroz bušotinu organizuje se u posebnim slučajevima kada je potrebno skratiti kretanje vode kanalima iz udaljenih delova rudnika i starih radova (otkopanih prostora), a što je šematski prikazano slikom 3.



Slika 3. Pumpanje vode kroz bušotinu

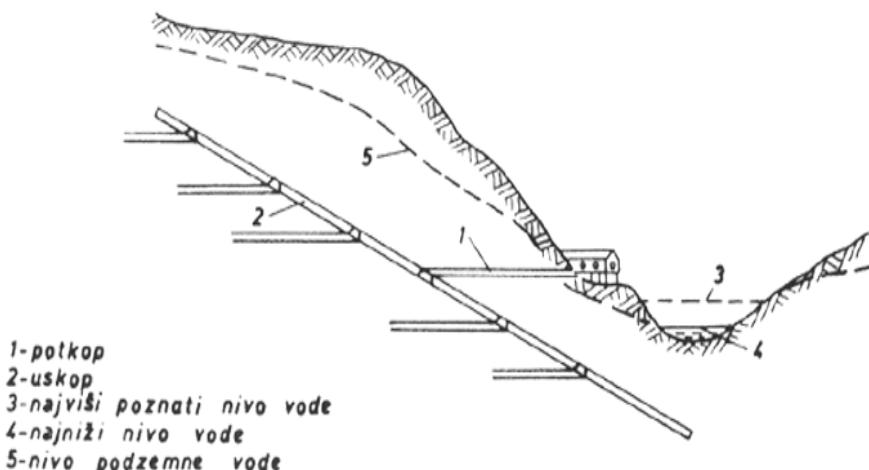
3. SPREČAVANJE PRODORA VODE U RUDARSKE PROSTORIJE

3.1. SPREČAVANJE PRODORA POVRŠINSKIH VODA

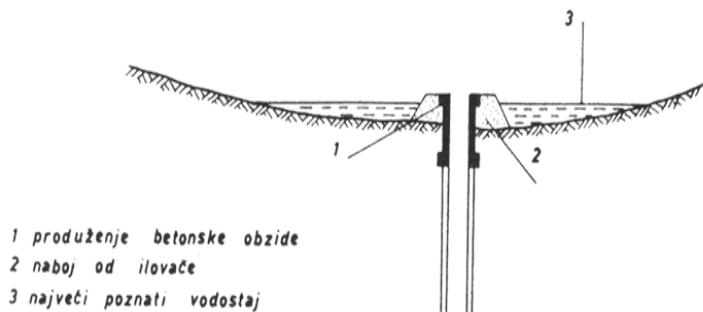
U praksi se primenjuje više načina sprečavanja prodora vode u rudarske prostorije, i to:

- izdizanje objekata otvaranja,
- premeštanje korita tekućih voda,
- ostavljanje zaštitnih stubova,
- hvatanje površinskih voda.

Pri izboru lokacije objekata otvaranja rudnika (okno, potkop, niskop) obavezno se mora voditi računa da se ušće otvora locira nešto iznad najvišeg vodostoja u tom području. Na taj način se obezbedjuje da u slučaju povećanog dotoka površinskih voda ne dođe do njihovog prodora u podzemne prostorije. Na slici 4. prikazan je slučaj lokacije potkopa a na slici 5. slučaj izbora i uređenja lokacije kod otvaranja oknom.

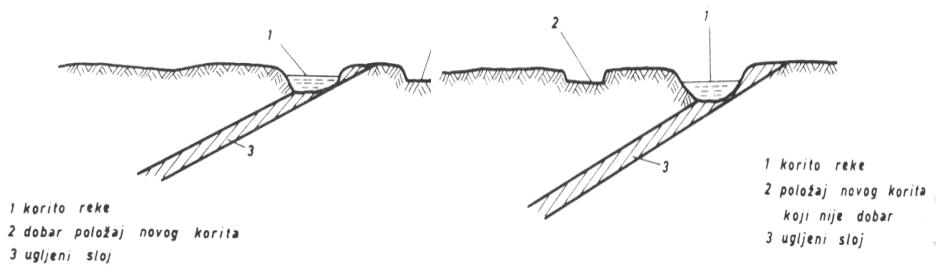


Slika 4. Lokacija potkopa



Slika 5. Lokacija okna

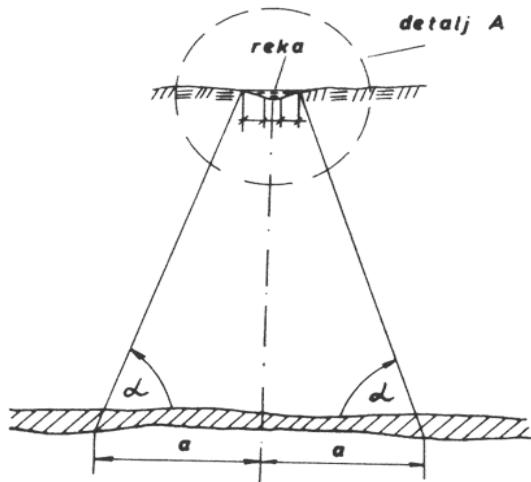
Ukoliko u ležištu koje u krovini ima vodopropusne stene teku potoci ili reke iz kojih voda može da prodre u rudnik, tada se obično primjenjuje premeštanje korita van domaćaja eksploatacionog područja (slika 6).



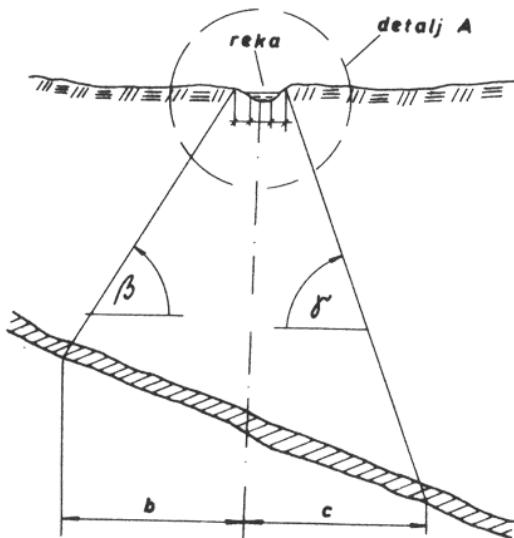
Slika 6. Primeri izmeštanja korita vodotokova van eksploatacionog područja

Ako premeštanje korita vodotokova nije moguće, ili je ekonomski neopravданo, tada se zaštita rudarski radovi štite ostavljanjem stubova koji sprečavaju prođor vode.

Dimenzionisanje zaštitnih stubova vrši se po svestrano razradjenim metodologijama. Na slici 7. prikazana je uprošćena konstrukcija konture zaštitnog stuba ispod rečnog korita u slučaju horizontalnog sloja i pravca rečnog toka upravnog na pravac pružanja sloja. Na slici 8. data je konstrukcija konture zaštitnog stuba u slučaju kada je rečni tok u pravcu pružanja sloja, koji pada pod uglom α .



Slika 7. Konstrukcija konture zaštitnog stuba za horizontalan sloj



Slika 8. Konstrukcija konture zaštitnog stuba za nagnuti sloj

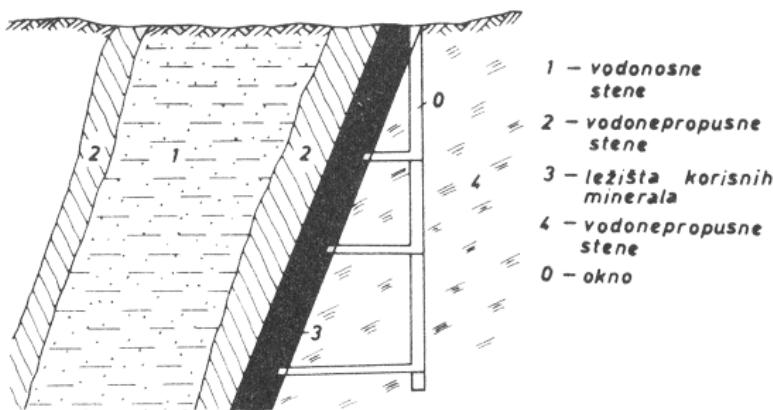
Kod vodopropusne, a naročito karstne krovine, može se spriječiti prodiranje površinskih voda koje nastaju od jakih atmosferskih taloga hvatanjem tih voda u specijalna korita - kanala sa vodonepropusnim dnem. Iz takvih kanala voda se prebacuje van domaćaja eksplotacionih radova.

3.2. SPREČAVANJE PRODORA PODZEMNIH VODA

Sprečavanje prodora podzemnih voda u rudničke prostorije najčešće se izvodi primenom sledećih metoda:

- otvaranjem kroz vodonепропусне stene i
- odvodnjavanjem vodonosnih horizonata.

Pri analizi lokacija otvaranja rudnika jedna od varijanti koja se razmatra i primenjuje je i lociranje prostorija otvaranja kroz vodonепропусне stene, što je najefikasniji način zaštite od iznenadnih prodora podzemnih voda. Na slici 9. prikazan je slučaj otvaranja ležišta oknom kroz vodonепропусне stene.



Slika 9. Otvaranje oknom kroz vodonepropusne stene

U praksi se primenjuje i oceđivanje vode iz vodonosnih stena, a što se postiže snižavanjem nivoa podzemnih voda različitim metodama, i to:

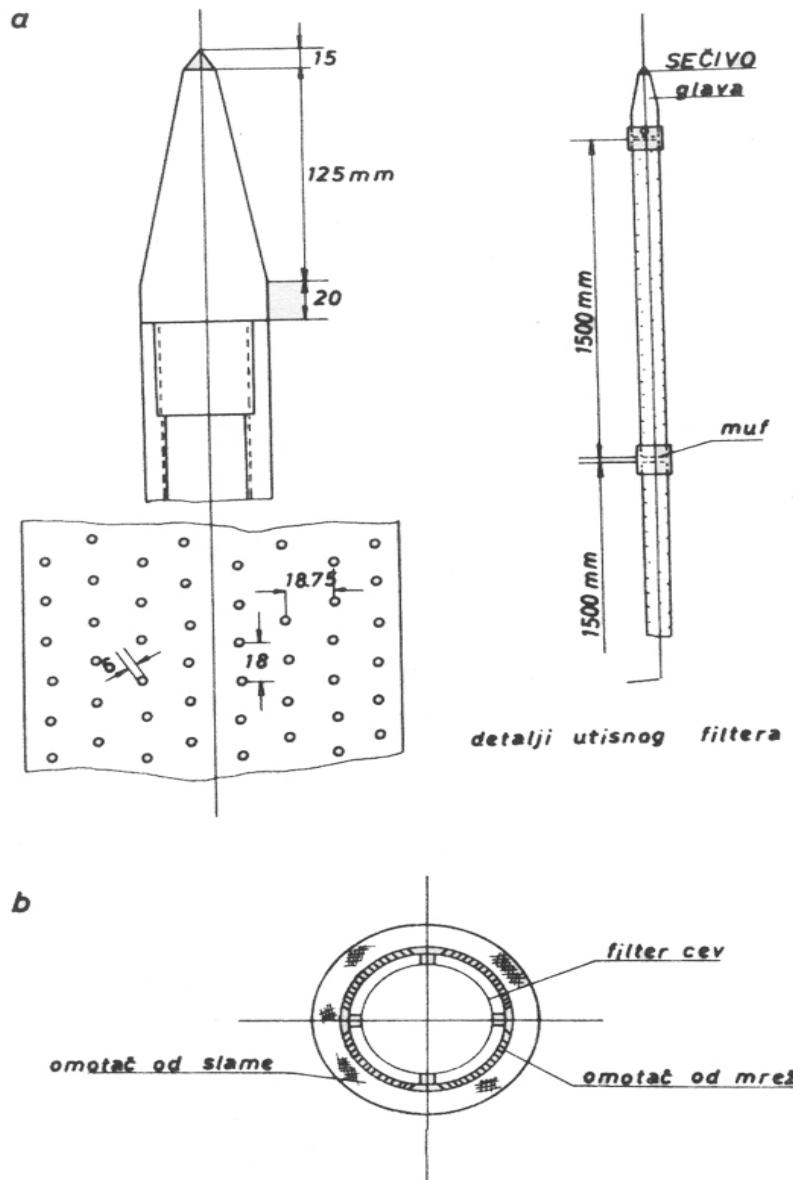
- pomoću utisnih filtera,
- pomoću sprovodnih filtera - infiltracioni bunari, i
- odvodnjavanjem bunarima.

Zaštita od iznenadnih prodora vode u rudarske prostorije postiže se i izvodjenjem informativnog bušenja - predvrtavanja, u različitim varijantama.

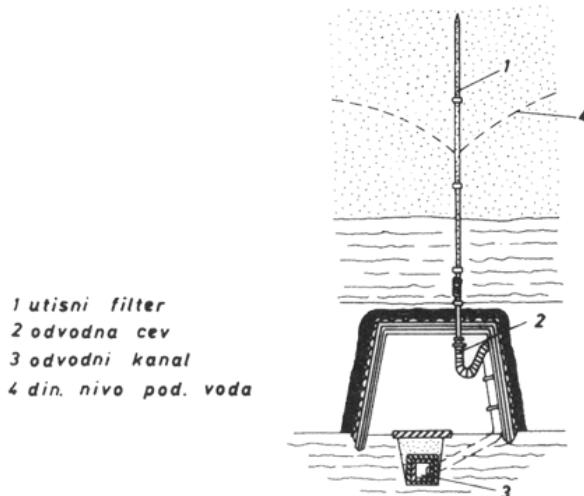
Snižavanje nivoa podzemnih voda pomoću utisnih filtera primenjuje se u rudnicima uglja kod kojih se u krovini ili podini ugljenih slojeva nalaze vodonosne stene. Zavisno od uslova, utisni filteri se postavljaju u krovini, bokovima ili podini rudarskih prostorija po određenoj šemi.

Utisni filteri su kratke željezne perforirane cevi, obično dužine 1-3 m koje se međusobno spajaju mufovima. Na samom vrhu utisni filter ima glavu sa sečivom visine oko 15 mm. Ova glava čini jedinstvenu celinu sa samim svrđlom

i služi za lakše probijanje slojeva u koje se utiskuje. Prečnik otvora (rupa) duž obima filter - cevi zavisi od krupnoće zrna i drugih karakteristika vodonosnog sloja. Detalj utisnog filtera prikazan je na slici 10, a na slici 11. dat je detalj utisnog filtera u rudarskoj prostoriji.

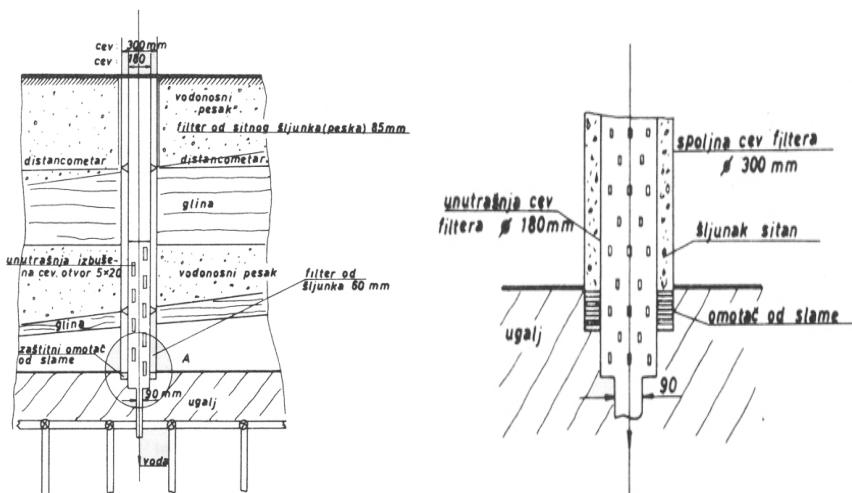


Slika 10. Izgled utisnog filtera



Slika 11. Detalj utisnog filtera u rudarskoj prostoriji

Sprovodni filteri (infiltracioni bunari) predstavljaju bušotine izrađene sa površine terena do rudarskih prostorija u jami. Izgled sprovodnog filtera prikazan je na slici 12.

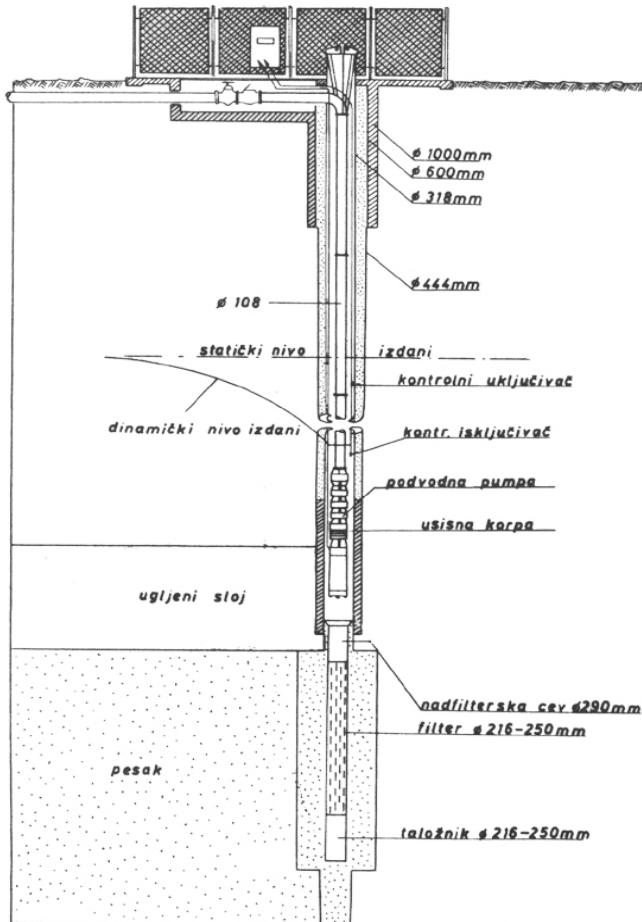


Slika 12. Izgled sprovodnog filtera

Sprovodni filteri se primenjuju kod većih količina vode u vodonosnom sloju jer se njihova izdašnost kreće i do $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Ovi filteri se postavljaju na međusobnom rastojanju od 20-300 m, što je zavisno od količine vode u slojevima koji se odvodnjavaju.

Prednost sprovodnih filtera nad utisnim je u tome što se njima odvodnjavaju svi horizonti kroz koje prolaze i u stalnom su kontaktu sa vazduhom, što olakšava proticanje vode.

Bunarima se uspešno snižava nivo podzemne vode, kako u slučaju jednog tako i postojanja više vodonosnih horizonata. Bunar se radi u dve faze i to faze bušenja i faze ugradnje opreme. Izgled opremljenog bunara prikazan je na slici 13.



Slika 13. Izgled opremljenog bunara

Voda iz bunara se ispumpava podvodnim pumpama koje se ugrađuju na cevima, odgovarajućeg prečnika, usklađenog sa kapacitetom bunara. Paralelno sa ugradnjom pumpe postavljaju se i cevi za osmatranje nivoa vode u bunaru. Bunari se, obično, lociraju po pružanju slojeva u jednoliniskom redu, ali tako da probijaju ugljeni sloj na približno istom nivou. Rastojanje između bunara iznosi od 100 do 500 m.

4. SPREČAVANJE PRITOKA VODE BARAŽAMA

4.1. IZGRADNJA BARAŽA

Baraže predstavljaju rudarske hidrotehničke objekte čija je namena da u potpunosti ili delimično, trajno ili privremeno, spreče pritok vode u aktivne rudarske prostorije. Baraže se klasifikuju zavisno od namene, načina i materijala izrade, kao i od trajnosti izolacije.

Prema nameni, baraže mogu biti vodonepropusne i filtrirajuće, a zavisno od načina i materijala izrade dele se na drvene, zidane, betonske i armirano-betonske. Prema trajnosti izolacije baraže se izrađuju u vidu baražnih zidova koji predstavljaju definitivnu izolaciju vodom ugroženog područja ili baražna vrata koja samo u slučaju potrebe služe za izolaciju, jer se postavljaju kao sigurnosna. Pri projektovanju baraža potrebno je analizirati:

- funkciju baraže,
- karakteristike stena u kojima se izrađuje baraža,
- parametre rudarske prostorije u kojoj se izrađuje baraža,
- veličinu hidrostatičkog pritiska kojim će biti izložena baraža.

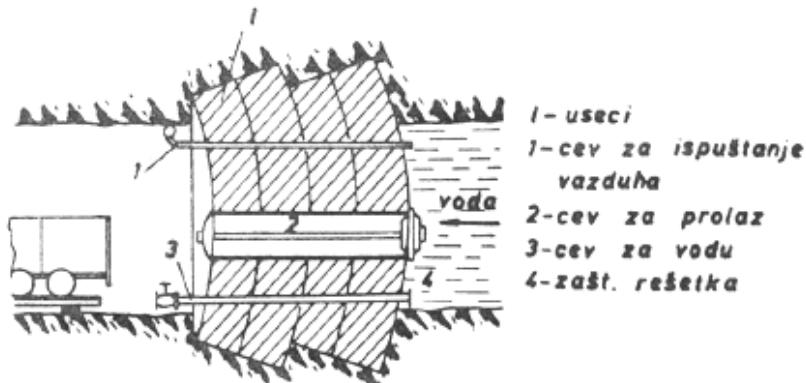
Stene u kojima se izrađuju baraže moraju biti dovoljno čvrste, vodonepropusne i bez pukotina. U slučajevima kada se baraže moraju raditi u raspucalim stenama, prethodno se vrši očvršćavanje i cementacija kako bi se učinile vodonepropusnim.

Čvrstoća i dozvoljeno opterećenje za neke stene i materijale data je u tabeli 1.

Tabela 1. Čvrstoća i dozvoljeno opterećenje

Stene u kojima se izrađuju baraže			Materijal za izradu baraža		
Vrste stena	Čvrstoća na pritisak (nosivost) σ_c (MPa)	Dozvoljeno naprezanje na pritisak K_c (MPa)	Vrsta materijala	Čvrstoća na pritisak (nosivost) σ_c (MPa)	Dozvoljeno naprezanje na pritisak K_c (MPa)
Granit, porfir	50 - 350	3,5 - 25,0	Zid od cigle u cementnom materijalu	-	1,0 - 1,2
Bazalt	100 - 500	6,0 - 30,0	Zid od klinker opake u cementnom malteru	-	2,0 - 4,0
Sijenit, diorit, diabas	80 - 160	5,0 - 10,0	Beton 500 kg cementa na 1 m ³ šljunka	20	-
Dolomit	20 - 120	1,5 - 1,8	Beton 400 kg cementa na 1 m ³ šljunka	17	2,5 - 3,5
Čvrsti peščar	100 - 200	6,0 - 12,0	Beton 300 kg cementa na 1 m ³ šljunka	14	2,0 - 3,0
Meki peščar	20 - 100	1,5 - 6,0	Beton 200 kg cementa na 1 m ³ šljunka	10	1,5 - 2,0
Tvrdi ugalj	10 - 25	0,6 - 1,3	Beton 100 kg cementa na 1 m ³ šljunka	6,0	1,0 - 1,5
Meki ugalj	3 - 10	0,2 - 0,6	Željezobeton	-	4,0 - 5,0
Gline	2,5 - 6,0	0,1 - 0,4			

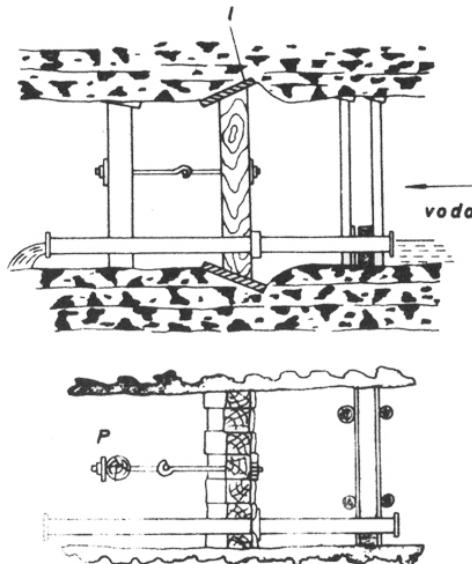
Izgled standardne baraže dat je na slici 14.



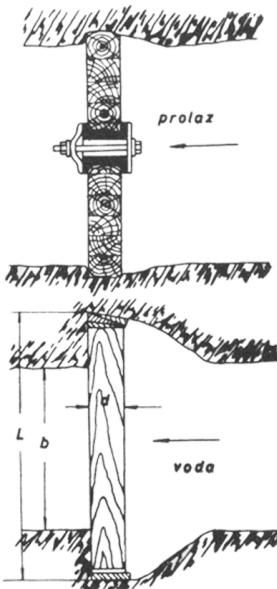
Slika 14. Izgled baraže

4.2. DRVENE BARAŽE

Ove baraže služe za male pritoke vode i za manje hidrostatičke pritiske (0,15-0,30Mpa) i izrađuju se kao stoeće (slika 15) ili ležeće (slika 16).



Slika 15. Stoeća drevna baraža



Slika 16. Ležeća drvena baraža

Proračuni drvenih baraža vrše se proverom debljine baraže i izračunavanjem dubine useka. Debljina baraže se izračunava po obrascu:

$$d = L \sqrt{\frac{3p}{4Kb}} \text{ (cm)},$$

gde su:

L - dužina grede,

p - hidrostatički pritisak vode (MPa),

Kb - dozvoljeno opterećenje drveta na savijanje.

Zavisno od vrste drveta Kb iznosi:

4MPa - za čamovo drvo,

5MPa - za borovo drvo,

6MPa - za hrastovo drvo,

7MPa - za bukovo drvo.

Dubina useka se određuje iz obrasca:

$$l = \frac{pb}{2(Kc - p)} \text{ (cm)}$$

b - širina prostorije,

Kc - dozvoljeno naprezanje stene na pritisak (MPa).

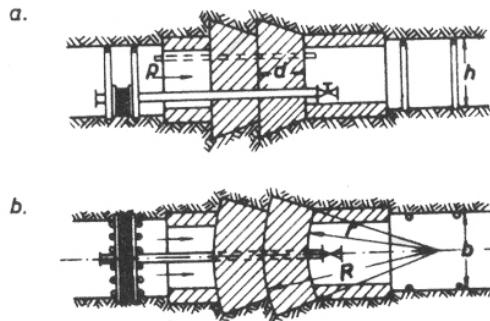
Dubina useka ne sme biti maja od 20 cm, bez obzira na proračunatu vrednost.

4.3. ZIDANE BARAŽE

Zidane baraže se rade od opeke u cilindričnom obliku, zavisno od pritiska vode i karakteristika stena u kojima se izrađuju. Najširu primenu imaju klinker opeke, a za vezivo se koristi cementni malter sa odnosom cement - pesak 1:1.

4.3.1. Zidane cilindrične baraže

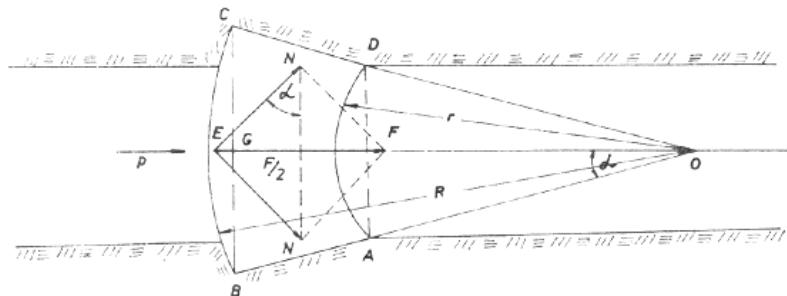
Ove baraže se primenjuju u prostorijama u kojima se očekuju manji pritoci vode, a rade se u obliku isečaka cilindričnog prstena (slika 17).



Slika 17. Zidana cilindrična baraža

Pre izrade zidova baraže postavlja se privremena baraža od drveta radi isušivanja mesta predviđenog za postavljanje stalne baraže. Voda koja se sakuplja iza privremene baraže, odvodi se kroz cev koja se sprovodi i kroz stalnu preradu i u kasnijoj fazi ova cev služi za ispuštanje vode. U gornjem delu baraže ugrađuje se tanka cev za ispuštanje vazduha, koja se koristi i za kontrolisanje pritiska vode na baražu.

Da bi se došlo do izraza za proračun ovog tipa baraža polazi se od pretpostavke da baraža ima oblik cilindričnog prstena ABCD, gde se hidrostaticki pritisak p prenosi na oslonce AB i CD (slika 18).



Slika 18. Šema za proračun zidane cilindrične baraže

Usvaja se da je sila koja izaziva hidrostatički pritisak (p) na cilindričnu površinu BEC jednaka onoj koja bi bila ako bi voda, pri istom hidrostatičkom pritisku, delovala na projekciju te površine BC. Ako se posmatra sloj elementarne visine $h=1\text{cm}$, onda će sila kojom voda deluje na površinu BC biti:

$$F = pBC = 2pBE = 2pR\sin \alpha$$

Razlaganjem sile F u dve komponente u pravcu oslonca AB i CD, dobija se komponenta N koja pritiska baražu na osloncima.

Iz odnosa:

$$\frac{F}{N} = \sin \alpha \quad \text{dobija se da je } N = \frac{F}{2\sin \alpha}.$$

Unošenjem u prethodni izraz vrednost za silu $F = 2pR\sin \alpha$ sledi
 $N = \frac{2pR\sin \alpha}{2\sin \alpha} = pR \text{ (m)}$

Da bi baraža zadovoljila mora biti ispunjen uslov da je $pR \leq dKc$, odnosno

$$2N = 2pR \leq 2dKc, \text{ odakle je:}$$

$$d = \frac{pR}{Kc} \text{ (m)}$$

R - spoljni poluprečnik baraže (m),

d - debљina baraže ($R-r$) (m),

Kc - dozvoljeno naprezanje na pritisak za stene ili materijal od koga se baraža izrađuje (Pa),

p - hidrostatički pritisak,

$$p = \rho gh \text{ (Pa)},$$

$$\rho \text{ - gustina vode (kg/m}^3\text{)},$$

H - visina vodenog stuba (m)

Spoljni poluprečnik baraže (R) može se izračunati i preko unutrašnjeg poluprečnika (r) $2(r + d)p \leq 2dKc$, iz čega sledi da je:

$$d = \frac{pr}{Kc - p} \text{ (m).}$$

Kao granične vrednosti za unutrašnji poluprečnik baraže (r) uzimaju tse vrednosti iz tabele 2.

Tabela 2. Unutrašnji ugao i poluprečnik baraže

Vrste stena	α°	r(m)
Meke stene	20	1,5b
Srednječvrste stene	28	1,2b
Čvrste stene	36	0,85b

U slučajevima kada se proračunom dobije velika debljina baraže, ona se izrađuje iz više segmenata koji se postavljaju jedan za drugim, a pritisak vode raspoređuje se ravnomerno na svih n-segmenata. Pritisak koji deluje na jedan segment iznosi:

$$p_n = \frac{p}{n}$$

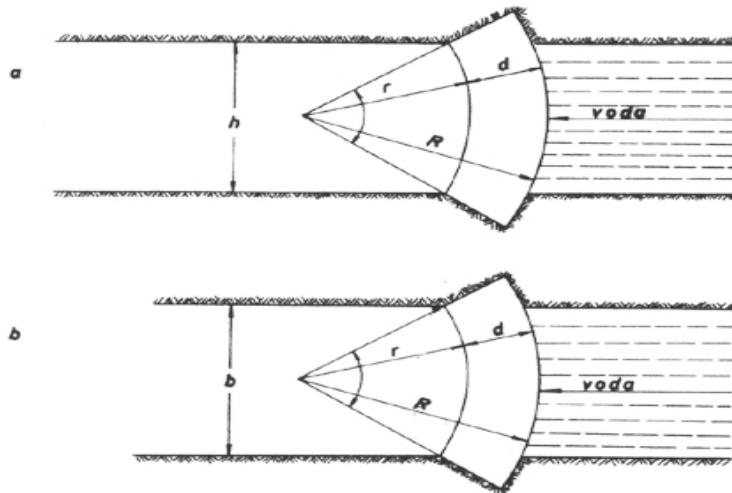
p - hidrostatički pritisak,
n - ukupan broj segmenata.

Debljina svakog segmenta računa se iz izraza $d_n = \frac{rp}{nKc - p}$ (m).

4.3.2. Sferične zidane baraže

Ove baraže se izrađuju u obliku isečka kugle, čije se dimenzije usklađuju sa dimenzijsama rudarske prostorije u kojoj se izrađuju.

Šematski prikaz sferične zidane baraže prikazan je na slici 19. Pritisak vode na ovakvoj baraži se ravnomerno raspoređuje, te joj je debljina manja nego kod cilindrične baraže.

**Slika 19.** Izgled sferične zidane baraže

Za veće pritiske i u čvrstim stenama sferične baraže se izrađuju u dva, tri ili više segmenata, postavljenih jedan za drugim, s tim što se međuprostor (5-10 cm) između njih puni cementnim malterom.

Debljina baraže se računa iz izraza:

$$d = r \left(\sqrt{\frac{Kc}{Kc - p}} - 1 \right) \text{ (m)}$$

Unutrašnji ugao baraže se bira u granicama od 12° do 20° , a unutrašnji prečnik se usvaja iz tabele 3.

Debljina baraže za više segmenata određuje se izrazom:

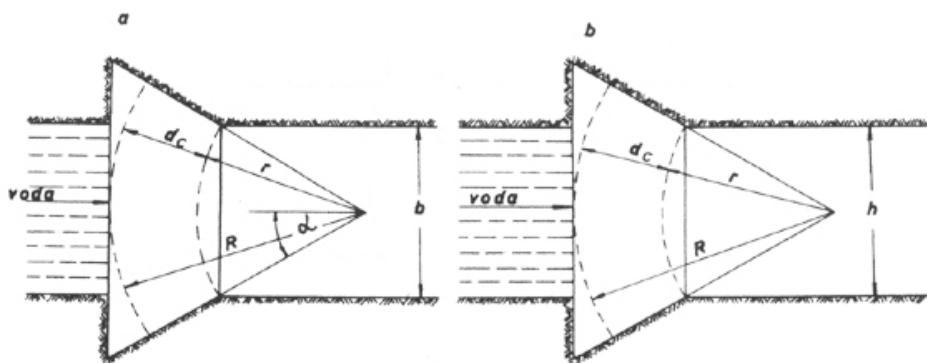
$$d_n = r \left(\sqrt{\frac{nKc}{nKc - p}} - 1 \right) \text{ (m)}$$

Tabela 3. Unutrašnji ugao i poluprečnik baraže

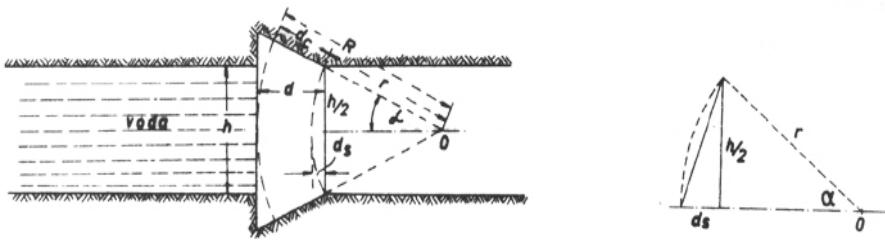
Vrste stena	α°	r(m)
Meke stene	12	2,5b
Srednječvrste stene	15	2,0b
Čvrste stene	20	1,5b

4.3.3. Zidane klinaste baraže

Ove baraže geometrijski predstavljaju zarubljenu piramidu, postavljenu u prostoriji širom osnovom, prema strani vode (slika 20) i u horizontalnoj i vertikalnoj projekciji imaju oblik trapeza. Primenjuju se u širokim rudarskim prostorijama i lakše se izrađuju od sferičnih.



Slika 20. Zidana klinasta baraža



Slika 21. Šema za proračun zidane klinaste baraže

Visina sile pritiska na baražu određuje se kao: $F = 2pRh \sin \alpha$, te pošto se razlaže na 4 komponente, sledi da je:

$$N = \frac{F}{4\sin \alpha} = \frac{pRh}{2}$$

Komponenta N treba da zadovolji uslov

$$N \leq N' \text{ ili } N \leq d_c K_c h,$$

gde je:

d_c - debљина cilindrične baraže (m).

Iz uslova da je $N \leq N'$ i da je $R = r + d_c$, dobija se da je:

$$d_c = \frac{pr}{2K_c - p}.$$

Debljina klinaste baraže je uvek veća od proračunate debljine baraže d_c pri istim uslovima.

Vrednost d_s računa se izrazom:

$$d_s = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{h}{2}\right)^2}$$

Za približne proračune koristi se odnos:

$$d_s : \frac{h}{2} = \frac{h_2}{2} : 2r \text{ odakle je: } d_s = \frac{h^2}{8r}.$$

Približan obrazac za proračun debljine klinaste baraže je:

$$d = d_c + d_s = \frac{pr}{2Kc - p} + \frac{h^2}{8r} \quad (\text{m})$$

h - veća dimenzija prostorije (m).

Granična vrednost unutrašnjeg poluprečnika baraže (r) i unutrašnji ugao (α) iznose:

- za mekane stene $r = 2h \quad \alpha = 30^\circ$,
- za čvrste stene $r = 1,5h \quad \alpha = 38^\circ$.

Nakon izračunavanja debljine zidane baraže proverava se pritisak, smicanje i vodonepropusnost.

Provera na pritisak vrši se izrazom

$$Ko = \frac{F}{nAs \sin \alpha} \quad (\text{Pa})$$

K_0 - pritisak baraže na okolne stene (Pa),

A - površina kojom baraža naleže na okolne stene, tj. površina koja prima pritisak (m^2),

F - sila koja deluje na baražu (N)

$$F = pbh \quad (\text{N})$$

$$\text{Koeficijent sigurnosti baraže } \frac{Kc}{Ko} = \eta \geq 1,5$$

Pošto kod baraže postoji opasnost od smicanja debljina baražnog zida u odnosu na smicanje proverava se po obrazcu $d = \frac{pb}{4\tau} \quad (\text{m})$

τ - dozvoljeno naprezanje na smicanje (Pa).

Vodonepropustljivost se proverava po izrazu:

$$Q = f \cdot \frac{Hbh}{d} \quad \left(\text{m}^3 / \text{h} \right)$$

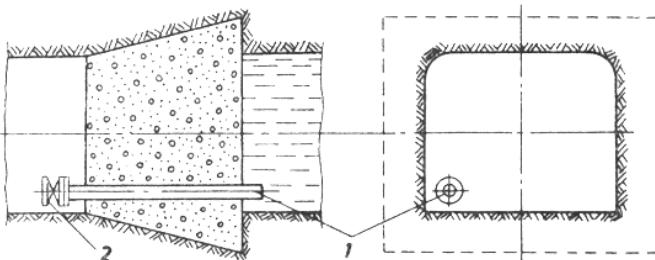
f - koeficijent filtracije (0,00002145 - 0,00003529 m^3/h),

H - visinska razlika između nivoa vode i mesta izrade baraže (m).

Smatra se da baraža zadovoljava u pogledu vodonepropusnosti ako je $Q = 0,02 - 0,04 \text{ m}^3 / \text{h}$

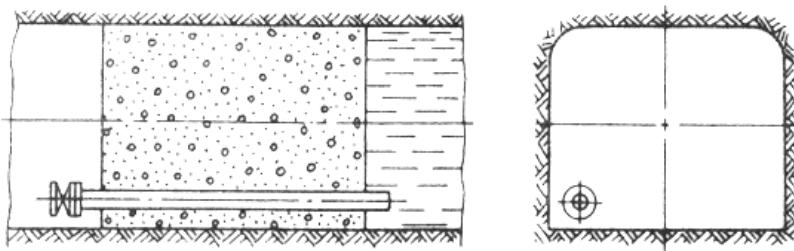
4.4. BETONSKE BARAŽE

Betonske baraže izrađuju se u vidu klinastih (slika 22.) i pravougaonih baraža (slika 23.).



1. Cev za ispustanje vode
2. Ventil

Slika 22. Klinasta betonska baraža

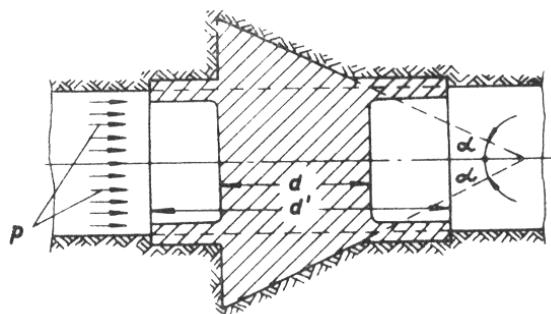


Slika 23. Pravougaona betonska baraža

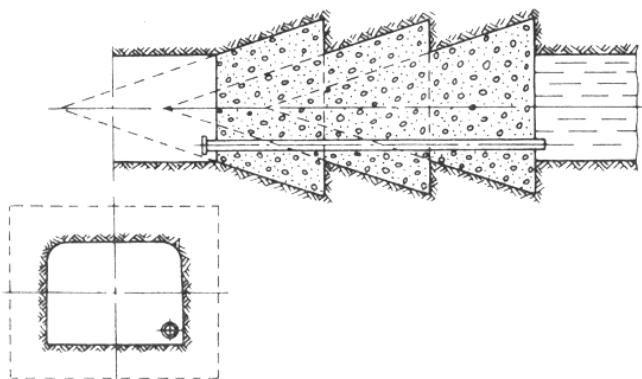
Klinaste baraže se odlikuju time što se oslanjaju na okolne stene preko useka, a pravougaone se ne oslanjaju na okolne stene, pa suprotstavljanje pritisku vode zavisi samo od sile trenja između okolnih stena i materijala od koga se baraže izrađuju.

Klinaste baraže, zavisno od pritiska, izrađuju se kao jednosecene ili višestepene. Pri tome osnovica baraže može imati različite geometrijske oblike. U kategoriji pravougaonih pripadaju one sa pravougaonim, kvadratnim i trapeznim presekom, a kružne sa osnovicom kruga, elipse i poliedra.

Ponekad se klinaste jednosecene baraže izrađuju sa specifičnim oblikom (slika 24.) za male i srednje pritiske:



Slika 24. Jednostepena klinasta baraža



Slika 25. Višestepena klinasta baraža

Višestepene baraže (slika 25.) izrađuju se u slučajevima kada se proračunom na pritisak i smicanje za debljinu baraže dobiju vrednosti koje se međusobno znatno razlikuju ili ako je proračunata debljina na osnovu pritiska vrlo velika. Ovakve baraže služe kod većih hidrostatickih pritisaka.

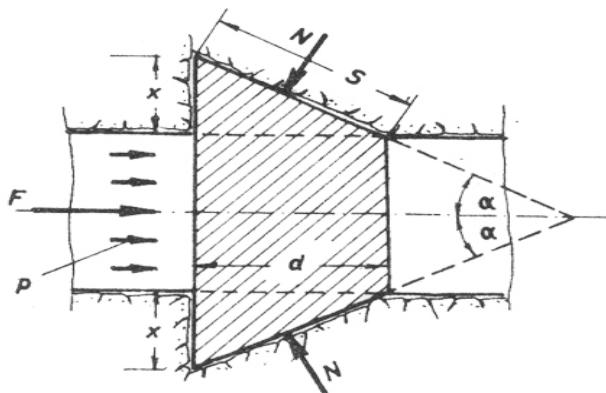
Pravougaone baraže se izrađuju za uslove manjih hidrostatickih pritisaka i kod brzih intervencija na sprečavanju prodora vode i otklanjanju opasnosti od potapanja rudnika. Njihova funkcija je, uglavnom, privremena.

Prednosti klinastih baraže u odnosu na pravougaone su:

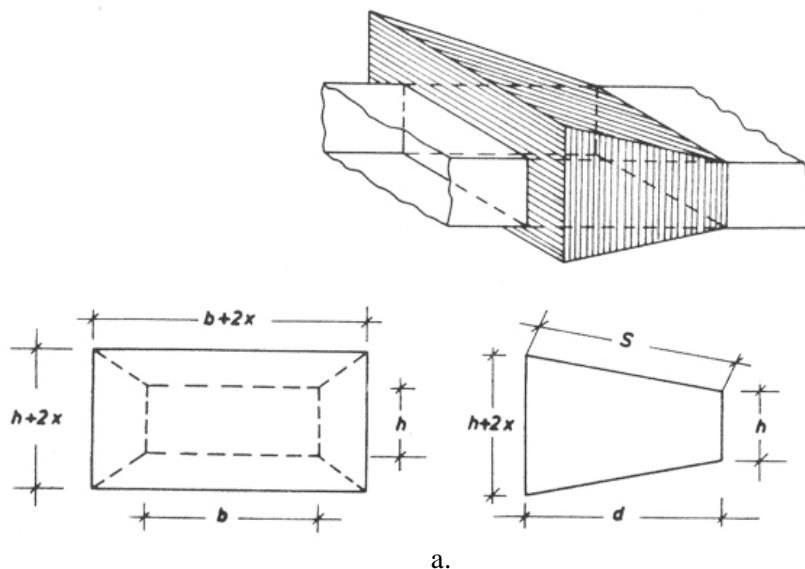
- veća sigurnost,
- bolje suprotstavljanje hidrostatickom pritisku,
- bolji spoj sa okolnim stenama,
- manja debljina.

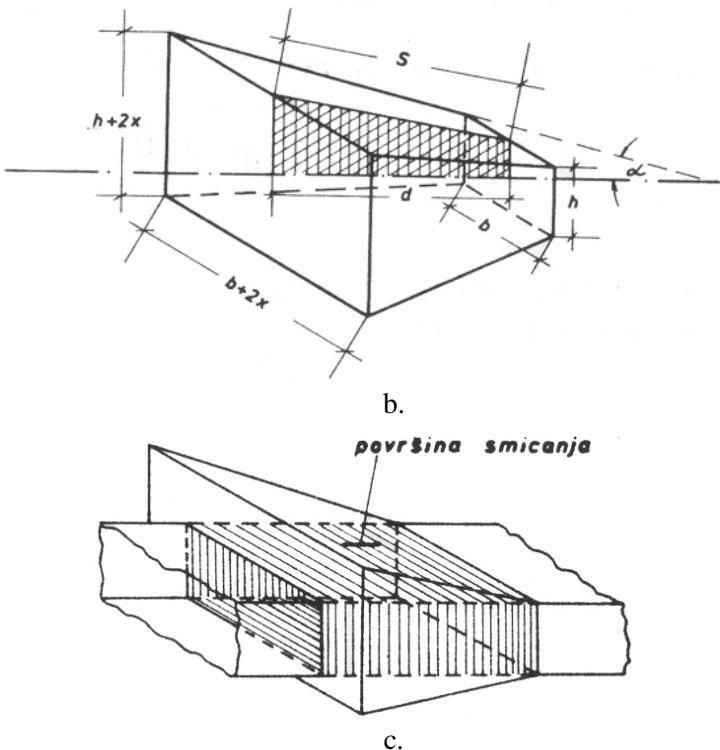
4.4.1. Klinaste pravougaone jednostepene baraže

Dimenzionisanje ovog tipa baraža vrši se na osnovu proračuna kojim se proverava statička ravnoteža na pritisak i smicanje, kao i uslovi vodonepropusnosti. Pod dejstvom maksimalnog pritiska vode, odnosno sile F (slika 26.), baraža će težiti da klizne po uzdužnoj osi rudničke prostorije. Ovom klizanju suprotstavljaju se sile reakcije (N) stenske mase na koje se baraža oslanja svojim bočnim površinama.



Slika 26. Klinasta pravougaona jednostepena baraža





Slika 27. Šeme za proračun pravougaone jednostepene baraže

Iz statičkog uslova ravnoteže u odnosu na horizontalnu osu simetrije sledi da je:

$$\sum X = F - N \sin \alpha = 0$$

α - unutrašnji ugao baraže.

$$N = \frac{F}{\sin \alpha}$$

Za jednostepenu klinastu baražu jednačina ravnoteže je:

$$\eta N \leq m R_b A$$

η - koeficijent sigurnosti (1,2 - 1,3),

m - koeficijent uslova rada (0,5 - 0,6),

R_b - čvrstoća betona na pritisak u zavisnosti od MB (Pa),

A - površina naleganja baraže na okolne stene (m^2).

Jednačina ravnoteže iz uslova sile smicanja:

$$\eta F \leq m \tau_b A_s$$

F - sila koja deluje na baražu,

τ_b - čvrstoća betona na smicanje u zavisnosti od MB (Pa),

A_s - površina smicanja baraže (m^2).

a) Proračun na pritisak

Sila F koja deluje na baražu, usled pritiska vode, iznosi:

$$F = p \cdot b \cdot h \quad (N)$$

p - hidrostaticki pritisak vode (Pa)

b - širina hodnika (m)

h - visina hodnika (m)

Površina kojom baraža naleže na okolne stene geometrijski predstavlja omotač zarubljene piramide koji se sastoji iz 4 trapeza.

Površina većeg trapeza:

$$AT_1 = \frac{b + 2x + b}{2} \cdot S = \frac{(b + x)d}{\cos \alpha}$$

$$S = \frac{d}{\cos \alpha},$$

te sledi:

$$AT_2 = \frac{(h + x)d}{\cos \alpha}$$

Površina omotača trapeza:

$$A = 2AT_1 + 2AT_2$$

$$A = \frac{2d}{\cos \alpha} (b + h + 2x)$$

S obzirom na to da je $x = dtg \alpha$, sledi da je:

$$A = \frac{2d}{\cos \alpha} (b + h + 2dtg \alpha).$$

Daljim uvrstavanjem sledi:

$$N = \frac{F}{\sin \alpha}$$

$$\eta \frac{pbh}{\sin \alpha} \leq mR_b \frac{2d}{\cos \alpha} (b + h + 2dtg\alpha)$$

Za baražu sa osnovicom u vidu pravougaonika:

$$d = \frac{b+h}{4tg\alpha} \left(\sqrt{\frac{4\eta pbh}{mR_b(b+h)^2} + 1} - 1 \right)$$

U slučaju kada je poprečni presek jamske prostorije, a samim tim i baraže, kvadrat, debljina baraže iznosi:

$$d = \frac{b}{2tg\alpha} \left(\sqrt{\frac{\eta p}{mR_b} + 1} - 1 \right)$$

Kada je poprečni presek trapez, pri čemu je srednja linija trapeza bsr, debljina baraže se računa po obarscu

$$d = \frac{bsr+h}{4tg\alpha} \left(\sqrt{\frac{4\eta pbsrh}{mR_b(bsr+h)^2} + 1} - 1 \right)$$

b) Proračun na smicanje

Ovde je $As = 2db + 2hd$ odnosno $As = 2(b+h)d$

Uvođenjem izraza za površinu smicanja dobija se:

$$\eta pbh \leq m\tau_b(b+h)d$$

$$\text{Za baražu pravougaonog oblika } ds = \frac{\eta pbh}{2m\tau_b(b+h)}$$

$$\text{Za kvadratni presek kada je } b = h \quad ds = \frac{\eta pb}{4m\tau_b}$$

$$\text{Za prostorije trapeznog preseka visine } h \text{ je } ds = \frac{\eta pbsrh}{2m\tau_b(bsr+h)}$$

c) Proračun za uslov vodonepropusnosti

Prolaz vode kroz beton izražava se jednačinom Darsija $w = k \frac{H}{d} (m/h)$

w - brzina prosišavanja vode kroz beton (m/h)

k - koeficijent filtracije za beton (m/h)

H - visinska razlika između nivoa vode i mesta izrade baraže (m)

Brzina filtracije vode kroz beton može se izraziti i kao $w = \frac{Q_b}{A} (m/h)$

Q_b - količina vode koja prolazi kroz beton (m^3/h)

A - površina poprečnog preseka (m^2)

$$k \frac{H}{d} = \frac{Q_b}{A} \quad \text{odakle je } d_{vnp} = k \frac{HA}{Q_b} \quad (m)$$

$$k = 0,000015 - 0,000035$$

Praktično se usvaja da je baraža vodonepropusna ako kroz nju dnevno ne prolazi više od $0,5 \text{ m}^3$ vode, tj.

$$Q_b = \frac{0,50}{24} = \frac{1}{48} (m^3/h) \quad \text{te je}$$

$$d_{vnp} = 48kHA \quad (m)$$

4.4.2. Klinaste višestepene pravougaone baraže

Ako izračunata debljina jednostepene baraže prelazi 3 m, u tom slučaju baraža se izrađuje kao višestepena. Debljina jednog segmenta (d_n) obično iznosi 1,5 - 3,0 m.

$$\text{Broj segmenta } n = \frac{d}{d_n}$$

Naprezanje na pritisak materijala baraže određuje se na osnovu sledećih izraza:

- za pravougaoni oblik

$$\sigma = \frac{\eta N}{mA} \quad \text{i} \quad N = \frac{F}{\sin \alpha} = \frac{pbh}{\sin \alpha}$$

$$\sigma = \frac{\eta pbh}{m \sin \alpha A} , \text{ te pošto je } d = ndn , \text{ sledi:}$$

$$A = \frac{2ndn}{\cos \alpha} (b + h + 2ndntg \alpha)$$

Za pravougaoni oblik sledi da je:

$$\sigma = \frac{\eta pbh}{m \sin \alpha \frac{2ndn}{\cos \alpha} (b + h + 2ndntg \alpha)} \text{ ili}$$

$$\sigma = \frac{\eta pbh}{2mndn(b + h + 2ndntg \alpha) \operatorname{tg} \alpha}$$

- za kvadratni oblik poprečnog preseka:

$$\sigma = \frac{\eta pb^2}{4mndn(b + ndntg \alpha) \operatorname{tg} \alpha}$$

- za trapezni oblik poprečnog preseka:

$$\sigma = \frac{\eta pbsrh}{2mndn(bsr + h + 2ndntg \alpha) \operatorname{tg} \alpha}$$

Da bi se obezbedila neophodna stabilnost višestepene baraže, stvarno naprezanje na pritisak materijala mora biti jednak ili manje od proračunske čvrstoće na pritisak, tj. $\sigma \leq R_b$.

U slučaju kada je proračunska čvrstoća stena manja od proračunske čvrstoće materijala baraže, to stvarno naprezanje na pritisak treba da bude jednak ili manje od proračunskog naprezanja stena, tj. $\sigma \leq R_{st}$

Nakon ovoga, treba baražu proračunati iz uslova na smicanje i vodonepropusnost i, na kraju, usvojiti najveću dobijenu veličinu. Ovaj postupak je identičan sa proračunom prikazanim za jednostepene baraže.

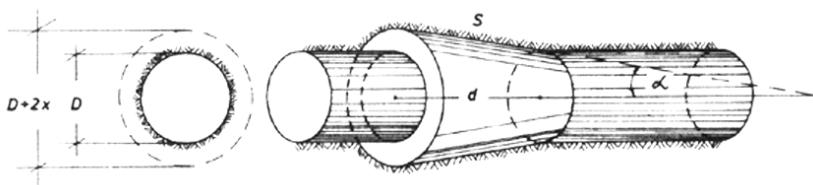
U tabeli 3. daju se vrednosti proračunske čvrstoće na pritisak (R_b) i smicanje (τ_b) za 28-dnevnu starost betona u zavisnosti od marke betona.

Tabela 3. Proračun čvrstoće betona

Marka betona	10	15	20	25	30	40	50
Proračunska čvrstoća betona (MPa)							
Na pritisak (R_b)	4,0	6,0	7,0	9,5	11,5	15,0	18,0
Na smicanje(τ_b)	1,3	1,6	2,0	2,5	3,0	3,8	4,5

4.4.3. Klinaste jednostepene kružne baraže

Prema geometrijskom obliku ovakve baraže predstavljaju zarubljenu kupu, čija se osa poklapa sa horizontalnom osom prostorije (slika 28.).

**Slika 28.** Klinasta jednostepena kružna baraža

a) Proračun na pritisak

$$\text{Sila koja deluje na baražu iznosi } F = \frac{\rho \pi D^2}{4}$$

Sila reakcije (N) deluje na površinu omotača zarubljene kupe (A). Ova površina iznosi.

$$A = \frac{\pi \cdot d}{\cos \alpha} (D + dtg \alpha)$$

$$\text{Kako je } N = \frac{F}{\sin \alpha}, \text{ sledi da je } \frac{\eta p \pi D^2}{4 \sin \alpha} \leq m R_b \frac{\pi d}{\cos \alpha} (D + dtg \alpha).$$

$$\text{Iz ovoga sledi da je debljina baraže } d_o = \frac{D}{2 \tan \alpha} \left(\sqrt{\frac{\eta p}{m R_b}} + 1 - 1 \right)$$

b) Proračun na smicanje

$$\text{Površina smicanja } As = \pi \cdot D \cdot d$$

$$\frac{\eta p \pi D^2}{4} \leq m \tau_b \pi D d \quad \text{odnosno} \quad d_{so} = \frac{\eta p D}{4m \tau_b}$$

Proračun na uslove vodonepropusnosti je isti kao i za klinaste baraže.

4.4.4. Klinaste višestepene kružne baraže

Ovaj proračun se izvodi na istim principima kao i za pravougaone višestepene baraže.

Stvarno naprezanje na pritisak je:

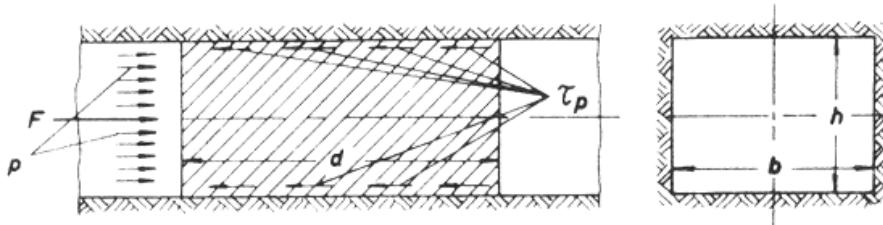
$$\sigma_o = \frac{\eta N}{mA} = \frac{\eta p \pi D^2}{4m \sin \alpha \frac{\pi n d n}{\cos \alpha} (D + nd n \tan \alpha)}$$

Ovde je $N = \frac{p \pi D^2}{4 \sin \alpha}$; $A = \frac{\pi n d n}{\cos \alpha} (D + nd n \tan \alpha)$

te je $\sigma_o = \frac{\eta p D^2}{4m n d n (D + nd n \tan \alpha) \tan \alpha}$

4.4.5. Pravougaone vodonepropusne baraže

Izgled ovog oblika baraže predstavljen je na slici 29.



Slika 29. Pravougaona vodonepropusna baraža - šema za proračun

Pod dejstvom hidrostatičkog pritiska vode, odnosno sile F , baraža će težiti da klizne po uzdužnoj osi prostorije. Ovom klizanju suprotstavljaju se sile prianjanja baraže sa okolnim stenama P , te uslov ravnoteže glasi:

$$\Sigma X = F - P = 0, \text{ odakle je } F = \eta p A \quad (N)$$

A - površina poprečnog preseka prostorije (m^2).

Sila prianjanja baraže za okolne stene $P = m \tau_p U d$ (N)

τ_p - sila kojom beton prianja za okolne stene (Pa)

$$\tau_p = (0,7 - 0,8) \tau_b$$

U - obim jamske prostorije (m)

Uvrstavanjem vrednosti za F i p dobija se da je:

$$\eta p A = m \tau_p U d , \text{ odakle sledi da je } d = \frac{\eta p A}{m \tau_p U}$$

Kako je

$$\tau_p = n \tau_b ,$$

to sledi

$$d' = \frac{\eta p A}{mn \tau_b U}$$

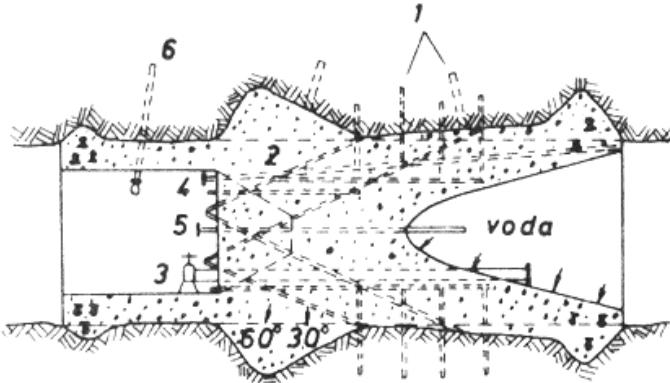
U tabeli 4. daju se obrasci za proračun debljine pravougaonih vodonepropusnih baraža koje se u praksi najčešće primenjuju.

Tabela 4. Proračuni debljine vodonepropusnih baraža

Presek jamskih prostorija	Debljina vodonepropusnih pravougaonih baraža
a) 	$d_1 = \frac{n p b h}{2 mn \tau_b (b + h)}$
b) 	$d_2 = \frac{n p b}{4 mn \tau_b}$
c) 	$d_3 = \frac{n p b_{sr} h}{2 mn \tau_b (b_{sr} + h)}$
d) 	$d_4 = \frac{n p D}{4 mn \tau_b}$

4.5. ARMIRANO - BETONSKE BARAŽE

Da bi se pojačala nosivost i vodonepropusnost baraža, sve češće se kao materijal koristi armirani beton. Šema jedne armirano - betonske baraže prikazana je na slici 30.



Slika 30. Izgled armirano - betonske baraže

U sredini baraže ubacuju se komadi železa (1) koji se povezuju sa armaturom (2) u samoj baraži. Za ispuštanje vode ugrađuje se cev (3) prečnika 150 - 200 mm. Za ispuštanje vazduha iz baraže služi cev (4), a za manometar cev (5).

U baražu se ugrađuje i cev (6) kroz koju se vrši cementacija stena pre nego što se pristupi izradi same baraže, da bi se pojačali okolni zidovi.

5. HIDROTEHNIČKI OBJEKTI ZA ODVODNJAVAњE RUDNIKA

Podzemna eksploracija mineralnih sirovina mora se odvijati uz postojanje organizovanog načina odvodnjavanja koji se prilagođava ležišnim, hidrogeološkim prilikama i konstruktivnim rešenjima, podzemnog proizvodnog sistema - jame. Rudarski-hidrotehnički objekti za odvodnjavanje rudnika sastoje se od sistema kanala, taložnika, vodosabirnika, pumpnih komora sa ugrađenim pumpama (pumpno postrojenje), kojima se postiže izbacivanje rudničke vode na površinu pri normalnom prilivu vode i obezbeđuje rudnik od potapanja.

Dimenzionisanje hidrotehničkih objekata za odvodnjavanje rudnika vrši se na osnovu apsolutne prosečne vodoobilnosti rudnika. Apsolutna vodoobilnost rudnika predstavlja ukupnu količinu vode Q_{uk} koja pritiče u jamu u jedinici vremena (m^3/min). Ovo je najvažniji faktor prilikom rešavanja odvodnjavanja rudnika i utiče na:

- izbor načina odvodnjavanja,
- dimenzije rudarskih hidrotehničkih objekata za odvodnjavanje,
- izbor kapaciteta opreme za odvodnjavanje,
- plan odbrane i spasavanja rudnika od potapanja.

Za rudnike za koje se izrađuju projekti eksploracije, apsolutna vodoobilnost, odnosno prток vode, može se prognozirati na osnovu ovdjenjenosti i poroznosti pojedinih slojeva stena i položaja rudarskih prostorija u njima. Za otvorene rudnike apsolutna vodoobilnost se određuje merenjem priliva vode na mestima gde se voda pojavljuje ili direktnim merenjima u vodosabirnicima.

5.1. KANALI ZA ODVODNJAVAњE

Voda koja se sakuplja u rudarskim prostorijama mora se odvesti do vodosabirnika, a najčešće se to vrši izrađenim kanalima. Ovi kanali mogu biti različiti, zavisno od niza faktora:

- količina vode koja treba proći kroz kanal,
- karakteristika stena prostorije u kojoj se izrađuje kanal,
- vrsta i dimenzije podgrade prostorije,
- rasporeda opreme u prostoriji.

Profili kanala mogu biti polukružni, pravougaoni, kvadratni i trapezni.

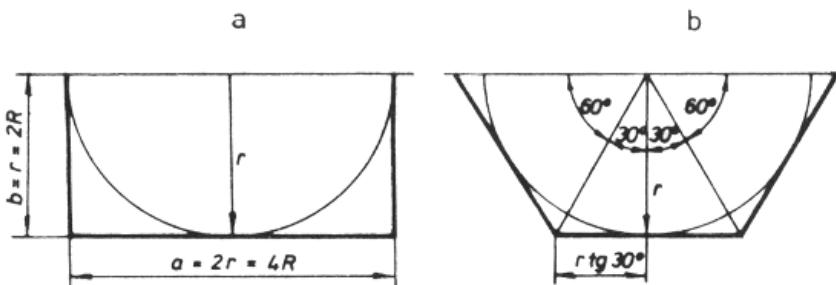
Parametar koji pokazuje povoljnost protoka je hidraulički radijus (R) koji predstavlja količnik između površine poprečnog preseka kanala i obima kvašenja:

$$R = \frac{A}{U} \quad (\text{m})$$

Najpovoljniji protok ostvaruju kanali sa najvećim hidrauličkim radijusom (R) pri najmanjem obimu kvašenja (V), zato što pri istoj površini kanala (A) imaju najveću količinu protoka vode (Q). To su kanali sa polukružnim profilom čiji je hidraulički radijus jednak polovini poluprečnika (r):

$$R = \frac{A}{U} = \frac{\frac{r^2\pi}{4}}{\frac{2r\pi}{2}} = \frac{r}{2} = 0,5r \text{ odnosno } r = 2R$$

U praksi, kanali se najčešće izrađuju kao pravougaoni (kvadratni) i trapezni. Najpovoljniji pravougaoni profil je onaj kod koga je visina jednaka poluprečniku upisanog kruga u njemu: $b = r = 2R$, a osnova $a = 2r = 4R$ ili trapezni profil kojem su osnova i bočne strane jednake (slika 31.).



Slika 31. Šema kanala

a) $A = 2r^2$

b) $A = \frac{6r^2 \operatorname{tg} 30^\circ}{2}$

$U = 4r$

$U = 6rtg 30^\circ$

$R = \frac{2r^2}{4r} = \frac{r}{2}$

$R = \frac{3r^2 \operatorname{tg} 30^\circ}{6rtg 30^\circ} = \frac{r}{2}$

$R = 0,5r$

$R = 0,5r$

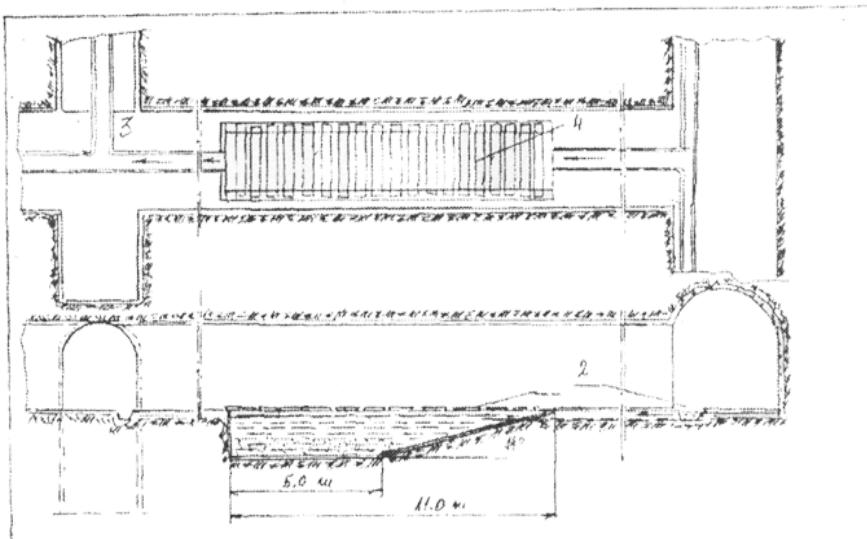
Prema vrsti obloge kanali mogu biti: bez obloge, drveni, zidani i betonski.

5.2. TALOŽNICI

Taložnici predstavljaju hidrotehničke objekte u kojima se vrši sedimentacija čestica mulja iz rudničke vode. Naime, rudnička voda često nosi veću ili manju količinu primesa, sitne čestice rude, uglja, peska okolnih stena i sl. Pri pumpanju takve vode može da dođe do zamuljivanja usisnih bunara i cevovoda, oštećenja cevovoda, oštećenja pumpi i prekida odvodnjavanja. Da bi se ovo izbeglo voda iz kanala, pre ulaska u vodosabirnik mora se uvoditi u taložnike.

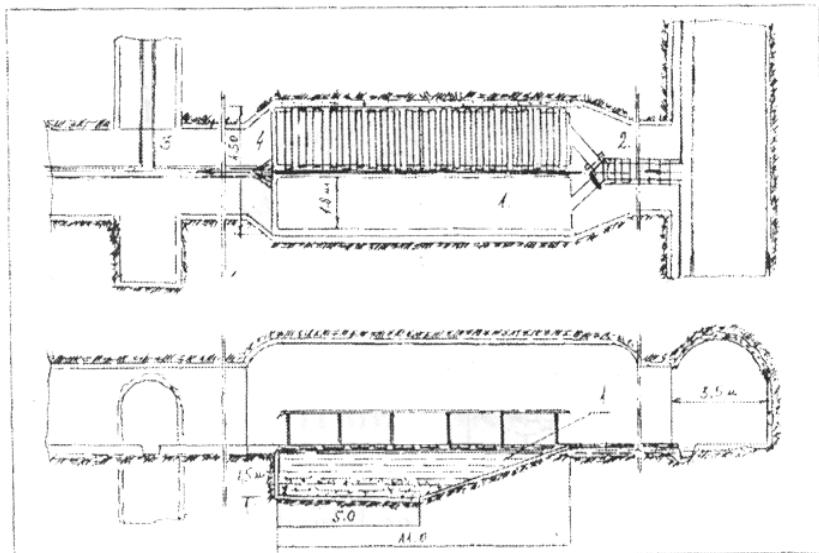
U rudnicima se primenjuju taložnici kontinuiranog rada. Oni su namenjeni izdvajajanju čestica mulja određenog prečnika, nezavisno od opšteg faktora bistrenje vode i hvatanja (izdvajanja) određene količine čestica mulja, sa ciljem potrebnog bistrenja vode.

Kapacitet taložnika i njegove dimenzije moraju biti usklađene sa prливom prljave vode. Izgled jednodelnog taložnika predstavljen je na slici 32. dok je na slici 33. predstavljen dvodelni taložnik.



1. taložnik, 2. kanal, 3. niskop vodosabirnika, 4. zaštitni pojaz

Slika 32. Jednodelni taložnik u hodniku



1. taložnik, 2. kanal, 3. niskop vodosabirnika, 4. zaštitni pojaz

Slika 33. Dvodelni taložnik u hodniku

Radi kvalitetnijeg prečišćavanja veoma važno je da se obezbedi potrebna brzinu proticanja vode kroz taložnik. Ta brzina se određuje izrazom:

$$W = 0,0167 Q / bh \quad (m^3 / min)$$

Q - max. protok vode (m^3/min)

B - širina taložnika (m)

h - visina vode u dovodnom kanalu (m)

Da bi se obezbedilo taloženje zrna većih od 0,1 mm, brzina vode u taložniku ne sme biti veća od 0,1 m/s. Ukoliko se računskim putem dobiju veće vrednosti povećava se širina taložnika (b). Dužina vodosabirnika se određuje po izrazu:

$$L = \alpha \frac{W}{W_c - W_h} \quad (m)$$

α - koeficijent onečišćenja vode

$$\alpha = \frac{1,5W_c}{0,00075 + W_c}$$

W - brzina vode,

W_c - vertikalna brzina padanja čvrstih čestica u vodi (m/s).

Veritikalna brzina padanja W_c zavisi od dimenzija čvrstih čestica. U tabeli 5. date su vrednosti za W_c , određene eksperimentalno

Tabela 5. Vrednost W_c u funkciji srednjeg prečnika čestice

Srednji prečnik čestica(mm)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,50	1,0
Vertikalna brzina $W_c(m/s)$	0,00147	0,00588	0,01325	0,01875	0,02427	0,02996	0,05235	0,10836

Horizontalna komponenta brzine W_h zavisi od srednje brzine vode W i iznosi:

- ako je $W < 0,09 \text{ m/s}$; $W_h = 0,01 W$
- ako je $W = 0,09 - 0,13 \text{ m/s}$; $W_h = (0,03 - 0,05) W$

Zapremina donjeg dela taložnika u kojem se sakuplja mulj zavisi od količine čvrstih čestica koje se u toku dana izdvoje iz vode. Ova zapremina može se izračunati po obrascu:

$$V_m = 1,5q \cdot Q \quad (m^3)$$

V_m - zapremina dela taložnika u kojem se sakuplja mulj (m^3),

Q - stepen onečišćenja vode,

Q - ukupna dnevna količina vode (m^3/dan).

Stepen onečišćenja zavisi od niza faktora, a obično se usvaja u veličini od

$$q = 0,0015 - 0,0030$$

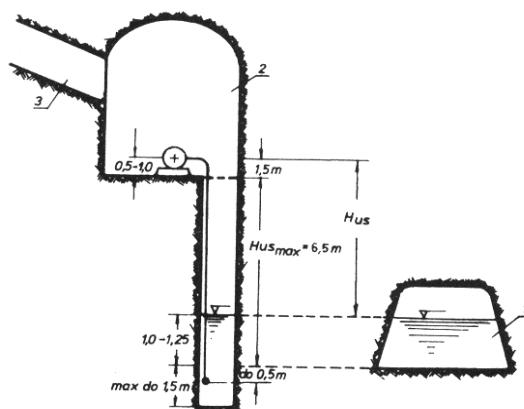
5.3. VODOSABIRNICI

Vodosabirnici predstavljaju horizontalne rudarske prostorije u kojima se sakuplja voda da bi se pumpama izbacila na površinu. U jamama vodosabirnici se izrađuju u vidu hodnika u blizini osnovnih prostorija otvaranja, odnosno na najnižoj tački otvaranja tako da mogu prihvati vodu koja gravitaciono pritiče iz poduhvaćenog dela ležišta. Kod malog pritoka vode kao vodosabirnik može da posluži i produbljeno okno ili niskop sa povećanom slobodnom dubinom okna ili niskopa. Ovi slučajevi su retki u praksi, ali se primenjuju dok se ne izradi vodosabirnik i pumpna stanica na određenom horizontu.

Položaj vodosabirnika i pumpne stanice u odnosu na prostorije otvaranja zavisi od načina otvaranja rudnika i uređenja navozišta okna ili niskopa. Pumpna stanica obično se izrađuje u blizini prostorije otvaranja (poduhvatanja ležišta), kako bi dužina potisnog cevovoda bila što kraća i jednaka dužini prostorije. Kod centralnog

ili krilnog otvaranja ležišta treba očekivati priliv vode iz oba revira, pa se vodosabirna postrojenja izrađuju dvokrilno u odnosu na pumpnu komoru (pumpnu stanicu) da ne bi bilo problema sa provođenjem vode preko sistema prostorija navozišta. Pri dijagonalnom otvaranju ležišta, kod pritoka vode iz jednog pravca, i vodosabirne prostorije mogu biti izrađene jednokrilno u odnosu na pumpnu stanicu.

Povezivanje prijemnog (usisnog) bunara sa vodosabirnikom vrši se preko priključnog hodnika. Za ispuštanje vode iz vodosabirnika u prijemni bunar ugrađuju se u priključak vodosabirnika dve ili više cevi potrebnih dimenzija sa zatvaračima kojima se rukuje iz pumpne komore. Nivo vode u vodosabirniku treba se održavati na visini 1 - 1,25 m od dna vodosabirnika kako bi u pumpu dolazila čista voda, a što je predstavljeno na slici 34.



1 - vodosabirnik
 2 - pumpna komora
 3 - kosa prostorija za potisni cevovod
 Hus - pri normalnom pritisku

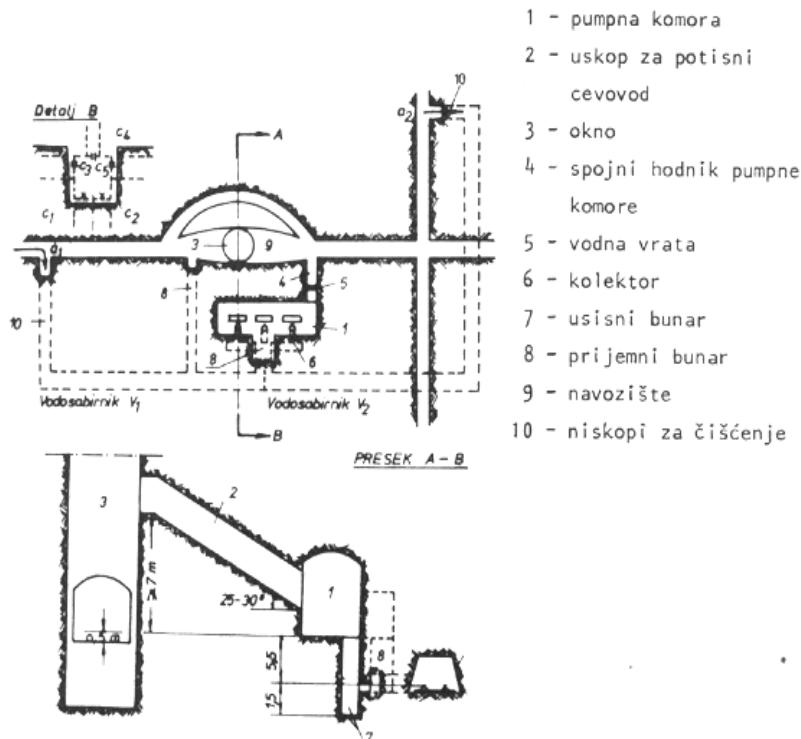
Slika 34. Izgled vodosabirnika opšteg tipa

Pri projektovanju vodosabirnika mora se voditi računa da dno usisnog bunara, dno vodosabirnika i pod pumpne komore budu usklađeni po visini kako sledi:

- vodosabirnik treba da bude maks. 1,5 m iznad dna usisnog bunara,
- kraj usisnog cevovoda postavlja se ispod dna vodosabirnika do 0,5 m odnosno na oko 1,0 m iznad dna bunara,
- osovina pumpe, odnosno osovina priključnog dela usisnog cevovoda, obično se nalazi 0,5 m do 1,0 m iznad poda pumpne komore.

Na osnovu ovih elemenata određuju se međusobni odnosi usisnog bunara, vodosabirnika i pumpne komore.

Na slici 35. data je situacija vodosabirnika na donjem navozištu okna.



Slika 35. Vodosabirnik pored dvostranog navozišta okna

Pumpna komora (1.) ima dve veze. Jednom prostorijom (2.) povezuje se oknom (3.) na visini najmanje 7 m od nivoa poda pumpne komore i kroz nju se vodi potisni cevovod u okno. Druga prostorija je hodnik (4.) koji povezuje pumpnu komoru sa navozištem. Radi zaštite pumpne komore od potapanja u ovom hodniku postavljaju se vodna vrata (5.). Voda iz vodosabirnika (V_1 i V_2) dolazi u prijemni (razvodni) bunar (8.) pa preko kolektora (6.) u zasebne bunare pumpi (7.).

Svaki vodosabirnik se mora povremeno čistiti. Da bi se za vreme čišćenja nesmetano pumpala voda, vodosabirnik se izrađuje u dva dela (V_1 i V_2) koji su odvojeni pregradom sa otvorima. Za određeni pritok vode, moguće je na više načina dimenzionisati vodosabirnike i odrediti režim pumpanja. Ukoliko se pumpa u sve tri smene potrebna dužina vodosabirnika iznosi:

$$L = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24 \cdot k}{3A} \quad (m)$$

Q - prosečni pritok vode (m^3/min),

K - koeficijent rezerve (1, 25),

A - površina poprečnog preseka vodosabirnika (m^2).

Kod pumpanja u dve smene vodosabirnik mora da primi vodu koja pritiče u smeni kada pumpe ne rade, pa je potrebna dužina:

$$L = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24}{2A} \quad (m)$$

Ako se pumpa samo u jednoj smeni potrebna dužina vodosabirnika je:

$$L = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24}{A} \quad (m).$$

Glavni vodosabirnici moraju biti proračunati na zapreminu vode koja odgovara maksimalnom osmočasovnom pritoku, odnosno:

$$V_{vod} = Q \cdot t \cdot k = Q \cdot 8 \cdot 1,25 \quad (m^3),$$

gdje je:

Q – maks. pritok vode (m^3/h),

t - vreme akumuliranja vode, t = 8 časova,

k - koeficijent rezerve (1,25) usled nagomilavanja taloga.

Korisna zapremina vodosabirnika iznosi: $V_k = \frac{V_{vod}}{k} (m^3)$

Dužina vodosabirnika $L = \frac{V_{vod}}{A} (m)$

5.4. PUMPNE KOMORE

Pumpne komore su pomoćne rudničke prostorije u kojima se ugrađuju pumpe sa ostalom električnom i mehaničkom opremom za ispumpavanje vode, odnosno odvodnjavanje rudnika. Prilikom projektovanja pumpnih komora primenjuju se važeći tehnički propisi i standardi za podzemne prostorije, pri čemu se mora obezbediti adekvatno provetranje i protivpožarna zaštita. Lokacija, odnosno mesto ugradnje pumpne komore razmatra se u sklopu izbora načina odvodnjavanja rudnika, lokacije vodosabirnika, načina otvaranja rudnika, položaja glavnih prostorija provetranja i izvoza i fizičko-mehaničkih karakteristika stena u kojima se gradi komora.

Pored svih mogućih lokacija pomoćnih objekata u jami, ipak, generalno, mogu da budu dve grupe, a to su:

- a) Lokacija pumpne stanice u blizini osnovne prostorije otvaranja rudnika u svežoj vazdušnoj struji. Prednosti i nedostaci ove lokacije su:
 - Laka je i jednostavna doprema materijala, mašina (pumpi) i uređaja do pumpne stanice, vodosabirnika.

- Nadzor, dolazak i odlazak sa posla radnika i onih na održavanju pumpi i električne opreme je jednostavan i može se organizovati i od radnika koji rade na navozištu, odnosno koji opslužuju osnovnu prostoriju otvaranja.
 - Rad pumpne stanice u ulaznoj vazdušnoj struci može da dovede do ugrožavanja transporta i izvoza i sveže vazdušne struje. Lokacija pumpne stanice i vodosabirnika oko glavne prostorije otvaranja u slabim stenama dovodi do slabljenja zaštitnih stubova, manifestacije jamskog pritiska i deformacije glavnih prostorija i pumpne stanice.
 - Radi otklanjanja opasnosti od ugrožavanja ulazne vazdušne struje izrađuju se posebne prostorije za izvođenje izlazne vazdušne struje iz pomoćnih prostorija u prostorije izlazne vazdušne struje glavnog provetrvanja ili posebno izgrađene ventilacione prostorije za provetrvanje sistema pomoćnih prostorija oko glavne izvozne prostorije.
- b) Lokacija pumpne stanice i drugih pomoćnih prostorija u blizini glavne prostorije izlazne vazdušne struje ili u okviru sporednih prostorija u eksploatacionom polju. Prednosti i nedostaci ove lokacije su:
- Otežana doprema mašina i uređaja do pumpne stanice. U toku dopreme gabaritnih mašina remeti se tok vazdušne struje.
 - Nadzor, održavanje, dolazak i odlazak radnika sa posla je otežan. Radnici i objekti koji se nalaze u izlaznoj vazdušnoj struci izloženi su nekomformnim uslovima izlazne vazdušne struje. U metanskim rudnicima električna oprema u pumpnoj stanici mora biti u S - zaštiti da ne bi došlo do upale i eksplozije metana. Takva oprema je skupljia u odnosu na opremu koja nije u sigurnosnoj izvedbi.
 - Rad u ovako lociranim pomoćnim objektima ne dovodi do ugrožavanja ulaznih prostorija vazdušnih struja jame, osim izlazne vazdušne struje. Kod jama koje su otvorene centralno, izradom ulazne i izlazne prostorije iz pumpne stanice može se ugroziti zaštitni stub, ali se može otkloniti potreba za ugradnjom električnih uređaja u S-zaštiti, ako se pumpna stanica izoluje hermetičkim ventilacionim vratima u slučaju okretanja smera vazdušne struje.
 - Pomoćne prostorije i pumpne stanice skoncentrisane oko sporednih prostorija u eksploatacionom polju zahtevaju organizaciju posebnog provetrvanja, a nekad i ostavljanje posebnih zaštitnih stubova u ležištu radi očuvanja objekata od zarušavanja.

Pumpna komora treba da se provetrava posebnim ogrankom sveže vazdušne struje tako da se izlazna struja direktno izvodi u izlaznu vazdušnu struju jame. Količina vazduha za normalno provetrvanje komore određuje se na

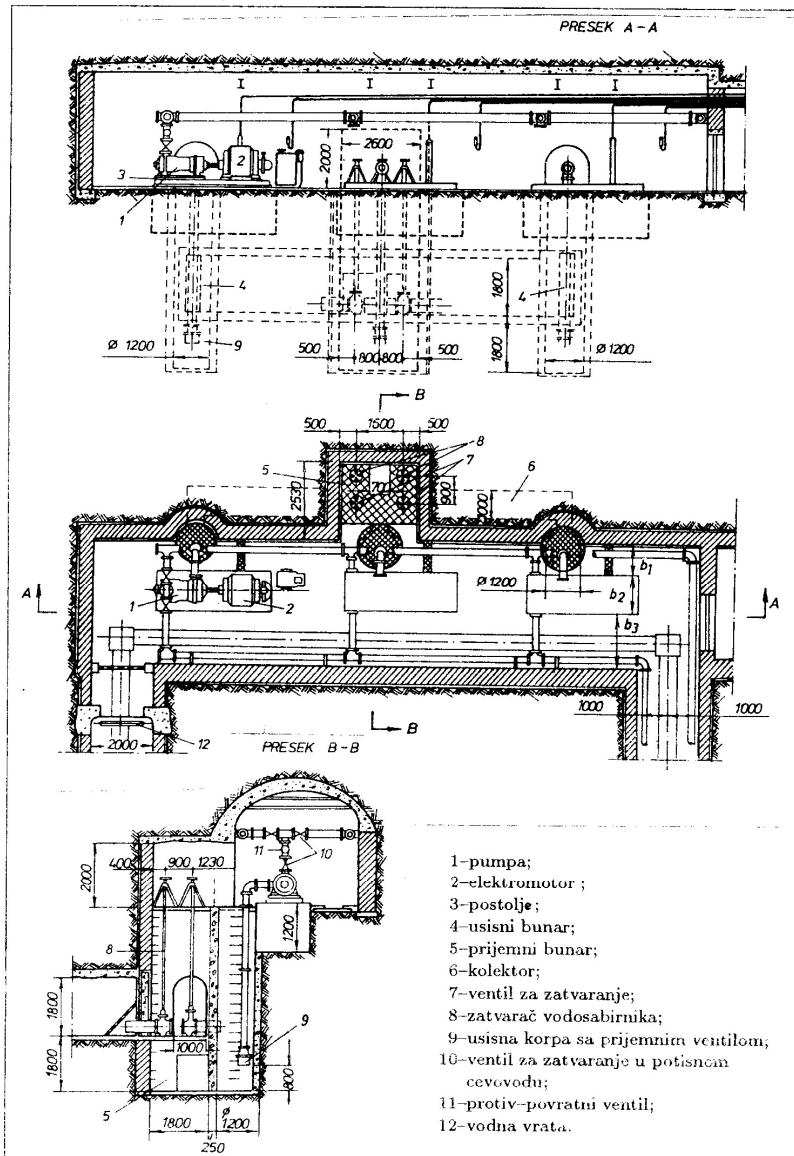
osnovu potreba za obezbeđenje komfornih uslova rada u pogledu klime, čistoće vazduha i dr. Uređenje pumpnih komora, broj i dimenzije pumpi zavise od priliva vode u jamu i režima pumpanja, a usklađuje se sa važećim tehničkim propisima. Pumpe se u komori postavljaju na odgovarajuće temelje od betona. Svaka pumpa ima zaseban temelj, koji je nešto izdignut od poda komore 20 - 40 cm. Pod komore mora biti viši 0,5 m od poda susednih prostorija (hodnika i navozišta) da bi se komora zaštitala u slučaju potapanja. Izbor vrste podgrade komore zavisi od njenog veka trajanja, kao i vrste stena, odnosno njihovih fizičko-mehaničkih karakteristika. Materijal za podgrađivanje može biti drvo, cigla, kamen, beton i armirani beton.

Broj pumpi u pumpnim stanicama zavisi od priliva vode. Kod malih i srednjih priliva (50 do 300 m³/h) postavljaju se tri pumpe (temelja) istih veličina. Pri tome svaka pumpa treba da ima kapacitet jednak jednostrukom normalnom prilivu, odnosno da ispumpa normalni dnevni dotok vode za 12 do 16 sati. Time se postiže da pumpna stanica zadovoljava uslov dvostrukog kapaciteta pumpnog postrojenja, druga je rezervna, a treća je rezerva rezervnoj. Tako se postiže visoka pouzdanost rada pumpne stanice.

Kod većih priliva vode može se primeniti i veći broj pumpi. Pumpe se postavljaju samo sa jedne strane pumpne komore. To zahteva dužu, ali i užu pumpnu komoru koja ima veću stabilnost. Ako je komora šira, pumpe se mogu postaviti duž oba zida. Postavljanje pumpi po dužini omogućuje pogodniji prilaz i opsluživanje.

Usisni cevovod svake pumpe koji ima kapacitet veći od 50 m³/h potapa se u zasebni prijemni bunar. Za pumpe manjeg kapaciteta od 50 m³/h dovoljan je jedan zajednički bunar. Ispuštanje vode u prijemni bunar reguliše se zatvaračima, kojima se rukuje iz komore.

Na slici 36. prikazan je izgled pumpne komore sa svim detaljima. Kod ovog tipa komore svaka pumpa ima zasebni bunar.



Slika 36. Izgled pumpne komore

Dimenzije pumpne komore zavise od broja pumpi, njihovih prostornih karakteristika, kao i ostale elektro opreme koja se ugrađuje. Pri tome treba imati u vidu sledeće:

- fizičko-mehaničke osobine stena u kojima se komora izgrađuje,
- broj pumpi u radu i u rezervi,

- mogućnosti boljeg iskorišćenja prostora u komori,
- pogodnost opsluživanja i remonta pumpi,
- mogućnost proširenja komore u slučaju potrebe postavljanja većeg broja pumpi.

Približna širina komore (b_k) može se izračunati po obrascu:

$$b_k = b_1 + b_2 + b_3 \quad (m)$$

b_1 - rastojanje temelja pumpe od zida komore sa strane bunara (0,8 - 1,2 m),

b_2 - širina temelja pumpe,

b_3 - rastojanje temelja od zida komore sa suprotne strane bunara (1,6 - 2,0 m).

Dužina komore može se izračunati putem izraza:

$$l = n(l_1 + l_2) + l_3 \quad (m)$$

N - broj temelja,

l_1 - dužina temelja,

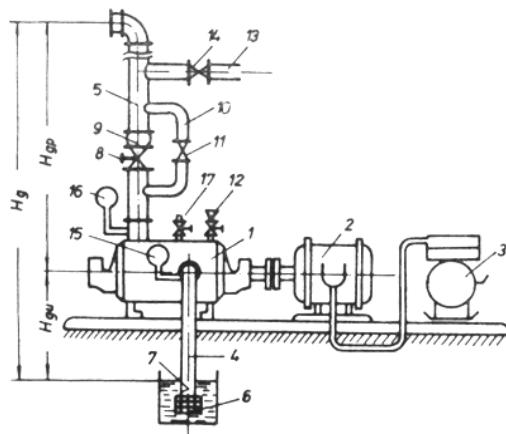
l_2 - rastojanje između temelja (1 - 1,5 m),

l_3 - nezauzeta slobodna dužina komore (4 - 6 m).

Širina komore u praksi se kreće od 3,5 do 5,5 m, a visina zavisi od visine celog uređaja (pumpe, temelja) kao i načina postavljanja cevovoda.

5.5. PUMPNO POSTROJENJE

Postrojenje za jamsko odvodnjavanje (slika 37.) sastoji se iz sledećih osnovnih elemenata: pumpe (1), motora (2), prekidača (3), usisnog (4), i potisnog cevovoda (5). Na usisnom cevovodu se nalazi usisna korpa (6), sa prijemnim ventilom (7), a u potisnom cevovodu ventil za zatvaranje (8) i protiv-povratni ventil (9).



Slika 37. Pumpno postrojenje

Pre puštanja pumpe u rad iz radnog kola i usisnog cevovoda mora se odstraniti vazduh, pa se zbog toga vrši zalivanje pumpe. Pri ručnom zalivanju iz potisnog cevovoda služi cev (10) sa ventilom (11) i levkom (12). Ventil za zatvaranje u potisnom cevovodu mora biti zatvoren pre puštanja pumpe u rad. Kod automatskog upravljanja zalivanje se vrši specijalnim pumpama. Cev (13) sa ventilom (14) služi za ispuštanje vode pri remontu potisnog cevovoda. Pomoću vakuummetra (15) meri se razređenje (vakuum) na ulazu u pumpu, a pomoću manometra (16), pritisak na izlazu iz pumpe. Kroz ventil (17) ispušta se vazduh iz pumpe za vreme zalivanja.

Pri radu pumpe u usisnom cevovodu stvara se razređenje (vakuum), pa tečnost iz vodosabirnika pod dejstvom pritiska, atmosferskog vazduha ulazi u pumpu i tako nastaje proces usisavanja. Na izlazu iz pumpe stvara se napor pod čijim dejstvom se podiže voda po potisnom cevovodu.

Naporom (H) se naziva prirast specifične energije koju pumpa predaje tečnosti od ulaza pumpe pa do izlaza iz nje. U posebnim slučajevima može se izdvojiti napor: **nominalni** (H_{nom}) - po tehničkim karakteristikama; **optimalni** (H_{opt}) - pri maksimalnom koeficijentu dejstva pumpe; pri nultom kapacitetu **H_0 -napor**, pri $Q = 0$.

Protok Q je količina tečnosti koju pumpa šalje u jedinici vremena u potisni cevovod. Pri pumpanju tečnosti javljaju se i otpori trenja koje pumpa mora savladati. Takođe, ne pumpa se uvek tečnost istog kvaliteta i fizičkih svojstava, pa otuda i nastaju određene posledice po režimu pumpanja. Zbog toga se mogu razlikovati tri različite visine pumpanja: **geodetska, statička i manometarska**.

Geodetska visina pumpanja (H_g) predstavlja vertikalno rastojanje između nivoa vode u vodosabirniku i osovine cevovoda kojim se voda izbacuje na površinu. Geodetska visina pumpanja sastoji se iz usisne i potisne visine.

Usisna geodetska visina (H_{gu}) predstavlja vertikalno rastojanje između nivoa vode u vodosabirniku i osovine pumpe.

Potisna geodetska visina (H_{gp}) je vertikalno rastojanje od osovine pumpe do osovine cevovoda kroz koji voda ističe. Može se uspostaviti izraz da je:

$$H_g = H_{gu} + H_{gp}$$

Statička visina pumpanja (H_{st}) predstavlja visinu pritiska na dno zamišljene vertikalne cevi čija je visina jednaka geodetskoj visini pumpanja, a koja je napunjena tečnošću određene gustine.

Manometarska visina pumpanja (H_m) predstavlja napor koji se utroši da bi se tečnost podigla na određenu geodetsku visinu, da bi se savladali svi otpori trenja u cevovodu i tečnosti dala određena brzina proticanja.

III ODVODNJAVA VJE POVRŠINSKIH KOPOVA

1. OPŠTI PRINCIPI ODVODNJAVA VJE POVRŠINSKIH KOPOVA

Odvodnjava vje površinskih kopova podrazumeva kompleks mera vezanih za borbu sa podzemnim i površinskim vodama u svim fazama eksploracije ležišta. Sistem odvodenja mora biti tako projektovan i izveden da pruža potpunu zaštitu i omogućava nesmetan tehnološki proces dobijanja mineralne sirovine u površinskom kopu, a da u isto vreme pruža racionalno i ekonomično rešenje.

Karakteristika ležišta mineralnih sirovina koja se otkopavaju sistemima površinske eksploracije je znatna ovodnjenost koja doprinosi velikim apsolutnim prilivima vode. Apsolutni priliv vode u površinski kop potiče od:

- podzemnih voda sadržanih u poroznim ovodnjennim stenama krovine ležišta, podine ležišta, ako se u podini nalazi voda pod pritiskom;
- atmosferskih voda koje potiču od kiša, snega, kondenzacija, vodene pare;
- infiltracionih voda, koje pritiču u porozne stene krovine ležišta ili podine ležišta iz susednih izdani ili iz potoka, reka, jezera i dr.

Izrazita ovodnjenost površinskih kopova nameće potrebu prognoze priliva vode iz svakog izvora i preduzimanje veoma složenih postupaka izgradnje hidrotehničkih objekata za njegovo smanjenje i organizaciju odvodenja. Negativan uticaj vode u površinskom kopu ogleda se u deformacijama kosina kopa i odlagališta, koje ometaju rad u kopu, oštećuju opremu, pogoršavaju uslove rada na otvaranju ležišta, otkopavanju i transportu.

Pri projektovanju površinskih kopova neophodna je prognoza ovodnjenosti stena raskrivke i ležišta u cilju preduzimanja mera za otklanjanje negativnih uticaja visoke ovodnjenosti ležišta na tehnologiju i tehniku eksploracije. Mora se predvideti uticaj ovodnjenosti na proces dobijanja mineralne sirovine površinskim sistemom, odrediti mere hidrotehničke zaštite, a troškove preduzetih mera na obezbeđenju pogodnih radnih uslova svesti na troškove po toni proizvedene mineralne sirovine.

1.1. METODE I SISTEMI ODVODNJAVA VJE POVRŠINSKIH KOPOVA

Najpraktičnija podela metoda odvodenja je prema tehnologiji površinske eksploracije na:

- metode odvodenja površinskih kopova,
- metode odvodenja odlagališta.

Kod kopova se odvodnjava netaknuta radna sradina uz veliko prostranstvo i veći priliv kako površinskih tako i podzemnih voda, a kod odlagališta rastresita odložena masa na koji je uticaj vode kompleksniji i veći.

Prema vodama koje pritiču u kop, metode odvodnjavanja se dele na:

- metode odvodnjavanja podzemnih voda,
- metode odvodnjavanja površinskih voda.

Mnogi autori metode odvodnjavanja dele na:

- metode odvodnjavanja u cilju zaštite kopova i odlagališta od površinskih i atmosferskih voda;
- metode prethodnog isušivanja (dreniranja) ležišta i pratećih stena u domenu zahvata kopa, radi povećanja stabilnosti kosina etaža kopa, i
- metode odvođenja ili ispumpavanja vode ili zavodnjene zone odlagališta.

Navedene metode zaštite kopova i odlagališta primenjuju se izgradnjom hidrotehničkih objekata koje čine:

- kanali za skretanje vodenih tokova van eksplotacionog područja,
- kanali za prihvatanje i odvođenje atmosferskih voda van područja kopa,
- brane i nasipi za sprečavanje prodora površinskih voda i poplavnih talasa u kop,
- podzemne brane i ekrani za zaštitu kopa od prodiranja podzemnih i infiltracionih voda,
- hidrotehnički objekti (bušotine, bunari, hodnici, kolektori) za prethodno isušivanje ovodnjjenih etaža i slojeva u cilju povećanja njihove stabilnosti, i
- hidrotehnički objekti za uklanjanje vode iz kopa (taložnici, vodosabirnici, pumpne stanice, cevovodi i dr.).

1.2. ANALIZA USLOVA ZA ODVODNJAVA VJEŠTINA KOPA I ODLAGALIŠTA

Način odvodnjavanja i izbor hidrotehničkih objekata zaštite bira se na osnovu detaljne analize sledećih faktora:

- hidroloških i hidrografskih odnosa u zoni kopa i u njegovoj bližoj i daljoj okolini,
- hidrogeoloških i hidrodinamičkih odnosa u zoni kopa i njegovoj bližoj i daljoj okolini,
- geomehaničkih karakteristika stena i mineralne sirovine u ležištu,
- tehnike i tehnologije eksplotacije i primenjene opreme.

Od hidroloških i hidrografskih odnosa bitno je poznavanje:

- veličine slivnog područja kopa,
- stalnih i povremenih tokova i njihovog položaja,

- visine i učestalosti padavina,
- maksimalnih nivoa stalnih i povremenih tokova,
- karakteristika površinskog tla u pogledu oticanja, isparavanja, vodopropusnosti i upijanja,
- reljefa u slivnom području kopa,
- pojave prirodnih i veštačkih akumulacija,
- uticaja površinskih tokova na podzemne vode.

Hidrogeološki i hidrodinamički uslovi, uticajni na odvodnjavanje kopova i odlagališta su:

- karakteristike pratećih naslaga mineralne sirovine i pojave vodonosnih slojeva,
- položaji vodonosnih naslaga u odnosu na mineralnu sirovinu,
- nagib, moćnost i prostriranje vodonosnih naslaga,
- hidraulička veza vodonosnih naslaga sa površinskim tokovima,
- fizičkomehaničke karakteristike pratećih naslaga u prirodnom stanju i ovodnjene,
- granulometrijski sastav i poroznost vodonosnih slojeva,
- pravci kretanja podzemnih voda i
- količine protoka vode.

Kada su poznate geomehaničke karakteristike tla kopa, proveravaju se elementi stabilnosti u prirodnom stanju, računajući sa uslovima nagiba kosina i nosivosti tla.

Izabrana tehnologija otkopavanja i određena mehanizacija postavljaju zahteve za njenu primenu, koji se sastoje u stabilnosti i nosivosti tla pri otkopavanju, transportu i odlaganju.

2. ODREĐIVANJE PRILIVA VODE U POVRŠINSKI KOP

Za utvrđivanje apsolutnog priliva vode u površinski kop potrebno je poznavati tačnu dinamiku razvoja kopa, njegove dimenzije, položaj pojedinih etaža u odnosu na ovodnjene stene (kolektore vode). S obzirom na prethodno poznavanje hidrogeoloških odnosa stena u ležištu i hidrogeoloških karakteristika površine (slivno područje), prosečnih hidrometeoroloških karakteristika područja i klime, moguće je proračunati godišnji prлив vode u površinski kop Q_v (m^3/god) iz svakog pojedinačnog izvora i iz svih zajedno.

$$Q_v = Q_A + Q_{int} + Q_p \quad (m^3 / god)$$

Q_A - količina vode koja dospeva u kop slivanjem atmosferskog taloga (od kiša i snega),

Q_{int} - količina vode koja se filtrira u porozne stene sliva kopa od atmosferskih taloga i iz reka i potoka, ako postoji hidraulična veza između stena u kopu i površinskih voda,

Q_p - količina podzemnih voda koje ističu iz podzemnih ovodnjениh stena presečenih kosinama kopa ili useka, snižavanjem njihovog nivoa.

Na osnovu kapaciteta proizvodnje i očekivanog priliva vode u kop, prognozira se relativna vodonosnost ležišta, odnosno prliv vode po toni proizvodnje:

$$R_v = \frac{Q_v}{Q} \quad (m^3 / t)$$

Na osnovu ovoga izračunava se i srednja vrednost vodoobilnosti, koja se izražava u m^3/dan , a poznata je u praksi i pod nazivom koeficijent vodoobilnosti:

$$K_v = \frac{Q_v}{365} \quad (m^3 / dan)$$

Pri projektovanju hidrotehničkih objekata bitno je prognoziranje mogućih maksimalnih dnevnih ili časovnih priliva vode, pri pojavi jakih kiša ili naglog topljenja snega.

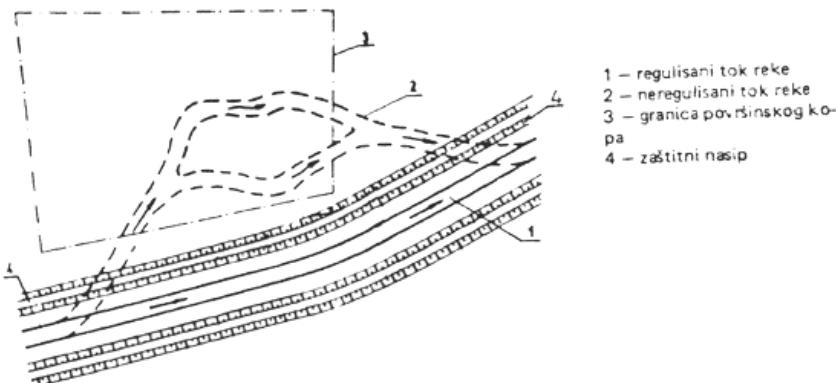
3. HIDROTEHNIČKI OBJEKTI ZA ŠTITE KOPOVA OD POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA

3.1. OBJEKTI ZA ZAŠТИTU OD POVRŠINSKIH VODA

S obzirom na sopstveni karakter ovi objekti se razvrstavaju na objekte za odvodnjavanje, koji se nalaze van zone površinskog kopa, i objekte u zoni površinskog kopa. Prvi imaju zadatku da spreče dotok stalnih ili povremenih tokova u kop, a drugi služe za odvodnjavanje površinskih voda koje se formiraju i nalaze u samom kopu.

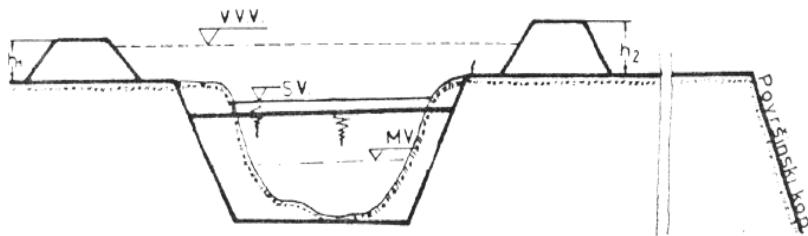
Površinski kopovi su, obično, na relativno visokom prostranstvu sa veoma izraženim reljefom i eventualnim pojавama rečnih tokova koji se moraju sistemima nasipa i kanala odvesti mimo zone kopa.

Ponekad se iznad zone kopa nalaze stalni vodotokovi i u tim slučajevima oni se moraju izmestiti (slika 1).



Slika 1. Prikaz izmeštanja i regulacije vodotoka

Pri izmeštanju i regulaciji vodotoka izvan područja površinskog kopa mora se dimenzionisati poprečni presek novog korita i odrediti trasa (dužina) novog hidrotehničkog objekta. Dimenzionisanje poprečnog preseka regulisanog novog korita reke određuje se na dužim ili kraćim deonicama, zavisno od produženog pada novog rečnog korita. Radi projektovanja ove faze potrebno je utvrditi površine poprečnih preseka novog korita za minimalne, srednjeevelike i velike vode, pri pojavi poplavnih talasa. Oblici poprečnih preseka novog korita vodotoka nisu proizvoljni, već su posledica određenih zakonitosti prirodnog režima ovih tokova. Činjenica je da se pod uticajem raznih vidova strujanja, rečno korito stalno menja u prostoru i vremenu.

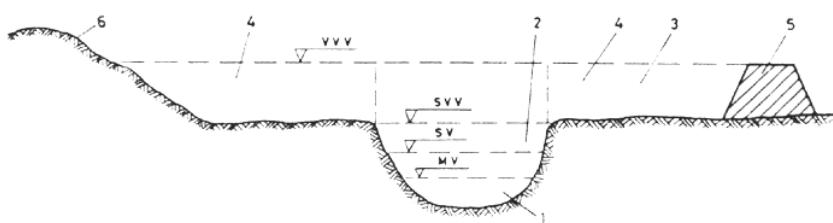


VVV – nivo maksimalne vode

SV – nivo srednje vode

MV – nivo minimalne vode

Slika 2. Šematski prikaz rečnog korita



1 – korito za manju vodu (minor korito)

2 – osnovno korito

3 – korito za veliku vodu (major korito)

4 – inundacija

5 – nasip

6 – prirodno visoka obala

MV – nivo minimalne vode

SV – nivo srednje vode

SVV – nivo srednje velike vode

VVV – nivo vrlo velike vode

Slika 3. Proširenje postojećeg korita

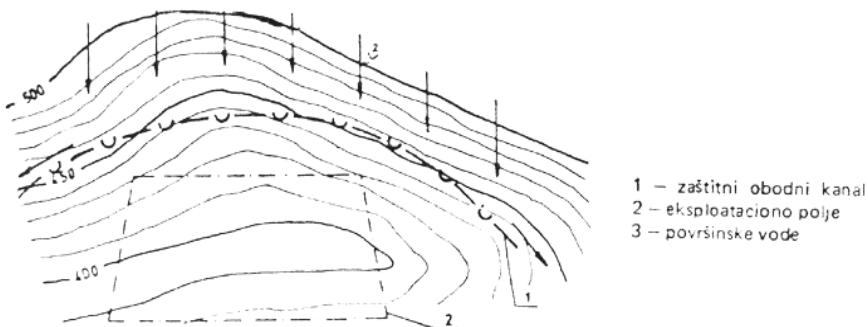
Zaštita kopa može se obezbediti i na sledeće načine: izradom nasipa prema kopu, povećanjem proticajne površine postojećeg korita da primi maksimalne vode, ili kombinacijom nasipa i proširenja (slike 2. i 3.).

Izrada zaštitnog nasipa je veoma sigurna zaštita od poplava kopa pod uslovom da nasip ispuni sledeće uslove:

- da je izrađen od slabo vodopropusnog materijala;
- da visina nasipa do površinskog kopa za 1m nadvisuje maksimalan nivo rečnog toka, a visina nasipa sa suprotnе strane reke od kopa mора бити мања за минимум 0,5-1m од максималног nivoa rečnog korita;

- da se uspostavi čvrsta veza između samorodnog tla i nasipa;
- da strane nasipa budu ozelenjene, da bi se spričilo dejstvo erozije i da nasip po dužini završava na granicama poplavne zone.

Dimenzije nasipa su u funkciji namene nasipa, vrste materijala od koga se gradi, količine vode, trajanja karakterističnih vodostaja i drugo. Visina nasipa se određuje na osnovu količine vode poplavnog talasa, čime se obezbeđuje da voda pri svom max. nivou ne pređe preko nasipa. Širina nasipa je u funkciji mogućnosti njegove upotrebe za izgradnju puta ili ne, zatim zavisi od visine nivoa vode, učestalosti oscilacija vode, vrste materijala od koga je izrađen i načina izrade. Dimensionisanje kosina nasipa se verifikuje geotehničkim proračunima u pogledu staticke i infiltracione stabilnosti. Zaštita kopa od vode koja se povremeno pojavljuje može se postići, kod manjih količina voda, izradom zaštitnog obodnog kanala (slika 4.), a kod većih količina voda, izradom zaštitnog nasipa i obodnog kanala.



Slika 4. Zaštita kopa obodnim kanalom

Rudarski radovi, objekti i oprema moraju biti zaštićeni od dejstva voda u radnoj zoni kopa. Pod uticajem atmosferskih padavina u radnoj zoni kopa se mogu formirati povremene površinske vode, čije dejstvo može biti znatno s obzirom na to da se radi o tlu koje je otkopavanjem rastreseno, koje je pod nagibom, a često i na određenoj dužini. Pored pojave površinskih voda u zoni kopa je značajan i uticaj isteklih podzemnih voda iz nožica kosina, otkopnih ili završnih kosina. Vrsta objekta za odvodnjavanje, u ovim situacijama, zavisi od hidrometeoroloških podataka, veličine slivnih površina, fizičkomehaničkih karakteristika tla terena, hipsometrijskog položaja rudarskih radova, tehnologije otkopavanja i dr. Kada su poznati svi navedeni elementi može se prići određivanju metoda zaštite kopa od površinskih voda i izabrati hidrotehnički objekti odvodnjavanja.

Od objekata koji se primenjuju kao zaštita kopa od unutrašnjih površinskih voda najveći značaj imaju **kanali za odvodnjavanje i vodostabirnici**.

Odvodnjavanje kopova od atmosferskih voda koje direktno padaju u kop vrši se prikupljanjem vode putem **etažnih kanala** i sproveđenjem prikupljene vode u vodosabirnike, odakle se voda pumpama izbacuje do zone gravitacionog oticaja van radnog područja površinskog kopa. Etažni kanali se izrađuju u planumima etaže ili paralelno sa napredovanjem etaže, a privremenog su karaktera, jer prate korak napredovanja same etaže. Problem taloženja materijala u kanalima, zbog malog nagiba etažne ravni, može se rešiti primenom **taložnika**.

Vodosabirnik je objekat za prikupljanje površinskih i podzemnih voda. Može biti urađen u projektovanim konturama kopa ili van. Izbor lokacije vodosabirnika je važan, kako sa stanovišta troškova za opremu i ispumpavanje voda tako i zapremine prostora u kome se locira vodosabirnik, a zavisi od:

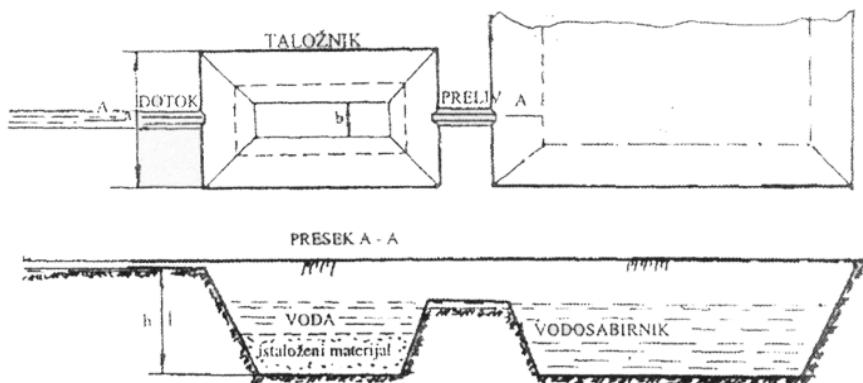
- količine (priliva) vode i kop i potrebne zapremine vodosabirnika predviđene propisima i organizacijom pumpanja vode,
- karaktera priliva vode,
- usvojene tehnologije eksploatacije.

Troškovi odvođenja vode su manji ako je vek eksploatacije vodosabirnika na jednoj lokaciji duži. Svaka promena lokacije vodosabirnika povlači sa sobom i troškove izrade novog vodosabirnika i troškove montaže i demontaže pumpne stanice i prateće opreme.

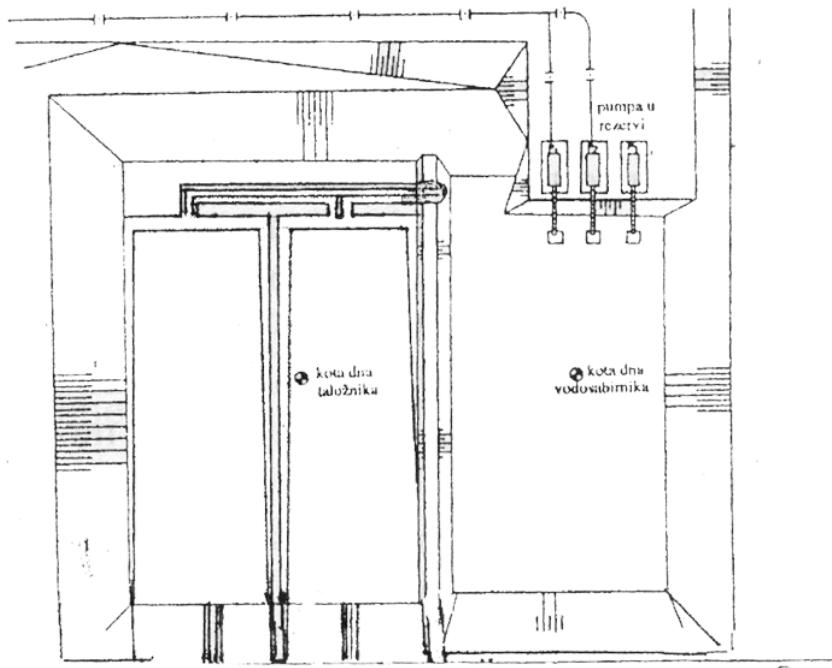
Kod većih kopova grade se takvi vodosabirnici, na dnu kopa, koji obezbeđuju siguran i kontinuiran rad celokupnog sistema za evakuaciju voda u radnoj zoni. Vodosabirnici na kopu se dimenziionišu na osnovu količina voda koje doći u konturu dubinskog dela kopa, jer se voda sa brdskog dela etažnim kanalima odvodi u obodne kanale i prirodne vodotokove. Njihov kapacitet (zapremina) zavisi od dotoka vode i odabranih kapaciteta pumpi, koji treba da izbace gravitacijski sakupljenu vodu do odvodnih, obodnih kanala, izvan zone kopa.

Taložnik je hidrotehnički objekat na kopu u kome se voda čisti od čvrstih čestica (mulja) taloženjem. Voda u kopu je uvek, više ili manje, zaprljana muljem od stena u kojima su izrađeni kanali za njeno prikupljanje. Da zamuljena voda ne bi brzo zapuniла vodosabirnik i da ne bi izazivala habanje pumpi pri ispumpavanju, ona se čisti u taložniku.

Taložnici se, takođe, brzo zamuljuju, pa ih treba čistiti. Čiste se pomoću utovarivača, utovarom mulja u kamione ili cisterne ili pomoću hidroelektora. Zavisno od predviđenog načina čišćenja, taložnici mogu biti izrađeni kao jednodelni ili dvodelni. Na slici 5. prikazan je jednodelni taložnik ispred vodosabirnika, a na slici 6. je konstrukcija dvodelnog taložnika, vodosabirnika i pumpne stanice na vodosabirniku.



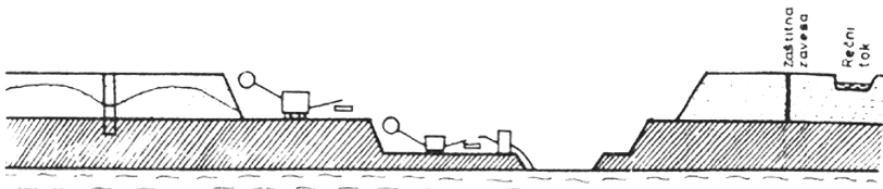
Slika 5. Jednodelni taložnik



Slika 6. Dvodelni taložnik

3.2. OBJEKTI ZA ZAŠTITU OD PODZEMNIH VODA

Odvodnjavanje i zaštita površinskih kopova od podzemnih voda ima za cilj da spreči štetno filtraciono dejstvo podzemnih voda, poboljša geotehničke karakteristike pratećih stena, smanji pritok podzemne vode unutar zone kopa, spreči intenzivno formiranje nove izdani u unutrašnjem odlagalištu i dr. Sve podzemne i površinske vode van radnog područja kopa su potencijalni izvori prihranjivanja izdani u zoni kopa, te je poželjno prekinuti hidrauličku vezu između pratećih naslaga u zoni kopa i površinskih i podzemnih voda van eksplotacionog područja kopa (slika 7.).



Slika 7. Površinski kop sa prekinutim dotokom vode u radnu zonu

Sprečavanje infiltracije (pritoka) podzemne vode u radno područje kopa po pravilu predstavlja preduslov za efikasno odvodnjavanje eksplotacione zone. Od položaja radnog područja kopa u odnosu na vodonosne sredine zavisi izbor metode odvodnjavanja, njihov broj, dimenzije i dr. Na izbor metode odvodnjavanja, kao i na izbor objekata za odvodnjavanje i njihove dimenzije utiču geološki uslovi, hidrogeološki uslovi, položaj i veličina površinskih i podzemnih voda, geomehaničke karakteristike pratećih stena u zasićenom i prirodnom stanju, tahnologija eksplotacije i dr. Zavisno od uslova i izabrane metode odvodnjavanja, pri odvodnjavanju kopova mogu se primenjivati razne vrste objekata (**useci, kanali, bunari, bušotine...**).

Prema položaju u odnosu na vodonosne sredine svi objekti odvodnjavanja se dele na **vertikalne drenažne objekte** (bunari, okna, bušotine), **horizontalne drenažne objekte** (useci, kanali, hodnici, horizontalne bušotine, zaštitni nasipi...) i **zaštitne zavese - ekrani**.

4. HIDROTEHNIČKI OBJEKTI ZA DRENIRANJE-ISUŠIVANJE OVODNJENIH LEŽIŠTA

4.1. VRSTE DRENAŽNIH SISTEMA

Isušivanje ovodnjениh ležišta mineralnih sirovina i pratećih stena je veoma zanačajno i pri podzemnim i pri površinskim sistemima eksploatacije i može se realizovati istovetnim ili sličnim metodama i postupcima. Površinski drenažni sistemi izgrađuju se sa zemljine površine ili sa etaža kopova. Njih čine vertikalne drenažne bušotine u kombinaciji sa horizontalnim bušotinama, iglastim filterima na etažama površinskog kopa, dranažni useci na bokovima kopova i drenažni kolektori na dnu kopa unutrašnjeg odlagališta. Prednosti površinskih drenažnih sistema, čiji su osnovni elementi bušotine za snižavanje nivoa podzemnih voda, sastoje se u niskim cenama i kratkom vremenu izgradnje, lakom merenju i upravljanju nivoom podzemnih voda u ovodnjenim stenama ili slojevima. Nedostaci bušotinskih drenažnih sistema ogledaju se u znatnoj potrošnji energije za ispumpavanje vode i složenosti sistema za njeno odvođenje. Primena bušotinskih drenažnih sistema je ograničena filtracionim svojstvima vodonosnih stena i karakteristika pumpi. Podzemni drenažni sistemi se sastoje od smernih i poprečnih hodnika, uskopa, niskopa, sa odgovarajućim filterima u bušotinama, koje se izrađuju u njima; zatim, kanala za odvod vode i vodosabirnika. Ti sistemi su skupi i složeni, jer zahtevaju izradu posebnih prostorija, ali su vrlo efikasni u složenim hidrogeološkim uslovima.

Osnovna prednost podzemnih drenažnih sistema jeste mogućnost njihove primene za drenažu slabopropusnih stena. Vrlo su pouzdani, a voda se sliva prema vodosabirniku i pumpnoj stanici. Na površinskim kopovima, preko podzemnih dranažnih sistema mogu se smanjiti troškovi pumpanja vode jer voda može da se izvede u vodotok potkopima. Nedostaci se ogledaju u visokoj ceni izrade podzemnih prostorija, drenažnih sistema i sistema za ispumpavanje vode.

Kombinovani drenažni sistemi uključuju površinske i podzemne drenažne objekte i vrlo su rasprostranjeni na kopovima.

U zavisnosti od vremena izgradnje i načina primene, drenažni sistemi mogu biti namenjeni za:

- prethodno isušivanje vodonosnih slojeva i stena pre otvaranje kopa,
- paralelno isušivanje vodonosnih slojeva u toku istraživanja, otvaranja i eksploatacije, i za
- prethodno isušivanje eksploatacionog polja i paralelno isušivanje radnih etaža.

Zavisno od dužine rada, sistemi za isušivanje se dele na:

- Stabilne, koji imaju stalni položaj i izgrađuju se na kopovima čija su eksploataciona polja mala. Obično se grade na konturi eksploatacionog područja ili etažama koje nisu u radu.
- Pokretne, za kratkovremeno i brzo isušivanje etaža u radu.

Prema šemama lokacije drenažnih sistema u planu eksploatacionog polja dele se na lokalne (diskontinuirane), linijske, konturne, mrežaste, a u profilu na jednohorizontalne i višehorizontalne, kolektorske i beskolektorske.

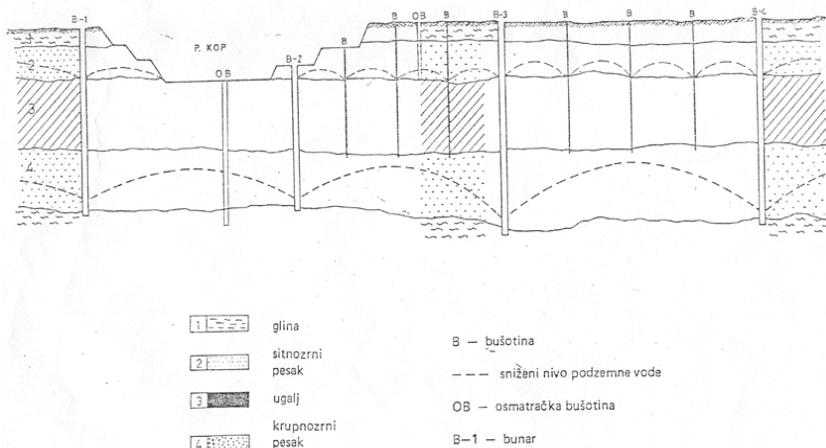
4.2. VERTIKALNI DRENAŽNI OBJEKTI

4.2.1. Bušotine

Dubinsko isušivanje vodonosnih stena pomoću vertikalnih bušotina primenjuje se na površinskim kopovima kao stalno (iza granice eksploatacionog polja) i privremeno (na radnim etažama i na dnu kopa). Tehnologija izgradnje bušotinskih sistema za dreniranje sastoji se iz sledećih faza:

- bušenje bušotina,
- ugradnja obložnih kolona i filtera u vodonosnim stenama,
- međusobno povezivanje bušotina cevima ili kolektorima za odvođenje vode,
- ugradnja pumpi u bušotine i njihovo povezivanje sa dovodom energije i sistemom automatskog upravljanja.

Izgled drenažnih bušotina predstavljen je na slici 8.



Slika 8. Izgled drenažnih bušotina

Tip bušilice bira se na osnovu potrebnog prečnika i dubine bušotina. Deo bušotine u ovodnjениm stenama se oprema filterima različitih tipova i konstrukcija. Filteri, praktično, predstavljaju delove objekata za odvodnjavanje (bušotina, bunara) koji u kontaktu sa poroznim stenama omogućava isticanje podzemne vode u objekte za odvodnjavanje i moraju ispunjavati sledeće uslove:

- da omoguće brz i sloboden prolaz vode kroz filter,
- da spreče nekontrolisano isticanje mulja i peska iz porozne sredine u bušotini,

- da pruže minimalan otpor kretanju podzemne vode,
- da omoguće maksimalnu izdašnost objekta za odvodnjavanje,
- da su jednostavne konstrukcije i laki za ugradnju,
- da su trajni i otporni na hemijsko delovanje podzemnih voda,
- da su statički otporni kako bi obezbedili funkciju osiguranja bokova.

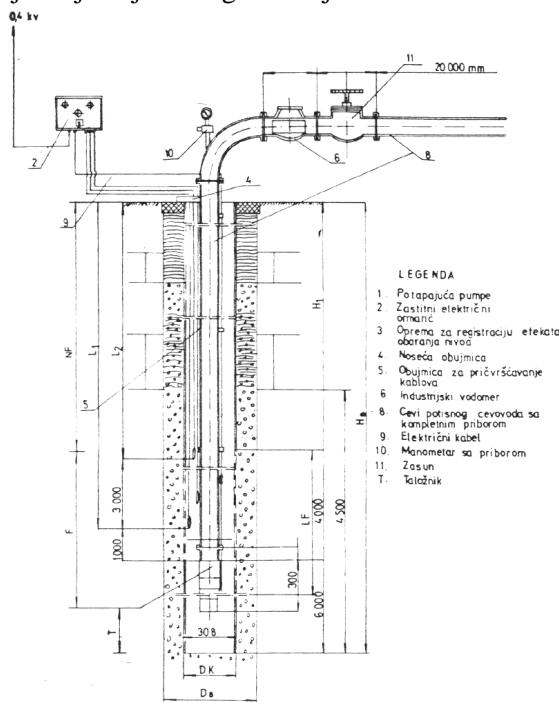
Oni se izrađuju u obliku filterskih cevi koji na svojoj površini imaju otvore-proreze. Oblik ovih otvora može biti okrugli ili pravougaoni.

Filtri se, prema tehnologiji rada, dele na usadne, sprovodne, vakuum, sišuće i iglo-filtre.

Za ispumpavanje vode iz bušotina primenjuju se različiti tipovi pumpi u zavisnosti od očekivane izdašnosti bušotine, neophodne visine pumpanja, hemijskog sastava vode i sadržaja mehaničkih primesa. Najčešće se primenjuju potapajuće pumpe. Režim rada pumpi proračunava se za maksimalnu izdašnost dreniranih vodonosnih horizonata i reguliše se pomoću sistema automatskog upravljanja.

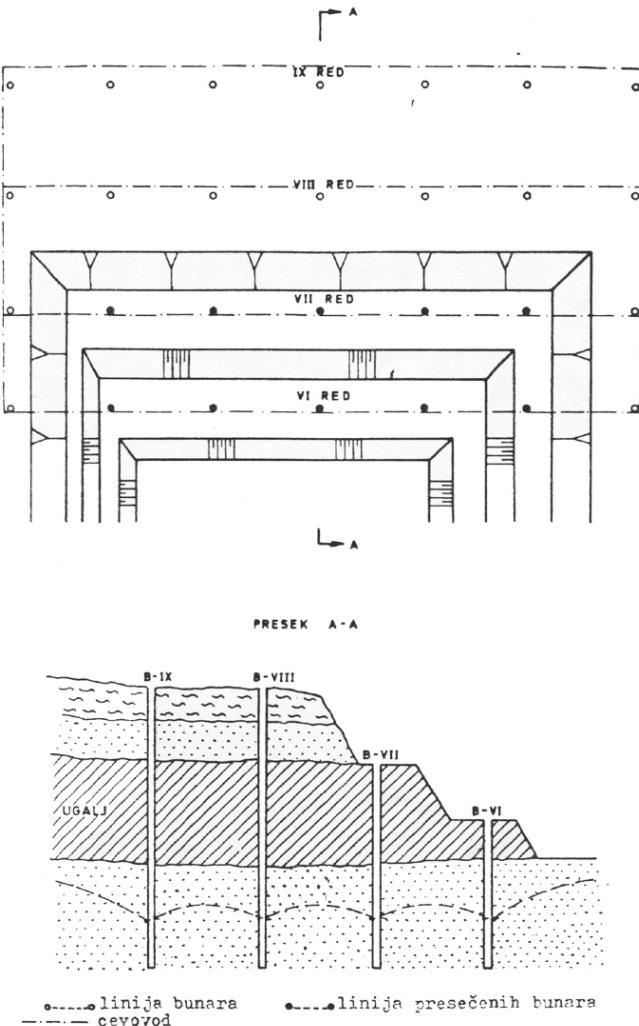
4.2.2. Bunari

Bunari su drenažni objekti koji se pri površinskoj eksploataciji često koriste, ne samo kao objekti za sprečavanje pritoka vode u zoni kopa, već i kao objekti za odvodnjavanje. Njihov izgled dat je na slici 9.



Slika 9. Bunar sa opremom za crpljenje vode

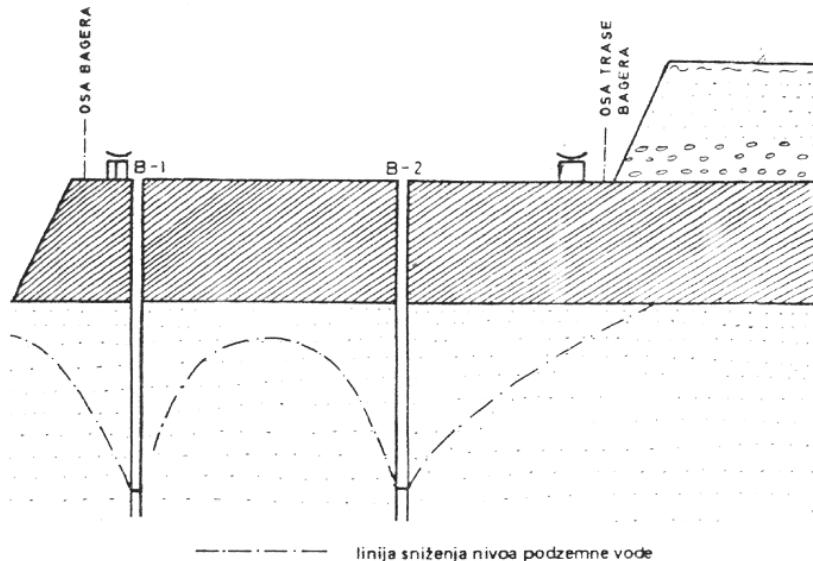
Bunari su našli široku primenu kod kopova sa većom dubinom, kod kojih su vodonosne naslage dublje, relativno moćne, sa srednjom i visokom propustljivošću. Kod kopova sa više vodonosnih horizonta, gde su niži horizonti sa visokim koeficijentom filtracije, bunari se koriste za upuštanje vode iz viših u niže vodonosne horizonte (slika 10.). Raspored bunara se određuje na osnovu detaljne hidrodinamičke analize, pri čemu treba imati u vidu dinamiku izvođenja rudarskih radova i promenu krive obaranja nivoa podzemne vode, zavisno od vremena crpljenja. Po načinu izrade, da li se rade sa površine terena ili sa nivoa etaža, bunari se dele na površinske i etažne.



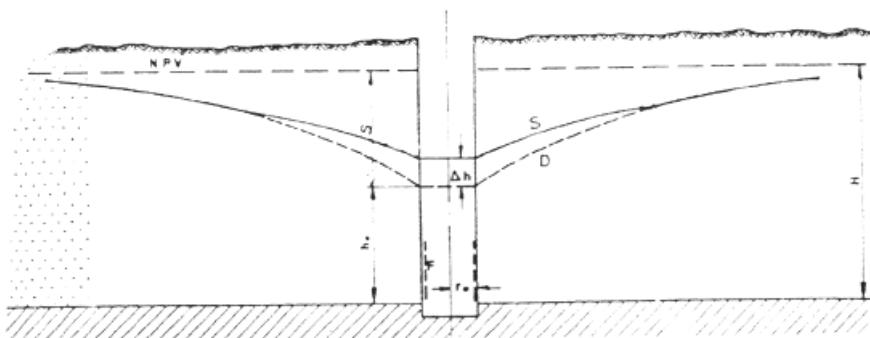
Slika 10. Sistem drenažnih bunara za odvodnjavanje krovinsko-podinske vodonosne serije

Etažni bunari se rade kao dopunski objekti za odvodnjavanje u radnoj zoni kopa u cilju obezbeđenja tehnoloških parametara otkopavanja i dinamike napredovanja etaža.

Izgled etažnog bunara dat je na slici 11, a na slici 12. je predstavljen savršeni bunar u izdanju sa slobodnim nivoom.



Slika 11. Etažni bunari



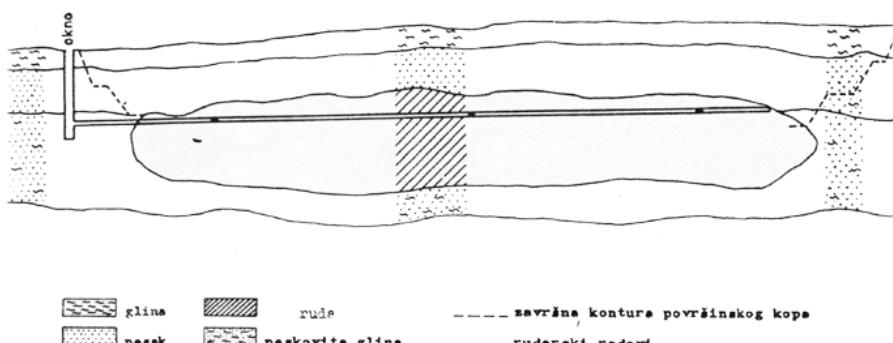
- s – sniženje nivoa u bunaru – depresija
- h_0 – visina nivoa vode u bunaru
- H – visina početnog nivoa vode slobodne izdani
- D – Dipijeva – proračunata parabola
- h – razlika nivoa vode u bunaru između proračunate – Dipijeve i stvarne linije (visina proviranja)
- S – stvarna (realna) linija depresije
- F – filterska konstrukcija u bunaru

Slika 12. Savršeni bunar u izdani sa slobodnim nivoom

Za projektovanje bunara moraju se poznavati sledeći parametri: dubina i prečnik bunara, unutrašnji prečnik konstrukcije bunara, tip i dubina filtera, granulometrijski sastav zasipa filtera. Kod bunara se razlikuju tri dela: taložnik, filterski-aktivni deo i nadfilterski deo.

4.2.3. Okna

Okna, kao objekti za odvodnjavanje, koriste se, uglavnom u čvrstim stenama. Funkcije okna kao objekta za odvodnjavanje može biti da služi za sniženje nivoa podzemnih voda i kao objekat smeštaja cevi za transport vode. Danas se okna, kao objekti za odvodnjavanje, retko primenjuju. Racionalna im je primena kod rudnika gde se kombinuju podzemni i površinski sistemi eksploatacije (slika 13.).



Slika 13. Mineralno ležište ovodnjeno rudarskim radovima

4.3. HORIZONTALNI DRENAŽNI OBJEKTI

4.3.1. Dreniranje površinskih ovodnjjenih slojeva

U praksi, zaštita kopova od podzemnih voda i isušivanje većih površina ovodnjjenih slojeva, obavlja se primenom površinskih horizontalnih drenažnih hidrotehničkih objekata. To su duboki kanali sa ugrađenim ili neugrađenim perforiranim azbestnim, cementnim ili betonskim cevima. Ovaj način dreniranja najčešće se primenjuje za isušivanje većih površinskih slojeva iznad nepropusnih slojeva i na površinama na kojima će se formirati spoljašnja ili unutrašnja odlagališta.

Osnovni način otklanjanja opasnosti od deformacija odlagališta pod dejstvom podzemnih voda jeste izgradnja efikasnog drenažnog sistema u podini za isušivanje odložene jalovine. Ispod i pored nožice odlagališta dolazi do pojave izdanske vode iz jalovišta i pojave klizišta. Ako se na ovaj način ne obezbedi dovoljna stabilnost odlagališta onda je potrebno po površini preko koje

će se odlagati jalovina raskrivke, izgraditi drenaži sistem za uklanjanje podzemnih voda.

4.3.2. Dreniranje unutrašnjeg odlagališta

Sprečavanje zasićenja vodom odložene jalovine, raskrivke na unutrašnjem odlagalištu iz podinskog sloja ili sa strane neaktivne kosine kopa, a takođe i od atmosferskih padavina, postiže se izgradnjom drenažnog sistema čija konstrukcija mora odgovarati lokalnim uslovima.

Za sprečavanje prodiranja podzemne vode iz neaktivne kosine kopa primenjuju se vertikalni i horizontalni bušotinski drenažni objekti ili površinski drenažni objekti u obliku tranšeja ili propusta.

U praksi, za isušivanje odlagališta najčešće se primenjuje mreža horizontalnih sakupljača vode, koja se izgrađuje pre zauzimanja površine odlagališta. Ona se sastoji od kanala dubine do 2,0 m u kojima su spuštene keramičke, azbestne, cementne ili betonske izbušene cevi oko kojih je izvršena zapuna krupnim peskom ili šljunkom. Odlagalište se može uspešno isušiti i ako se vodonepropusna ili delom vodopropusna podina obloži slojem čvrstih stena.

Za sprečavanje infiltracije atmosferskih voda u odloženu jalovinu, izrađuju se kanali za sakupljanje i odvođenje vode u koje mogu biti ugrađeni filteri ili su oni ispunjeni peskom i šljunskom.

4.3.3. Dreniranje spoljašnjih odlagališta

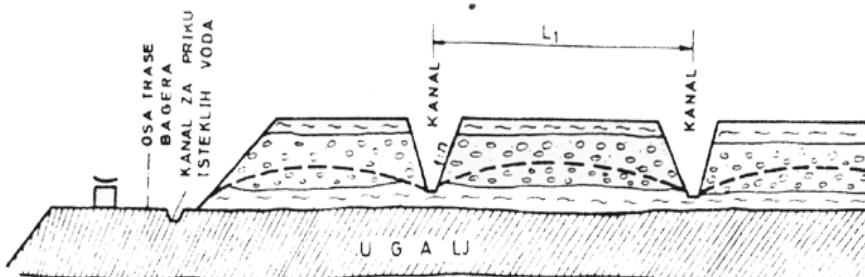
Spoljašna odlagališta se obično lociraju u depresijama na površini u blizini rudnika, na zemljištu koje nije pogodno za korišćenje u poljoprivredne svrhe. Te površine imaju malu nosivost, obično su zasićene vodom. Za povećanje njihove nosivosti, potrebno je prethodno pripremiti površine skidanjem prvog humusnog sloja i izgraditi drenažne kolektore za sakupljanje i odvođenje podzemnih voda iza projektovane konture površine odlagališta. Donji drenirajući sloj radi se na isti način kao i kod unutrašnjeg odlagališta. Važna mera za povećanje stabilnosti odlagališta, naročito od nožičnog klizanja i podnožičnog zavodnjavanja okolnog zemljišta, jeste izgradnja površinskog filterskog sistema oko odlagališta ili na delu prema kome gravitiraju vode.

4.3.4. Kanali

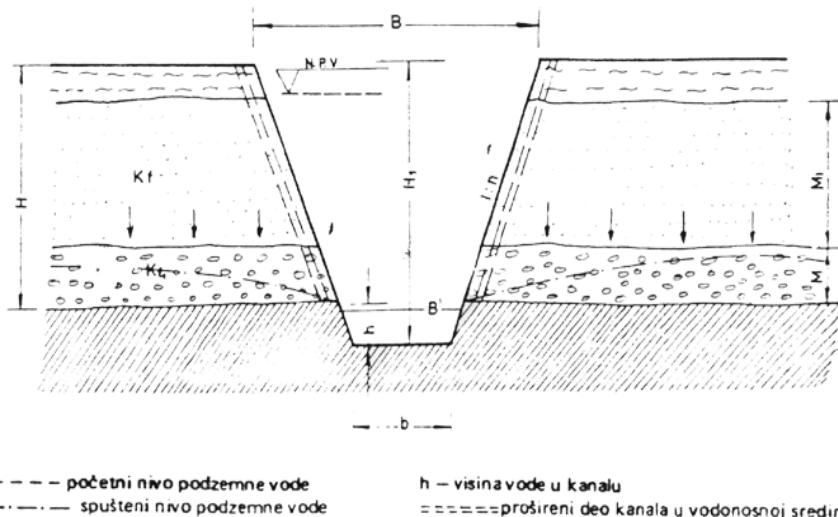
Kanali se na kopovina (slika 14.) primenjuju u manje složenim eksploatacionim uslovima i njihova primena je najpogodnija u sredinama koje se sastoje od šljunkovitih ili peskovito-šljunkovitih naslaga. Po svojoj nameni na kopovima kanali služe kao hidrotehnički objekti za:

- osnovno odvodnjavanje kod dreniranja krovinskih naslaga,
- dopunsko odvodnjavanje u kombinaciji sa drugim objektima,
- prikupljanje isteklih podzemnih voda na etažama.

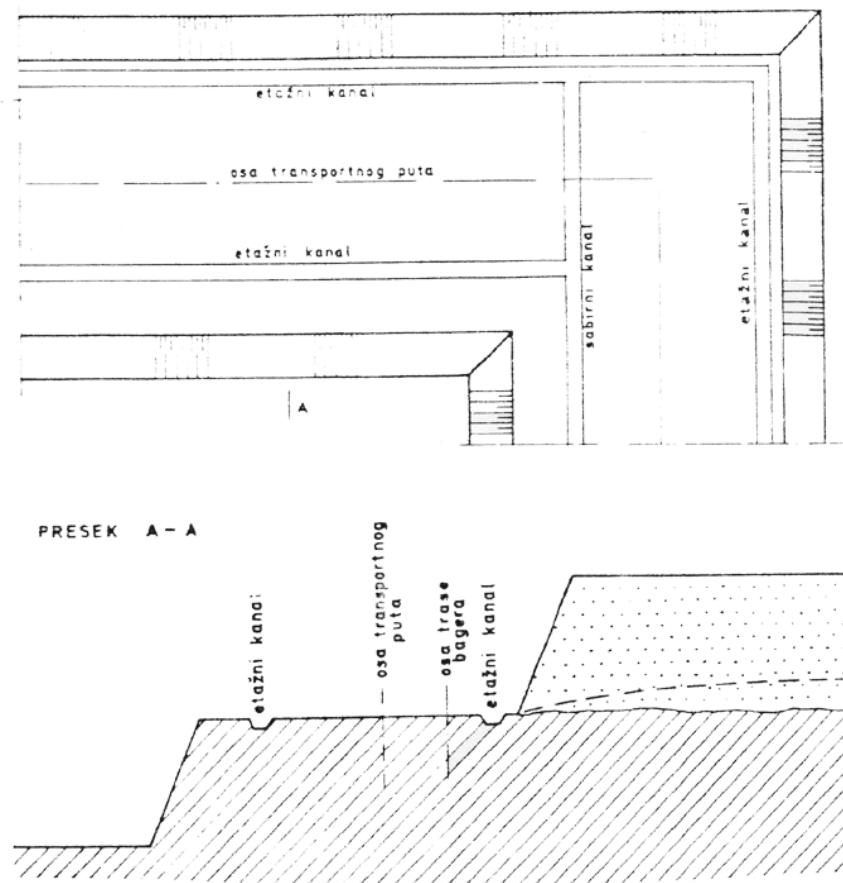
Kanali se izrađuju kroz vodonosnu seriju do vodonepropusne sredine, s tim što se dno kanala radi u vodonepropusnoj sredini radi prikupljanja isteklih voda u kanal. Znatan uticaj na dubinu ima i stabilnost kosina kanala. Presecanjem vodonosne serije (slika 15), podzemna voda teži da ispuni slobodan prostor kanala i u vodonosnoj seriji nastaje isticanje u kanal i spuštanje nivoa podzemne vode. Pod uticajem isticanja ispod kopa se stvara depresiona zona. Lokacija kanala za odvodnjavanje vodonosne serije određuje se pomoću hidrodinamičkih proračuna i veoma je bitna sa aspekta efikasnosti odvodnjavanja.



Slika 14. Raspored kanala za odvodnjavanje na kopu



Slika 15. Detalj kanala za odvodnjavanje

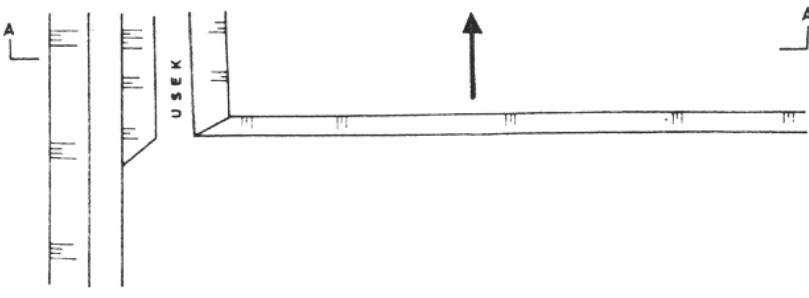


Slika 16. Kanali za prikupljanje isteklih voda na etaži

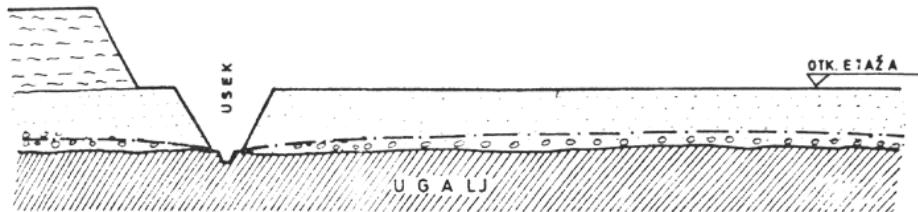
4.3.5. Useci

Useci predstavljaju drenažne objekte za odvodnjavanje delova kopova koji su ugroženi podzemnim vodama. Namena im je da odvodnjavaju vodonosnu seriju u okviru i na bokovima kopa.

Izrađuju se sa nivoa terena ili sa nivoa etaže do vodonepropusnih serija, a u cilju odvodnjavanja vodonosne serije (slika 17). Imaju, u određenim slučajevima, i namenu odvodnjavanja pri otvaranju ugljenih etaža, ako se u podini sloja nalaze ovodnjene stene.

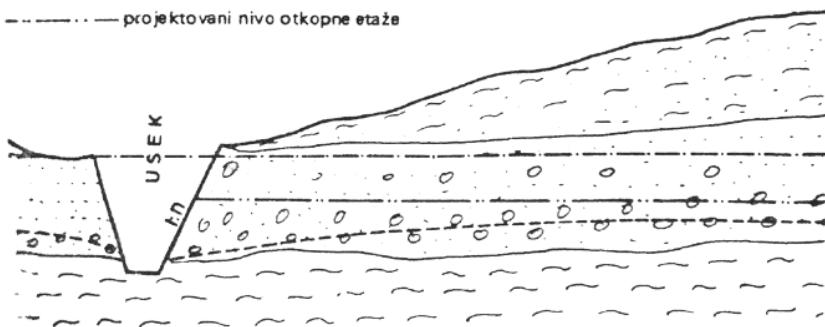


PRESEK A-A



Slika 17. Usek na otkopnoj etaži

— — — početni nivo podzemne vode
— — — nivo podzemne vode pod uticajem useka
— · · · · projektovani nivo otkopne etaže



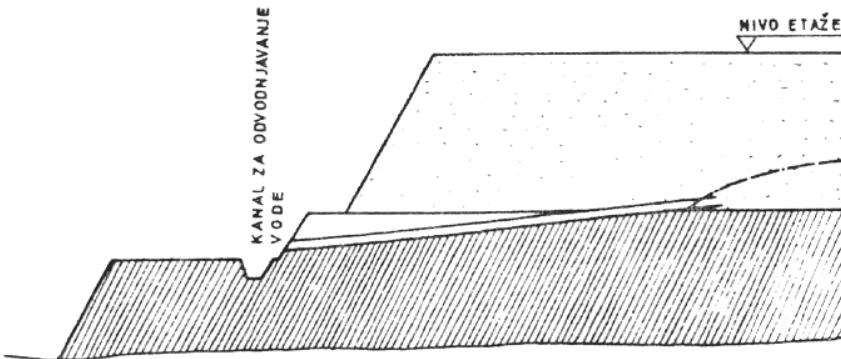
Slika 18. Izgled useka za odvodnjavanje

Izrada useka za odvodnjavanje obično prethodi otkopavanju masa na etaži odvodnjavajući deo mase iznad etaže. Za izradu useka služe bageri dreglajnji, bageri vedričari i bageri kašikari sa obrnutom kašikom. Zavisno od uslova terena, često se na jalovinskoj etaži (kojom se otkopava površinski deo terena) koriste useci za odvodnjavanje izrađeni u nižim delovima terena radi odvodnjavanja buduće otkopne etaže (slika 18).

Dimenzionisanje useka zavisi od njegove funkcije i obavlja se po istim principima po kojima se dimenzionišu kanali, imajući u vidu tehnološke zahteve.

4.3.6. Horizontalne bušotine

Horizontalne bušotine na kopovima se izrađuju i postavljaju sa etaža u dubinu vodonosne serije, u cilju odvodnjavanja i kontrolisanog isticanja podzemne vode stvaranjem depresione zone unutar vodonosne serije (slika 19). Stvaranjem depresione zone sprečava se nekontrolisano isticanje podzemne vode na kosinama kopa i njeno rušilačko dejstvo na stabilnost kosina etaža.

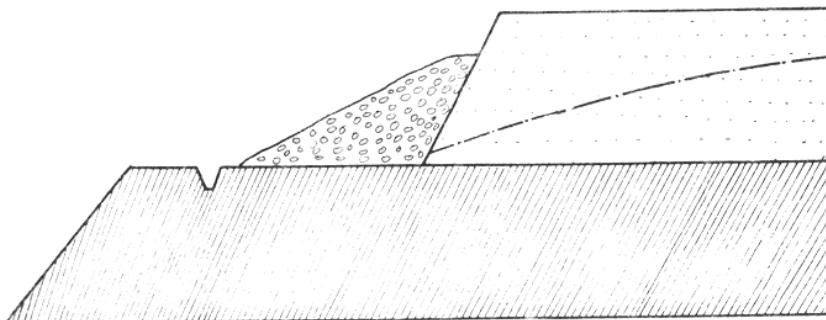


Slika 19. Horizontalna bušotina za odvodnjavanje na etaži

Dejstvo horizontalne bušotine može se osetiti ako postoji dovoljna dubina bušotine (40-50 m) i ako vodonosna serija ima veći koeficijent filtracije. Primena ovih hidrotehničkih objekata je kod kopova sa manje složenim i veoma složenim eksploracionim uslovima i, obično, u kombinaciji sa drugim objektima.

4.3.7. Zaštitni nasipi

Zaštitni nasipi kao drenažni objekti se koriste za odvodnjavanje i stabilizaciju kosina, kao i da pospeše odvodnjavanje etažnih kosina u cilju sprečavanja njihovog direktnog isticanja i deformacije. Grade se od krupnozrnog peska i šljunka različitog oblika i položaja u odnosu na nagib kosine (slika 20).

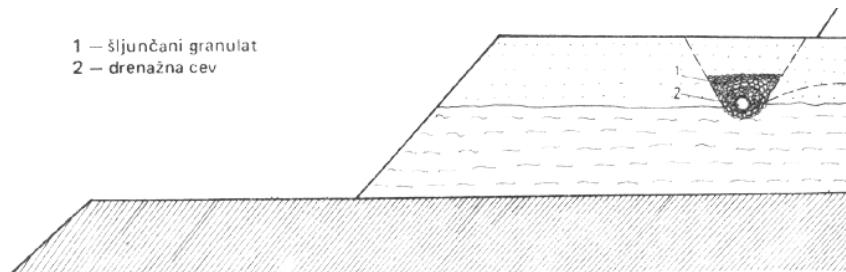


Slika 20. Zaštitni nasip na kosini etaže

Ugradnjom zaštitnih nasipa na kosinama etaža koje su ugrožene podzemnim vodama postiže se, u kosini etaže, kontrolisano isticanje podzemne vode i nema dinamičkog dejstva podzemne vode i iznošenje sitnih čestica. Mogu se koristiti i za odvodnjavanje etaža koje su izgrađene od sitnozrnih i prašinastih peskova.

4.3.8. Ukopane drenažne cevi

Ovi hidrotehnički objekti namenjeni su za odvodnjavanje odlagališta i kosina etaža. Kosine etaža izgrađene delimično od vodopropusnih naslaga mogu se odvodnjavati ukopanim drenažnim cevima (slika 21).

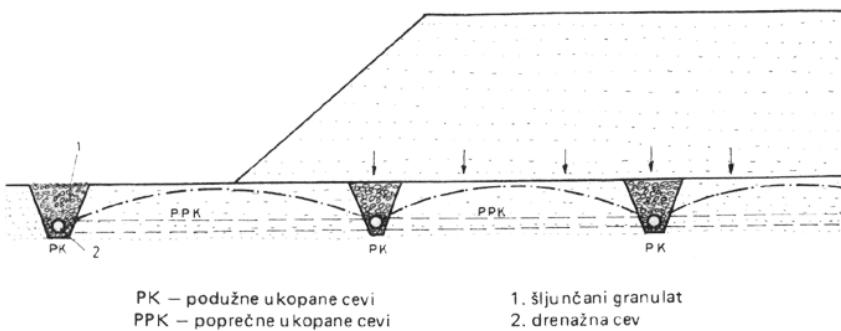


Slika 21. Ukopana drenažna cev u kosini etaže

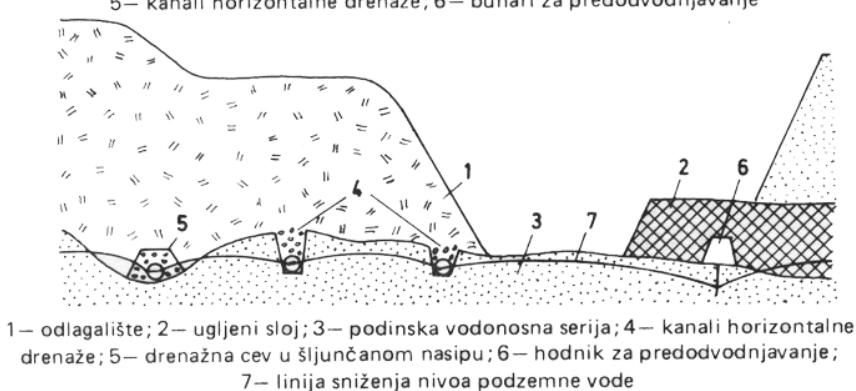
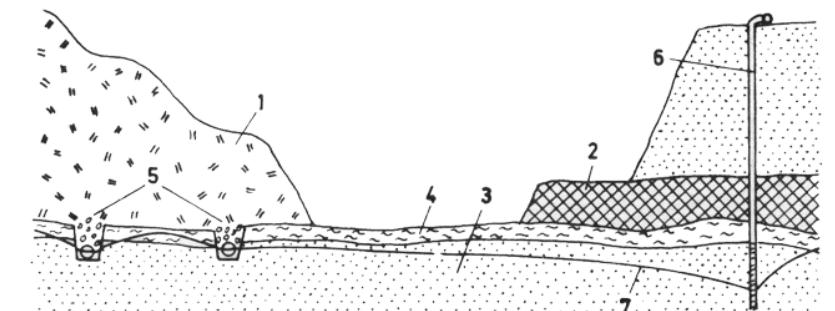
Odlagališta se, takođe, često odvodnjavaju ukopanim drenažnim cevima (slika 22). Drenažna cev se postavlja u podinskom delu tla koje sadrži vodu.

Cev je od poroznog plastičnog materijala i dovoljno krutog da izdrži pritisak tla. Oko drenažne cevi stvara se depresiona zona koja služi za usmeravanje doticaja podzemne vode u drenažnu cev. Ove cevi mogu se koristiti na svim kopovima koji

imaju podzemne vode u podlozi odlagališta ili u odlagalištu. Dimenzionisanje veličine, rasporeda i položaja drenažnih cevi vrši se na osnovu hidrauličnih proračuna, uzimajući u obzir hidrogeološke karakteristike radne sredine, tehničko-tehnološke uslove eksploatacije i funkcionalnost drenažnih cevi.



Slika 22. Izgled drenažne cevi u odlagalištu



Slika 23. Sistem drenažnih cevi u unutrašnjem odlagalištu

4.3.9. Podzemne rudarske prostorije za odvodnjavanje

Podzemne rudarske prostorije (hodnici, uskopi, niskopi...) mogu se koristiti za odvodnjavanje posebno u metaličnim ležištima. Grade se u čvrstim stenama koje su dovoljno vodopropusne da se mogu drenirati.

Lokacija podzemne drenažne prostorije, određuje se, pre svega, u zavisnosti od tehnoloških uslova, stepena sniženja u zavisnosti od tehnoloških uslova, stepena sniženja nivoa podzemne vode i vremena snižavanja nivoa vode. Danas je njihova primena sve manja, s obzirom na to da ih uspešno zamjenjuju drugi hidrotehnički objekti koji su ekonomičniji.

5. ZAŠTITA OD PODZEMNIH VODA PRIMENOM EKRANA

5.1. VRSTE EKRANA I NAČINI IZGRADNJE

Ekrani predstavljaju baraćne pregrade za sprečavanje kretanja podzemnih voda prema rudarskim objektima izgrađenim u vodopropusnim slojevima. Oni predstavljaju svojevrsnu zaštitu, u kombinaciji sa drugim hidrotehničkim objektima, od infiltracije velikih količina atmosferskih i vodoznih voda u proizvodne sisteme, pri pojavi poplavnih talasa usled padavina i dr.

Oni su prosti, srazmerno jeftini i pogodni za izradu mašinama, a pri korišćenju su pouzdani i dugotrajni, time i ekonomični, pa su našli široku primenu za zaštitu površinskih kopova i korita sleganja terena pri podzemnoj eksploataciji ležišta sa zarušavanjem krovinskih stena, od podzemnih voda.

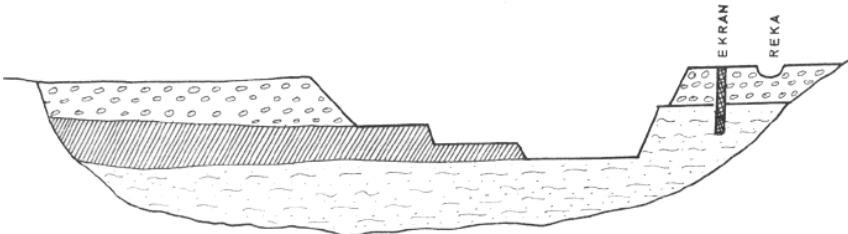
Ekrani su objekti lamenalnog geometrijskog oblika položenog u prosek - usek u vodopropusnom površinskom sloju, ili se izrađuju u obliku tampona, injektiranjem u podzemnom vodonosnom sloju, oko prostorija rudarske gradnje i sl. Materijal za izradu ekrana može biti različit, sa osnovnim karakteristikama: da je vodonepropusan, da je jeftin i da se lako ugrađuje.

Zaštita kopova od podzemnih voda pomoću ekrana preporučuje se, u prvom redu, za ležišta sa ne tako dubokim zaledanjem vodonosnih horizonata, koji se karakterišu visokim filtracionim svojstvima i u kojima preovlađuju dinamičke vode nad statickim. Statičke vode je lako otkloniti drenažnim sistemima. Izgradnjom ekrana sprečava se prihranjuvanje izdani vodom i povećava efikasnost drenažnih sistema.

U zaštiti površinskih kopova ekran koji se izgrađuju u površinskim slojevima mogu biti podeljeni na **savršene i nesavršene** (slika 23 i slika 24.).



Slika 24. Izgled savršenog ekrana



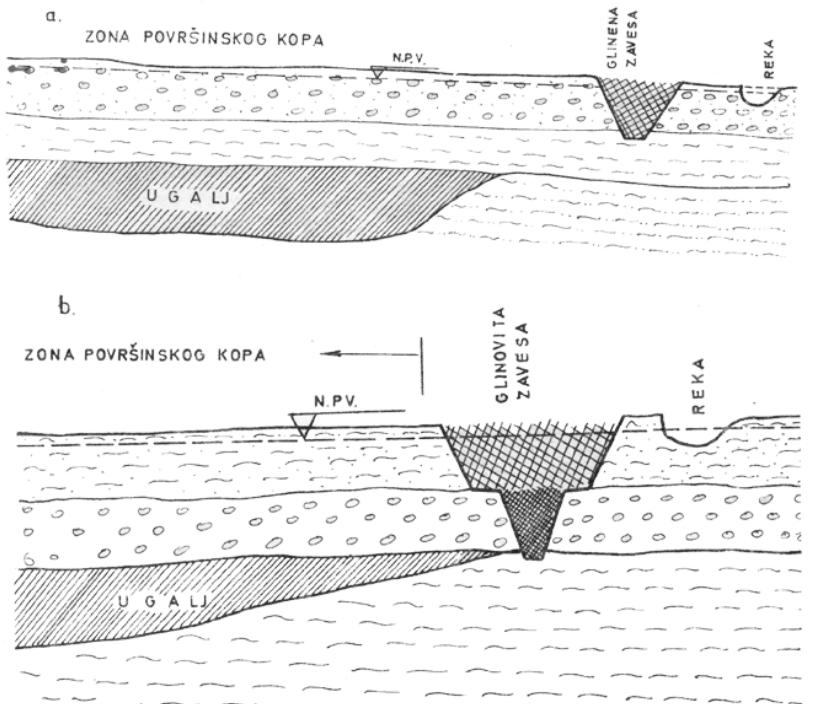
Slika 25. Izgled nesavršenog ekrana

Savršeni ekrani su oni koji se izrađuju i delom zadiru u donji vodonepropusni sloj i čine prepreku kretanju vode kroz vodopropusni sloj. Nesavršeni ekrani su oni koji se završavaju iznad vodonepropusnog sloja tako da delom sprečavaju prodiranje vode u vodopropusni sloj.

Prema tehnologiji izgradnje i materijala za izgradnju, ekrani su klasifikovani na:

1. **infuzioni ili zalinvi**, od naboja gline, plastičnih materijala, betona...,
2. **injekcioni ili uspricani**, izgrađeni ubacivanjem cementnog mleka, vodenog stakla, gline ili plastičnih masa u pore i pukotine vodopropusnih stena,
3. **kriogeni**, izgrađeni zaledivanjem vode u vodopropusnom sloju.

U površinskim kopovima, moguća je primena zaštitnih zavesa sa raznim vrstama ispune: glinene zavese, glineno-cementne zavese, zavese od plastičnih materijala, injekcione zavese i dr. Zavese se primenjuju za presecanje hidraulične veze, uglavnom, kod pličih vodonosnih horizonata gde je prihranjivanje vodom veoma intenzivno, odnosno gde je dotok u zonu kopa takav da ugrožava otvaranje i izvođenje eksploracionih radova. Položaj zavese određen je položajem konture kopa i položajem izvora prihranjivanja (slika 26.).



N.P.V. — prirodni nivo podzemne vode

a — normalna; b — produbljena

Slika 26. Izgled glinene zavese

5.2. INFUZIONI ZALIVNI EKRANI

Ovi ekrani predstavljaju uske vertikalne proreze (prostorije) izgrađene do podine ovodnjjenih peščara, konglomerata, peskova, zapunjene vodonepropusnim materijalom. Tehnološki proces izrade ekrana sastoji se od dve etape i to: izrade proreza specijalnim mašinama i zapunjavanja vodonepropusnim materijalom potrebnih svojstava ili ugradnje gotovog izolacionog materijala.

Materijal za nalivanje ekrana mora biti jeftin i raspoloživ ili od komponenti u dovoljnoj količini. On se mora lako pripremati i dopremati do dna ekrana. Preporučljivo je da se koriste sitnozrne gline koje u smesi sa bentonitskim i paligoritskim glinama obezbeđuju dobru zavesu niskog koeficijenta filtracije. Osim glina, mogu se primeniti glinasto-cementni rastvori, gumene trake, ekspanzionalni sintetički materijali i sl. Izrada useka - proseka može biti izvedena raznom opremom:

- izrada bušenjem,
- izrada bagerom kašikarem i kasnije ubacivanje zapune ili plastične zavese,
- izrada kontinuiranom specijalnom mehanizacijom sa kasnjom ugradnjom zapune ili folije,
- izrada proseka za ecran vibrirajućim nosačem kroz koji se u povlačenju ugrađuje ispuna za ecran (plastične trake).

5.3. INJEKCIIONI EKRANI

Injekcioni ekrani izrađuju se upumpavanjem u vodonosne slojeve specifičnih ispunjavajućih i očvršćavajućih materijala. Njima se zapunjavaju pore i pukotine i tako smanjuje vodopropusnost stena. Upumpava se kroz specijalno opremljene bušotine izbušene na bliskom rastojanju duž linije projektovane zavese ili tampona.

Injekcioni rastvori treba da ispunjavaju sledeće uslove: da su vodootporni, da dobro prianjaju uz čestice stene, da im je kratko vreme stvrdnjavanja, niska cena ugradnje i vrlo mala vodopropusnost stvrdnutog rastvora. Ovi ekrani izgrađuju se cementacijom, glinizacijom, bituminizacijom, silikatizacijom, smolizacijom i njihovim kombinacijama.

Cementacija se vrši upumpavanjem cementa kroz bušotine sa površine, sa etaža kopa ili sa čela podzemnog objekta, u vodonosni sloj, pomoću visokopritisnih pumpi i uvodnih kolona delom zacevljenih bušotina. Stepen prodiranja cementnog rastvora u pore i pukotine zavisi od krupnoće pora i pukotina, sastava i koncentracije rastvora, a takođe i od brzine kretanja podzemnih voda. Prodiruća sposobnost glinsko-cementnih rastvora se podešava

dodatkom hidrofilnih i hidrofobnih aktivnih materija koje igraju ulogu površinskih aktivnih materijala (sulfati, soli natrijuma, organske materije).

Glinizacijom se štite objekti od agresivnih voda u kavernoznim čvrstim stenama, raspucalim stenama koje propuštaju vodu, a, takođe, i u pesku čiji je koeficijent filtracije veći od 30 m/dan. Koncentracija gline u rastvoru zavisi od vodopropustljivosti stena. Tehnologija glinizacije izvodi se na isti način kao i cementacija.

Bituminizacija se izvodi toplim i hladnim načinom. Topli rastopljeni bitumen se koristi u veoma raspucalim i kavernoznim stenama, za zatvaranje pora, pukotina i kanala kroz koje teče voda. Pri izgradnji bituminoznih baražnih zavesa po pravilu se u prvoj fazi, sa čela objekta buše bušotine kroz koje se ubacuje naftni bitumen sa dodatkom parafina, peska, gline i cementa za zaptivanje kanala i pora, da bi se kroz tako ugrađen tampon mogla izraditi prostorija. Nakon izrade objekta izvodi se druga faza bituminizacije kako bi se dobio širi vodonepropusni tampon. Hladna bituminizacija (bitulit, kobit) ostvaruje se upumpavanjem u raspucale stene tečnog bitulita, kobita, ili vode sa dodatkom emulgatora, kao i bitumen - glinskih rastvora. Rastvori prodiru u pukotine u stenama i pore, gde se bitumen lepi na zidove pora i zatvara ih.

Silikatizacija se obavlja se injektiranjem stena tečnim stakлом (vodenog staklo H_2SiO_3) i služi za povećanje mehaničke otpornosti stena i vodonepropusnosti kako ispučalih tako i peskovitih stena. Primenom vodenog stakla se ne ugrožavaju podzemne vode.

Razlikuju se dva načina silikatizacije stena: dvokomponentni način putem odvojenog upumpavanja tečnog stakla i rastvora hlor-kalcijuma i jednokomponentni putem upumpavanja samo vodenog stakla. Silikatizacija se često primenjuje zajedno sa cementacijom i bimunizacijom.

Smolizacijom se u stene upumpavaju sintetičke smole i druga visokomolekularna jedinjenja sa dodatkom očvršćivača. Smole za injektiranje treba da budu vodorastvorene i da obezbeđuju očvršćavanje vodozasićenih stena. Radijus rasprostiranja rastvora smola zavisi od njihove viskoznosti i filtracionih svojstava stena u kojima se izrađuju tamponi.

5.4. LEDENI EKRANI

Ovom tipu ekrana pripadaju sve prepreke na putu kretanja vode koje se izgrađuju snižavanjem temperature stena. Pomoću bušotine za zamrzavanje, koje se buše obično na rastojanju 1 - 1,5 m i zamrzavanja sadržane vode u porama i pukotinama vrši se izrada ovih prepreka.

U porama led cementira mineralne čestice i obezbeđuje vodonepropusnost masiva stena. Primjenjuju se sledeći načini zaptivanja stena:

1. Bez isparivača (cirkulacijom rashladne tečnosti kroz zamrzavajuće bušotine i ponovnim vraćanjem u rashladnu mašinu).
2. Sa isparivačem (na račun isparavanja tečnog amonijaka ili ugljen-dioksida u buštinama).
3. Rashlađivanjem vazduha (korišćenjem leda).

Ledeni ekrani na kopovima mogu se primenjivati kao kratkotrajna mera koja se omogućava izrada okana i drugih prostorija u bilo kojim ovodnjenim stenama. Njihova izgradnja je celishodna u hladnim geografskim predelima, dok je u uslovima umerene i suve klime skupa i neracionalna.

IV OSNOVNI POJMOVI VEZANI ZA VODE I ODVODNJAVA

Vadovna voda

Podzemna, suspendovana voda u nezasićenoj zoni, odnosno zoni aeracije, iznad kapilarnog sloja, a pokretljiva najniže pod dejstvom gravitacije.

Veštačka energija

Energija koju čovek dobija preradom fosilnih goriva, biomase, urana ili korišćenjem sunca, vode ili vetra, u obliku toplotne ili električne energije koje predstavljaju sekundarne energije.

Veštački dobici vode

Dovođenje vode iz drugog slivnog područja, desalinacija morske vode i indukovana precipitacija (veštačka kiša).

Veštačko jezero ili hidroakumulacija

Antropogenim putem nastalo jezero zaustavljanjem toka neke reke ili većeg broja manjih reka u vreme velikih voda, da bi akumulirana voda koristila u toku sušnog perioda. Ono se koristi u različite svrhe. Može da bude: za rekreatiju, za snabdevanje naselja pijacom vodom ili za dobijanje električne struje transformacijom hidroenergije putem uređaja u hidroelektranama (vidi: hidroakumulacija).

Voda

Reč «voda» ima dva različita značenja, «heminski čista voda» predstavlja hemijsko jedinjenje koje, pod uslovom da se zanemari pristustvo minimalnih količina različitih izotropnih varijeteta u njemu, ima potpuno definisan hemijski sastav - (H_2O) i fizičko-hemiske osobine, dok «voda» predstavlja smesu hemijski čiste vode i niza primesa čije prirodne i prisutne koncentracije određuju njen kvalitet, odnosno karakteristike, pa otuda u mogućnost njenog korišćenja za određenu namenu.

Iako daleko najveći deo molekula hemijski čiste vode, čak 99,73% molska, čine identični molekuli, sačinjeni od protijuma - P, izotopnog varijeteta vodonika sa atomskom masom 1,007822 i izotopnog varijeteta kiseonika ^{16}O sa atomskom masom 15,9994, sa molekulskom masom 18,015044, stvarni hemijski sastav čiste vode nije tako jednostavan kao što na prvi pogled izgleda. Naime, osim protijuma, postoje još 2 izotopa varijeteta vodonika: deuterijum, D, sa atomskom masom 2,0141 i tricijum, T, sa atomskom masom 3,017001, a pored izotopa kiseonika ^{16}O , ima još 5 njegovih izotopnih varijeteta, sa atomskim masama približno 14, 15, 17, 18 i 19, koje bi teorijski, kada bi svi bili stabilni, mogli da obrazuju ukupno 36 različitih izotopnih varijeteta molekula vode. Od pomenutih izotopa, međutim, stabilni su samo P i D kod vodonika i ^{16}O , ^{17}O i ^{18}O kod kiseonika. Oni obrazuju ukupno 8 stabilnih izotopnih varijeteta molekula vode, odnosno preostalih 0,27% molskih hemijski čiste vode.

Jedinstvenost strukture molekula hemijski čiste vode još je značajnija od jedinstvenosti njenog sastava. Zahvaljujući većoj elektronegativnosti kiseonika od vodonika, na jednom kraju molekula H_2O uspostavlja se višak negativnog, a na drugom kraju višak pozitivnog naielktrisanja, on je dipolaran, što vodu svrstava u grupu izrazito polarnih tečnosti, sa veoma velikim dipolnim momentom. Ovim se, pored ostalog, može objasniti i činjenica da je voda univerzalni rastvarač.

Zahvaljujući svemu ovome, hemijski čista voda se po nizu osobina bitno razlikuje od svih ostalih supstanci u prirodi («anomalije vode»).

1. Gustina vode nema maksimalnu vrednost na temperaturi mržnjenja (0°C), nego na $3,98^\circ\text{C}$, što ima izuzetno veliki značaj za održanje aktivnog života tokom čitave godine, budući da led kao lakši zimi ostaje na površini vode i sprečava njen dalje zamrzavanje po dubini.
2. Specifični toplotni kapacitet vode ima vrednost $4,186 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$ na 0°C i veći je nego kod bilo koje druge materije u prirodi. Budući da su i latentne toplote torljenja leda i isparavanja vode izrazito veće od odgovarajućih vrednosti za veliku većinu drugih materija, a toplotna provodnost izrazito niska, što je čini izvanrednim izolatorom, voda je daleko najpogodniji medijum za kontrolisanje temperaturnih promena i prenošenje toplote (transpiracija kod biljaka, perspiracija kod životinja i ublažavanje sezonskih temperaturnih razlika na Planeti).
3. Činjenica da napon pare vode znatno brže raste sa porastom temperature nego što njen površinski napon opada, od izuzetnog je značaja za hidrološki ciklus, odnosno za neprestano kruženje vode u prirodi.
4. Za vodu je karakterističan znatno brži pad viskoznosti sa porastom temperature nego za druge supstance, što je od značaja za odvijanje pojedinih osnovnih procesa u sistemima za preradu vode.
5. Zahvaljujući izrazitoj polarnosti njenih molekula, vodu karakteriše visoka vrednost dielektrične konstante, što je čini univerzalnim rastvaračem.

6. Voda spada u dijamagnetne materijale, pa je njena magnetna prijemčivost (susceptibilnost), koja predstavlja odnos intenziteta u njoj izazvane magnetizacije i jačine magnetnog polja čijem je dejstvu izložena, mala i ima negativnu vrednost. Sa druge strane, većina njenih primesa, odnosno zagađivača prirodnih i otpadnih voda, spada u feromagnetne i paramagnetne materijale, odnosno poseduje veliku magnetnu prijemčivost. Zato se proticanjem vode odgovarajućom brzinom kroz magnetno polje određene jačine pre njene prerade, menjaju mnoga njena svojstva i svojstva njenih primesa. Time se ubrzava i intenzivira većina osnovnih procesa prerade koji slede.

Voda predstavlja životvornu supstancu (nobelovac *Szent-Gyorgyi*: «Voda je materica života») i bez nje ne bi bilo života na Planeti. Dokaz za ovo je činjenica da je već dugo bila prisutna na njoj kada su se pojavili prvi oblici života i da su svi složeni biohemski procesi, na kojima se zasniva nastajanje i opstajanje svih živih bića, duboko usklađeni sa fizičkim i hemijskim osobinama vode u specifičnom elektronskom strukturu njenih molekula.

Vodeni ekosistemi

Delovi hidrosfere koji se mogu svrstati u sledeće grupe: kopnene vode tekuće (izvori, potoci, reke), stajaće (jezera, bare, močvare) mora i okeani, ali i slane i slatne vode.

Vodni bilans

Materijalni bilans svih voda u jednoj oblasti, najčešće u jednom slivnom području. Njegove stavke su procene svih pojedinačnih doticaja vode u datu oblast i svih pojedinih oticaja iz nje, da bi se, na osnovu njihovih sumi, moglo izvršiti kvantitativno poređenje ukupne raspoložive količine vode i njene ukupne, poznate ili procenjene, potrebne količine u oblasti za koju se bilans radi.

Vodni bilans na Planeti

U obliku svetskog okeana, kopnenih mora, jezera, reka i močvara, voda pokriva više od 360 miliona km³, odnosno $\frac{2}{3}$ ukupne površine Planete. Njena ukupna količina na Zemlji je ogromna i najčešće se procenjuje na oko 13600 geograma ($1\text{gg} = 10^5 \text{ km}^3$). Daleko najveća količina nalazi se u svetskom okeanu (preko 97%), dok je na kopnu ukupno manje od 3%. Od toga je skoro $\frac{3}{4}$ stalno zarobljeno u obliku lednika i stalnog snežnog pokrivača, a skoro $\frac{1}{4}$ u obliku podzemne vode. Ostatak, a to je samo nešto više od 10 promila, jeste sva voda koja se nalazi u jezerima, rekama i močvarama i kao zemljšna vlaga.

Vodni režim

Kvalitativno i kvantitativno stanje voda na određenom području i u određenom vremenu.

Vodno zemljiste

Korito i obale vodotoka, jezera i akumulacije. Zemljiste na kome je voda stalno ili povremeno prisutna zbog čega se formiraju posebni hidrološki, geomorfološki i biloški odnosi koji se održavaju na vodenim i priobalnim ekosistemima.

Vodno područje

Područje koje obuhvata jedan ili više slivova ili njihovih delova koji čine prirodnu hidrografsku celinu.

Vodovodni sistem

Sistem cevi, objekata, opreme i uređaja, uključujući i postrojenje za preradu, kojim se podzemna ili površinska voda koristi za snabdevanje stanovništva higijenski ispravnom vodom za piće. On obuhvata zahvat vode iz prirodnog resursa, njeno dovođenje do postrojenja za preradu, samu preradu do potrebnog kvaliteta i njenu distribuciju do krajnjih korisnika.

Vododerina

Kanal na kosim planinskim ili brdovitim delovima koji su nastali pod uticajem toka preobilne vode od topljenja snega i leda.

Vodoprivredni bilans

Kvantitativni i kvalitativni odnos raspoloživih i potrebnih količina površinskih i podzemnih voda u određenom periodu i na određenom području.

Gravitaciona (vadozna) voda

Podzemna voda, suspendovana u nezasićenoj zoni (zona aeracije), koja je pokretljiva naniže pod dejstvom gravitacije.

Gravitacioni filter

Filtar koji funkcioniše isključivo na osnovu hidrostatičkog pritiska sloja tečnosti iznad filtarske ispune.

Darsijev zakon

«Brzina perkolicije (podzemnog oticanja) vode kroz poroznu sredinu (vodom zasićeno zemljiste) srazmerna je proizvodu koeficijenta permeabilnosti i hidrauličkog gradijenta».

Deminerализована вода

Veoma čista voda iz koje su uklonjene i suspendovane i rastvorene materije, odnosno čija je tvrdoća svedena na minimum. Koristi se za pripremu napojne vode za kotlove visokog pritiska, u farmaceutskoj industriji i, do šire primene reverzne osmoze i elektrodijalize, za desalinaciju morske vode.

Domaća otpadna voda

Voda (za piće) posle upotrebe u domaćinstvu. Posle mehaničke obrade (rešetka i uklanjanje internog materijala sadrži oko 60 g BPK₅ i 80-90 g suspendovanih čvrstih materijala po stanovniku dnevno. Sadržaj bakterija varira od oko 100.000 po milimetru u svežoj do 10 do 100 miliona u ustajaloj domaćoj otpadnoj vodi.

Ekologija

Izraz «Ekologija» (*Oekologie*) u naučnom smislu prvi koristi nemački biolog *Ernst Haeckel* u svome radu, objavljenom 1870. godine. On predstavlja složenicu, sačinjenu od grčkih reči «*oikos*», čije je osnovno značenje «dom» ili «prebivalište» i «*logos*», koja znači «proučavanje». Ova reč simbolizuje osnovno pitanje kojim se ova nauka bavi - odnos žive jedinke i miljea u kome ona živi. Prvi udžbenik za ovu naučnu disciplinu, pod nazivom «Osnovi ekologije» ("Fundamentals of Ecology"), međutim, objavio je *Eugene Odum* tek 1953. godine. Autor se u ovom delu usredsređuje na tumačenje dinamike biosfere, na osnovu proučavanja njenih osnovnih jedinica - ekosistema.

U literaturi se za ovu granu nauke mogu naći različite definicije. Najjednostavnija je ona koja je određuje kao «nauku o živim organizmima i njihovom okruženju». Tačnije je, međutim, ekologiju definisati kao «nauku o

strukturi, funkcionisanju i ponašanju prirodnih sistema koji čine biosferu». Ipak, verovatno najpotpunija definicija ekologije bila bi da ona predstavlja «nauku o ustrojstvu i funkcionisanju prirode, prvenstveno orijentisano na proučavanje međusobnih odnosa organizama iste vrste, njihovih odnosa sa jedinkama drugih vrsta i, konačno, njihovog odnosa sa fizičkim okruženjem».

Ekologija proučava ekosisteme polazeći od saznanja fizičkih i bioloških nauka. Ona, međutim, pristupa prirodi kao celovitom funkcionalnom sistemu, umesto kao grupi odvojenih, međusobno nepovezanih delova. Takav pristup omogućava ekologiji da predviđa posledice antropogenog stresa na okruženje (životnu sredinu). Ona može da doprinese razumevanju problema kao što su, na primer, kisele kiše ili globalno zagrevanje, ali ne može da objasni zašto ljudsko društvo stvara ove probleme i da sagleda teškoće koje stoje na putu njihovog otklanjanja. Drugim rečima, kao prirodna nauka koja se bavi prirodnim sistemima i narušavanjem njihove ravnoteže, ekologija može da pruži odgovore na pitanja «šta», «gde», «kada» i «kako» se nešto događa u okruženju, ali ne i «zašto» se to događa. Osnovni razlog za ovo je što su svi environmentalni problemi (problemi u životnoj sredini) posledica interakcija prirodnih i kulturno-ekoloških sistema, pri čemu ovi drugi nikako nisu u domenu ekologije. Problemi, kao što su ubrzani rast stanovništva, iscrpljivanje prirodnih resursa i zagađivanje ekosfere, uzrokovani su činjenicom da stavovi, vrednosti i verovanja ljudi često dovode do njihovog ponašanja koje je inkompatibilno sa funkcionisanjem prirodnih sistema. Zato je njihovo rešavanje nemoguće bez uzimanja u obzir i kulturno-ekoloških faktora koji ih izazivaju

Energija vode (hidroenergija)

Električna energija se proizvodi pomoću turbine koje pokreće voda, protičući kroz otvore na brani, a koja je, u suštini, oblik solarne energije, budući da se ovde koristi onaj deo hidrološkog ciklusa u kome se voda, koja je prethodno podignuta u atmosferu isparavanjem pomoću solarne energije, vraća na površinu Zemlje precipitacijom. Procenjuje se da je oko 20% ukupnog svetskog hidroelektričnog kapaciteta iskorišćeno (u SAD oko 40% 1975. godine). Uprkos činjenici da veliki deo hidroelektričnog potencijala još uvek nije iskorišćen, zbog visokih investicionih troškova gradnje ovakvih sistema u odnosu na prihod koji donose, zbog ograničenja veka njihovog korišćenja zbog zasipanja brane i zbog negativnih uticaja na životnu sredinu (promene ekosistema ispred brane zbog prevođenja tekuće vode u stajaću i gubitak obradivog zemljišta), perspektiva ovakvog načina proizvodnje energije nije onakva kakva je bila u prošlosti.

Energija geotermalna

Energija koja potiče iz unutrašnjosti Planete. Temperatura u samom njenom centru je veoma visoka, a prosečno se polazeći od površine Zemlje, povećava za oko 1°C na svakih 30 m. Na pojedinim lokacijama, međutim, temperature su veoma visoke i na površini (oko 600 aktivnih vulkana, brojni gejziri i vreli izvori) i ta energija se može direktno koristiti. Pored toga, u dubini Zemlje postoje dve vrste geotermalnih izvora, do kojih se dolazi bušenjem.

Energija okeana

Teorijska osnova za dobijanje energije iz Okeana je da svetski okeani predstavljaju ogroman kolektor sunčeve energije. Okeani svakodnevno apsorbuju energiju ekvivalentnu oko 40 milijardi m³ nafte. Ova energija se, u principu, može koristiti na dva načina: korišćenjem tople morske vode za isparavanje fluida sa niskom tačkom ključanja ili isparavanjem morske vode pomoću vakuma. Gas, odnosno para, koji se na ovaj način dobijaju, koriste se za pogon turbina. Mada je osnovni koncept ovog postupka tehnološki moguć, postoji veliki broj razvojnih problema, uključujući i veliku korozivnost morske vode, koje je potrebno prethodno rešiti.

Treba pomenuti i energiju plime, mada je ukupna energija koja se teorijski ovako može dobiti, relativno mala. Procena je da se potencijalno, korišćenjem plime u plitkim morima, gde je ona najveća i gde je njena energija najdostupnija, može dobiti samo mali deo od potencijalnih milijardu kilovata, što ovaj izvor energije, bar danas, ne čini značajnim.

Zagađivanje vode

I ovaj oblik zagađivanja može se definisati na više načina. Možda je najprihvatljiviji da je to pojava izazvana ljudskom aktivnošću koja štetno deluje na kvalitet vode reke, jezera, mora, okeana ili podzemne vode. Zagađenje vode može se definisati i kao prisustvo bilo kojeg štetnog hemijskog ili kontinuiteta u koncentracijama većim od onih koje su u dатој vodi prirodno prisutne.

Konačno, može se reći da je to prisustvo u vodi bilo kojih materija koje umanjuju mogućnost korišćenja prirodne vode za humanu potrošnju, ili koje štetno utiču na akvatički život i životinju koje koriste tu vodu.

Zasićena zona podzemne vode

Deo zemljišta ispod freaticnog nivoa (nivoa podzemne vode) u kome su pore potpuno ispunjene vodom tako da se ona može eksplorisati, pod uslovom

da je imao dovoljno i da se to može ostvariti na ekonomičan način. Ona se retko proteže na dubine preko 600-700 metara.

Izvori vode

Prostor na kome se zahvata voda radi javnog snabdevanja stanovništva (izvor, bunar, deo reke ili jezera, akumulacija ili njen deo). (Zakonska formulacija)

Jezeri i bare

Stajaće vode, koje su, po ukupnoj količini vode, gotovo sto puta veće nego sve tekuće vode. Značajne su jer je to u najvećem broju slučajeva slatka voda. Po količini, ova voda predstavlja oko 20% ukupne, danas raspoložive slatke vode u svetskim razmerama. I ove vode su značajne za mnoge organizme kao stanište i za druge u njihovoj okolini, kojima je voda neophodna za održavanje života.

Juvenilna voda

Mala količina vode koja je obrazovana hemijski u unutrašnjosti zemlje i koja je uklopljena u magmatske stene.

Koncentrisani zagađivači površinskih voda

Izvori zagadenja koji su nepokretni, pa im se lokacija uvek zna. To su razni veći izvori zagađenja, objekti ili kompleksi u kojima se obavlja neka delatnost. Njih je lako uočiti i evidentirati, jer su najčešće locirana na obalama reka, jezera, mora. To su: 1 - urbana ili ruralna naselja; 2 - industrijski objekti; 3 - energetski objekti; 4 - poljoprivredni objekti - farme, za tov stoke; 5 - tačno određene deponije - smetlišta; 6 - pristaništa i marine; 7 - brodogradilišta. Svi ovi objekti - celine unose zagađujuće materije u vodu, najčešće i najviše obimu u vidu otpadnih voda, ali i čvrstih otpadnih materijala. Kada je reč o morima i okeanima, osim pomenutih zagađivača, treba dodati još i: 8 - turističke objekte i naselja; 9 - ušća reka koja donose zagađenja i 10 - platforme za crpljenje nafte sa morskog dna.

Koncept održivog razvoja

Inkorporira tri oblasti: ekonomiju, ekologiju i pravičnost (nepristrasnost). Održivi razvoj je razvoj u pravcu zadovoljavanja potreba sadašnjih generacija, ne ugrožavajući mogućnost budućim da zadovolje njihove potrebe. (Brundtland, 1987).

Korozivost vode

Osobina vode da nagriza površinu metala, betona ili drugih materijala, a koja je uslovljena njenim aciditetom, sadržajem rastvorenog kiseonika, hlorida ili sulfata. Slaboalkalna voda obrazuje na površini ovih materijala tanku zaštitnu prevlaku od kalcijum-karbonata, što je čini nekorozivom.

Kruženje vode

Proces planetarnih razmara u kome voda kruži od vodenih basena ka kopnu i obratno, prelazeći iz tečnog stanja u gasovito ili čvrsto. Na tom putu ona delom ulazi i u sastav živih bića, posebno biljaka, iz kojih se u spoljašnju sredinu vraća različitim putevima (izlučivanjem, evaporacijom, transpiracijom). Na taj način voda postaje sastavni deo biosfere. Najveći rezervoar vode na Zemlji nalazi se u okeanima sa čije površine, pod uticajem Sunčeve topote, isparava, i u obliku vodene pare dospeva u atmosferu, gde se hlađenjem zgušnjava obrazujući oblaci. Iako je količina vode koja se nalazi u atmosferi najmanja u odnosu na ostale izvore vode, vreme njenog zadržavanja je najkraće - svega oko deset dana, tako da se ona relativno brzo izlučuje nazad na površinu kopna ili okeana i obliku padavina (kiša, susnežica, sneg, grad) ili kondenzata (rosa ili slana). Voda iz padavina može biti zahvaćena od strane biljaka, iz kojih se oslobođa evaporacijom i transpiracijom, može da otiče ili miruje na površini zemlje ili prodire u zemlju. Najveći deo površinske i zemljiste vode (oko 80%) se vraća u atmosferu evaporacijom. Voda koja se infiltrira u zemljiste može biti privremeno zadržana u njemu (prosečno vreme zadržavanja do 280 dana) u obliku zemljiste vlage, ili prodire u dublje zone u kojima se u obliku podzemne vode dugo zadržava (prosečno vreme zadržavanja je 300 godina). Podzemne vode mogu da koriste biljke, ili ističu u obliku izvora. Voda se vodotocima neposredno vraća u mora ili okeane.

Isparavanje (evaporacija i transpiracija) preduslov je za kruženje vode na Zemlji, dok je sunčev zračenje osnovna energija koja omogućava to kruženje.

Globalni bilans vode ukazuje na to da se sa površine okeana u atmosferu, evaporacijom, oslobođa veća količina vode nego što se vraća u obliku padavina. Na površini kopna je suprotna situacija - veća količina vode pada na kopno nego što se sa njega oslobođa u atmosferu. Do skora je globalni bilans vode vrlo malo varirao. Međutim, usled snažnog antropogenog uticaja (globalno zagrevanje, navodnjavanje, izgradnja vodojaža, akumulacija i sl.) već sada dolazi do znatnog menjanja globalnog bilansa vode, koji se ogleda u ubrzavanju kruženja vode na kontinentima (zbog njene velike potrošnje). Vidljivo je da to izaziva značajne klimatske promene.

Laboratorijska voda

Kod nas uobičajeni naziv «destilovana voda», ili «reagens voda» i postoje četiri specifikacije:

	Tip I	Tip II	Tip III	Tip IV
Ukupni isparni ostatak (mg/l)	0,1	0,1	0,1	0,2
Elektroprovodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$, 25°C)	0,06	1,0	1,0	5,0
Električni specifični otpor ($\text{M}\Omega$, 25°C)	16,67	1,0	1,0	0,2
pH, 25°C	-	-	6,2 - 7,5	5,0 - 8,0
Min. vreme zadržavanja KM_nO_4, min	60	60	10	10
Maksimalni rastvoreni SiO_2, μml	-	-	10	bez ograni.

	Tip A	Tip B	Tip C
Maksimalni ukupni broj bakterija, n/ml	0	10	100

- Tip I - maksimalno tačan i precizan rad,
- Tip II - većina analitičkih postupaka,
- Tip III - rutinska laboratorijska ispitivanja,
- Tip IV - model rastvori za ispitivanje, pranje i ispiranje

Led

Čvrsto agregatno stanje vode koja ona dostiže na temperaturama ispod tačke mržnjenja (0°C). Zbog specifičnog prostornog rasporeda koji molekuli vode tada zauzimaju, led ima manju gustinu od vode (za oko 8,5%) i pluta na njenoj površini. Specifična toplota leda je duplo manja od vode u tečnom stanju. Zbog toga se led relativno brzo obrazuje na površini vode rashlađene do temperature od 0°C , a za njegovotopljenje potrebna je mnogo više toplote (320 kJ/kg) nego za isparavanje tečne vode (2260kJ/kg). Povećanjem saliniteta smanjuje se tačka mržnjenja vode. Tako se morska voda (prosečnog saliniteta od 35 g L⁻¹) mrzne tek na $-1,91^\circ\text{C}$. Najveće količine leda u biosferi se nalaze u polarnim kapama.

Magla

Mešavina finih sićušnih čestica vode, prašine ili soli koje su koncentrisane u delu atmosfere. Čestice su tako male i lake da ne mogu da padnu pod uticajem gravitacije. Na području u kome se pojavila smanjuje vidljivost, i horizontalnu i vertikalnu.

Magnetna obrada vode

Postupak kojim se može znatno povećati efikasnost naknadnog procesa prerade prirodne ili otpadne vode, posebno procesa bistrenja (koagulacija i flokulacija, taloženje, filtracija). Zasniva se na činjenici da voda spada u dijamagnetne materije, odnosno materijale koji nemaju stalni magnetni momenat, nego se on u njima uspostavlja tek po njihovom unošenju u magnetno polje. Sa druge strane, veliki broj zagadivača prirodnih i otpadnih voda predstavlja fero i para magnetne materijale, za koje je karakteristično postojanje stalnog magnetnog momenta, odnosno velika magnetna prijemčivost. Postupak se sastoji u jednostavnom propuštanju vode da protiče odgovarajućom brzinom kroz magnetno polje određene jačine, pre njene dalje prerade, čime se menjaju mnoga njena svojstva (površinski napon, viskoznost, električna provodnost, sposobnost kvašenja i rastvaranja i druga), kao i svojstva u njoj prisutnih primesa. Krajnji rezultat je veoma značajno povećanje efikasnosti i ekonomičnosti procesa njene prerade kao celine.

Meka voda

Voda koja ima malu koncentraciju rastvorenih mineralnih soli, naročito kalcijuma (C_a) i magnezijuma (M_g).

Melioraciono vodno područje

Deo vidnog područja koje obuhvata jedan ili više slivova unutrašnjih voda za koje se jedinstveno uređuje odvodnjavanje suvišnih voda ili dovođenje voda za navodnjavanje. (Zakonska formulacija)

Meteorna voda

Voda iz atmosfere koja je pristigla na površinu Zemlje u obliku raznih oblika padavina.

Meteorologija

Nauka o meteorološkim pojavama i procesima u atmosferi. Spada u grupu geofizičkih nauka, a istraživanja zasniva na posmatranjima i merenjima meteoroloških pojava pomoću specijalnih instrumenata. Na osnovu podataka iz prošlosti, aktuelnih merenja i praćenja stanja u atmosferi, bavi se i predviđanjem budućih vremenskih prilika.

Mineralna voda

Podzemna voda koja se zahvata iz bušotina, izvora ili bunara, a koja po svom sastavu i karakteristikama odgovara propisanim kriterijumima. Svojstven joj je veoma nizak sadržaj organskih materija.

Molekuli vode

Molekuli vode se sastoje od atoma kiseonika za koji su čvrsto vezana dva atoma vodonika (jaka kovalentna veza). Trouglaste je strukture sa uglom od $104,5^\circ$ između dve OH -veze (teorijski bi trebalo da bude $109,5^\circ$). Zbog velike razlike u koeficijentu elektronegativnosti između vodonika i kiseonika, molekul vode je izrazito dipolnog karaktera. Zbog toga pozitivan kraj jednog molekula privlači negativan kraj drugog, nakon čega se između njih obrazuju vodonične veze. Tako povezani molekuli u prostoru su tetraedarski raspoređeni. (vidi: «Voda»).

Močvara

Posebna vrsta ekosistema koja ima vlažnu, muljevitu podlogu nastalu mešanjem zemljišta sa površinskom ili podzemnom vodom. One su stecište posebne biocenoze akvatičnih biljaka, insekata i drugih životinja i biljaka. U njima leži i bogatstvo ptica koje se putem lanca ishrane hrane tom biocenozom. Ovaj termin se koristi i kao opšti za sve prostore na kojima je površina neprekidno ili većim delom u toku godine vlažna.

Mutnoća vode

Njena optička osobina da rasipa i apsorbuje manji ili veći deo svetlosti koja se kroz nju propušta i predstavlja suprotnost "bistrini". Određuje se komparativnim metodama, uz korišćenje odgovarajućih standarda.

Neutralizacija

U hemijskom smislu, eliminisanje kiselosti ili alkalnosti vode uz pomoć neutralizacionog sredstva, baze, odnosno kiseline i dovođenje *pH* vrednosti na oko 7,0.

Obala

Pojas zemljišta koji se proteže neposredno uz korito za veliku vodu vodotoka ili jezera, odnosno akumulacije, a obala u području zaštićenom od poplava je pojas zemljišta širine 50 metara, računajući od unutrašnje nožice nasipa prema branjenom području. (Zakonska formulacija).

Oticanje

Proticanje vode u vodotocima, odnosno potocima i rekama, pri čemu ta voda, ili direktno (površinsko oticanje), ili indirektno, kao protok pri suvom vremenu (dotok iz prirodnih ili veštačkih jezera ili dotok podzemne vode) potiče od precipitacije.

Otpadne vode

Voda, pripremljena za piće ili korišćenje u industriji, posle upotrebe. Dve osnovne vrste: domaće i industrijske otpadne vode. Zbog svojih specifičnih osobina i zbog posebnih uslova nastajanja, najčešće se izdvajaju otpadne vode sa poljoprivrednog zemljišta i radioaktivne otpadne vode. Za smesu domaćih otpadnih voda iz čitavog naselja ili grada i otpadnih voda iz različitih ustanova i javnih institucija, sa malim udelom industrijskih otpadnih voda, često se koristi naziv sanitarna otpadna voda. Ukoliko je, pak, udeo prethodno delimično prečišćenih ili sirovih industrijskih otpadnih voda značajan, takva smesa naziva se komunalna ili gradska otpadna voda. Otpadne vode u čijem sastavu dominiraju humani i/ili životinjski ekskrementi (nužnici, pisoari, štale i sl.), nazivaju se fekalne otpadne vode.

Kišne ili atmosferske vode mogu, pod određenim okolnostima, biti toliko zagađene, da se moraju smatrati otpadnim vodama.

Generalno, industrijske otpadne vode su sve one otpadne vode koje ne vode neposredno i isključivo poreklo iz domaćinstva. Najčešće se, ipak, definišu kao neposredni proizvod »mokrih« proizvodnih operacija i procesa.

Osnovna osobina industrijskih otpadnih voda je veoma velika raznovrsnost sastava, za razliku od domaćih otpadnih voda koje se odlikuju relativno ujednačenim sastavom.

Otpadne vode industrije i rudarstva

Nusprodukti industrije i rudarstva. Industrijski pogoni, posle odgovarajuće obrade, ili bez nje, izlivaju svoje otpadne vode direktno u reke i druge površinske vode, ili indirektno, putem gradskog kanalizacionog sistema, ukoliko im je on prostorno dostupan.

Padavine (precipitacija)

Zajednički naziv za sve proizvode kondenzacije vodene pare u atmosferi koji, pod dejstvom gravitacije, dospevaju na zemljinu površinu. Od momenta nastajanja u atmosferi, pa do sticanja do površine tla, padavine su prevashodno predmet interesovanja metereologa, ali pristizanjem na zemljište, one postaju jedan od osnovnih elemenata hidrologije.

Osnovni oblici padavina su: kiša, inje, sneg, susnežica, poledica i grad (tuča). Osnovni uzorci pojave padavina su spoljašnje i dinamičko hlađenje vazduha. Prvo predstavlja prirodnu pojavu opadanja temperature vazduha sa visinom (prosečno oko $5,5^{\circ}\text{C}$ na svakih 1000 m, ali je dosta promenljivo), a drugo je snažavanje temperature vazduha, izazvano njegovom ekspanzijom pri kretanju naviše. Zavisno od odnosa brzina ove pojave padavina, vreme je nestabilno ili stabilno. Budući da je osnovni uslov za pojavu padavina podizanje vlažnog vazduha u atmosferi, zavisno od osnovnog faktora koji to podizanje izaziva, precipitacija može biti konvektna, orografska ili ciklonska.

Pelikularna voda

Podzemna voda u nezasićenoj zoni, odnosno zoni aeracije, iznad kapilarnog sloja.

Pitot-ova cev

Cev za merenje statičkog pritiska, kao i kinetičke energije tekućeg fluida, u obliku slova «U». Jedan kraj upravljen je uzvodno i meri ukupni pritisak, a drugi kraj je pod pravim uglom na pravac toka i meri samo statički pritisak. Na osnovu ova dva podatka može se računati brzina proticanja.

Pitka voda

Voda koja po svim svojim karakteristikama zadovoljava propisane kriterijume iz oblasti zaštite zdravlja.

Površinske vode

Sve vode prirodno otvorene prema atmosferi, odnosno potoci, reke, bare, jezera, mora, okeani, ali i veštačka jezera (akumulacije) koje se čovek stvorio,

zaustavljujući i prikupljajući površinske vode. Ove vode se obnavljaju neposredno iz atmosferskih padavina, ili posredno preko podzemnih izdani. Mogu da budu slatke i slane.

Daleko najveći deo površinske vode i vode na Planeti u celini jeste slana voda u Svetskom okeanu i slanim jezerima i kopnenim morima (preko 97% od ukupno 13.600 geograma ili 1,36 milijardi km³). Više od $\frac{3}{4}$ površinske slatke vode (oko 30 miliona km³) stalno je zarobljeno u obliku lednika i stalnog snežnog pokrivača. Kada se oduzme voda u močvarama, teorijski, za snabdevanje stanovništva i industrije vodom ostaje samo oko 250.000 km³ (oko 5% ukupne količine vode na Planeti, ne računajući podzemne vode).

Grana hidrologije koja se bavi površinskim vodama naziva se hidrogeografija, i obuhvata: reologiju (potamologiju), koja se bavi stajaćim slatkim vodama, i okeanografiju, koja se bavi slanom vodom u morima i okeanima. Danas se izraz limnologija koristi u širem smislu, pa se odnosi na sve slatke vode, bez obzira da li su tekuće ili stajaće.

Površinsko oticanje

Direktno oticanje dela padavina po površini zemljišta do najbližeg korita. Pri tome se pod njim ovde podrazumeva svaka depresija koja može da prihvati manji turbulentni vodeni tok koji se pojavljuje samo u toku kišnih padavina i kraće vreme po njihovom prestanku. Naziva se i bujica.

Podzemna voda

Deo precipitacije koji ponire u zemljište kroz njegovu površinu (infiltracija), koji se potom kreće kroz podzemlje do nivoa podzemnih voda (perkolacija) i koji se, konačno, lateralno kreće kroz zatvoreni ili otvoreni vodonosni sloj - akvifer (podzemno oticanje) i koji predstavlja jednu od 4 osnovne faze hidrološkog ciklusa. Voda je u podzemlju, u različitim oblicima, raspoređena po njegovoj dubini, u dve osnovne oblasti - zone. Nezasićena zona (zona aeracije), u kojoj su pore ispunjene delimično vodom, a delimično vazduhom, prostire se od površine zemljišta do nivoa podzemne vode (freatična površina), i ova voda se ne može eksplorativati. Debljina ove zone kreće se praktično do nule u freatične površine, pa nadalje po dubini litosfere proteže se zasićena zona (zona podzemne vode), u kojoj su pore u zemljištu potpuno ispunjene vodom pod hidrostatičkim pritiskom i isključivo ova voda može se koristiti za vodosnabdevanje, ukoliko je ima dovoljno i ukoliko se može ekonomično eksplorativati. Budući da na velikim dubinama, pod dejstvom težine slojeva zemljišta iznad njih, dolazi do zatvaranja pora, podzemna voda se retko može naći na dubinama većim od 600 metara, mada je maksimalna dubina prodiranja ograničena tek debljinom poroznih stena i ona se procenjuje čak na 3 do 13 kilometara. Ukupna količina podzemne vode na Planeti,

do dubine od 4000 metara, procenjuje se na oko 8,5 miliona km³, odnosno na oko 3,7 miliona km³ do dubine od 750 metara.

Propelerna pumpa

Aksijalna pumpa.

pH vrednost

Negativni logaritam koncentracije vodonikovih jona. Ovom veličinom se izražava kiselost ili alkalnost sredine. Neutralnu sredinu karakteriše $pH = 7,0$. Niže vrednosti odgovaraju kiseloj, a više, do 14, alkalnoj sredini.

Radijalna pumpa

Centrifugalna pumpa.

Recipročna pumpa

Klipna pumpa.

Rečna klasifikacija

Zakonski regulisana podela vodotoka prema stepenu zagadenosti i nameni njihove vode na 4 klase, pri čemu je II klasa podeljena na 2 potklase. I klasa su vode koje se u prirodnom stanju ili se samo posle dezinfekcije mogu koristiti za piće, u prehrambenoj industriji i za gajenje plemenitih vrsta riba.

II klasa su vode podesne za kupanje, rekreaciju i za sportove na vodi, za gajenje manje plemenitih vrsta riba i posle uobičajene obrade (koagulacija i floakupacija, taloženje, filtracija i dezinfekcija), za piće i u prehrambenoj industriji (potkласа IIa), odnosno, bez ikakve obrade, za pojenje stoke (potkласа IIb).

III klasa voda se može koristiti za navodnjavanje i u industriji, osim prehrambene industrije.

IV klasa su vode koje se mogu upotrebljavati samo posle posebne obrade.

Reynolds-ov broj

Bezdimenzionalni kriterijum koji održava režim strujanja fluida. Definisan je odnosom proizvoda linearne dimenzije protočnog kanala ili cevi, linearne brzine i gustine fluida i viskoznošću fluida. Kritična vrednost ovog kriterijuma odgovara prelasku turbulentnog toka u laminarni, sa smanjivanjem brzine toka. Za okruglu cev ova vrednost se kreće između 2.000 i 3.000. Manje vrednosti od ovih odgovaraju laminarnom, a veće turbulentnom toku.

Salinitet

Ukupna koncentracija soli rastvorenih u vodi. Salinitet okeana je posebna ekološka osobina kojoj se prilagođava kompletan akvatičan i priobalni biocenozu.

Sastav prirodnih voda

Sastav prirodnih voda veoma se razlikuje i vremenski i prostorno, zavisno od mnogobrojnih faktora. Najviše zavisi od vrste prirodne vode (slatka, slana, tekuća, stajaća ili podzemna voda). Sastav tekućih voda zavisi, dalje, od karakteristika slivnog područja, stepena zagadenosti, od poljoprivredne aktivnosti i prakse u sливу, od hidrotehničkih zahvata na vodotoku, od godišnjeg doba i od klimatskih uslova. Tekuće vode se, generalno, odlikuju promenljivom temperaturom u toku godine, umerenom i povremeno visokom mutnoćom i sadržajem silicijumove kiseline i različitih organskih i neorganskih makro i mikropolutanata, prisustvom bakterija (uključujući i patogene), virusa i planktona i sadržajem rastvorenog O_2 blizu zasićenja.

Sastav vode slatkovodnih prirodnih i veštačkih jezera zavisi od fizičkih, hemijskih i bioloških karakteristika vodene mase, odnosno od njene limnologije, od veličine i dubine jezera, klime, sliva, stepena eutrofičnosti, godišnjeg doba, stratifikacije i mnogih drugih faktora. U principu, sličan je sastavu tekućih voda, ali se i razlikuje time što zbog stratifikacije i pada koncentracije O_2 u vodenoj masi, uslovljene bentalnom bakteriološkom aktivnošću, može tokom leta i zime, doći do pojave rastvorenog gvožđa i mangana, materija koje utiču na ukus i miris vode, H_2S i drugih metaboličkih intermedijera. U rano proleće i u kasno leto moguće je «cvetanje» algi, što takođe utiče na sastav vode.

Osnovna razlika u sastavu površinske slatke i morske vode je salinitet (ukupni sadržaj rastvorenih soli). Dok u slatkim vodama on veoma retko prelazi 500 mg/l , prosečni salinitet morske vode je oko 35000 mg/l i čine ga u najvećoj meri hloridi alkalnih i zemnoalkalnih metala. Sadržaj hlorida u vodi Mrtvog mora je čak oko 150000 mg/l .

Osnovne karakteristike podzemnih voda su konstantna temperatura, odsustvo mutnoće i suspendovanih materija, obično stalan i znatno veći salinitet (tvrdoga) i sadržaj F_e i M_n nego kod površinskih voda. Često prisustvo agresivnog CO_2 , a u većini slučajeva potpuno odsustvo rastvorenog O_2 . Takođe su često prisutni i H_2S i NH_3 , kao i prirodna organska jedinjenja (npr. huminske kiseline).

Sistem snabdevanja vodom

Sistem za snabdevanje naselja pijacom vodom koji se sastoji od vodozahvata, postrojenja za pripremu vode i distribucione mreže.

Specifična težina

Masa jedinice zapremine supstance. Masa se obično izražava u gramima, a zapremina u cm³.

Specifična toploplota vode

Specifični toplotni kapacitet vode na 0°C ima vrednost 4,186 kJ/kg. °K, što je znatno više nego kod bilo koje druge materije. To čini vodu izuzetno dobrom grejnim medijumom.

Stepen tvrdoće vode

Ranije korišćeni načini izražavanja tvrdoće vode (do donošenja Zakona o sistemu jedinica, 1980), koji se još uvek dosta koristi. Postoje nemački, engleski, francuski i američki stepen tvrdoće. Tvrdoću od 1° nemačkog ima voda u kojoj je ukupna količina C_a i M_g jona u 1 litru ekvivalentna 10 mg C_aO . Tvrdoću 1° francuskog ima voda u kojoj je ukupna količina C_a i M_g jona u 1 litru ekvivalentna 10 mg C_aCO_3 . Tvrdoću 1° engleskog ima voda u kojoj je ukupna količina C_a i M_g jona u 1 Imper. galonu (1 Imper. galon = 4,516 litara), ekvivalentna 1 grejnu (1 grejn = 64,8 mg) C_aCO_3 . Tvrdoću 1° američkog ima voda u kojoj je ukupna količina C_a i M_g jona u 1 US galonu (1 US galon = 3,785 litara), ekvivalentna 1 grejnu C_aCO_3 .

Po Zakonu o jedinicama iz 1980. godine, a sve više i u praksi, tvrdoća vode se izražava preko ekvivalentne koncentracije C_aCO_3 u mg/l ili gmol/l.

Suspendovane čvrste materije

Deo ukupnih čvrstih materija u vodi (sav materijal koji ostaje po potpunom uparavanju uzorka vode na 105°C), koji se u njoj nalazi u obliku suspendovanih čestica, ne manjih od 1 µm, odnosno 1 mikrona. Od drugog dela ovih materija (filtrabilne čvrste materije) odvaja se filtracijom kroz odgovarajući filter. Ukupne suspendovane čvrste materije dele se na taložne i netaložne. Taložne predstavljaju onaj deo koji se istaloži za vreme od 60 minuta (vidi «*Imhoff-ov levak*») i taj podatak predstavlja približnu meru količine mulja koji se može izdvojiti direktnim, primarnim taloženjem. Netaložnu frakciju suspendovanih materija čine uglavnom, čestice veličine između 1 i 10 mikrona.

Tvrdoća vode

Koncentracija jona zemnoalkalnih metala, kalcijuma i magnezijuma, rastvorenih u vodi, a koji se nalaze u ravnoteži sa karbonatnim, bikarbonatnim,

sulfatnim, nitratnim, hloridnim i drugim anjonima u njoj prisutnim. Do donošenja važećeg zakona o sistemu jedinica, tvrdoča se u pojedinim državama izražavala pomoću različitih stepena (vidi: «Stepen tvrdoće vode»). Danas se izražava preko ekvivalentne koncentracije C_aCO_3 , u mg/l , $mmol/l$ ili $mekvl/l$. Ukupna tvrdoča vode odnosi se na sve prisutne Ca i Mg jone, karbonatna tvrdoča na Ca i Mg jone u ravnoteži sa karbonatnim i bikarbonatnim jonima i nekarbonatna tvrdoča na Ca i Mg jone u ravnoteži sa ostalim anjonima (razlika ukupne i karbonatne tvrdoće). Tvrdoča koja se može ukloniti dužim zagrevanjem vode na tački ključanja taloženjem Ca i Mg karbonata i koja je približno jednaka karbonatnoj tvrdoći, naziva se prolazna tvrdoča, a preostali njen deo stalna tvrdoča. Tvrdoča koja potiče samo od Ca jona naziva se kalcijumova tvrdoča, a ona koja potiče samo od Mg jona, magnezijumova tvrdoča. Uvođenjem jonskih menjača u tehnologiju vode ukazala se potreba za definisanjem anjonske i bazne tvrdoće. Anjonska tvrdoča je zbir ukupnih koncentracija anjona jakih mineralnih kiselina (sulfati, nitrati i hloridi), izraženih u jedinicama tvrdoće. Bazna tvrdoča jednaka je zbiru karbonatne, anjonske i alkalno-bikarbonatne tvrdoće (sadržaj alkalnih bikarbonata). Vode sa malom tvrdoćom nazivaju se meke vode, a vode sa velikom tvrdoćom tvrde vode.

Turbinska pumpa

Višestepena centrifugalna pumpa.

Turbulentno proticanje

Vrtložno kretanje tečnosti koje se događa pri *Reynolds*-ovim brojevima preko 3600. Kretanje vrtloga u masi tečnosti potpuno je haotično.

Fauna

Skup životinjskih vrsta određene oblasti, klasifikovanih po filogenetskom principu. To je celokupni životinjski svet jednog područja u određenom periodu.

Fenoli

Grupa organskih aromatičnih jedinjenja sa jednom ili više OH - grupa, vezanih za benzolov prsten (krezoli, naftoli), prisutna kao nusproizvodi pri rafinaciji nafte, pri štavljenju kože, u tekstilnoj industriji pri bojenju, proizvodnji smola i slično. Neke vrste nastaju i u prirodnim procesima razgradnje organskih materija. Male koncentracije prouzrukuju promene ukusa i mirisa u vodama, a visoke koncentracije mogu da unište akvatičnu biocenozu, pa čak da ugroze i ljudski život. Najpoznatiji fenol je karbolna kiselina, C_6H_5OH koji, već pri sadržaju od 10 mikrograma po litru u vodi za piće, pri hlorisanju, obrazuje hlorfenol i čini je nepogodnom za piće.

Fenoli su otporni na dejstvo bakterija, ali se, posle odgovarajuće adaptacije, otpadna voda sa sadržajem fenola čak od 500 mg/l može biološki uspešno prečistiti.

Flora

(Lat. Flora - boginja cveća; flos, floris - cvet). Skup svih biljnih vrsta određene oblasti ili i određenom periodu.

Flotacija

- 1) Podizanje suspendovanog i/ili emulgovanog otpadnog materijala u vodi na njenu površinu uvođenjem u nju komprimovanog vazduha i mehaničko uklanjanje tako izdvojenog mulja. Kod stabilno suspendovanih i emulgovanih materijala u vodi prethodno se, dodatkom određenih hemijskih agensa, mora izvršiti njihova destabilizacija.
- 2) Proces i postupak u preradi ruda kojim se odvajaju jedinjenja korisnih metala iz jalovine. Ovaj proces se obavlja upotrebot površinskih aktivnih supstanci, u jednostavnim flotacionim celijama, tečnom suspenzijom sa finosamlevenom smesom rude. Imo važnu primenu u rudarstvu.

Hemijska potreba kiseonika, HPK

Kiseonični ekvivalent ukupnog sadržaja organske materije u vodi koja je podložna hemijskoj oksidaciji, odnosno broj miligrama kiseonika iz jakog oksidacionog sredstva, koji se utroši na hemijsku oksidaciju ukupne organske materije, prisutne u jednom litru vode. Za datu otpadnu vodu, ukoliko se raspolaže dovoljno velikim brojem paralelno određivanih BPK i HPK vrednosti i dovoljnim iskustvom u interpretaciji tih podataka, može se ustanoviti koleracija između ova dva parametra i tako omogućiti da se ubuduće, određivanjem samo HPK vrednosti te vode, koja zahteva samo 2-3 sata, dode indirektno i do njene BPK vrednosti, čije određivanje traje 5 dana.

Hidraulika

Nauka o proticanju tečnosti, posebno sa stanovišta njene kinetičke energije, odnosno sila koje deluju na tečnost i sila kojima deluje sama tečnost u kretanju.

Hidraulična srednja dubina

Hidraulični radijus. Površina poprečnog preseka tečnosti u kanalu podeljena okvašenim obimom. Kada tečnost pri proticanju potpuno ispunjava cev kroz koju protiče, hidraulička srednja dubina jednaka je jednoj četvrtini prečnika cevi.

Hidraulički gradijent

Pri proticanju fluida kroz cev pod pritiskom, linija koja povezuje nivoe na koje bi se fluid podigao u otvorenim cevima, vezanim za glavnu cev (piezometarska površina). U otvorenom kanalu hidraulički gradijent se poklapa sa površinom vode u njemu.

Hidroakumulacija

Veštačko jezero koje se formira zaustavljanjem toka obično manjeg vodotoka, da bi se u njemu prikupila voda tokom perioda velikih voda i padavina, kada je ima u izobilju i potom koristila tokom sušnog perioda, uglavnom za snabdevanje. Grade se i višenamenske akumulacije, koje se pored toga koriste i za navodnjavanje i/ili za pogon hidroelektrana. Neophodno je, međutim, naglasiti da se prevođenjem tekuće vode u stajaću njen kvalitet, po pravilu i, dugoročnije gledano, pogoršava, posebno kada je prosečno vreme zadržavanja vode u akumulaciji veliko.

Hidrogeografska akumulacija

Deo hidrologije, hidrologija površinskih voda koja se bavi vodom u vodotocima u vreme tzv. velikih voda, pod normalnim uslovima i tokom sušnog perioda, prikupljanjem vode u veštačka jezera - hidroakumulacije, fizičkim karakteristikama rečnih sistema, kao i poreklom i ponašanjem površinskih voda uopšte. Deli se na: reologiju (potamologiju), koja se bavi tekućim vodama, na limnologiju, koja se bavi stajaćim slatkim vodama (sve češće uključuje i reologiju) i na okeanografiju, koja se bavi slanim vodama u morima i okeanima.

Hidrogeografski objekti

Vodeni objekti značajni po količini vode, režimu rada i živopisnom izgledu (izvori, kraška vrela, vodotoci, jezera).

Hidrogeologija

Deo hidrologije koji se bavi podzemnim vodama.

Hidrograf

Grafički prikaz protoka ili vodostaja u vodotoku u zavisnosti od vremena. Površina ispod krive, proizvod protoka i vremena, predstavlja zapreminu vode, proteklu u toku datog vremenskog perioda. Hidrografi za duže vremenske

periode bitni su za planiranje korišćenja hidroenergije i vodosnabdevanja, dok se kratkoročni hidrografi («jedinični hidrografi»), koji prikazuju površinsko oticanje od kiše datog intenziteta (broj milimetara kiše), koriste za projekte iz oblasti zaštite od poplava.

Hidrodinamika

Teorija o kretanju fluida.

Hidrologija

Nauka o osobinama, raspodeli i ponašanju vode u prirodi, koja predstavlja granu fizičke geografije. Inženjerska hidrologija uključuje one segmente, inače veoma široke oblasti koju pokriva ova nauka, koji se odnose na projektovanje i vodenje objekta i uređaja za kontrolu i korišćenje vode. Granice između hidrologije i srodnih nauka kao što su meteorologija, okeanografija i geologija praktično je nemoguće iole tačno definisati. Hidrologija se ponekad definiše i kao nauka o hidrološkom ciklusu.

Hidrološki ciklus

Osnovni koncept na kome se zasniva hidrologija. Nalazeći se u neprekidnom kretanju u prirodi voda obrazuje, zatvoreni ciklus, sačinjen od niza međuzavisnih pojava koje se ciklično ponavljaju. Ona, zapravo, kruži od hidrosfere, preko atmosfere i litosfere, nazad u hidrosferu. Voda iz jezera, reka i okeana isparava pod dejstvom solarne energije (evaporacija) i sa kopna preko vegetacije (transpiracija), da bi se pod odgovarajućim uslovima kondenzovala i, u obliku atmosferskog taloga, vratila na Zemlju (precipitacija). Deo padavina direktno isparava sa površine zemljišta, deo površinski otiče do najbližeg vodnog resursa (bujice), a deo se infiltrira u zemljište i prekolira da podzemnih voda, vraćajući se na površinu u obliku izvora ili bunara, ili otiče horizontalno do reka ili okeana.

Hidrometeorologija

Hidrologija atmosferske vode koja se bavi kišom i drugim oblicima atmosferskog taloga, odnosno uzorcima i učestalošću njihove pojave, njihovom raspodelom i njihovim intenzitetom i njegovim promenama.

Hidrometrija

Merenje brzine toka vode i njenog protoka.

Hidrostatički pritisak

Pritisak stuba vode izazvan razlikom nivoa.

Hidrosfera

Sva voda na i u Zemljinoj kori, uključujući sve podzemne i površinske vode. Pored atmosfere, litosfere i ekosfere, velika zemaljska sfera. (Vidi: «Voda»)

Centrifugalna pumpa

Rotodinamična pumpa u kojoj impeler sa lopaticama pokreće tečnost prema spolja i ona napušta kućište pumpe radijalno. Tečnost se uvodi u pumpu kroz centar impelera.

Cirkulacija

Brzo narušavanje stratifikacije u slatkovodnom basenu (kao što je jezero, vodojaž ili akumulacija), kao posledica prirodnih sila, obično inicirano vетром. U tipičnom primeru, kod jezera umerene zone, u kasno leto ili jesen količina solarne energije je nedovoljna tako da dolazi do hlađenja površinskih slojeva vode. Oni postaju gušći i tonu u dublje delove vodenog basena. Time se narušava stanje temperaturne stratifikacije, temperatura vode postaje ujednačena u celom vodenom biotopu, otpor ka mešanju je mali, tako da je dovoljna i mala količina energije vetra da izazove mešanje celog vodenog stuba. To je jesenja cirkulacija, a do sličnog procesa u jezerima umerene zone dolazi i u proleće - prolećna cirkulacija, kada dolazi do otapanja leda i zagrevanja površinskih slojeva, čija se temperatura izjednačava sa dubljim slojevima. U zavisnosti od tipa temperaturne stratifikacije u jezerima u kojima se uspostavlja cirkulacija celog vodenog stuba tokom jedne godine dolazi do cirkulacije jednom ili više puta. Poseban slučaj delimične cirkulacije uspostavlja se u tzv. meromiktičkim jezerima. Cirkulacija je veoma značajna jer se njome u vodenu masu unose istaložene suspendovane čestice i hranljive supstance, čime se omogućava intenzivna produkcija u narednom periodu. Različiti organizmi su različito prilagođeni na uslove intenzivnog mešanja vode.

LITERATURA

1. V. Jovičić, A. Čović: Odvodnjavanje rudnika, udžbenik, RGF - Beograd, Beograd 1975.
2. 2. V. Jovičić, A. Čović: Odvodnjavanje rudnika, udžbenik, RGF - Beograd, Beograd 1985.
3. R. Simić, D. Mršović, V. Pavlović: Odvodnjavanje površinskih kopova, udžbenik, RI - Zemun, Beograd 1984.
4. M. Ignjatović, M. Miljković: Rudarska hidrotehnika, udžbenik, Institut za bakar, Bor 2004.
5. S. Pajkić, M. Ljubojev: Istražno bušenje - tehnika i tehnologija, udžbenik, Institut za bakar, Bor 2004.

SADRŽAJ

I OSNOVE HIDROLOGIJE, HIDRAULIKE, HIDROGEOLOGIJE I DINAMIKE PODZEMNIH VODA	3
UVOD	4
1. HIDROLOGIJA	5
1.1. VODNI BILANS	6
1.2. SLIVNE POVRŠINE, PADAVINE, VODOSTAJ I OTICAJ	8
2. HIDRAULIKA	10
2.1. OSNOVNE FIZIČKE OSOBINE TEČNOSTI	10
2.2. HIDROSTATIČKI PRITISAK	11
2.3. HIDRODINAMIKA	15
2.3.1. Osnovni pojmovi	15
2.3.2. Osnovna jednačina strujanja tečnosti	18
2.3.3. Hidraulički otpori	20
2.3.4. Gubici na trenje	21
2.3.5. Lokalni gubici	22
3. FIZIČKA SVOJSTVA STENSKIH MASIVA OD ZNAČAJA ZA SADŽAJ VODE U NJIMA	25
3.1. POROZNOST	25
3.2. VLAŽNOST STENA	31
3.3. OBLICI POJAVE VODE U STENAMA	32
4. HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA STENA	34
4.1. SPOSOBNOSTUPIJANJA VODE	34
4.2. SPOSOBNOSTODAVANJA VODE (IZDAŠNOST)	34
4.3. PROPUSTLJIVOST	35
4.4. SLOBODNE PODZEMNE VODE	38
4.4.1. Izdani	38
4.4.2. Tipovi izdani prema hidrodinamičkim karakteristikama	39
4.5. KRETANJE PODZEMNE VODE	41
4.5.1. Kretanje vode u zoni aeracije	42
4.5.2. Kretanje vode u zoni zasićenja	42
4.6. BUNARI	45
4.6.1. Količina vode koja pritiće ka savršenom bunaru	47
4.6.2. Količina vode koja pritiće ka savršenom arteškom bunaru	49
4.6.3. Količina vode koja pritiće u nesavršeni bunar	51
4.6.4. Određivanje koeficijenta filtracije kod bunara	52

II ODVODNJAVA VJEĆE PODZEMNIH RUDNIKA	53
1. PRILIV VODE U RUDNIČKE PROSTORIJE	53
1.1. PRILIV VODE PRI IZRADI VERTIKALNIH PROSTORIJA	54
1.2. PRILIV VODE U HORIZONTALNE RUDNIČKE PROSTORIJE	54
1.3. PRILIV VODE U KOSE RUDNIČKE PROSTORIJE	55
1.4. UTICAJ METODE OTKOPAVANJA LEŽIŠTA NA OVODNJENOST RUDNIKA	56
2. ORGANIZACIJA ODVODNJAVA VJEĆA RUDNIKA	57
2.1. PRIRODNO ODVODNJAVA VJEĆE POTKOPIMA	57
2.2. MEHANIČKO ODVODNJAVA VJEĆA RUDNIKA	57
3. SPREČAVANJE PRODORA VODE U RUDARSKE PROSTORIJE	60
3.1. SPREČAVANJE PRODORA POVRŠINSKIH VODA	60
3.2. SPREČAVANJE PRODORA PODZEMNIH VODA	63
4. SPREČAVANJE PRITOKA VODE BARAŽAMA	67
4.1. IZGRADNJA BARAŽA	67
4.2. DRVENE BARAŽE	68
4.3. ZIDANE BARAŽE	70
4.3.1. Zidane cilindrične baraže	70
4.3.2. Sferične zidane baraže	72
4.3.3. Zidane klinaste baraže	73
4.4. BETONSKE BARAŽE	76
4.4.1. Klinaste pravougaone jednostepene baraže	78
4.4.2. Klinaste višestepene pravougaone baraže	82
4.4.3. Klinaste jednostepene kružne baraže	84
4.4.4. Klinaste višestepene kružne baraže	85
4.5. ARMIRANO-BETONSKE BARAŽE	87
5. HIDROTEHNIČKI OBJEKTI ZA ODVODNJAVA VJEĆA RUDNIKA	88
5.1. KANALI ZA ODVODNJAVA VJEĆE	88
5.2. TALOŽNICI	90
5.3. VODOSABIRNICI	92
5.4. PUMPNE KOMORE	95
5.5. PUMPNO POSTROJENJE	99

III ODVODNJAVAњE POVRŠINSKIH KOPOVA	101
1. OPŠTI PRINCIPI ODVODNJAVAњA POVRŠINSKIH KOPOVA	101
1.1. METODE I SISTEMI ODVODNJAVAњA POVRŠINSKIH KOPOVA	101
1.2. ANALIZA USLOVA ZA ODVODNJAVAњE KOPOVA I ODLAGALIŠTA	102
2. ODREĐIVANJE PRILIVA VODE U POVRŠINSKI KOP	104
3. HIDROTEHNIČKI OBJEKTI ZAŠTITE KOPOVA OD POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA	105
3.1. OBJEKTI ZA ZAŠTITU OD POVRŠINSKIH VODA	105
3.2. OBJEKTI ZA ZAŠTITU OD PODZEMNIH VODA	110
4. HIDROTEHNIČKI OBJEKTI ZA DRENIRANJE - ISUŠIVANJE OVODNJENIH LEŽIŠTA	111
4.1. VRSTE DRENAŽNIH SISTEMA	111
4.2. VERTIKALNI DRENAŽNI OBJEKTI	112
4.2.1. Bušotine	112
4.2.2. Bunari	113
4.2.3. Okna	116
4.3. HORIZONTALNI DRENAŽNI OBJEKTI	116
4.3.1. Dreniranje unutrašnjeg odlagališta	116
4.3.2. Dreniranje unutrašnjeg odlagališta	117
4.3.3. Dreniranje spoljašnjeg odlagališta	117
4.3.4. Kanali	117
4.3.5. Useci	119
4.3.6. Horizontalne bušotine	121
4.3.7. Zaštitni nasipi	121
4.3.8. Ukopane drenažne cevi	122
4.3.9. Podzemne rudarske prostorije za odvodnjanje	124
5. ZAŠTITA OD PODZEMNIH VODA PRIMENOM EKRANA	125
5.1. VRSTE EKRANA I NAČINI IZGRADNJE	125
5.2. INFUZIONI ZALIVNI EKRANI	127
5.3. INJEKCIIONI EKRANI	127
5.4. LEDENI EKRANI	128
IV OSNOVNI POJMOVI VEZANI ZA VODE I ODVODNJAVAњE	130
LITERATURA	153