

**SPECIJALNO IZDANJE ČASOPISA
RUDARSKI RADOVI 2008/1-2 SA TEMOM
ODVODNJAVANJE U RUDARSTVU**

**PRAKTIKUM
SA ZBIRKOM REŠENIH ZADATAKA**

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

**Recenzenti: Dr Miroslav Ignjatović
Dr Milenko Ljubojev**

ČITAOCIMA ČASOPISA „RUDARSKI RADOVI“

UREDNIŠTVO ČASOPISA „RUDARSKI RADOVI“ PROCENJUJE DA JE SVRSISHODNO DA U OKVIRU SVOJE IZDAVAČKE KONCEPCIJE POVREMENO UVRSTI I POSEBNE TEME KOJE SU ŠIRE OBRAĐENE PO OBIMU OD DRUGIH PRILOGA U ČASOPISU, A KOJE PO TEMATICI OBOGAĆUJU IZDAVAČKE 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 ODVODNJAVANJU U RUDARSTVU KOJA JE OBRAĐENA OD STRANE DR MIRKA IVKOVIĆA U DVE CELINE. OBRAĐEN JE TEORETSKI DEO KOJI SE ODNOSI NA ODVODNJAVANJE U RUDNICIMA I DEO PRAKTIKUM ZA ODVODNJAVANJE 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.

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

UREDNIŠTVO

UDK:622.5(035)=861

ODVODNJAVANJE U RUDARSTVU PRAKTIKUM SA ZBIRKOM REŠENIH ZADATAKA

DEWATERING IN MINING – PRACTICAL COURSE WITH A REFERENCE BOOK OF SOLVED PROBLEMS

Izvod

Proučavanje rudničkih voda predstavlja jedan od veoma važnih zadataka kompleksnog istraživanja jer često količina ispumpane vode znatno prelazi količinu izvađene korisne iskopine. Ovaj problem je naročito važan za površinsku eksploataciju pošto se površinski kopovi velikih kapaciteta nalaze na površinama koje predstavlja veliko slivno područje. Za rudnike sa podzemnom eksploatacijom problem prisustva vode je, pored uticaja na tehnološki process, veoma bitan sa sigurnosnog aspekta.

Pored analize prirodnih uslova ovodnjenosti ležišta mineralnih sirovina, posebna pažnja se poklanja veštačkim uslovima ovodnjenosti, tj. faktorima koji nastaju tokom razrade i eksploatacije ležišta i dovode do izmene prirodnih uslova.

Ključne reči: *baraže, kanali za odvodnjavanje, taložnici, vodosabimici, pumpne komore, cevovod i pumpe.*

Abstract

Studying of mine water presents one of very important task in complex investigation because the quality of pumped water often exceeds the useful excavated amaterial. This problem is specially important for the surface mining due to a fact that the open pits are located on surfaces that present large drainage area. The problem of water presence is, besides the effect to the technological process, very important from a safety aspect, for the underground mines.

Besides an analysis of natural conditions for drainage the mineral deposits, a special care is paid to the artificial conditions of drainage, i.e. resulted factors during development and mining of deposits and leading to a change of natural conditions.

Key words: *barrages, dewatering canals, settlers, water collectors, pump chambers, pipelines and pumps*

1. RUDNIČKE VODE

Sve podzemne vode koje ometaju izvođenje tehnološkog procesa eksploatacije, kao i sve površinske vode koje prodiru u rudnike, nazivaju se rudničkim vodama. Proučavanje rudničkih voda predstavlja jedan od veoma važnih zadataka kompleksnog istraživanja jer često količina iscrpljene vode znatno prelazi količinu izvađene korisne iskopine. Ovaj problem je naročito važan za površinsku eksploataciju pošto se površinski kopovi velikih kapaciteta nalaze na površinama koje mogu predstavljati veoma veliko slivno i vodonosno područje. Za rudnike sa podzemnom eksploatacijom problem prisustva vode je, pored uticaja na tehnološki process, veoma bitan sa sigurnosnog aspekta. Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina predstavlja naučnu disciplinu koja proučava hidrogeološke uslove u kojima se nalazi određeno ležište ili grupa ležišta.

Proučavanje hidrogeoloških uslova određenog ležišta obuhvata: određivanje tipova izdani i njihovo rasprostranjenje u planu i profilu; uslove formiranja; cirkulaciju i isticanje izdanskih voda; odnos izdanskih, podzemnih i površinskih voda; fizička i hemijska svojstva rudničkih voda i mogućnost njihovog korišćenja.

Pored analize prirodnih uslova ovodnjenosti ležišta mineralnih sirovina, posebna pažnja se poklanja veštačkim uslovima ovodnjenosti, tj. faktorima koji nastaju tokom razrade i eksploatacije ležišta i dovode do izmene prirodnih uslova.

Pod ovodnjenošću se podrazumevaju pojave koje u određenim uslovima dovode do formiranja priliva rudničkih voda. Prilivi rudničkih voda uslovljavaju i odgovarajući stepen ovodnjenosti ležišta u celini ili njegovih pojedinih delova. Ovodnjenost ili vodoobilnost može biti izražena odnosom količine iscrpljene vode u m³ za određeni period (Q) i količine izvađene mineralne sirovine za isti period (Q_p):

$$k_v = \frac{Q}{Q_p}$$

Ovaj izraz se naziva koeficijentom ovodnjenosti, po kome se sva ležišta dele na:

- ležišta male ovodnjenosti sa $k_v < 1$,
- ležišta srednje ovodnjenosti sa $k_v = 1 \div 3$,
- ležišta velike ovodnjenosti sa $k_v = 3 \div 10$,
- ležišta vrlo velike ovodnjenosti sa $k_v > 10$.

Svi činioци koji utiču na ovodnjenost jednog ležišta dele se na prirodne i veštačke. U prirodne spadaju: klimatski uslovi, reljef terena, geološki sastav, tektonske prilike, paleoreljef i blizina površinskih i podzemnih vodnih rezervoara. Veštački su vođenje rudarskih radova i način odvodnjavanja ležišta.

2. DOTOCI VODE KOD BUNARA

Bunari predstavljaju vertikalne objekte (sl. 1) izrađene do akumulacije podzemne vode i klasifikovani su na savršene i nesavršene bunare.

Savršeni bunari se izrađuju tako da prodiru celom visinom kroz vodonosni horizont i kod njih voda dotiče samo kroz zidove, za razliku od nesavršenih bunara koji samo jednim delom ulaze u vodonosni sloj i kod kojih voda dotiče kroz zidove i dno ili samo kroz dno bunara.

Poluprečnik dejstva bunara (sl. 2.) određuje se analitički po obrazcima:

$$1. \text{ Prema I.P. Kusakinu } R = 2S\sqrt{H \cdot k} \quad (m) \quad (2.1.)$$

$$2. \text{ Prema E.E. Karkisu } R = \sqrt{30 \cdot kH \cdot S(1 + 0,00015r^2)} \quad (m) \quad (2.2.)$$

gde su:

k - koeficijent filtracije (m/dan),

H - visina vodenog stuba od dna 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.

Vrednosti R za određene slojeve date su i tabelarno (tabela 2)

a) Količina vode koja protiče ka savršenom bunaru određuje se obrascem:

$$Q = 1,367 \cdot k \frac{(2H - S)S}{\log R - \log r} \quad (2.3.)$$

b) Priticanje vode u nesavršeni bunar Forhajmer je definisao kao odnos kapaciteta savršenog (Q) i nesavršenog (Q₁) bunara:

$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{\frac{h}{t}} \cdot \sqrt[4]{\frac{h}{2h-t}} \quad (2.4.)$$

h - visina od vodonepropusnog sloja do nivoa vode u bunaru,

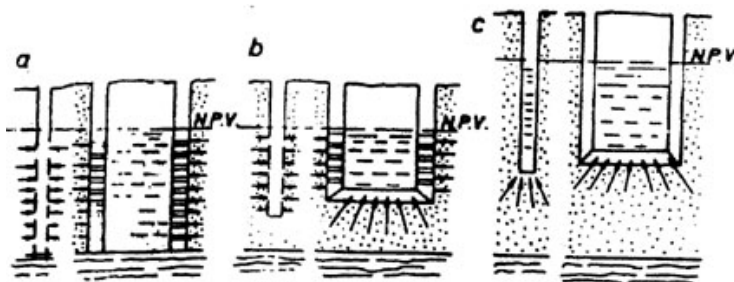
t - visina vode u nesavršenom bunaru.

c) Koeficijent filtracije (k) određuje se tako što se postave osmatračke bušotine i vrši opitno pumpanje. Ako se količina ispumpane vode označi

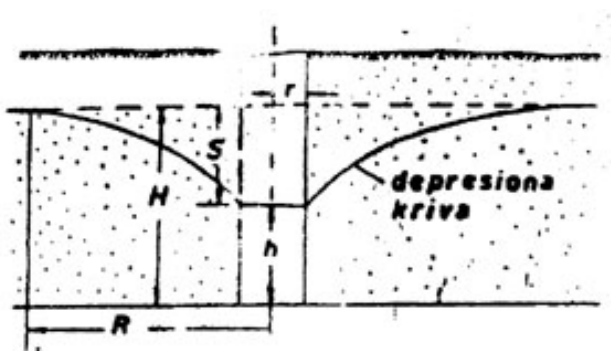
sa Q , nivoi vode u osmatračkim bušotinama sa h_1 i h_2 , a udaljenost osmatračkih bušotina od bunara sa a_1 i a_2 , koeficijent filtracije iznosi:

$$k = \frac{Q(\ln a_2 - \ln a_1)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)}, \text{ a za arteški bunar } k = \frac{Q(\ln a_2 - \ln a_1)}{2\pi m(h_2 - h_1)} \quad (2.5.)$$

Vrednosti koeficijenta filtracije za različite vrste stena i granulometrijski sastav date su u tabeli 1.



Sl. 1. Savršeni i nesavršeni bunari



Sl. 2. Poluprečnik dejstva bunara

2.1. Proračuni bunara i bušotina

Zadatak 1.

Određiti dotok vode u savršeni bunar kod vodonosnog horizonta moćnosti 5 m i visine vode u bunaru 3 m. Vodonosni sloj je sitnozrni pesak, a poluprečnik bunara 1,2 m.

Rešenje:

Koeficijent filtracije je 3 m/dan (srednja vrednost za sitnozrni pesak - tabela 1).

Radius dejstva, prema obrascu I.P. Kusakina, biće:

$$R = 2S\sqrt{Hk} = 2 \cdot 2\sqrt{5 \cdot 3} = 15,5 \text{ m} .$$

Dotok vode iznosi:

$$Q = \frac{1,367k(2H - S)S}{\log R - \log r} = \frac{1,367 \cdot 3(2 \cdot 5 - 2)2}{\log 15,5 - \log 1,2} = 164,6 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

Tabela 1. Vrednost koeficijenta filtracije u zavisnosti od granulometriskog sastava

Vrsta stena	Prečnik zrna (mm)	Koeficijent filtracije (m/dan)
Krupni 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	$10^{-6} - 10^{-8}$

Napomena: Vrednosti koeficijenta filtracije iz tabele 1. odnose se na temperaturu 10° C. Za druge vrednosti temperature vrši se popravka koeficijenta (k) množenjem sa τ koji se određuje pomoću obrasca:

$$\tau = 0,70 + 0,03 t$$

gde je

t - temperatura vode (°C)

Tabela 2. Poluprečnik dejstva R

Slojevi	Prečnik čestica (mm)	Poluprečnik dejstva R (m)
Sitnozrni pesak	0,5-0,25	25-100
Srednjezrnasti pesak	1,0-0,5	100-200
Krupnozrnasti pesak	2,0-1,0	200-400
Veoma krupan pesak i šljunak	10,0-2,0	400-600
Srednje krupni šljunak	100,0-10,0	600-1500
Krupan šljunak	200,0-100,0	1500-3000

Zadatak 2.

Bušotinom prečnika 150 mm nabušen je sloj pod pritiskom debljine 10 m. Poluprečnik dejstva iznosi 50 m. Odrediti prtok vode u bušotinu pri sniženju nivoa za 5 m. Koeficijent filtracije iznosi $k=3$ m/dan.

Rešenje:

$$Q = \frac{2,73 kmS}{\log R - \log r} = \frac{2,73 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 5}{\log 50 - \log 0,75} = 145 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

Zadatak 3.

Eksperimentalnim pumpanjem vodonosnog horizonta pod pritiskom utvrđeno je sledeće:

- kod sniženja nivoa za 1 m prtok vode iznosio je $0,0025 \text{ m}^3/\text{s}$
- kod sniženja nivoa za 3 m prtok vode iznosio je $0,006 \text{ m}^3/\text{s}$

Odrediti kapacitet bušotine pri sniženju nivoa za 7 m.

Rešenje:

$$Q_1 = 0,0025 \text{ m}^3 / \text{s} \text{ ili } 216 \text{ m}^3 / \text{dan}; S_1 = 1 \text{ m}$$

$$Q_2 = 0,006 \text{ m}^3 / \text{s} \text{ ili } 518,4 \text{ m}^3 / \text{dan}; S_2 = 3 \text{ m}$$

$$b = \frac{S_2 Q_1 - S_1 Q_2}{Q_1 Q_2 (Q_2 - Q_1)} = \frac{3 \cdot 216 - 1 \cdot 518,4}{216 \cdot 518,4 (518,4 - 216)} = 3,8 \cdot 10^{-6}$$

$$a = \frac{S_1}{Q_1} - bQ_1 = \frac{1}{216} - 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot 216 = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4bS} - a}{2b} = \frac{\sqrt{(3,8 \cdot 10^{-3})^2 + 4 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot 7} - 3,8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,8 \cdot 10^{-6}} = 946,4 \text{ m}^3 / \text{dan}$$

Zadatak 4.

Na udaljenosti od 50 m i 70 m od arteškog bunara postavljene su osmatračke bušotine. Moćnost vodonosnog horizonta iznosi 10 m, a kapacitet pumpanja 942 m³/dan. Sniženje nivoa vode u osmatračkim bušotinama iznosilo je 2 m i 1,4 m. Odrediti koeficijent filtracije.

Rešenje:

$$a_1 = 50 \text{ m}; a_2 = 70 \text{ m}; Q = 942 \text{ m}^3 / \text{dan}; S_1 = 2 \text{ m}; S_2 = 1,4 \text{ m}$$

$$k = \frac{Q(\ln a_2 - \ln a_1)}{\pi(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} = \frac{942(\ln 70 - \ln 50)}{3,14(2 \cdot 10 - 2 - 1,4)(2 - 1,4)} \cong 10,1$$

$$k = 10,1 \text{ m} / \text{dan}$$

3. ODREĐIVANJE PRITOKA VODE U JAMSKE PROSTORIJE

3.1. Određivanje prognoznog pritoka vode po veličini sniženja nivoa podzemnih voda

Protok vode određuje se obrascima:

$$1. \text{ za vode pod pritiskom } Q = Q_1 \frac{S}{S_1} \quad (3.1.)$$

$$2. \text{ za vode bez pritiska } Q = Q_1 \frac{(2H - S)S}{(2H_1 - S_1)S_1} \quad (3.2.)$$

gde je:

Q_1 - poznati protok vode u susednim jamskim prostorijama, odnosno u prostorijama sa analognim vrstama stena, hidrološkim, klimatskim uslovima i dr. (m^3/dan);

S - neophodno sniženje nivoa vode u projektovanoj prostoriji (m);

S_1 - stvarno sniženje nivoa vode u projektovanoj prostoriji (m);

H - debljina vodonosnog horizonta u projektovanoj prostoriji (m);

H_1 - debljina vodonosnog horizonta u analognoj prostoriji (m).

3.2. Određivanje pritoka vode po specifičnom pritoku i dimenzijama jamskih prostorija

Kod ove metode protok vode se utvrđuje preko sledećih obrazaca:

- u slučaju porasta pritoka proporcionalno dužini jamskih prostorija:

$$Q = g \cdot L \quad (3.3.)$$

- u slučaju porasta pritoka proporcionalno površini pripremnih ili eksploatacionih radova:

$$Q = g_1 \cdot A \quad (3.4.)$$

gde je:

g - stvarni specifični protok vode (protok na 1 m dužine prostorije), utvrđen pri izradi horizontalnih prostorija u analognom rudniku;

L - dužina projektovanih (glavnih pravaca) prostorija (m);

g_1 - stvarni specifični protok vode (protok na 1 m^2 površine), pripremnih ili eksploatacionih radova;

A - površina pripremnih ili eksploatacionih projektovanih prostorija (m^2).

4. NAČINI INFORMATIVNOG BUŠENJA

Zadatak 5.

Podzemna prostorija se izrađuje prema rasedu koji može biti nosilac vode ili gasa (sl. 3). Sa čela prostorije izrađuje se bušotina dužine oko 60 m. Ukoliko bušotina ostane suva i bez pojave gasova nastavlja se sa napredovanjem čela i ono zaustavlja na 50-tom metru. Tada se premešta bušaća garnitura na čelo i ponovo vrši predvrtavanje u dužini od 60 m.

Zadatak 6.

Ako se prostorija izrađuje u stenama i slojevima gde postoji veća opasnost od prodora vode i gde je potrebno obezbediti ne samo čelo nego i bokove prostorije izrađuje se lepeza bušotina (sl. 4).

Sukcesivnim napredovanjem lepeza bušotina se ponovo izrađuje, s tim što se održava konstantno rastojanje između čela bušotine iz prethodne lepeze. Tako definisan zaštitni stub treba da bude 10-20 m.

Zadatak 7.

Ukoliko se podzemna prostorija izrađuje tako da može da preseče vodonosni horizont bušotina se izrađuju horizontalno i koso naviše ili naniže (sl. 5 i 6). Rastojanje između prostorije i vodonosnog horizonta ne sme biti manje od 10 h (h -gruba visina prostorije).

Zadatak 8.

Kod izrade paralelnih hodnika potrebno je blagovremeno istraživati ne samo zonu oko prostorije nego i prostor između paralelnih prostorija. U tu svrhu se izrađuju bušotine u pravcu napredovanja hodnika i bušotine koso usmerene iz jednog hodnika u drugi kako se to vidi na sl. 7.

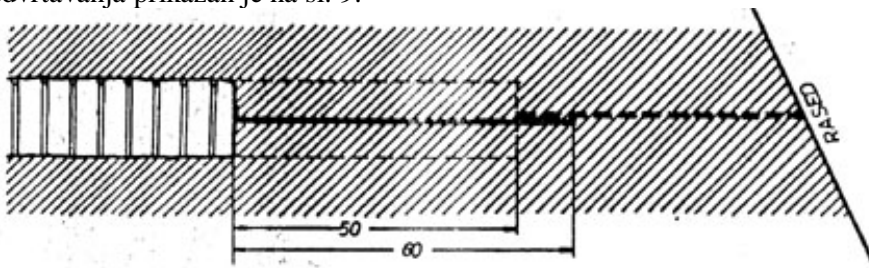
Zadatak 9.

Kod nastupnog otkopavanja širokim čelom, ako postoji opasnost od provale vode iz starih radova, ili raseda, predvrtavanje se vrši sa dve bušotine - jednom iz transportnog hodnika, paralelno sa širokim čelom, i jednom iz ventilacionog hodnika, pod uglom koso, kako se to vidi na sl. 8.

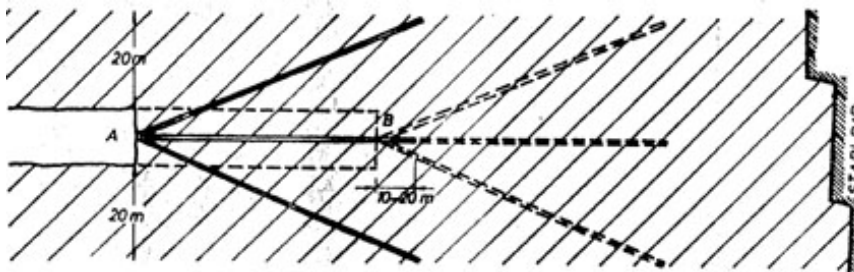
Zadatak 10.

Kod nastupnog otkopavanja širokim čelom u tankim slojevima vrlo je teško izraditi iz transportnog hodnika bušotinu paralelnu sa čelom čija se dužina kreće i do 200 m, pa i više.

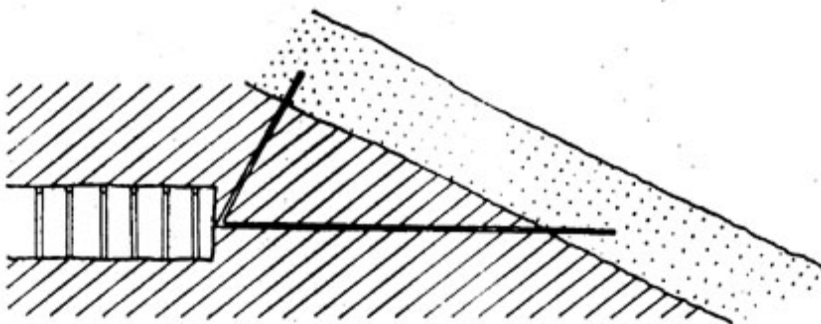
U tom slučaju iz ventilacionog hodnika se izradi lepeza bušotina, a iz transportnog hodnika skraćena bušotina paralelna sa čelom. Ovaj način predvrtavanja prikazan je na sl. 9.



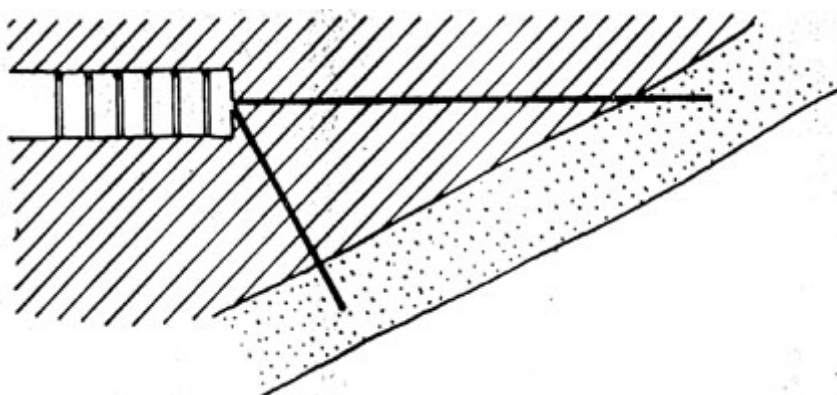
Sl. 3. Informativno bušenje prema rasedu



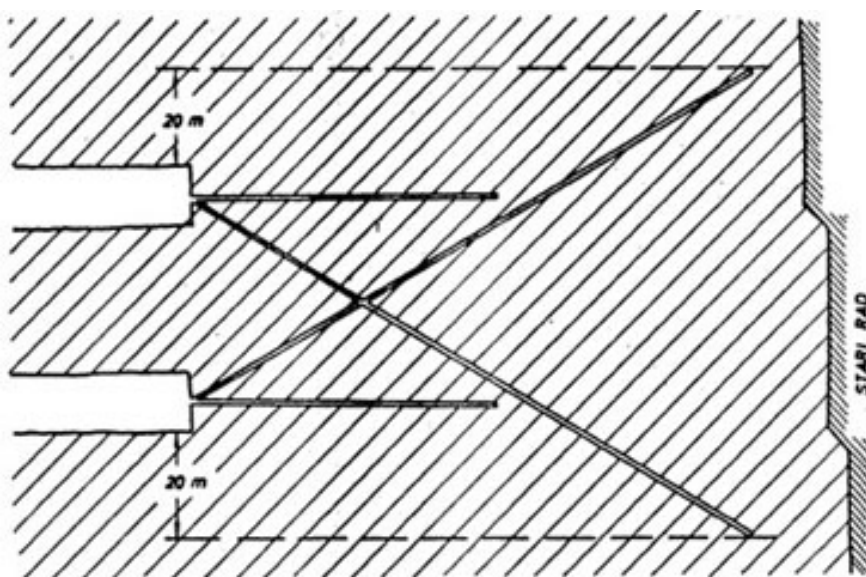
Sl. 4. Informativno bušenje prema starom radu



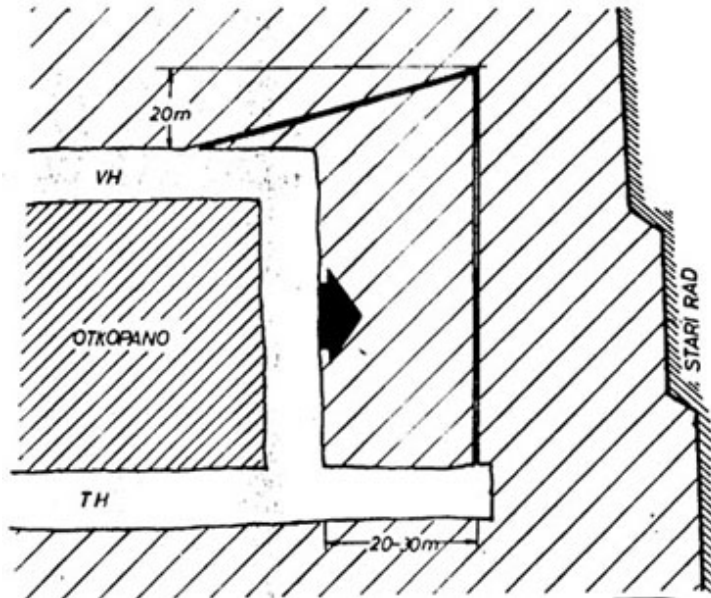
Sl. 5. Informativno bušenje prema vodonosnom horizontu



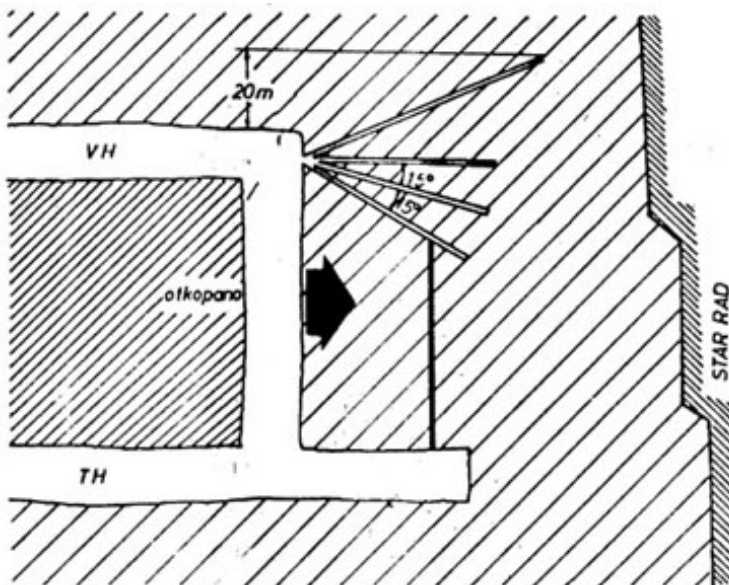
Sl. 6. Informativno bušenje prema vodenom horizontu



Sl. 7. Informativno bušenje pri izradi paralelnih hodnika



Sl. 8. Informativno bušenje kod nastupnog otkopavanja ŠČ



Sl. 9. Informativno bušenje kod nastupnog otkopavanja ŠČ

5. VODNE BARAŽE

Vodne baraže predstavljaju rudničke objekte čija je namena da u potpunosti ili delimično, trajno ili privremeno, spreče prtok vode u aktivne rudarske prostorije (sl. 10). Baraže su podeljene zavisno od namene, načina i materijala izrade, kao i trajnosti izolacije.

Prema nameni, baraže mogu biti vodonepropusne (služe za potpunu izolaciju od vode) i filtrirajuće (služe za prečišćavanje vode). Zavisno od materijala od kojih se izrađuju, baraže mogu biti 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. Stene u kojima se baraže izrađuju moraju biti dovoljno čvrste, vodonepropusne i bez pukotina. Ako se baraže rade u slabim i srednječvrstim stenama tada se rade kao višestepene (sa više segmenata).

Čvrstoća i dozvoljeno opterećenje za važnije stene i materijale dati su tabelarno (tabela 3.).

5.1. Proračun drvenih baraža

Proračun drvenih baraža vrši se tako što se određuje debljina baraže koja treba da zadovolji opterećenje na savijanje:

$$d = L \sqrt{\frac{3p}{4 \cdot Kb}} \quad (cm) \quad (5.1.)$$

gde je:

d - debljina baraže,

L - dužina grede (cm),

p - hidrostatički pritisak vode (MPa),

Kb - dozvoljeno opterećenje drveta na savijanje, koje zavisi od vrste drveta i iznosi:

- za čamovo drvo Kb = 4 MPa,

- za borovo drvo Kb = 5 MPa,

- za hrastovo drvo Kb = 6 MPa,

- za bukovo drvo Kb = 7 MPa.

5.2. Proračun zidanih baraža

Zidane baraže se izrađuju od opeke u cilindričnom, sferičnom i klinastom obliku, zavisno od pritiska vode i karakteristika stena u kojima se ugrađuju.

- Zidane cilindrične baraže primenjuju se u uzanim i visokim prostorijama kada se očekuju manji pritisci vode, a izrađuju se u obliku isečka cilindričnog prstena.

Da bi baraža odgovorila svojoj nameni, mora biti zadovoljen uslov:

$$p \cdot R \leq d \cdot K_c, \text{ odakle sledi} \quad (5.3.)$$

$$d = \frac{p \cdot R}{K_c} \text{ (m)}, \text{ odnosno } d = \frac{p \cdot r}{K_c - p} \text{ (m)} \quad (5.4.)$$

gde je:

R - spoljni poluprečnik baraže (m),

d - debljina baraže (m),

K_c - dozvoljeno naprezanje na pritisak stene ili materijala od kojeg se baraža izrađuje (Pa)

$$p = \rho \cdot g \cdot H \text{ (Pa) - hidrostatički pritisak,} \quad (5.5.)$$

ρ - gustina vode (kg/m^3),

H - visina vodenog stuba (m).

U slučajevima kada se baraža radi iz više segmenata, pritisak koji deluje na jedan segment iznosi:

$$p_n = \frac{p}{n} \quad (5.6.)$$

p - hidrostatički pritisak,

n - ukupan broj segmenata.

Debljina svakog segmenta iznosi

$$d_n = \frac{r \cdot p}{n \cdot K_c - p} \quad (5.7.)$$

r - unutrašnji poluprečnik baraže

Tabela 4. *Unutrašnji ugao i poluprečnik cilindrične baraže*

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

- Sferične zidane baraže se izrađuju u obliku isečka kugle, čije su dimenzije usklađene sa širinom i visinom prostorije u kojoj se izrađuju.

Debljina baraže sa jednim segmentom se izračunava iz izraza:

$$d = r \left(\sqrt{\frac{K_c}{K_c - p}} - 1 \right) \quad (m) \quad (5.8.)$$

a u slučaju više segmenata:

$$d = r \left(\sqrt{\frac{n \cdot K_c}{n \cdot K_c - p}} - 1 \right) \quad (m) \quad (5.9.)$$

Tabela 5. *Unutrašnji ugao i poluprečnik sferične baraže*

Vrsta stene	α (°)	r (m)
Mekane	12	2,5 b
Srednječvrste	15	2,0 b
Čvrste	20	1,5 b

Klinaste zidane baraže se izrađuju u širokim prostorijama i geometrijski predstavljaju zarubljenu piramidu, postavljenu u prostoriji širom osnovom prema strani vode.

Debljina baraže se izračunava pomoću obrasca:

$$d = \frac{p \cdot r}{2K_c - p} + \frac{h^2}{8r} \quad (m) \quad (5.10.)$$

h - veća dimenzija hodnika

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

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

Kod višestepenih baraža, debljina svakog segmenta se izračunava kao:

$$d_n = \frac{p \cdot r}{2n \cdot R_c - p} + \frac{h^2}{8r} \quad (m) \quad (5.11.)$$

Provera baraža na pritisak, smicanje i nepropusnost vrši se nakon proračuna debljine baraže.

Provera na pritisak vrši se po obrascu:

$$K_0 = \frac{F}{n \cdot A \cdot \sin \alpha} \quad (P_a) \quad (5.12.)$$

K_0 - pritisak baraže na okolne stene (P_a),
 A - površina kojom baraža naleže na okolne stene (m^2),
 F - sila koja deluje na baražu (N).

$$F = p \cdot b \cdot h \quad (N) \quad (5.13.)$$

Koeficijent sigurnosti baraže iznosi:

$$\frac{K_c}{K_0} = \eta \geq 1,5 \quad (5.14.)$$

Provera baraže na smicanje vrši se po obrascu:

$$d = \frac{p \cdot b}{4\tau} \quad (m) \quad (5.15.)$$

τ - dozvoljeno naprezanje na smicanje (P_a).

Vodonepropusnost baraže se proverava prema obrascu:

$$Q = f \cdot \frac{H \cdot b \cdot h}{d} \quad (m^3 / h) \quad (5.16.)$$

H - visinska razlika između nivoa vode i mesta izrade baraže (m)
 f - koeficijent filtracije (0,00002145 – 0,00003529 m^3/h)

Može se smatrati da baraža zadovoljava u pogledu vodonepropusnosti ako je:

$$Q = 0,02 - 0,04 \quad (m^3/h)$$

5.3. Proračun betonskih baraža

Betonske baraže se izrađuju u vidu klinastih ili pravougaonih. Klinaste baraže se oslanjaju na okolne stene preko useka, a pravougaone se ne oslanjaju na okolne stene.

Klinaste baraže, u zavisnosti od pritiska, mogu biti jednostepene ili višestepene, a pri tome osnovica baraže može imati različite geometrijske oblike.

U kategoriju pravougaonih spadaju one sa pravougaonim, kvadratnim i trapezastim presekom, a kružne su sa osnovicom kruga, elipse i poliedra.

a. Klinasta pravougaona jednostepena baraža

Proračun ovih baraža vrši se prema statičkoj ravnoteži na pritisak, smicanje i vodonepropusnost.

- Proračun na pritisak,

za baražu sa osnovicom pravougaonika:

$$d = \frac{b+h}{4 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \left(\sqrt{\frac{4 \cdot \mu \cdot p \cdot b \cdot h}{m R_b (b+h)^2} + 1} - 1 \right) \quad (5.17.)$$

za baražu sa osnovicom kvadrat ($b = h$)

$$d = \frac{b}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left(\sqrt{\frac{\mu \cdot p}{m R_b} + 1} - 1 \right) \quad (5.18.)$$

za baražu sa osnovicom trapeza (srednja linija trapeza $= b \cdot s \cdot r$)

$$d = \frac{bsr+h}{4 \operatorname{tg} \alpha} \left(\sqrt{\frac{4 \mu p b s r h}{m R_b (bsr+h)^2} + 1} - 1 \right) \quad (5.19.)$$

b - širina prostorije (m),

h - visina prostorije (m),

p - hidrostatički pritisak vode (P_a),

μ - koeficijent sigurnosti (1,2 – 1,3),

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

R_b - proračunska čvrstoća betona na pritisak u zavisnosti

od marke betona (P_a)

α - unutrašnji ugao baraže

- Proračun na smicanje

za baražu pravougaonog preseka:

$$d_s = \frac{\mu \cdot p \cdot bh}{2m \tau_b (b+h)} \quad (5.20.)$$

za baražu kvadratnog preseka:

$$d_s = \frac{\mu \cdot p \cdot b}{4m \tau_b} \quad (5.21.)$$

za baražu trapeznog preseka visine h:

$$d_s = \frac{\mu pbsrh}{2m \tau_b (bsr + h)} \quad (5.22.)$$

- Proračun uslova vodonepropusnosti

$$d_{vnp} = 48 \cdot k H A \quad (m) \quad (5.23.)$$

k - koeficijent filtracije (0,000015 – 0,000035)

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

A - površina poprečnog preseka prostorije (m²)

b. Klinasta višestepena pravougaona baraža

za pravougaoni oblik:

$$\sigma = \frac{\mu pbh}{m \sin \alpha \frac{2n dn}{\cos \alpha} (b+h+2n \cdot dn \operatorname{tg} \alpha)} \quad (5.24.)$$

za kvadratni oblik:

$$\sigma = \frac{\mu pb^2}{4mn \cdot d_n (b+n \cdot d_n \cdot \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha} \quad (5.25.)$$

za trapezni oblik:

$$\sigma = \frac{\mu pbsrh}{2mn \cdot d_n (bsr+h+2n \cdot d_n \cdot \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha} \quad (5.26.)$$

c. Klinasta jednostepena kružna baraža

Prema geometrijskom obliku ovakve baraže predstavljaju zarubljeni kupu čija se osa poklapa sa horizontalnom osom prostorije.

- Proračun na pritisak:

$$d_o = \frac{D}{2tg\alpha} \left(\sqrt{\frac{\mu p}{m \cdot R_b} + 1} - 1 \right) \quad (5.27.)$$

D - prečnik baraže:

- Proračun na smicanje:

$$ds_o = \frac{\mu p D}{4 m t b}$$

- proračun uslova vodonepropusnosti isti je kao i za klinaste pravougaone baraže.

d. Klinaste višestepene kružne baraže

Ovaj proračun izvodi se na istim principima kao i za pravougaone višestepene baraže, kod čega je:

$$\sigma_o = \frac{\mu p D^2}{4 m n d_n (D + n d_n t g \alpha) t g \alpha} \quad (5.28.)$$

e. Pravougaone vodonepropusne baraže

Proračun debljine pravougaone vodonepropusne baraže, koje se u praksi najčešće primenjuju, vrši se po obrascima za oblik preseka jamskih prostorija:

- pravougaona $d = \frac{\mu p b h}{2 m n \tau_b (b + h)} \quad (5.29.)$

- kvadratna $d = \frac{\mu p b}{4 m n \tau_b} \quad (5.30.)$

- trapezna $d = \frac{\mu p b s r h}{2 m n \tau_b (b s r + h)} \quad (5.31.)$

- kružna $d = \frac{\mu \cdot p \cdot D}{4 m n \tau_b} \quad (5.32.)$

5.4. Primeri proračuna drvenih baraža

Zadatak 11.

Potrebno je izračunati dimenzije drvene baraže, ako su poznati sledeći podaci:

- | | |
|---|--------------------------|
| - širina hodnika | $b = 200 \text{ cm}$ |
| - dozvoljeno opterećenje borovnog drveta na savijanje | $K_b = 5 \text{ MP}_a$ |
| - hidrostatički pritisak koji deluje na baražu | $p = 0,3 \text{ MP}_a$ |
| - dozvoljeno naprezanje stene na pritisak | $K_c = 2,5 \text{ MP}_a$ |

Rešenje:

Da bi se izračunala debljina baraže (d) mora se odrediti dubina useka (l):

$$l = \frac{pb}{2(K_c - p)} = \frac{0,3 \cdot 200}{2(2,5 - 0,3)} = 14 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Dužina grede će biti:

$$L = b + 2l = 200 + 40 = 240 \text{ cm}$$

Debljina baraže iznosi:

$$d = L \sqrt{\frac{3p}{4K_b}} = 240 \sqrt{\frac{3 \cdot 0,3}{4 \cdot 5}} \cong 60 \text{ cm}$$

5.5. Primeri proračuna zidanih baraža

Zadatak 12.

Izračunati debljinu zidane baraže cilindričnog oblika u hodniku poprečnog preseka

$$b \cdot h = 1,6 \cdot 1,8 \text{ m, u čvrstim stenama.}$$

Baražu treba izraditi na dubini od 80 m. Vrednost $K_c = 1,2 \text{ MP}_a$ za zid od opeke u cementnom malteru uzet je iz tabele 3.

Rešenje:

Unutrašnji poluprečnik baraže iznosi:

$$r = 0,85b = 0,85 \cdot 1,6 = 1,4 \text{ m}$$

Hidrostaticki pritisak je:

$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 80 \text{ m} \cong 7,848 \cdot 10^5 \text{ Pa ili}$$

$$p = 0,7848 \text{ MPa}$$

(p je usvojeno 1000 kg/m^3 - gustina vode. Potrebna debljina baraže iznosi:

$$d = (R - r) = \frac{pr}{K_c - p} = \frac{7,848 \cdot 10^5 \cdot 1,4}{12 \cdot 10^5 - 7,848 \cdot 10^5} \cong 2,6 \text{ m}$$

Baražu treba izraditi iz jednog segmenta čija debljina iznosi $d_n = 2,6 \text{ m}$.

U praksi se obično izrađuju segmenti debljine 1,5 - 3,0 m.

Zadatak 13.

Izračunati debljinu zidane sferične baraže u hodniku poprečnog preseka

$$b \cdot h = 1,7 \cdot 1,7 \text{ m,}$$

a u stenama manje čvrstoće ($K_c = 2,0 \text{ MP}_a$ i $\tau_{\text{dozv}} = 0,30 \text{ MP}_a$).

Baražu treba izraditi na dubini od 250 m i proveriti je na pritisak, smicanje i vodonepropusnost.

Rešenje:

Usvaja se $K_c = 3,0 \text{ MP}_a$ za zid od klinker opeke u cementnom malteru i broj segmenta $n = 2$.

Unutrašnji poluprečnik baraže iznosi:

$$r = 2,5 \text{ b} = 2,5 \cdot 1,7 = 4,25 \text{ m}$$

Hidrostaticki pritisak je:

$$p = 1000 \cdot 9,81 \cdot 250 = 24,525 \cdot 10^5 \text{ P}_a \text{ ili } 2,4524 \text{ MP}_a$$

Debljina jednog segmenta iznosi:

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

$$d_n = 4,25 \left(\sqrt{\frac{2 \cdot 20 \cdot 10^5}{2 \cdot 20 \cdot 10^5 - 24,525 \cdot 10^5} - 1} \right) \cong 2,6 m.$$

Ukupna debljina baraže je:

$$d = 2 \cdot 2,6 = 5,2 m$$

Provera baraže na pritisak obaviće se preko obrasca:

$$K_o = \frac{F}{nA \sin \alpha} \quad (P_a)$$

Ovde je sila $F = pbh = 24,525 \cdot 10^5 \cdot 1,7 \cdot 1,7 = 70,0877 \cdot 10^5 N$

Površina kojom baraža naleže na okolne stene, tj. površina koja prima pritisak jeste površina omotača zarubljene kupe (sl. 11):

$$A = S\pi(R' + r') \quad (m^2)$$

Ovde je:

S - kosa strana zarubljene kupe tj.

$$S = \frac{d}{\cos \alpha}; \quad (\alpha = 12^\circ)$$

$$R' = \frac{b}{2} + x; \quad x = dtg \alpha$$

$$r' = \frac{b}{2}$$

$$A = \frac{\pi d}{\cos \alpha} (b + dtg \alpha) = \frac{3,14 \cdot 2,6}{0,978} (1,7 + 2,6 \cdot 0,213) = 18,8 m^2$$

$$K_o = \frac{70,0877 \cdot 10^5}{2 \cdot 18,8 \cdot 0,208} = 9,0627 \cdot 10^5 Pa$$

ili

$$K_o = 0,9063 MP_a$$

$$\frac{K_c}{K_o} = \frac{20 \cdot 10^5}{9,0627 \cdot 10^5} \cong 2,2 > 1,5$$

Pošto je koeficijent sigurnosti $\eta = 2,2$ tj. veći od 1,5 baraža zadovoljava uslove na pritisak.

Provera baraže na smicanje izvršiće se preko obrasca :

$$\tau = \frac{F}{2d(b+h)} \leq \tau_{dozv}$$

$$\tau = \frac{70,0877 \cdot 10^5}{2 \cdot 5,2(1,7+1,7)} = 2,0045 \cdot 10^5 \text{ Pa} < 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

ili

$$\tau = 0,20045 \text{ MP}_a < \tau_{dozv}. \text{ tj. } < 0,3 \text{ MP}_a$$

Izračunato naprezanje na smicanje je manje od dozvoljenog naprezanja, pa baraža zadovoljava i uslove na smicanje.

Vodonepropusnost baraže:

$$Q = f \frac{Hbh}{d} = 0,00002145 \frac{250 \cdot 1,7 \cdot 1,7}{5,2} = 0,0030 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Pošto je $Q < 0,02 \text{ m}^3/\text{čas}$ to baraža zadovoljava i uslove vodonepropusnosti.

Zadatak 14.

Proračunati zidanu klinastu baražu za odbranu od prodora vode u hodniku, čija je površina poprečnog preseka $A = 2 \cdot 3 \text{ m}$.

Baraža treba da izdrži pritisak $p = 2 \text{ MPa}$. Dozvoljeno naprezanje na pritisak stena iznosi $3,5 \text{ MPa}$. Materijal baraže je klinker opeka, gde je $K_c = 2,5; \text{ MP}_a$ i $\tau_{doz} = 0,25 \text{ MP}_a$

Rešenje:

Unutrašnji poluprečnik baraže iznosi:

$$r = 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ m (za čvrste stene).}$$

Potrebna debljina baraže iznosi:

$$d = \frac{pr}{2K_c - p} + \frac{h^2}{8r} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 4,5}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6} + \frac{3^2}{8 \cdot 4,5} \cong 3,25 \text{ m} .$$

Usvaja se baraža sa jednim segmentom $d_n = 3 \text{ m}$.

Provera baraže na pritisak :

$$K_o = \frac{F}{nA \sin \alpha} = \frac{12 \cdot 10^6}{1 \cdot 73,75 \cdot 0,616} = 0,264143 \cdot 10^6 \text{ Pa ili}$$

$$K_o = 0,2641 \text{ MP}_a$$

Ovde je:

$$F = p \cdot b \cdot h = 2 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 3 = 12 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Površina kojom baraža naleže na okolne stene (geometrijski) predstavljaju omotač zarubljene piramide (sl. 12) i iznosi:

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

(Ovde je $\alpha = 38^\circ$)

$$A = \frac{2 \cdot 3}{0,788} (2 + 3 + 2 \cdot 3 \cdot 0,781) = 73,75 \text{ m}^2$$

Koeficijent sigurnosti baraže iznosi:

$$\frac{K_c}{K_o} = \frac{2,5 \cdot 10^6}{0,264143 \cdot 10^6} = 9,5 > 1,5$$

Pošto je koeficijent sigurnosti $\eta = 9,5$ tj. veći od 1,5 to baraža zadovoljava uslove na pritisak.

Debljina baraže iz uslova na smicanje:

$$d \geq \frac{F}{2(b+h)\pi \text{doz}} \quad (m)$$
$$d = \frac{12 \cdot 10^6}{2(2+3)0,25 \cdot 10^6} = 4,8 \text{ m}$$

Usvaja se debljina baraže u odnosu na smicanje $d' = 5 \text{ m}$.

Pošto debljina baraže određena na osnovu smicanja premašuje 2 m ovu određenu na osnovu pritiska, to se izrađuje specijalna baraža čiji se oblik vidi na slici 12.

Provera baraže na vodonepropusnost:

$$Q = 0,00002145 \frac{204 \cdot 2 \cdot 3}{3} = 0,00088 \text{ m}^3 / h$$

Pošto je $Q < 0,02 \text{ m}^3/\text{čas}$ to baraža zadovoljava i uslove vodonepropusnosti.

Ovde je:

$$H = \frac{p}{\rho g} = \frac{2 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} = 204 \text{ m}$$

5.6. Primeri proračuna betonskih baraža

Zadatak 15.

Proračunati klinastu vodonepropusnu baražu pravougaonog poprečnog preseka u hodniku čije su dimenzije $b \cdot h = 4 \cdot 2$ m.

Maksimalni hidrostatički pritisak iznosi $1,962 \text{ MP}_a$. Koeficijent sigurnosti je $\eta = 1,2$ a koeficijent uslova rada $m = 0,6$.

Unutrašnji ugao baraže usvaja se $\alpha = 15^\circ$ ($\text{tg}\alpha = 0,268$).

Materijal od koga se izrađuje baraža je beton marke MB - 20.

Baraža se potpuno opterećuje 5 dana posle izrade.

Rešenje:

Proračunska čvrstoća betona, sa dodatkom 3% kalc. hlorida (u odnosu na težinu cementa) uzima se iz tabela 6 i 7:

- na pritisak $R_b = 0,8 \cdot 7 = 5,6 \text{ MP}_a$

- na smicanje $\tau_b = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ MP}_a$

Debljina baraže iz uslova statičke ravnoteže na pritisak iznosi:

$$d_{\square} = \frac{b+h}{4 \text{tg} \alpha} \left(\sqrt{\frac{4\eta p b h}{m R_b (b+h)^2} + 1} - 1 \right)$$

$$d_{\square} = \frac{4+2}{4 \cdot 0,268} \left(\sqrt{\frac{4 \cdot 1,2 \cdot 19,62 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 2}{0,6 \cdot 56 \cdot 10^5 (4+2)^2} + 1} - 1 \right) = 1,53 \text{ m}$$

$$d_{\square} = 1,53 \text{ m}$$

Debljina baraže iz uslova smicanja iznosi:

$$d_{s \square} = \frac{\eta p b h}{2 m \tau_b (b+h)} = \frac{1,2 \cdot 19,62 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 2}{2 \cdot 0,6 \cdot 16 \cdot 10^5 (4+2)} = 1,64 \text{ m}$$

$$d_{s \square} = 1,64 \text{ m}$$

Debljina baraže iz uslova vodonepropusnosti iznosi:

$$d_{vnp} = 48 kHA = 48 \cdot 0,00002 \cdot 200 \cdot 8 = 1,54 \text{ m}$$

$$d_{vnp} = 1,54 \text{ m}$$

Ovde je:

$$k = 0,00002 \text{ m/čas (usvojeno)}$$

$$H = \frac{p}{\rho g} = \frac{19,62 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 200 \text{ m}$$

Na osnovu svih proračuna usvaja se debljina baraže $d = 1,7 \text{ m}$, koji će u potpunosti zadovoljiti ove uslove.

Širina useka iznosi:

$$x = d \operatorname{tg} \alpha = 1,7 \cdot 0,268 = 0,46 \approx 0,50 \text{ m}$$

Zadatak 16.

Proračunati klinastu vodonepropusnu baražu kvadratnog poprečnog preseka u hodniku čije su dimenzije $b \cdot h = 2 \cdot 2 \text{ m}$.

Maksimalni hidrostatički pritisak vode iznosi $2,943 \text{ MPa}$. Koeficijent sigurnosti je $\eta = 1,3$, a koeficijent uslova rada $m = 0,6$.

Unutrašnji ugao baraže se usvaja $\alpha = 20^\circ$. Materijal od kog se izrađuje baraža je beton marke MB-15.

Baraža se potpuno opterećuje 3 dana nakon njene izrade.

Rešenje:

Proračunska čvrstoća betona, sa dodatkom 1% kalcijum - hlorida (u odnosu na težinu cementa) uzima se iz tabela 6 i 7 i iznosi:

- na pritisak $R_b = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ MP}_a$,
- na smicanje $\tau_b = 0,5 \cdot 1,6 = 0,8 \text{ MP}_a$.

Debljina baraže iz uslova statičke ravnoteže na pritisak iznosi:

$$d_{\square} = \frac{b}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left(\sqrt{\frac{\eta p}{m R_b} + 1} - 1 \right)$$

$$d_{\square} = \frac{2}{2 \cdot 0,364} \left(\sqrt{\frac{1,3 \cdot 29,43 \cdot 10^5}{0,6 \cdot 30 \cdot 10^5} + 1} - 1 \right) = 2,10 \text{ m}$$

$$d_{\square} = 2,10 \text{ m}$$

Debljina baraža iz uslova statičke ravnoteže na smicanje iznosi:

$$d_s = \frac{\eta p b}{4m \tau_b} = \frac{1,3 \cdot 29,43 \cdot 10^5 \cdot 2}{4 \cdot 0,6 \cdot 8 \cdot 10^5} = 4,0 m$$

Pošto je ukupna debljina baraže veća od 3 m, usvaja se baraža sa dva segmenta (dvostepena), sa debljinom jednog segmenta $d_n = 2 m$, pa je:

$$d = 2 \cdot 2 = 4 m$$

Stvarno naprezanje baraže na pritisak je:

$$\sigma_{\square} = \frac{\eta p b^2}{4m n d_n (b + n d_n \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha} (P_a)$$

$$\sigma_{\square} = \frac{1,3 \cdot 29,43 \cdot 10^5 \cdot 2^2}{4 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot 2 (2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,364) 0,364} \cong 12,67 \cdot 10^5 (P_a)$$

ili

$$\sigma_{\square} = 1,267 MP_a < R_b = 3,0 MP_a$$

Pošto je $1,267 < 3,0$ to usvojena debljina dvostepene baraže na pritisak zadovoljava.

Širina useka baraže u stenama iznosi:

$$x = d \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot 0,364 = 0,73 m$$

Debljina baraže iz uslova vodonepropusnosti je:

$$d_{vnp} = 48k HA = 48 \cdot 0,00003 \cdot 300 \cdot 4 = 1,73 m$$

I ovaj uslov zadovoljava jer je $d_{vnp} < 4 m$

Skica ove baraže prikazana je na slici 13.

Zadatak 17.

Proračunati vodonepropusnu klinastu baražu okruglog poprečnog preseka u hodniku okruglog profila prečnika $D = 3,2 m$. Maksimalni hidrostatički pritisak iznosi $p = 7 MPa$. Koeficijent sigurnosti je $\eta = 1,3$, a koeficijent uslova rada $m = 0,6$. Unutrašnji ugao baraže se usvaja $\alpha = 12^\circ$. Materijal od koga se izrađuje baraža je beton marke MB-25 sa čvrstoćom na pritisak $R_b = 9,5 MP_a$ i čvrstoćom na smicanje $\tau_b = 2,5 MP_a$.

Rešenje:

Debljina baraže iz uslova čvrstoće na pritisak:

$$d_o = \frac{D}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left(\sqrt{\frac{\eta p}{m R_b} + 1} - 1 \right)$$

$$d_o = \frac{3,2}{2 \cdot 0,213} \left(\sqrt{\frac{1,3 \cdot 70 \cdot 10^5}{0,6 \cdot 95 \cdot 10^5} + 1} - 1 \right) = 4,60 \text{ m}$$

$$d_o = 4,60 \text{ m}$$

Debljina iz uslova čvrstoće na smicanje iznosi:

$$d_{os} = \frac{\eta p D}{4 m \tau_b} = \frac{1,3 \cdot 70 \cdot 10^5 \cdot 3,2}{4 \cdot 0,6 \cdot 25 \cdot 10^5} = 4,85 \text{ m}$$

$$d_{os} = 4,85 \text{ m}$$

Pošto je ukupna debljina baraže veća od 3 m, usvaja se baraža sa dva segmenta (dvostepena), sa debljinom segmenta $d_n = 2,5 \text{ m}$, pa je:

$$D = 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ m}$$

Stvarno naprezanje na pritisak je:

$$\sigma_o = \frac{\eta p D^2}{4 m n d_n (D + n d_n \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha} \quad (P_a)$$

$$\sigma_o = \frac{1,3 \cdot 70 \cdot 10^5 \cdot 3,2^2}{4 \cdot 0,6 \cdot 2 \cdot 2,5 (3,2 + 2 \cdot 2,5 \cdot 0,213) 0,213}$$

$$\sigma_o = 85,4794 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

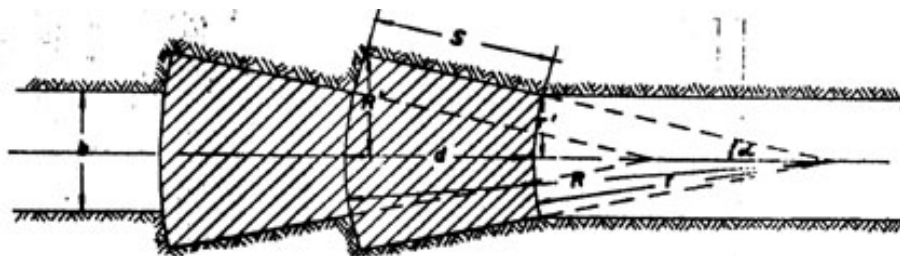
$$\sigma_o = 8,5480 \text{ MP}_a$$

Treba da bude $\sigma_o < R_b$, a u ovom slučaju to iznosi $8,548 < 9,5$, pa usvojena debljina dvostepene baraže na pritisak zadovoljava.

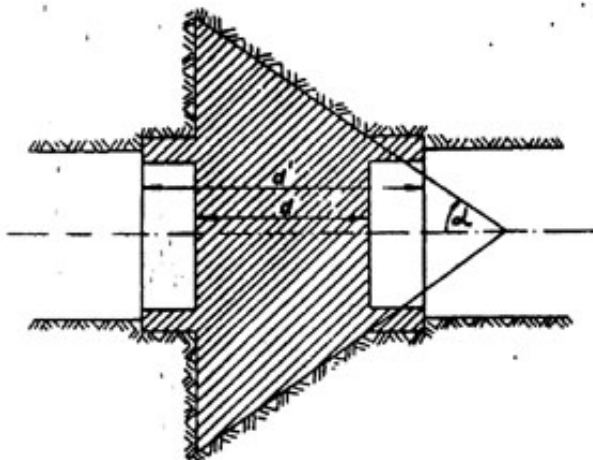
Širina useka baraža u stenama iznosi:

$$x = d \operatorname{tg} \alpha = 2,5 \cdot 0,213 = 0,53 \text{ m}$$

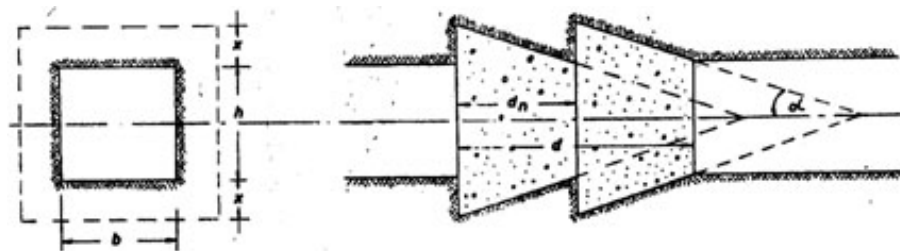
Šematski prikaz baraže dat je na slici 14.



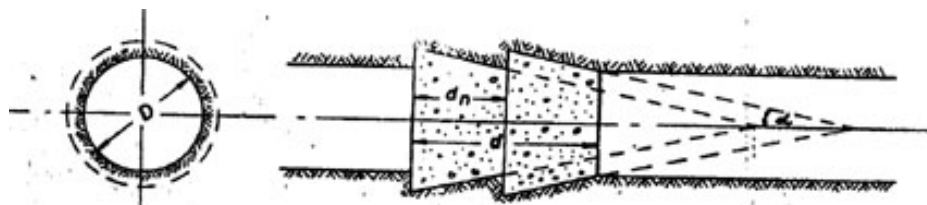
Sl. 11. Izgled sferične baraže u hodniku



Sl. 12. Izgled klinaste baraže



Sl. 13. Klinasta baraža kvadratnog preseka



Sl. 14. Klinasta baraža okruglog preseka

Tabela 6. Proračunska čvrstoća betona

Marka betona	10	15	20	25	30	40	50
Proračunska čvrstoća betona (MP _a)							
- na pritisak (R _b)	4,0	6,0	7,0	9,5	11,5	15,0	18,0
- na snimanje (τ _b)	1,3	1,6	2,0	2,5	3,0	3,8	4,5

Tabela 7. Koeficijent relativne čvrstoće mladog betona

Starost betona (dana)	Koeficijent relativne čvrstoće betona u ranom periodu			
	Beton bez dodataka	Beton sa dodatkom kalcijum - hlorida % od težine cementa		
		1	2	3
1	0,13	0,20	0,23	0,27
2	0,27	0,38	0,45	0,50
3	0,37	0,50	0,55	0,60
5	0,52	0,63	0,73	0,80
7	0,62	0,75	0,84	0,88
14	0,82	0,93	1,00	1,05
28	1,00	1,10	1,20	1,25

6. ODVODNJAVANJE OKANA

6.1. Odvodnjavanje okana pomoću pumpi

Za rešavanje odvodnjavanja okana (sl. 15.) neophodno je raspolagati sledećim podacima:

- šemom izrade okna,
- minimalnom i maksimalnom dubinom okna,
- prosečnim i maksimalnim pritokom vode.

Sam kapacitet odvodnjavanja zavisi od pritoka vode i organizacije rada na radilištu.

Kapacitet pumpe na osnovu pritoka određuje se iz obrasca:

$$Q = 24 \cdot \frac{K_n \cdot g_{sr}}{n_c} \quad (m^3 / h) \quad (6.1)$$

K_n - koeficijent neravnomernosti pritoka vode (1.3 - 1.5),

g_{sr} - srednji prtok vode iz najvećeg vodonosnog sloja (m^3/h),

n_c - broj časova rada pumpe na dan u zavisnosti od organizacije rada (16-20 časova).

Prečnik cevovoda se izračunava pomoću obrazaca:

$$Q = \frac{3600 \pi d^2}{4} \cdot w \quad (m^3 / h) \quad (6.2)$$

odakle je:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3600 \cdot \pi w}} = 0,02 \sqrt{\frac{Q}{w}} \quad (m) \quad (6.3)$$

gde je:

Q - kapacitet pumpe (m^3/h),

w - brzina kretanja vode u cevovodu (m/s),

w - 1,5 m/s za usisni cevovod,

w - 2,0 - 2,5 m/s za potisni cevovod.

Nakon određivanja računskog prečnika (d) bira se iz tebele standardni prečnik cevovoda.

Kod stacioniranih sistema odvodnjavanja geodetska visina (H_g), veličina gubitka usled trenja u cevovodu i gubici savladavanja lokalnih otpora (Σ_{gub}) su konstantne veličine. Međutim, kod dubljenja okana ove veličine se sve vreme menjaju, pa se usled toga menja i manometerska visina (H_{man}), kao i kapacitet (Q). U ovom slučaju pumpa se bira za maksimalnu dužinu cevovoda.

Određivanje manometerske visine (ili napora) kod poznate geodetske visine podizanja vode svodi se na utvrđivanje veličine gubitka, kako u usisnom tako i potisnom cevovodu, te sledi da je:

$$H_{man} = H_g + \Sigma_{gub} \quad (6.4.)$$

$$\Sigma_{gub} = h_{1u} + h_{2u} + h_{1p} + h_{2p} \quad (6.5.)$$

H_g -geodetska visina pumpanja

Σ_{gub} -ukupni gubici u cevovodu

h_{1u} - gubici u pravom delu usisnog cevovoda,

h_{2u} - gubici usled lokalnih otpora u usisnom cevovodu,

h_{1p} - gubici u pravom delu potisnog cevovoda,

h_{2p} - gubici usled lokalnih otpora u potisnom cevovodu,

Gubici u pravom delu cevovoda izraženi u metrima iznose:

$$h_1 = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} \quad (m) \quad (6.6.)$$

ili izraženo pritiskom:

$$p_1 = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2g} \rho \cdot g \quad (6.7.)$$

odnosno:

$$p_1 = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2} \rho \quad (P_a) \quad (6.8.)$$

λ - koeficijent trenja (0,02 – 0,03) ili

$$\lambda = k_r + \frac{k_t}{\sqrt{wd}}$$

k_r - koeficijent rapavosti (0,02),

k_t - temperaturni koeficijent (0,0018-0,0020),

l - dužina cevovoda (m),

d - prečnik cevovoda (m).

Gubici usled lokalnih otpora izračunavaju se iz obrasca:

$$h_2 = \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w^2}{2g} \quad (m) \quad (6.9.)$$

ili izraženo pritiskom:

$$p_2 = \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w^2}{2g} \rho \cdot g \quad (6.10.)$$

odnosno:

$$p_2 = \sum_{i=1}^{i=n} \xi_i \frac{w^2}{2g} \rho \quad (P_a) \quad (6.11.)$$

ξ - koeficijent lokalnog otpora (tabelarna vrednost),

d - prečnik cevovoda,

R - poluprečnik krivine kolena,

x - širina celog otvorenog ventila,

α - ugao zaokretanja protivpovratnog ventila,

α_{kn} - ugao konusnog prelaza.

Tabela 8. Vrednosti koeficijenta lokalnih otpora

Koleno		Ventil		Protivpovratni ventil		Konusni prelaz	
$\frac{d}{2R}$	koef. ξ	$\frac{x}{d}$	koef. ξ	α	koef. ξ	α_{kn}	koef. ξ
0,1	0,130	1:8	97,8	15	90,0	do 7	0,20
0,2	0,138	2:8	17,0	20	62,0	10-15	0,50
0,3	0,158	3:8	5,52	25	42,0	20-30	0,65
0,4	0,200	4:8	2,06	30	30,0	25-55	0,85
0,5	0,294	5:8	0,81	40	14,0	-	-
0,6	0,440	6:8	0,26	50	9,6	-	-
0,7	0,660	7:8	0,07	60	3,2	-	-
0,8	0,090	-	-	70	1,7	-	-
0,9	1,400	-	-	-	-	-	-
1,0	1,970	-	-	-	-	-	-

$$\Sigma_{gub} = \left(\lambda u \frac{lu}{du} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi i u \right) \frac{w_u^2}{2g} + \left(\lambda p \frac{lp}{dp} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi i p \right) \frac{w_p^2}{2g}; \text{ ili } (m) \quad (6.12.)$$

$$\Sigma_{gub} = \left(\lambda u \frac{lu}{du} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi i u \right) \frac{w_u^2}{2} \rho + \left(\lambda p \frac{lp}{dp} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi i p \right) \frac{w_p^2}{2} \rho \quad (P_a) \quad (6.13.)$$

Broj radnih kola pumpe određuje se pomoću obrasca:

$$i = \frac{H_T}{H_{r.k.}} \quad (\text{komada}) \quad (6.14.)$$

H_T - teoretska manometarska visina (ili napor) pumpe,

$H_{r.k.}$ - manometarska visina (ili napor) pumpe koji daje jedno radno kolo za projektovani kapacitet pumpe (određuje se na karakterističnoj krivoj pumpe).

Stabilnost rada pumpe, odnosno maksimalna geodetska visina, proverava se tako što se ispituje da li ova vrednost ne prelazi 90% manometarske visine koju ostvaruje pumpa pri zatvorenom ventilu:

$$Hg \leq 0,9 H_o \quad (6.15.)$$

$$H_o = i \cdot H_{r.k.o.}$$

H_o - manometarska visina pri nultnom kapacitetu (zatvoreni ventil),

i - broj radnih kola,

$H_{r.k.o.}$ - manometarska visina jednog radnog kola pri zatvorenom ventilu, odnosno nultnom kapacitetu (utvrđuje se na karakterističnoj krivi cevovoda).

Ako nisu ispunjeni uslovi iz obrazca (6.15.) povećava se broj radnih kola.

Karakteristiku cevovoda određuje kriva:

$$H_{man} = H_g + R_c Q^2 \quad (6.16.)$$

R_c - konstanta cevovoda (h^2/m^5)

Q - kapacitet pumpe (m^3/h)

Kod kapaciteta (Q) i manometarske visine (H_{man}) izraženo u (m) konstanta cevovoda iznosi:

$$R_c = \frac{H_{man} - H_g}{Q^2} = \frac{\Sigma_{gub}}{Q^2} \quad (\text{h}^2/\text{m}^5) \quad (6.17.)$$

ili ako se H_{man} izražava u (P_a)

$$R_c = \frac{\Sigma_{gub}}{Q^2} \left(\frac{P_a \text{ čas}^2}{m^6} \right) \quad (6.18.)$$

Zadavanjem različitih vrednosti za Q u obrazcu (6.16.) izračunavaju se veličine odgovarajućih manometarskih visina pri konstantnoj geodetskoj visini (H_g).

Koristeći individualne karakteristične krive pumpe, konstruišu se u istom koordinatnom sistemu dve karakteristične krive cevovoda za minimalnu i maksimalnu geodetsku visinu (slika 18). Tačke preseka karakterističnih krivih cevovoda sa karakterističnim krivama pumpi određuju radni režim izabrane pumpe pri maksimalnoj i minimalnoj geodetskoj visini.

Potrebna snaga za pogon pumpi određuje se obrascem:

$$N_m = \frac{Q \rho g H_{\text{man}}}{1000 \eta p} \text{ (kW)} \quad (6.19.)$$

ili kada je manometarska visina izražena pritiskom:

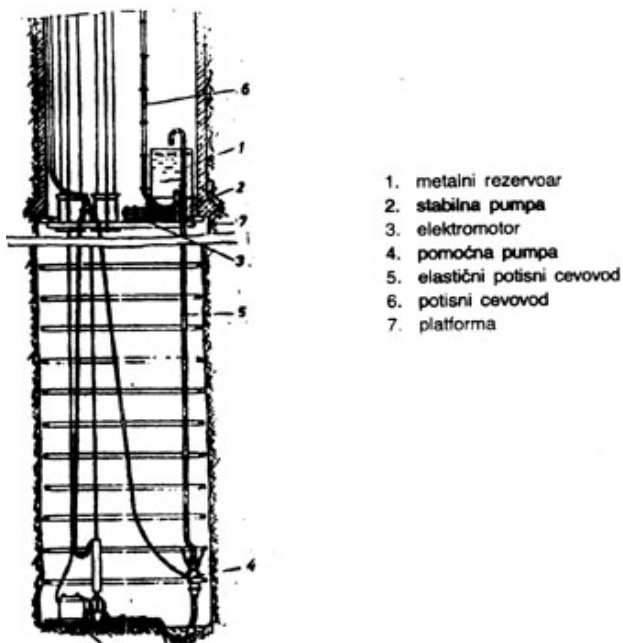
$$N_m = \frac{Qp}{1000 \mu p} \text{ (kW)} \quad (6.20.)$$

Q - kapacitet pumpe (m^3/s),
 H_{man} - manometarska visina (m),
 ρ - gustina vode (kg/m^3),
 g - ubrzanje sile teže (m/s^2),
 p - radni pritisak pumpe (P_a).

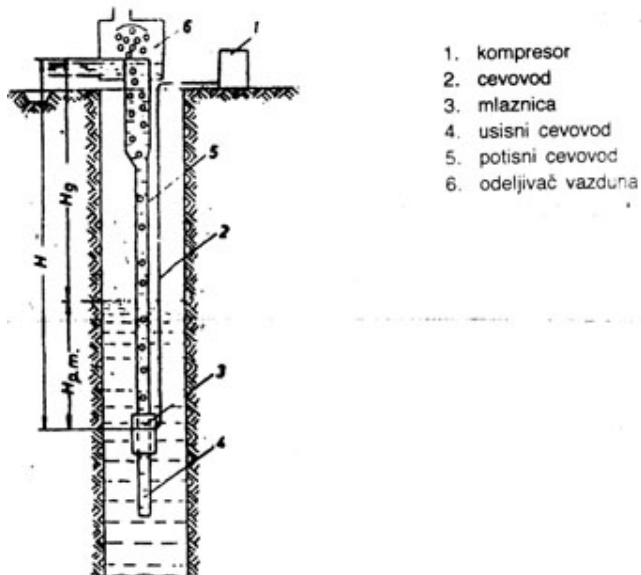
Utrošak el. energije pumpanog postrojenja određuje se po obrascu:

$$W_{\text{mreže}} = \frac{N_m + N_m'}{2 \mu_m \cdot \mu_{\text{mreža}}} n_{\xi} \cdot n_d \cdot \frac{L}{l} \text{ (kWh)} \quad (6.21.)$$

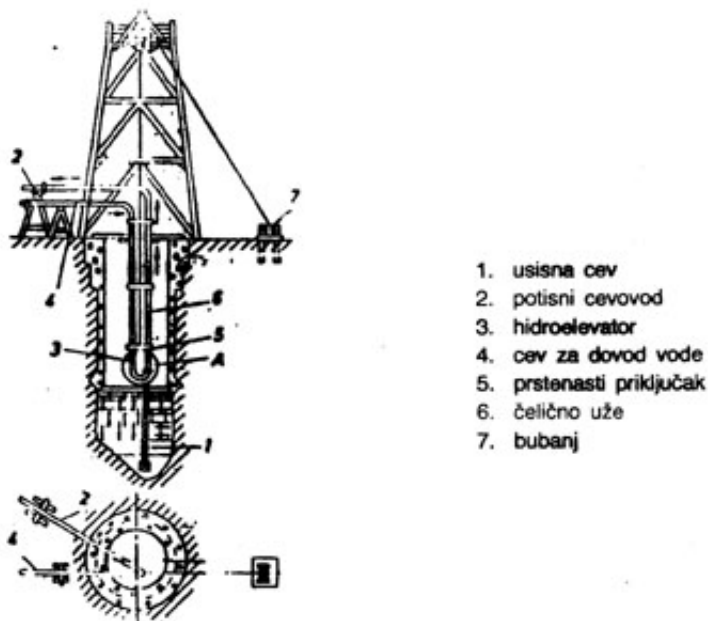
N_m - snaga pog. motora pri min. geodetskoj visini i max. kapacitet (kW),
 N_m' - snaga pog. motora pri max. geodetskoj visini i min. kapacitetu (kW),
 n_{ξ} - broj časova rada pumpe na dan,
 n_d - broj radnih dana pumpanja u mesecu,
 l - prosečno mesečno napredovanje (m),
 L - najveća dubina okna (m),
 μ_m - koeficijent korisnog dejstva motora (0,9-0,95),
 $\mu_{\text{mreže}}$ - koeficijent korisnog dejstva mreže (0,95)



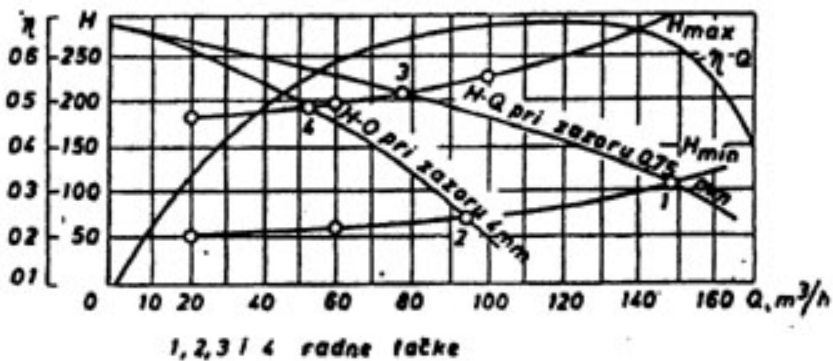
Sl. 15. Principijelna šema odvodnjavanja pomoću pumpe u fazi izrade okna



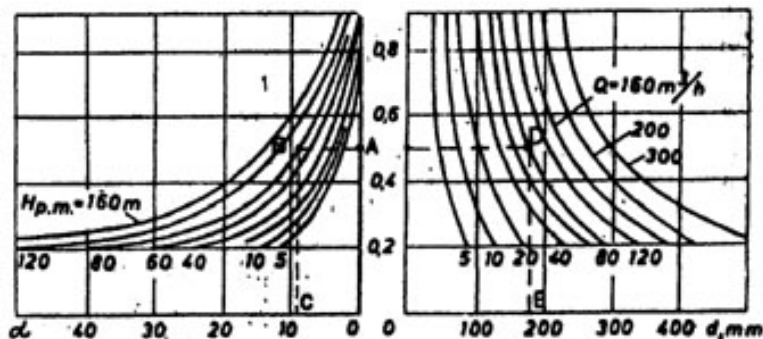
Sl. 16. Principijelna šema odvodnjavanja pomoću erlifta



Sl. 17. Principijelna šema odvodnjavanja pomoću hidroelevatora



Sl. 18. Nomogram za određivanje karakteristika pumpe



Sl. 19. Nomogram za određivanje prečnika cevovoda

Tabela 9. Standardni cevovod

Cevi				Spojnice			
Otvor cevi (mm)	Spoljni prečnik (mm)	Debljina zida (mm)	Masa 1 m cevi (kg/m)	Spoljni prečnik (mm)	Prečnik za zatv. (mm)	Debljina spojnice (mm)	Masa (kg)
76 - 80	89	2,5 - 3,4	5,33	200	94	22	3,88
100	108	4	7,77 - 10,25	235	113	22	5,23
125	133	4	11,88 - 12,73	270	138	24	7,23
150	159	4,5	17,15 - 18,99	300	164	24	8,60
200	219	5	31,51 - 36,60	350	225	26	11,70

Tabela 10. Proračun karakteristične krive cevovoda

	Kapacitet (m ³ /h)							
	0	20	30	40	50	60	100	150
$Rc'Q^2$	0	0,93	2,09	3,71	5,80	8,35	23,20	52,20
$H_{man(min)}=H_{g(min)}+Rc'Q^2$	50	50,90	52	53,70	55,80	58,40	73,20	102,20
$Rc''Q^2$	0	1,95	4,40	7,80	12,20	17,60	48,80	109,80
$H_{man(max)}=H_{g(max)}+Rc''Q^2$	180	182	184,40	187,80	192,20	197,60	228,80	289,80

6.2. Odvodnjavanje pomoću erlifta

Prilikom izrade okana ili crpljenja vode iz bunara, primenjuju se uređaji za odvodnjavanje sa komprimiranim vazduhom - erliftovi. Princip rada erlifta sastoji se u tome što se u vodu rezervoara ili vodosabirnika ubacuje komprimirani vazduh znatno manje gustine u odnosu na čistu vodu, pa se takva smesa kao lakše podiže (sl. 16).

Kapacitet erlifta zavisi od dubine potapanja uređaja za mešanje - mlaznice ($H_{p.m.}$). Zbog toga je za karakteristiku radnih parametara erlifta uvedena veličina relativnog potapanja mlaznice, koja predstavlja odnos dubine potapanja mlaznice ($H_{p.m.}$) i zbira geodetske visine (H_g) i dubine potapanja ($H_g + H_{p.m.}$):

$$a = \frac{H_{p.m.}}{H_g + H_{p.m.}} = \frac{H_{p.m.}}{H} \quad (6.22.)$$

H - ukupna visina (m)

$a = 0,3 - 0,8$ (oblast optimalnog koef. korisnog dejstva erlifta)

Polazni podaci za proračun erlifta su kapacitet (Q) i ukupna visina (H).

Pošto je poznata ukupna visina (H) i usvoji relativno potapanje mlaznice (a) u intervalu $0,3 - 0,8$, određuje se visina potapanja mlaznice.

$$H_{p.m.} = a H \quad (m) \quad (6.23.)$$

Potrebna količina vazduha izračunava se po obrascu:

$$V_v = \frac{\alpha Q}{60} \quad (m^3 / \min) \quad (6.24.)$$

α - specifična potrošnja vazduha za podizanje $1 m^3$ vode (nomogram - slika 19).

Pritisak komprimovanog vazduha, koji treba da ostvari kompresor za normalan rad erlifta, iznosi:

$$p_k = (1,1 - 1,2) \rho \cdot g \cdot H_{p.m.} \quad (P_a) \quad (6.25.)$$

Koeficijent korisnog dejstva erlifta iznosi:

$$\mu_e = \frac{Q \rho g H}{p_1 V_v l_n \frac{p_k}{p_1}} \eta_{iz} \mu_k \mu_p \mu_m \quad (6.26.)$$

ρ - gustina vode (kg/m^3),

p_1 - veličina atmosferskog pritiska (P_a),

η_{iz} - izotermiski koeficijent korisnog dejstva kompresora (0,72),

μ_k - mehanički koeficijent korisnog dejstva kompresora (0,85),

μ_p - koeficijent korisnog dejstva predaje (0,9),

μ_m - koeficijent korisnog dejstva motora kompresora (0,9).

Kada se ne raspoláže potrebnim nomogramima, proračun erlifta izvodi se tako što se usvaja veličina relativnog potapanja mlaznice (a) i nalazi se dubina

njenog apsolutnog potapanja (po obrascu 6.23.), dok se specifična potrošnja vazduha (α) određuje na sledeći način:

$$\alpha = \frac{K \cdot Hg}{23l_n \frac{H_{p.m.} + 10}{10}} \quad (m^3 / m^3) \quad (6.27.)$$

K - empiriski koeficijent ($K = 2,17 + 0,0164 H$)

Potrebna količina vazduha (V_v) računa se iz obrasca (6.24.), pa kapacitet smese voda-vazduh iznosi:

$$Q_{sm} = Q + V_v \quad (m^3/s) \quad (6.28.)$$

Q - količina vode koja se pumpa (m^3/s)

V_v - potrebna količina komprimovanog vazduha (m^3/s)

Prečnik potisnog cevovoda erlifta (d) određuje se iz uslova da brzina kretanja u cevovodu mora biti u granicama 4-10 m/s, te je:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{sm}}{\pi \cdot w}} \quad (m)$$

6.3. Odvodnjavanje pomoću hidroelevatora

Hidroelevatori su specijalna vrsta uređaja za podizanje vode na bazi vode kao radnog fluida. Pomoću pumpi visokog pritiska radna voda se ubacuje preko cevovoda u komoru koja je drugim krajem povezana sa usisnim cevovodom. Deo kinetičke energije radne vode izaziva razređenje usled čega se kroz usisni cevovod, pod uticajem atmosferskog pritiska, usisava voda iz vodosabirnika. Pod uticajem preostalog dela kinetičke energije tako razređena voda podiže se potisnim cevovodom (sl. 17).

Količina radne vode potrebna za rad hidroelevatora ($Q_{r.v.}$) računa se iz obrasca:

$$Q_{r.v.} = \beta \cdot Q \quad (m^3 / h) \quad (6.29.)$$

β - koeficijent gubitka vode (1,7 - 2,0),

Q - kapacitet hidroelevatora (m^3/h).

Pritisak radne vode određuje se po obrascu:

$$H_{pum} = \alpha \rho g H \quad (Pa) \quad (6.30.)$$

α - koeficijent pritiska (3 - 3,5)

H - visina podizanja vode (m)

Koeficijent korisnog dejstva hidroelevatora iznosi:

$$\mu_h = \frac{Q \rho g H}{H_{pump} Q_{r.v.}} \quad (6.31.)$$

6.4. Proračun odvodnjavanja pri izradi okana

Zadatak 18.

Proračunati pumpno postrojenje sa višećom pumpom kod dubljenja okna u sledećim uslovima:

- | | |
|---------------------------|--|
| - poprečni presek okna | $A = 11 \text{ m}^2$ |
| - najveća dubina okna | $H_{\max} = 180 \text{ m}$ |
| - prиток vode | $q_{sr} = 14,8 \text{ m}^3/\text{čas}$ |
| - broj časova rada pumpe | $n_{\xi} = 18 \text{ čas/dan}$ |
| - dužina usisnog cevovoda | $l_u = 5 \text{ m}$ |

Okno se izrađuje miniranjem, a napreduje se 40 m mesečno. Dužina minske bušotine iznosi $l_{buš} = 1,9 \text{ m}$.

U usisnom cevovodu se nalaze:

- 1 prijemni ventil i usisna korpa.

U potisnom cevovodu se nalaze:

- 4 kolena, 1 ventil za zatvaranje i 1 protiv-povratni ventil.

Rešenje:

1. Određivanje kapaciteta pumpe

- a) iz uslova srednjeg pritoka:

$$Q_1 = 24 \frac{K_n q_{sr}}{n_{\xi}} \quad (\text{m}^3 / \text{h})$$

$$Q_1 = 24 \frac{1,4 \cdot 14,8}{18} = 27,6 \quad (\text{m}^3 / \text{h})$$

- b) iz uslova obezbeđenja ispumpavanja vode posle miniranja:

$$Q_2 = \frac{K_n q_{sr} (t_1 + t_2 + t_3) - Q_o}{t_3} \quad (\text{m}^3 / \text{h})$$

Ovde su usvojeni sledeći podaci:

$$K_n = 1,4$$

$$t_1 = 0,25 \text{ časova}$$

$$t_2 = 0,25$$

$$t_3 = 0,50 \text{ časova}$$

$$V_{pr} = 0,40 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\eta = 0,80 \text{ (koeficijent iskorišćenja minskih bušotina)}$$

U ovom slučaju Q_o iznosi:

$$Q_o = V_{pr} A \eta l buš \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Q_o = 0,4 \cdot 11 \cdot 0,8 \cdot 1,9 = 6,7 \text{ (m}^3\text{)}$$

pa je:

$$Q_2 = \frac{1,4 \cdot 14,8(0,25 + 0,75 + 0,50) - 6,7}{0,50} = 48,8 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Usvaja se kapacitet pumpe $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$

2. Određivanje prečnika potisnog cevovoda

Usvojena je brzina proticanja vode kroz cevovod $w = 2 \text{ m/s}$, pa je:

$$d_p = 0,02 \sqrt{\frac{Q}{w_p}}$$

$$d_p = 0,02 \sqrt{\frac{50}{2}} = 10 \text{ m}$$

Usvaja se standardni prečnik potisnog cevovoda $d_p = 100 \text{ mm}$.

3. Prečnik usisnog cevovoda

Ovaj prečnik se usvaja kao 25 mm veći od potisnog, pa je:

$$d_u = d_p + 25 = 100 + 25 = 125 \text{ mm}$$

Stvarna brzina kretanja vode u usisnom cevovodu će biti:

$$W_u = 0,0004 \frac{Q}{d_u^2} = 0,0004 \frac{50}{0,125^2} = 1,28 \text{ m/s}$$

4. *Određivanje ukupne manometarske visine (ili napora) pumpe*

a) Minimalna manometarska visina:

Usvaja se minimalna dubina okna za koju se koristi viseća pumpa $H_{\min} = 50$ m.
Koeffcijent trenja za usisni cevovod je:

$$\lambda_u = 0,02 + \frac{0,0018}{\sqrt{1,28 \cdot 0,125}} = 0,0245$$

Vrednost koeffcijenta lokalnog otpora (ξ) za usisni cevovod (iz tabele 9) iznosi:

1 prijemni ventil za zatvaranje ($\alpha = 50^\circ$) $\xi = 9,6$

1 usisna korpa $\xi = 2,0$

pa je:

$$\sum_{i=1}^{i=1} \xi_{i_u} = 9,6 + 2 = 11,6$$

Koeffcijent trenja za potisni cevovod iznosi:

$$\lambda_p = 0,02 + \frac{0,0018}{\sqrt{2 \cdot 0,10}} = 0,024$$

Vrednost koeffcijenta lokalnog otpora (ξ) za potisni cevovod (tabele 9) biće:

4 kolena (za $\frac{d}{2R} = 0,7$) $\xi = 0,66$

1 ventil za zatvaranje $\left(\frac{x}{d} = 6 \div 8\right)$ $\xi = 0,26$

1 protiv-povratni ventil (za $\alpha = 50$) $\xi = 9,60$

pa je:

$$\sum_{i=1}^{i=1} \xi_{i_p} = 4 \cdot 0,66 + 0,26 + 9,60 = 12,5$$

Ukupni gubici u usisnom i potisnom cevovodu iznose:

$$\Sigma gub_{(\min)} = \left(\lambda_u \frac{l_u}{d_u} + \sum_{i=1}^{i=1} \xi_{i_u} \right) \frac{w^2 u}{2g} + \left(\lambda_p \frac{l_p}{d_p} + \sum_{i=1}^{i=1} \xi_{i_p} \right) \frac{w^2 p}{2g}$$

$$\Sigma gub_{(min)} = \left(0,0245 \frac{5}{0,125} + 11,6 \right) \frac{1,28^2}{2 \cdot 9,81} + \left(0,024 \frac{45}{0,10} + 12,5 \right) \frac{2^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$\Sigma gub_{(min)} = 1,05 + 4,75 = 5,80 m$$

Ovde je dužina potisnog cevovoda

$$l_p = H_{min} - l_u = 50 - 5 = 45 m$$

Ukupna minimalna manometarska visina pumpe iznosi:

$$H_{man(min)} = Hg_{(min)} + \Sigma gub_{(min)} = 50 + 5,8 = 55,8 m$$

b) *Maksimalna manometarska visina*

Gubici u usisnom cevovodu su isti kao i kod minimalne dubine okna tj.:

$$\Sigma gub_u = 1,05 m$$

Gubici u potisnom cevovodu biće:

$$\Sigma gub_p = \left(\lambda_p \frac{l_p}{d^p} + \sum_{i=1}^{i=n} \xi_{ip} \right) \frac{w^2 p}{2g} \quad (m)$$

Ovde je:

$$l_p = H_{max} - l_u = 180 - 5 = 175 m$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} \xi_{ip} = 12,5 \quad (\text{isti kao kod minimalnih dubina})$$

$$\Sigma gub_p = \left(0,024 \frac{175}{0,10} + 12,5 \right) \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 11,1 m$$

Ukupna maksimalna manometarska visina pumpe iznosi :

$$H_{man(max)} = Hg_{(max)} + \Sigma gub_{(max)} = 180 + 1,05 + 11,1 = 192,2 m$$

$$H_{man(max)} = 192,2 m$$

Na osnovu proračunatih parametara za kapacitet $Q = 50 m^3/\text{čas}$ i maksimalnu manometarsku visinu $H_{man(max)} = 192,2 m$ izabrana je viseća centrifugalna pumpa tipa PPN-50C (slika 18).

5. *Određivanje konstante cevovoda*

a) *Za minimalnu dubinu pumpanja biće:*

$$H_{man(min)} = Hg_{(min)} + R'_c Q^2$$

ovde je:

$$R'_c = \frac{H_{man(\min)} - Hg_{(\min)}}{Q^2} = \frac{\Sigma gub_{(\min)}(\min)}{Q^2}$$

$$R'_c = \frac{5,80}{50^2} = 0,00232 \text{ h}^2 / \text{m}^5$$

b) Za maksimalnu dubinu pumpanja:

$$R''_c = \frac{\Sigma gub_{(\max)}}{Q^2} = \frac{12,2}{50^2} = 0,0048 \text{ h}^2 / \text{m}^5$$

6. Karakteristična kriva cevovoda

Zadavanjem veličina Q (m^3/h) određuje se za minimalnu i maksimalnu visinu podizanja vode odgovarajuća manometarska visina po jednačini:

$$H_{\text{man}} = Hg + R_c \cdot Q^2$$

Rezultati proračuna dati su u tabeli 10.

Na osnovu rezultata proračuna (tabela 10) konstruisane su dve krive cevovoda (za minimalnu i maksimalnu visinu pumpanja) na dve individualne karakteristične krive pumpe tipa PPN-50C, od kojih je jedna kriva sa zazorom (između rotora i kućišta) $a = 0,75$ mm, a druga 4 mm (sl. 18). Na taj način su dobijene 4 radne tačke sa sledećim parametrima:

a) Za dubinu $H_{\text{min}} = 50$ m

Tačka 1: Zazor pumpe iznosi $a = 0,75$ mm

$$Q = 150 \text{ m}^3/\text{čas}; H_{\text{man}} = 110 \text{ m}; \eta_p = 0,64$$

Tačka 2: Zazor pumpe iznosi $a = 4$ mm

$$Q = 95 \text{ m}^3/\text{čas}; H_{\text{man}} = 75 \text{ m}; \eta_p = 0,67$$

b) Za dubinu $H_{\text{man}} = 180$ m

Tačka 3: Zazor pumpe iznosi $a = 0,75$ mm

$$Q = 77 \text{ m}^3/\text{čas}; H_{\text{man}} = 220 \text{ m}; \eta_p = 0,64$$

Tačka 4: Zazor pumpe iznosi $a = 4$ mm

$$Q = 52 \text{ m}^3/\text{čas}; H_{\text{man}} = 190 \text{ m}; \eta_p = 0,55$$

Kako se sa dijagrama (sl. 18) vidi, režim rada viseće pumpe u celom periodu dubljenja okna biće najbolji ako je zazor između radnog kola i kućišta $a = 4$ mm. Pri tome kapacitet se menja sa $95 \text{ m}^3/\text{čas}$ (tačka 2 - prvi period dubljenja) od $52 \text{ m}^3/\text{čas}$ (tačka 4 - poslednji period dubljenja). Zbog toga se u daljem proračunu usvaja zazor $a = 4$ mm.

7. Određivanje snage pogonskog motora

a) Minimalna (tačka 2)

$$N = \frac{Q\rho gH_{\text{man}(\min)}}{1000\eta_p} \text{ (kw)}$$

$$N = \frac{0,0263 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 75}{1000 \cdot 0,67} \cong 29 \text{ (kw)}$$

b) Maksimalna (tačka 4)

$$N = \frac{0,0144 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 190}{1000 \cdot 0,55} \cong 49 \text{ (kw)}$$

Snaga pogonskog motora usvaja se prema maksimalnoj vrednosti.

8. Utrošak električne energije pri dubljenju okna, ako pumpa radi 18 časova na dan i 30 dana u mesecu, biće:

$$w_{\text{mreže}} = \frac{N + N'}{2\eta_m \eta_{\text{mreže}}} n_c n_d \frac{L}{l} \text{ (kwh)}$$

$$w_{\text{mreža}} = \frac{29 + 49}{2 \cdot 0,95 \cdot 0,95} 18 \cdot 30 \frac{180}{40} = 105.008 \text{ (kwh)}$$

Zadatak 19.

Proračunati sistem odvodnjavanja kod primene erlifta. Pritok vode u okno iznosi $80 \text{ m}^3/\text{čas}$, a ukupna visina podizanja vode $H = 160$ m.

Rešenje:

Pošto je kod primarne erlifta kapacitet uređaja jednak pritoku, usvaja se erlift kapaciteta $80 \text{ m}^3/\text{čas}$.

Relativno potapanje mlaznice usvaja se $a = 0,50$, pa će visina potapanja biti:

$$H_{p.m.} = 0,50 \cdot 160 = 80 \text{ m}$$

Specifična potrošnja vazduha iznosi:

$$\alpha = \frac{3,48 \cdot 80}{23 \lg \frac{80+10}{10}} = 12,7 \text{ (m}^3 / \text{m}^3)$$

$$K = 2,17 + 0,0164 \cdot 80 = 3,48$$

Specifična potrošnja vazduha može se proveriti i pomoću nomograma, sl. 19. Za vrednost $a = 0,5$ iz nomograma se dobija $\alpha = 9 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Usvaja se veća vrednost specifičnog utroška vazduha $12,7 \text{ m}^3/\text{m}^3$, pa je potrebna količina komprimovanog vazduha:

$$V_v = \frac{12,7 \cdot 80}{60} = 16,9 \text{ (m}^3 / \text{min)}$$

Pritisak komprimovanog vazduha koji treba da obezbedi kompresor iznosi:

$$P_k = 1,15 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 80 = 902.520 \text{ (Pa)}$$

$$P_k = 902,5 \text{ (kPa)}$$

Prečnik potisnog cevovoda određuje se iz nomograma (sl. 19)

$$d = 180 \text{ mm.}$$

Kapacitet erlifta iznosi:

$$Q = \frac{80}{3600} = 0,022 \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

Potrošnja vazduha će biti:

$$V_v = 0,022 \cdot 12,7 = 0,280 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Ukupan kapacitet smese voda - vazduh iznosi:

$$Q_{sm} = Q + V_v = 0,022 + 0,280 = 0,302 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Prečnik potisnog cevovoda proverava se na osnovu optimalne brzine. Ako se usvoji da ona iznosi $w = 8 \text{ m/s}$, onda će prečnik cevovoda biti:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,302}{3,14 \cdot 8}} = 0,219 \text{ (m)}$$

U ovom slučaju usvaja se standardni prečnik cevovoda $d = 225 \text{ mm}$.

Koeficijent korisnog dejstva erlifta iznosi:

$$\eta_e = \frac{0,022 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 160}{98000 \cdot 0,280 \ln \frac{902,520}{98.000}} \cdot 0,72 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,30$$

Zadatak 20.

Određiti osnovne parametre hidroelevatora za sledeće uslove:

- prtok vode 30 m³/čas
- visina podizanja vode iznosi H = 95 m

Rešenje:

Usvaja se kapacitet hidroelevatora tri puta veći od pritoka Q = 90 m³/čas.

Potrebna količina vode za rad hidroelevatora iznosi:

$$Q_{r.v} = 2 \cdot 90 = 180 \text{ m}^3/\text{čas}$$

Pritisak vode koja se dovodi u hidroelevator je:

$$H_{\text{pum}} = 3 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 95 = 27,96 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$H_{\text{pum}} = 2796 \text{ kPa}$$

Koeficijent korisnog dejstva hidrelevatora biće:

$$\eta_h = \frac{0,025 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 95}{27,96 \cdot 10^6 \cdot 0,05} = 0,17$$

7. KANALI ZA ODVODNJAVANJE

Voda koja se sakuplja u podzemnim prostorijama odvodi se kanalima do vodosabirnika. Kanali mogu biti različite izrade u zavisnosti od sledećih faktora:

- količine vode koja treba da prođe kroz kanal;
- karakteristika stena u kojoj je izrađena prostorija i u kojoj se radi kanal;
- vrste podgrade prostorije i njenih dimenzija;
- rasporeda koloseka u prostoriji.

Brzina vode u kanalu izračunava se obrascem:

$$w = \sqrt{l \frac{2g}{K} \cdot \frac{A}{u}} \quad (7.1)$$

$$l = K \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{U}{A} \quad \text{- specifični (relativni pad kanala)}$$

$$K = \frac{2\lambda}{\rho} \quad \text{- koeficijent otpora}$$

λ - koeficijent trenja,

ρ - gustina vode,

A - poprečni presek kanala,

U - obim kvašenja.

Pošto je $\frac{A}{U} = R$ (hidraulički radijus) i ako se označi odnos $\frac{2g}{K} = C^2$,

obrazac za brzinu vode dobija oblik:

$$W = C\sqrt{IR} \quad (\text{Šezijev obrazac}) \quad (7.2)$$

Koeficijent C se računa na osnovu empirijskog obrazca Bazina:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{k_r}{\sqrt{R}}} \quad (7.3)$$

k_r - koeficijent rapavosti čija vrednost zavisi od kvaliteta kanala i sadržana je u tabeli 11.

Pri određivanju profila i dimenzija kanala nastoji se da hidraulički radijus (R) bude što veći kako bi se sa relativno malim specifičnim padom kanala (l) pri istim profilima dobila veća brzina (w), odnosno količina protoka vode (Q) pošto je:

$$Q = A \cdot w \quad i \quad w = C\sqrt{IR} \quad (7.4.)$$

Brzina vode u kanalima je ograničena, ne sme biti suviše mala da se ne bi taložio mulj, niti suviše velika da ne bi voda erodirala dno i bokove kanala.

Taloženje čvrstih primesa iz vode nastaje pri sledećoj brzini:

$w_{sr} = 0,25$ m/s - za vodu sa finim muljem,

$w_{sr} = 0,50$ m/s - za vodu sa finim presekom.

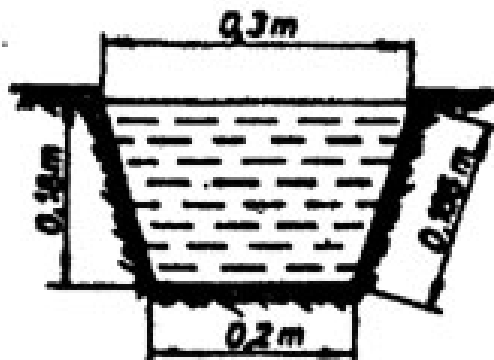
Pri tome, ako voda nosi mulj, moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:

$$w_{sr} > 0,25 \text{ m/s} \quad \text{ili} \quad l > \frac{w^2}{2g} = \frac{0,25^2}{2 \cdot 9,81} = 0,0032; \quad l > 3,2\text{‰}$$

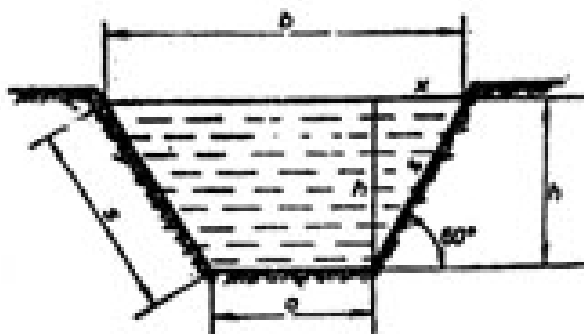
Ako voda nosi fin pesak uslovi su:

$$w_{sr} > 0,50 \text{ m/s} \quad \text{ili} \quad l > \frac{w^2}{2g} = \frac{0,50^2}{2 \cdot 9,81} = 0,0127; \quad l > 12,7\text{‰}$$

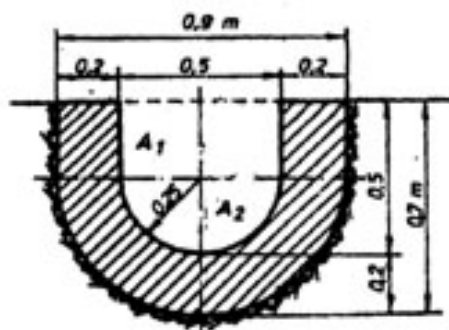
Erozija kanala nastaje zavisno od stena u kojima je kanal izrađen. U tabeli 12. su date brzine vode pri kojima ne nastupaju erozije korita kanala i koje se ne smeju prekoračiti.



Sl. 20. Kanal za vodu



Sl. 21. Opšti izgled kanala za vodu



Sl. 22. Betoniran kanal za vodu

Tabela 11. Vrednost koeficijenta rapavosti (k_r) po Bazinu

Red. br.	Vrsta kanala	k_r
1	Veoma glatki zidovi (uglančan cement, rendisane daske)	0,06
2	Glatki zidovi (nerendisane daske, dobar beton, zid od cigle i dasaka)	0,16
3	Hrapavi zidovi (lomljen kamen, beton)	0,46
4	Zidovi kanala u čvrstim stenama, kaldrmisani kamen	0,85
5	Zemljani kanali sa nanosom	1,00
6	Zapušteni kanali	1,75

Tabela 12. *Dozvoljene brzine protoka (W_{sr}) za razne stene*

W_{sr} (m/s)	Vrste stena
0,12 - 0,15	U rastresitoj zemlji i drobivom uglju
0,16 - 0,20	U finom pesku
0,25 - 0,30	U ilovači, glini i mrkom uglju
0,50 - 0,60	U tvrdom rečnom pesku
1,00 - 1,22	U šljunkovitom tlu
1,25 - 1,52	U stenovitom tlu
1,80 - 2,20	U škriljcu
2,30 - 2,75	U tvrdom peščaru
3,50 - 4,27	U tvrdoj steni i u koritima sa zidom od cementa

Tabela 13. *Granične vrednosti odnosa x/h*

Vrsta stena	x/h
Peskovito zemljište	1,5 - 2,0
Peskovito-glinasto i glinasto	oko 1,5
Kompaktna glina	1,0 - 1,5
Stene srednje čvrstoće	oko 0,5
Čvrste stene	oko 2,5

Tabela 14. *Vrednosti vertikalnih brzina padanja W_{ϵ} u funkciji srednjeg prečnika čestica*

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

7.1. Primeri proračuna kanala za odvodnjavanje

Zadatak 21.

Na slici 20. date su dimenzije poprečnog preseka kanala koji ima pad $I = 0,003$ (3 ‰).

Potrebno je izračunati maksimalnu količinu vode (Q) koja se može sprovesti kroz kanal, ako su zidovi kanala rapavi.

Rešenje:

Površina poprečnog kanala iznosi:

$$A = \frac{0,2 + 0,3}{2} \cdot 0,18 = 0,045 \text{ m}^2$$

Obim kvašenja:

$$U = 0,2 + 2 \cdot 0,186 = 0,572 \text{ m}$$

Hidraulički radijus:

$$R = \frac{A}{U} = \frac{0,045}{0,572} = 0,078 \text{ m}$$

Koeficijent C iznosi :

$$C = \frac{87}{1 + k_r} = \frac{87}{1 + \frac{0,46}{\sqrt{0,078}}} = 32,85$$

Koeficijent K_r za rapave kanale (po Bazinu) = 0,46 (tabela 11).

Brzina vode u kanalu iznosi:

$$w = C \sqrt{IR} = 32,85 \sqrt{0,003 \cdot 0,078} = 0,50 \text{ m/s}$$

Maksimalna količina vode koja može da se odvede ovim kanalom iznosi:

$$Q = A \cdot W = 0,045 \cdot 0,50 = 0,0225 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{ili}$$

$$Q = 81,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Zadatak 22.

Kanalom koji ima kvadratni poprečni presek treba da protiče 230 m³/čas vode. Širina kanala je a = 0,3 m, a dubina h = 0,3 m.

Potrebno je odrediti pad kanala ako je kanal nepodgrađen.

Rešenje:

Površina poprečnog preseka:

$$A = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$$

Brzina vode biće:

$$w = \frac{230}{3600 \cdot 0,09} = 0,71 \text{ m/s}$$

Obim kvašenja:

$$U = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ (m)}$$

Hidraulički radijus:

$$R = \frac{0,09}{0,9} = 0,10 \text{ m}$$

Koeficijent C biće:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{0,46}{\sqrt{0,10}}} = 35,4$$

Iz obrasca $w = C\sqrt{IR}$ dobija se:

$$l = \frac{w^2}{C^2 R} = \frac{0,71^2}{35,4^2 \cdot 0,10} = 0,0040$$

Pad kanala iznosi 4 ‰.

Zadatak 23.

U praksi se najčešće određuju dimenzije kanala po kojem bi sakupljena voda lako oticala. Pošto se ponekad kanali izrađuju ispod pragova koloseka, u prostoriji čiji se pad ne izvodi s obzirom na odvodnjavanje već na transport, to se pad kanala uzima isti kao i pad prostorije u kojoj se kanal radi.

Izabrati poprečni presek kanala za protok vode od 500 m³/čas, ako je pad kanala 0,01 (10 ‰).

Materijal u kome se kanal izrađuje je srednje čvrstoće, pa se može usvojiti da su bočne strane kanala nagnute prema horizontali za 60° (slika 21).

Rešenje:

Za rešenje ovakvog zadatka najbolje je pretpostaviti nekoliko dimenzija poprečnog preseka kanala i proveriti da li one daju neophodnu propusnu moć.

U tabeli 15 date su pretpostavljene dimenzije poprečnog preseka kanala za tri slučaja, kao i proračun protoka.

Tabela 15.

Red.	Pretpostavljene dimenzije poprečnog preseka kanala i proračuna protoka	Oznaka	Varijanta		
			I	II	III
1.	Širina na dnu kanala	a	0,20	0,30	0,40
2.	Dubina kanala	h	0,20	0,30	0,40
3.	Pri ovim dimenzijama površina preseka	A	0,063	0,142	0,208
4.	Pritok vode (m ³ /s)	Q	0,139	0,139	0,139
5.	Srednja brzina na osnovu protoka	w _{sr}	2,21	0,97	0,67
6.	Obim kvašenja	U	0,660	0,992	1,322
7.	Hidraulički radijus	R	0,095	0,143	0,201
8.	Koeficijent k _r	k _r	0,85	0,85	0,85
9.	Koeficijent C	C	26,14	26,80	30,03
10.	Srednja brzina	w _{sr}	0,694	1,002	1,342
11.	Provera brzine (tabela 8)	w _{sr}	-	1,25-1,52	-
12.	Provera odnosa $\frac{x}{h}$	$\frac{0,114}{0,300}$		0,40	-

Objašnjenje za proračun ove tabele daje se samo za slučaj I jer su II i III analogni.

1. Širina dna kanala je pretpostavljena, a = 0,2 m.
2. Dubina kanala h je pretpostavljena, h = 0,2.
3. Površina poprečnog preseka kanala izračunava se kako sledi (sl. 21):

$$\frac{h}{s} = \sin 60^\circ;$$

Odavde:

$$S = \frac{h}{\sin 60^\circ},$$

pa će bočna strana kanala biti:

$$S = \frac{0,20}{0,866} = 0,230(m)$$

$$x = \sqrt{S^2 - h^2} = \sqrt{0,230^2 - 0,20^2} = 0,114 (m)$$

Površina je poprečnog preseka:

$$A = \frac{a+b}{2} \cdot h = \frac{0,20+0,428}{2} \cdot 0,20 = 0,063 \text{ m}^2$$

$$b = 0,20 + 2 \cdot 0,114 = 0,428 \text{ (m)}$$

4. Protok u sva tri slučaja iznosi:

$$Q = \frac{500}{3600} = 0,139 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

5. Brzina na osnovu protoka:

$$w_{sr} = \frac{Q}{A} = \frac{0,139}{0,063} = 2,21 \text{ (m/s)}$$

6. Obim kvašenja:

$$U = 0,20 + 2 \cdot 0,230 = 0,660 \text{ (m)}$$

7. Hidraulički radijus:

$$R = \frac{A}{U} = \frac{0,063}{0,660} = 0,095 \text{ (m)}$$

8. Koeficijent (k_p) po Bazinu za čvrst materijal u sva tri slučaja je 0,85.

9. Koeficijent C:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{0,85}{\sqrt{0,095}}} = 23,14$$

10. Srednja brzina iznosi:

$$w_{sr} = C\sqrt{IR} = 23,14\sqrt{0,01 \cdot 0,095} = 0,694$$

$$w_{sr} = 0,694 \text{ m/s}$$

Na osnovu ovog proračuna vidi se da poprečni presek pod I ne odgovara jer je potrebna brzina 2,21 m/s za pretpostavljeni profil, a izračunata svega 0,694 m/s.

Pretpostavljeni profil pod II zadovoljava pošto je protok:

$$Q = 0,142 \cdot 1,002 = 0,142 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ili } 511 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Kod ovog je brzina 1,002 m/s, a bila bi dovoljna:

$$w_{sr} = 0,97 \text{ m/s } (0,142 \cdot 0,97 = 0,139 \text{ m}^3/\text{s} = 500 \text{ (m}^3/\text{čas)})$$

Potrebno je voditi računa o brzinama kretanja vode u kanalu. Prema tabeli 12. brzina odgovara jer je za ovaj materijal dozvoljena brzina 1,25 - 1,52 m/s.

Na kraju, treba da se vidi da li je dobro odabran nagib bokova kanala (kose strane) u zavisnosti od karakteristike materijala u kome se kanal izrađuje. Ovo se proverava preko odnosa horizontalne projekcije bočnog zida i visine kanala

$\frac{x}{h}$ koji mora da zadovolji uslove iz tabele 13.

Ovde je:

$$\frac{x}{h} = \frac{0,114}{0,300} \cong 0,40$$

Pošto je za srednje čvrste stene $\frac{x}{h} = 0,50$ to je nagib bokova kanala pravilno odabran.

Zadatak 24.

Na slici 22. dat je poprečni presek kanala sa dimenzijama čiju maksimalnu propusnu moć treba odrediti. Kanal je betoniran i ima pad $=3^0/_{00}$.

Rešenje:

Površina poprečnog preseka:

$$A = A_1 + A_2$$

$$A_1 = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A_2 = \frac{0,25^2 \cdot 3,14}{2} = 0,098 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A = 0,125 + 0,098 = 0,223 \text{ (m}^2\text{)}$$

Obim kvašenja iznosi:

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = 0,25 \cdot 2 = 0,50 \text{ (m)}$$

$$U_2 = 0,25 \cdot 3,14 = 0,785 \text{ (m)}$$

$$U = 0,50 + 0,785 = 1,285 \text{ (m)}$$

Hidraulički radijus:

$$R = \frac{A}{U} = \frac{0,223}{1,285} = 0,174 \text{ (m)}$$

Koeficijent (k_r) po Bazinu za dobar beton iznosi 0,16.

Koeficijent C iznosi:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{0,16}{\sqrt{0,174}}} = 62,9$$

Srednja brzina vode u kanalu iznosi:

$$w = C\sqrt{IR} = 62,9\sqrt{0,003 \cdot 0,174} = 1,44 \text{ (m/s)}$$

Protok vode biće:

$$Q = A \cdot w = 0,223 \cdot 1,44 = 0,321 \text{ m}^3 / \text{s} \cong 1156 \text{ (m}^3 / \text{h)}$$

8. TALOŽNICI

Da bi se iz vode odstranile primese, čestice rude, uglja, stena i dr. takva voda se, iz kanala, uvodi u taložnike.

Radi boljeg efekta prečišćavanja bitno je obezbediti potrebnu brzinu proticanja vode kroz taložnik, a određuje se obrascem:

$$w = 0,0167 \frac{Q}{bh} \quad (m/s) \quad (8.1)$$

Q - maksimalni protok vode (m³/min),

b - širina taložnika (b₁+b₂) (m),

h - visina vodene struje na ulazu u taložnik (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 po obrascu (8.1.) dobiju veće vrednosti, treba povećati širinu taložnika (b).

Dužina taložnika određuje se po obrazcu:

$$L = \alpha \frac{w}{w_{\varepsilon} - w_h} \quad (m) \quad (8.2)$$

α - koeficijent koji zavisi od onečišćenja vode

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

w - brzina vode (m/s),

w_ε - vertikalna brzina padanja čvrstih čestica u vodi (m/s),

w_h - horizontalna komponenta brzine (m/s).

Tabela 16. Vrednost vertikalnih brzina padanja w_ε u funkciji srednjeg prečnika zrna

Srednji prečnik čestica (m)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,50	1,0
Vertikalna brzina čestica w _ε (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 m/s; w_h = 0,01w

ako je: w = 0,09 - 0,13 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:

$$V_m = 1,5 \cdot g \cdot Q \quad (m) \quad (8.3.)$$

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

g - stepen onečišćenja vode

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

$g = 0,0015 - 0,0030$

8.1. Primer proračuna taložnika

Zadatak 25.

Za protok vode od $1,0 \text{ m}^3/\text{min}$ potrebno je dimenzionirati taložnik. Dubina vode u kanalu iznosi $0,4 \text{ m}$.

Rešenje:

a) Srednja brzina proticanja vode kroz taložnik iznosi:

$$w = 0,0167 \frac{Q}{bh} = 0,0167 \frac{1,0}{1,0 \cdot 0,4} = 0,042 \text{ (m/s)}$$

$$w = 0,042 \text{ m/s} < 0,1 \text{ (m/s)}$$

Ovde je usvojena širina taložnika $b = 1,0 \text{ m}$. Ukoliko se taložnik izrađuje iz dva dela, podrazumeva se da je to ukupna širina ($b_1 + b_2$).

b) Dužina taložnika

Dužina taložnika računaće se za dva slučaja:

- kada se talože čestice iznad $0,2 \text{ mm}$
- kada treba istaložiti čestice iznad $0,1 \text{ mm}$.

Taloženje čestica iznad $0,2 \text{ mm}$

Koeficijent α iznosi:

$$\alpha = \frac{1,5w_{\xi}}{0,00075 + w_{\xi}} = \frac{1,5 \cdot 0,01875}{0,00075 + 0,01875} = 1,442$$

Vrednost za w_{ξ} uzete su iz tabele 10 - za srednji prečnik čestice $0,2 \text{ mm}$.

Dužina taložnika:

$$L = \alpha \frac{w}{w_{\xi} - w_h} = 1,442 \frac{0,042}{0,01875 - 0,00042} = 3,35 \text{ (m)}$$

Ovde je brzina $w_h = 0,01$ $w = 0,01 \cdot 0,042 = 0,00042 \text{ (m/s)}$

Taloženje čestica iznad 0,1 mm

$$\alpha = \frac{1,5 \cdot 0,00588}{0,00075 + 0,00588} = 1,329$$

$$L = 1,329 \frac{0,042}{0,00588 - 0,00042} = 10,2 \text{ (m)}$$

c) Zapremina muljnog kolektora:

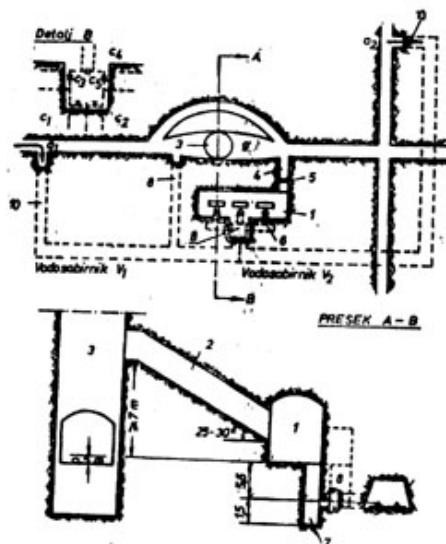
Usvaja se $q = 0,002$

$$V_m = 1,5 \cdot q \cdot Q = 1,5 \cdot 0,002 \cdot 1440 = 4,32 \text{ (m}^3\text{)},$$

gde je:

$$Q = 1,0 \cdot 60 \cdot 24 = 1440 \text{ (m}^3\text{ / dan)}$$

Dimenzije kolektora 2,5 · 1,4 · 1,25 m



1. pumpna komora
2. uskop za potisni cevovod
3. okno
4. spojni hodnik pumpne komore
5. vodna vrata
6. kolektor
7. usisni bunar
8. prijemni bunjar
9. navozište
10. niskopi za čišćenje

SI. 23. Izgled jamskog vodosabirnika

9. VODOSABIRNICI

Vodosabirnici su jamske prostorije u kojima se sakuplja voda koja dolazi iz pojedinih delova jame. Način izrade vodosabirnika i izbor podgrade zavisi od fizičko-mehaničkih osobina stena (sl. 23).

Potrebna dužina vodosabirnika zavisi od vremena pumpanja i izračunava se po obrascima:

$$\text{pumpanje u tri smene} \quad L = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24 \cdot k}{3A} \quad (m) \quad (9.1.)$$

$$\text{pumpanje u dve smene} \quad L = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24}{2A} \quad (m) \quad (9.2.)$$

$$\text{pumpanje u jednoj smeni} \quad L = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24}{A} \quad (m) \quad (9.3.)$$

Q - prosečni prtok vode (m^3/min)

k - koeficijent rezerve ($k = 1,25$)

A - površina poprečnog preseka vodosabirnika (m^2)

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

$$V_{vod} = Q \cdot t \cdot k = Q \cdot 8 \cdot 1,25 \quad (m) \quad (9.4.)$$

Q - maksimalni prtok vode (m^3/h),

t - vreme akumuliranja vode ($t = 8$ časova),

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

Korisna zapremina vodosabirnika računa se po obrascu:

$$V_k = \frac{V_{vod}}{k} \quad (m) \quad (9.5.)$$

Dužina vodosabirnika :

$$L = \frac{V_{vod}}{A} \quad (m) \quad (9.6.)$$

9.1. Primeri proračuna vodosabirnika

Zadatak 26.

Za prиток vode od $1,0 \text{ m}^3/\text{min}$ potrebno je dimenzionirati vodosabirnik, s tim da se razmotre mogućnosti pumpanja u tri, dve ili samo jednoj smeni.

Rešenje:

Profil vodosabirnika usvaja se prema standardu za podzemne prostorije.

I Varijanta - profil vodosabirnika $A = 5,6 \text{ (m}^2\text{)}$

a) Dužina vodosabirnika kada se pumpa u sve tri smene:

$$L_3 = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24k}{3A} = \frac{1 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 1,25}{3 \cdot 5,6} \cong 107 \text{ (m)}$$

b) Dužina vodosabirnika ako pumpe rade dve smene:

$$L_2 = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24}{2A} = \frac{1 \cdot 60 \cdot 24}{2 \cdot 5,6} = 129 \text{ (m)}$$

c) Dužina vodosabirnika kada se pumpa samo u jednoj smeni:

$$L_1 = \frac{Q \cdot 60 \cdot 24}{A} = \frac{1 \cdot 60 \cdot 24}{5,6} = 257 \text{ (m)}$$

II Varijanta - profil vodosabirnika $A = 7,5 \text{ m}^2$

a) Pumpanje u tri smene:

$$L_3 = \frac{1 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 1,25}{3 \cdot 7,5} = 80 \text{ (m)}$$

b) Pumpanje u dve smene:

$$L_2 = \frac{1 \cdot 60 \cdot 24}{2 \cdot 7,5} = 96 \text{ (m)}$$

c) Pumpanje u samo jednoj smeni:

$$L_1 = \frac{1 \cdot 60 \cdot 24}{7,5} = 192 \text{ (m)}$$

Koja će se dužina vodosabirnika usvojiti zavisi od ekonomske analize. Međutim, treba naročito obratiti pažnju na činjenicu da je dosta mala razlika između potrebne dužine kad se pumpa u sve tri smene (uz obaveznu rezervu od 25%) i kada se pumpa svega u dve smene.

10. PUMPNE KOMORE

Dimenzije pumpne komore zavise od broja pumpi, njihovih prostornih karakteristika kao i od ostale mašinske i elektro opreme koja se ugrađuje (sl. 24). Pri dimenzionisanju odlučujući uticajni faktori su:

- fizičko-mehaničke osobine stena u kojima se komora izrađuje;
- broj pumpi u radu i rezervi;
- mogućnost boljeg iskorišćenja prostora u komori;
- pogodnost opsluživanja i remonta pumpi;
- mogućnost proširenja komore u slučaju potrebe postavljanja većeg broja pumpi.

Širina komore se određuje po obrascu:

$$b_k = b_1 + b_2 + b_3 \quad (m) \quad (10.1.)$$

Dužina komore se određuje obrascem:

$$l = n(l_1 + l_2) + l_3 \quad (m) \quad (10.2.)$$

b_1 - rastojanje temelja pumpe od zida komore sa strane bunara
(0,8-1,2 m) - (slika 24),

b_2 - širina temelja pumpe (m),

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

n - broj temelja,

l_1 - dužina temelja (m),

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 celog uređaja (pumpe, temelja), kao i načina postavljanja cevovoda.

10.1. Primeri proračuna pumpne komore

Zadatak 27.

Odrediti dimenzije pumpne komore u koju treba postaviti tri pumpe po dužini komore. Temelji pumpi imaju dimenzije 2,4 x 1 m.

Rešenje:

Širina komore biće:

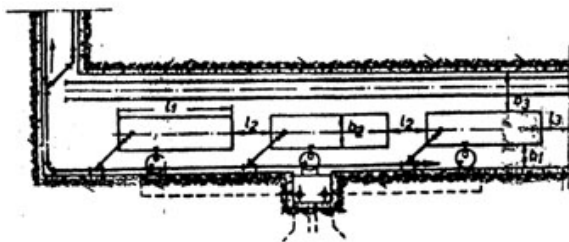
$$b_k = b_1 + b_2 + b_3 = 0,8 + 1 + 1,6 \cong 3,5 \text{ m}$$

Ovde je za b_1 uzeta minimalna vrednost 0,8 m, b_2 je širina temelja 1 m, a $b_3 = 1,6$ m je udaljenost pumpi od suprotnog zida komore.

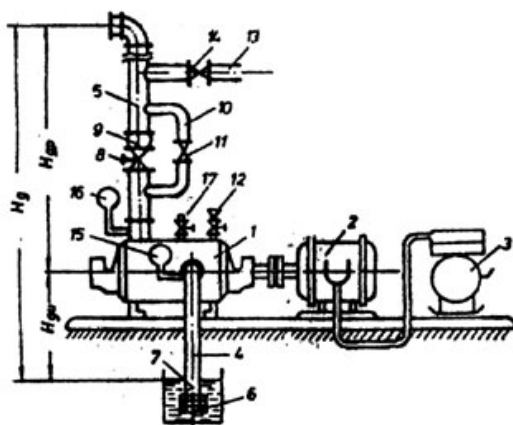
Dužina komore iznosi:

$$I = n(I_1 + I_2) + I_3 = 3(2,4 + 1,5) + 4 \cong 16 \text{ m}$$

Broj temelja $n = 3$, dužina temelje 2,4 m, rastojanje između temelja usvojeno 1,5 m, slobodna dužina komore, takode, je usvojena i iznosi $I_3 = 4$ m.



Sl. 24. Izgled pumpne komore



- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. pumpa | 10. protivpovratni ventil |
| 2. motor | 11. ventil |
| 3. prekidač | 12. levak |
| 4. usisni cevovod | 13. cev za ispuštanje vode |
| 5. potisni cevovod | 14. ventil |
| 6. ususna korpa | 15. vakuummetar |
| 7. prijemni ventil | 16. manometar |
| 8. ventil za zatvaranje | 17. ventil |
| 9. protivpovratni ventil | |

Sl. 25. Izgled pumpnog postrojenja

11. IZBOR CEVOVODA ZA ODVODNJAVANJE

Osnovni uslovi kojima treba da udovolji cevovod su:

- pravilan izbor dimenzija cevi;
- ispravnost cevi koje ulaze u sastav cevovoda i otpornost protiv korozije;
- visokokvalitetna hermetizacija;
- mogućnost zamene delova i kontrole stanja cevovoda;
- mogućnost brzog priključenja na rezervni cevovod u slučaju potrebe;
- što manji investicioni i eksploatacioni gubici.

Prečnik cevi zavisi od količine vode koju treba transportovati. Međutim, u ovom slučaju potrebno je voditi računa o ekonomičnosti. Iskustvo je pokazalo da su najpovoljnije sledeće brzine vode u cevima:

za usisni cevovod	0,8 - 1,5 m/s
za potisni cevovod	1,5 - 2,5 m/s

Prečnik usisnog cevovoda može se odrediti po obrascu:

$$d_u = 0,0133\sqrt{Q} \quad (m) \quad (11.1.)$$

Q - količina vode (m³/h)

Debljina zidova cevi (s) uzima se obično na osnovu standarda, a sa obzirom na to da su kod rudničkog odvodnjavanja često u pitanju visoki pritisci, debljina zida cevi se proverava po obrascu:

$$s = 0,5 \left(\frac{\delta_e + 0,4P}{\delta_e - 1,3P} - 1 \right) d + m \quad (mm) \quad (11.2.)$$

P - unutrašnji pritisak (MP_a),

δ_e - dozvoljeni napon na istezanje (MP_a),

d - unutrašnji prečnik cevi (mm),

m - dodatno povećanje debljine zida u (mm) radi korozije
(za čelične bešavne cevi m = 1 mm).

Za čelične bešavne cevi δ_e se uzima u vrednosti 80 MPa, uz koeficijent sigurnosti koji ne sme biti manji od 4,5.

12. RUDNIČKE PUMPE

Rudničke pumpe se dele u tri karakteristične grupe, i to:

- klipne
- centrifugalne (rotacione)
- specijalne

Svaka od ovih grupa može se podeliti u više podgrupa (sl. 26-35).

Klipne pumpe, prema načinu dejstva, dele se na pumpe jednostrukog dejstva, dvostrukog dejstva i diferencijalne pumpe. Pumpe jednostrukog dejstva usisavaju tečnost pri kretanju klipa u jednom pravcu, a potiskuju je u povratnom hodu. Pumpe dvostrukog dejstva usisavaju i potiskuju istovremeno, kako pri polaznom tako i pri povratnom hodu klipa. Diferencijalne pumpe su vrsta kod kojih se pri jednom obrtaju osovine vrši jedno usisavanje i dva potiskivanja.

Prema položaju cilindra ove pumpe mogu biti horizontalne i vertikalne, a po broju cilindra sa jednim, dva ili tri cilindra.

Centrifugalne pumpe, prema broju radnih kola, mogu biti jednostepene i višestepene pumpe. Prema visini bacanja tečnosti dele se na pumpe niskog, srednjeg i visokog napora. Zavisno od položaja osovine mogu biti horizontalne i vertikalne, a prema načinu usisavanja vode dele se na jednostrane i dvostrane.

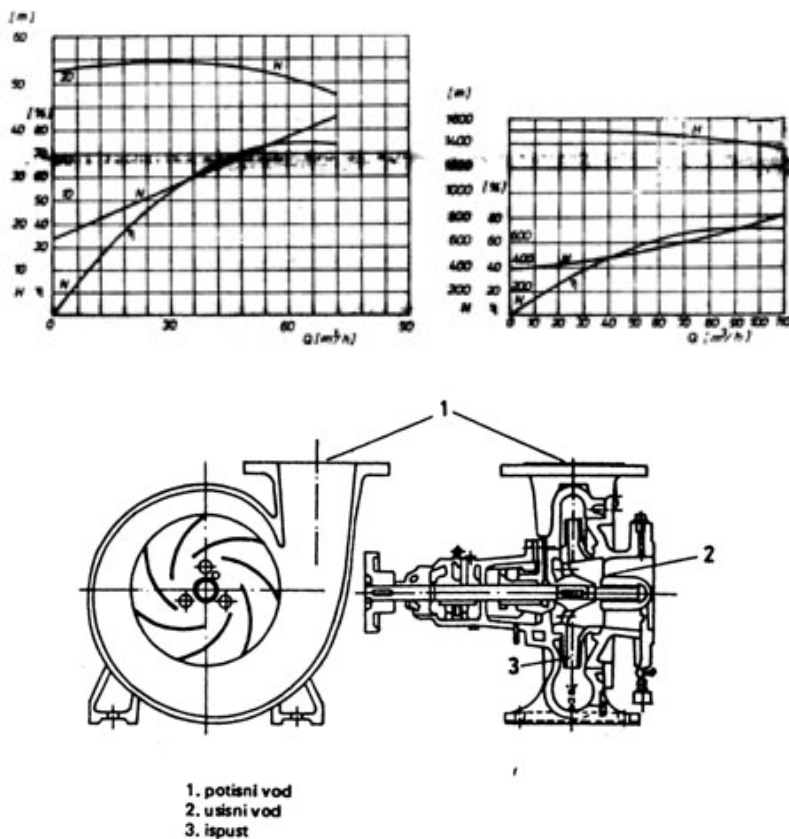
Specijalne pumpe se odlikuju specijalnim konstruktivnim karakteristikama, a osim toga, imaju posebnu namenu. Postoji više vrsta ovih pumpi, a u rudarstvu se najčešće koriste "mamut-pumpe", viseće pumpe, podvodne pumpe, membranske pumpe, vilflej - pumpe.

Da bi se pumpe pravilno izabrale potrebno je poznavati:

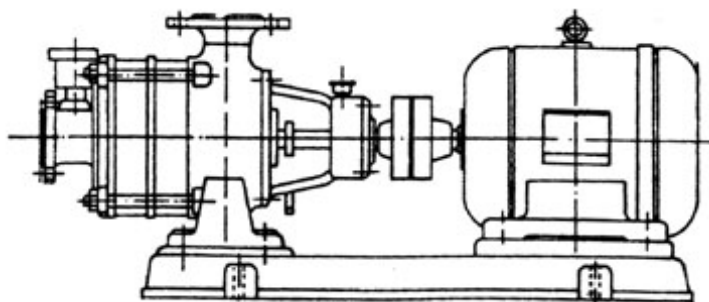
- napor pumpe - manometarsku visinu pumpe (H_{man});
- kapacitet pumpe;
- uslove pod kojima pumpa radi;
- vrstu tečnosti koja se pumpa i njene karakteristike;
- prečnik usisnog i potisnog cevovoda.

Izgled jednog pumpnog postrojenja prikazan je na sl. 25.

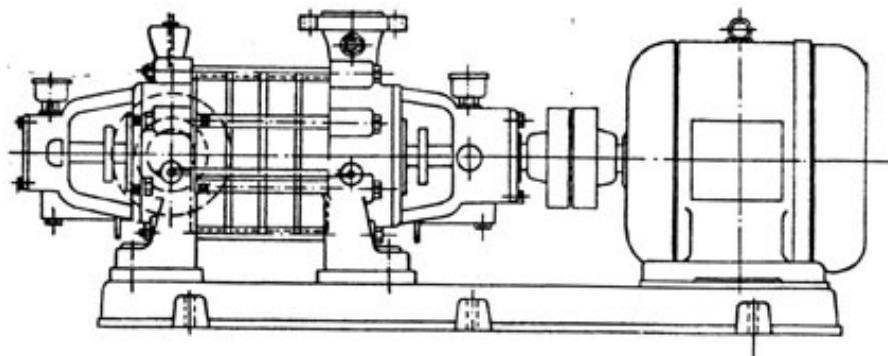
Na slici su prikazane karakteristike jednostepene centrifugalne pumpe (a) i vešestepene pumpe (b).



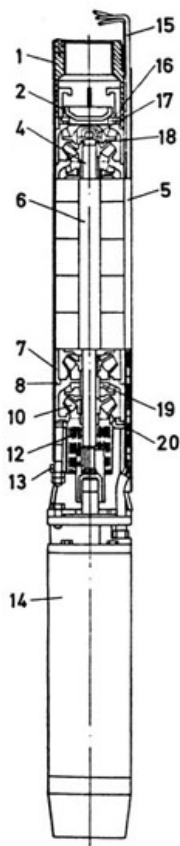
Sl. 27. Jednostepena rotaciona pumpa u spiralnom kućištu



Sl. 28. Dvostepena centrifugalna pumpa sa elektromotorom i postoljem

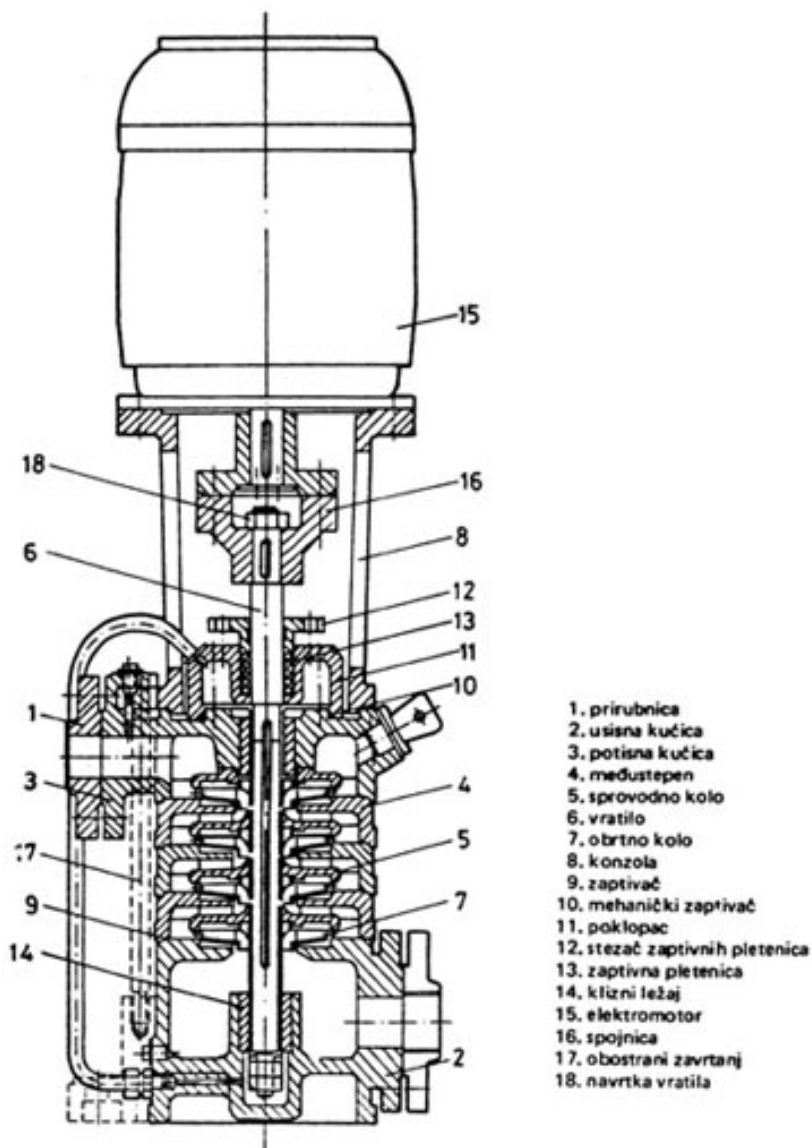


Sl. 29. Višestepena rotaciona pumpa

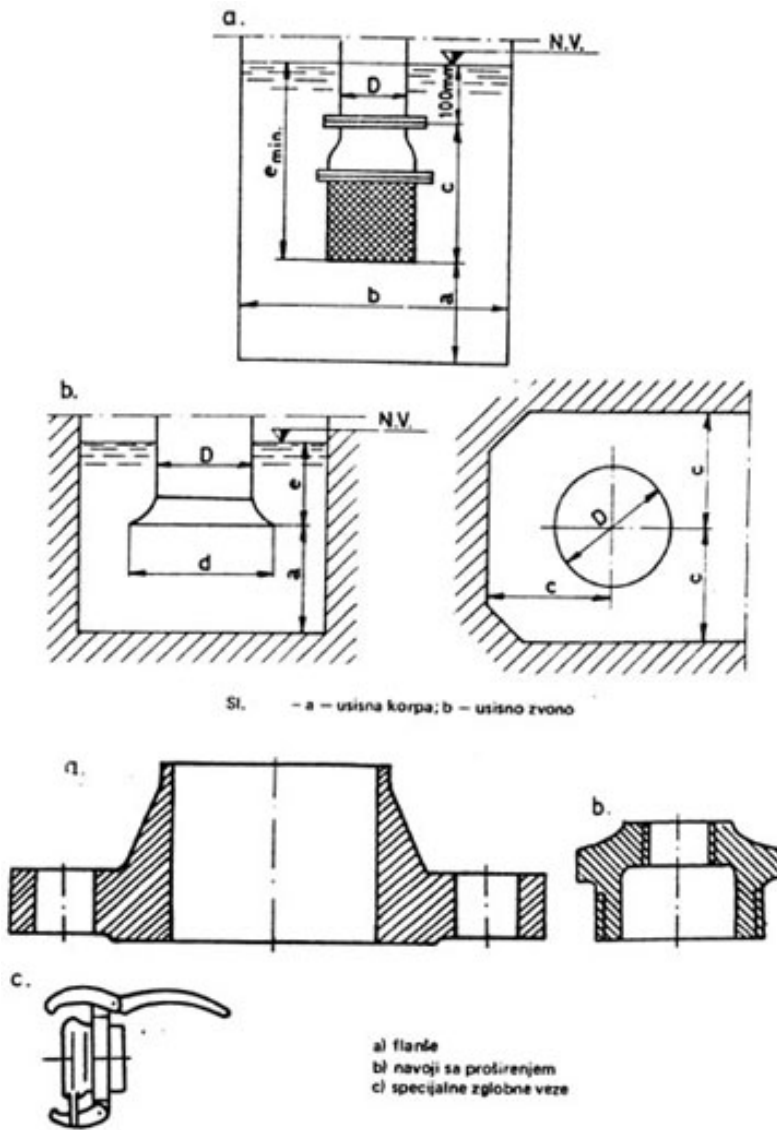


- 1 – poklopac pumpe
- 2 – ventil
- 3 – kućište ventila sa ležajem
- 4 – osovina
- 5 – štitnik kabla
- 6 – pojas za spajanje
- 7 – kućište stepeni
- 8 – zaprtivka kućišta stepeni
- 9 – ulazno kućište stepeni
- 10 – radijalno obrtno kolo
- 11 – stezna čaura
- 12 – mreža
- 13 – telo pumpe
- 14 – elektromotor sa sklopkom
- 15 – priključni kabel
- 16 – sedalo ventila
- 17 – nosač ležaja
- 18 – matica
- 19 – čaura
- 20 – ulazni prsten

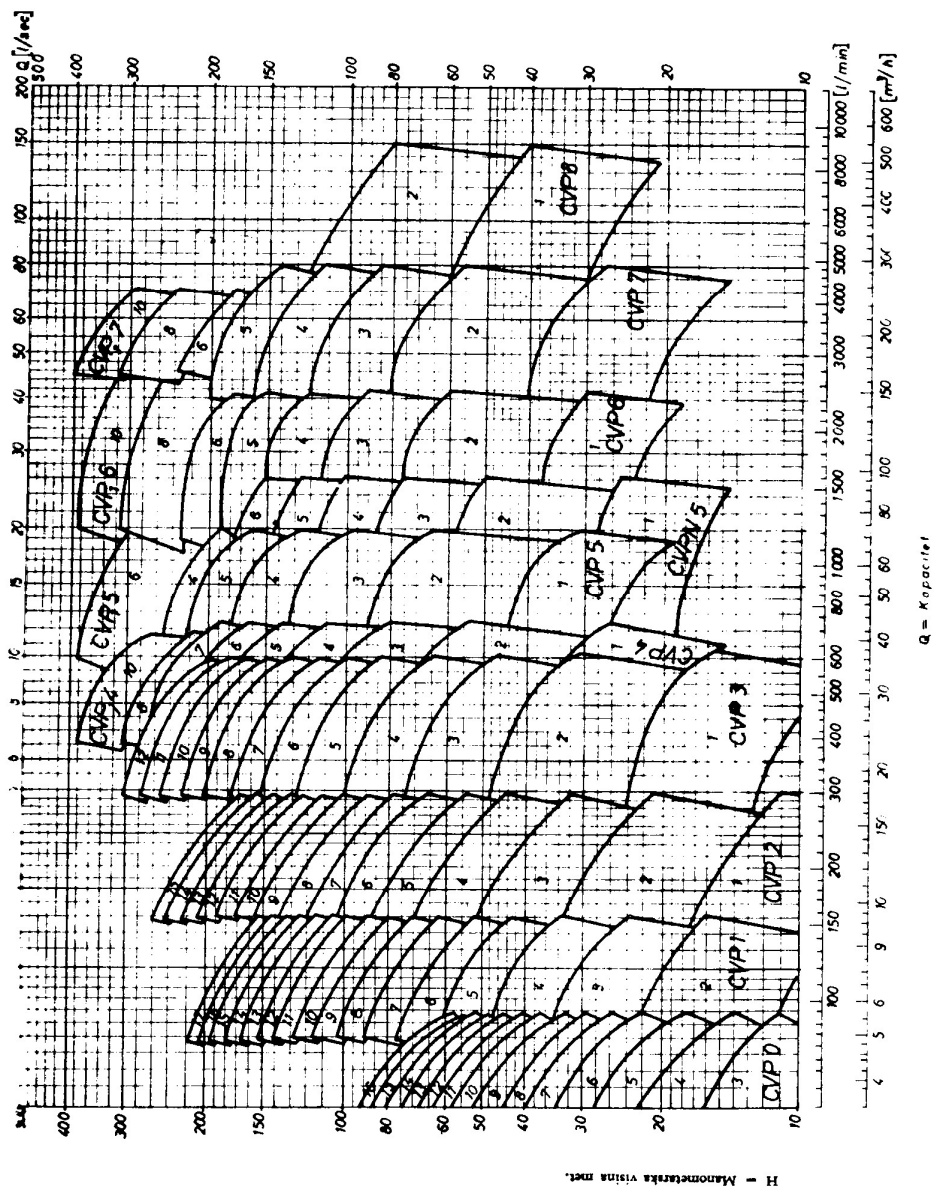
Sl. 30. Potapajuća pumpa



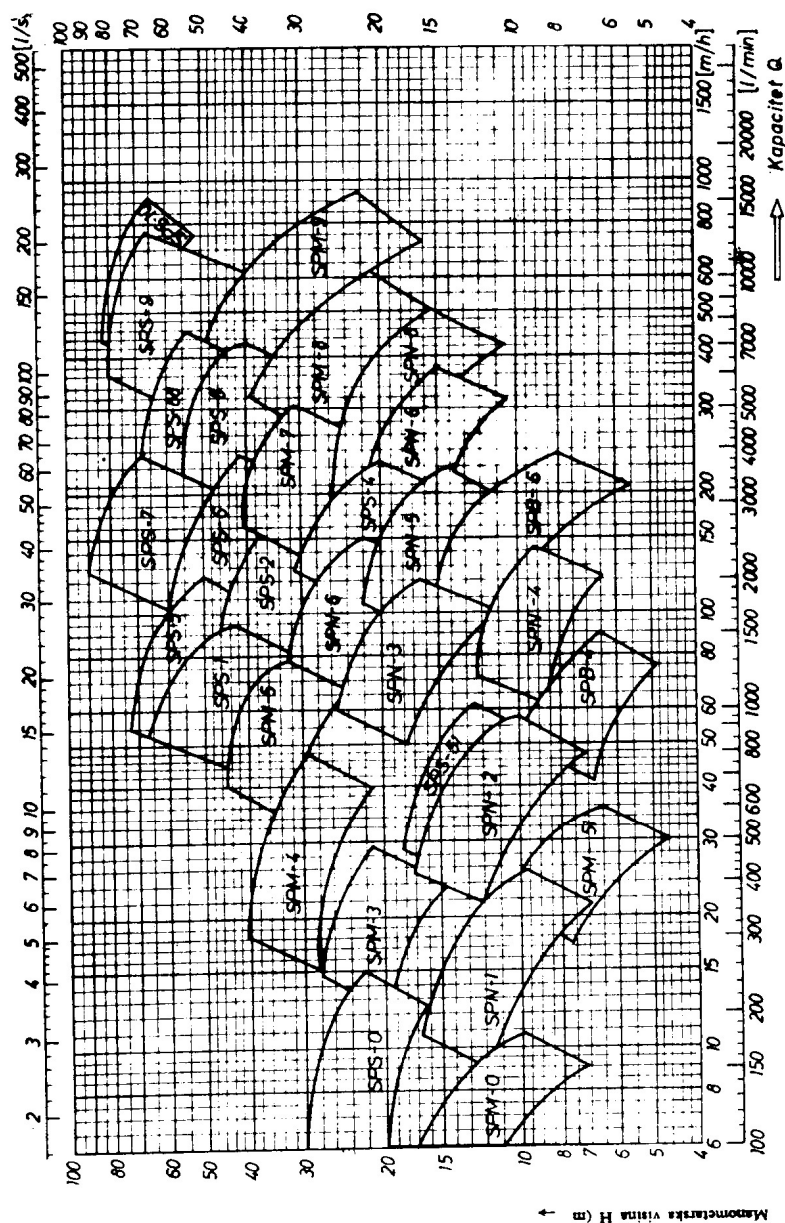
Sl. 31. Centrifugalna vertikalna pumpa



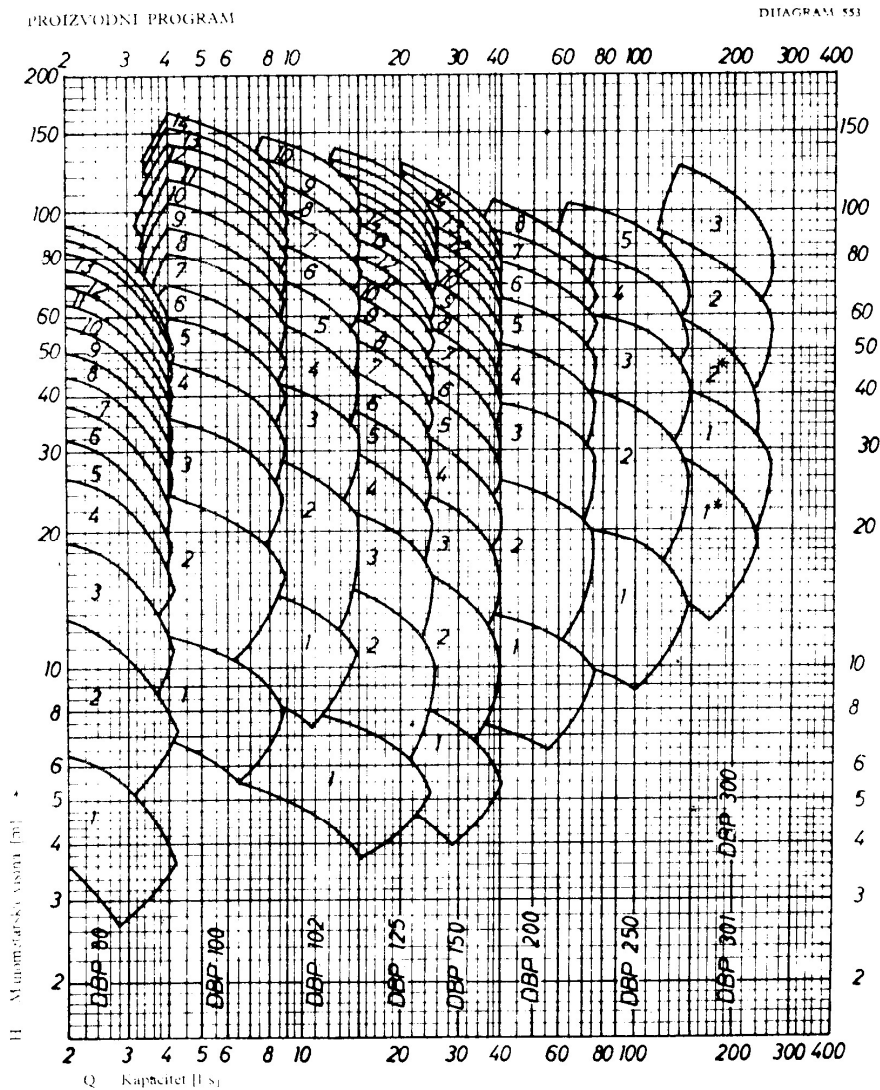
Sl. 32. Spajanje cevi



Sl. 33. Karakteristike centrifugalnih pumpi



Sl. 34. Karakteristike dubinskih bunarskih pumpi



Sl. 35. Karakteristike spiralnih pumpi

13. PRORAČUN VISINE PUMPANJA

13.1. Primer proračuna visine pumpanja

Zadatak 28.

Potrebno je odrediti manometarsku visinu pumpanja centrifugalne pumpe koja ima kapacitet od 0,9 m³/min vode čija je temperatura 10°C. Geodetska visina (ukupna) iznosi 120 m.

Usisni cevovod je dug 10 m, prečnik 100 mm, cevi su od livenog gvožđa, a ima 3 krivine pod uglom od 90° i usisnu korpu sa prijemnim ventilom. Geodetska usisna visina iznosi 5 m.

Potisni cevovod je dug 300 m, prečnik 100 mm, a ima 6 krivina pod uglom od 90°, ventil za zatvaranje i protivpovratni ventil.

Rešenje:

Brzina poticanja u cevi iznosi:

$$w = \frac{Q}{A} = \frac{0,9}{\frac{60 \cdot 0,1^2 \cdot 3,14}{4}} = 1,91 \text{ (m/s)}$$

Koeficijent trenja za prave delove cevovoda:

$$\lambda_b = 0,01 \left(\frac{K}{D} \right)^{0,314}$$

D - unutrašnji prečnik cevi,

K - mera rapavosti (1,5-7)

$$\lambda_b = 0,01 \left(\frac{2,5}{0,1} \right)^{0,314} = 0,0274$$

Vrednost ekvivalentnih dužina (tabela 17)

Usisni cevovod

3 krivine od livenog gvožđa

$$3 \cdot 11,2 = 33,6$$

1 prijemni ventil

$$\underline{1 \cdot 11,2 = 11,2}$$

uk. 44,8 m

$$\Sigma l_{cu} = 44,8 \text{ m}$$

Potisni cevovod

6 krivina od livenog gvožđa	$6 \cdot 11,2 = 67,2$
1 protiv-povratni ventil	$1 \cdot 11,2 = 11,2$
1 ventil za zatvaranje	<u>$= 6,7$</u>
	uk. 85,1 m

$$\Sigma l_{ep} = 85,1 \text{ m}$$

Vrednost koeficijenta lokalnog otpora (ξ)

Usisni cevovod

Koeficijent lokalnog otpora za tri krivine od livenog gvožđa ($r/d = 3$); iz tabele 18:

$$\xi_1 = 3 \cdot 0,125 = 0,375$$

Koeficijent lokalnog otpora za prijemni ventil ($\beta = 20^\circ$); iz tabele 19:

$$\xi_2 = 1 \cdot 1,54 = 1,54$$

Ukupni koeficijent lokalnog otpora za usisni cevovod:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \xi_{iu} = \xi_1 + \xi_2 = 0,375 + 1,54 = 1,915$$

Potisni cevovod

Koeficijent lokalnog otpora za šest krivina od livenog gvožđa ($r/d = 3$); iz tabele 18:

$$\xi_1 = 6 \cdot 0,125 = 0,750$$

Koeficijent lokalnog otpora za protivpovratni ventil ($\beta = 20^\circ$); iz tabele 19:

$$\xi_2 = 1 \cdot 1,54 = 1,54$$

Koeficijent lokalnog otpora za ventil za zatvaranje (tabela 20):

$$\xi = 1 \cdot 4,1 = 4,1$$

Ukupni koeficijent lokalnog otpora za potisni cevovod:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \xi_{ip} = 0,75 + 1,54 + 4,1 = 6,39$$

Stepen sigurnosti $z = 1,2$ (za cevi od livenog gvožđa).

Koeficijent trenja na mestima lokalnog otpora iznosi: $\lambda_n = 0,0165$ (dijagram na slici 26).

Gustina vode je usvojena $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Ukupni gubici u cevovodu

a) Preko ekvivalentnih dužina:

$$\begin{aligned} \Sigma_{gub} &= \left(0,0274 \frac{10}{0,1} + 1,2 \cdot 0,0165 \frac{44,8}{0,1} \right) \frac{1,91^2}{2 \cdot 9,81} + \\ &+ \left(0,0274 \frac{300}{0,1} + 1,2 \cdot 0,0165 \frac{85,1}{0,1} \right) \frac{1,91^2}{2 \cdot 9,81} = 20,6 \text{ (m)} \end{aligned}$$

ili izraženo pritiskom:

$$\begin{aligned} \Sigma_{gub} &= \left(0,0274 \frac{10}{0,1} + 1,2 \cdot 0,0165 \frac{44,8}{0,1} \right) \frac{1,91^2}{2} \cdot 1000 + \\ &+ \left(0,0274 \frac{300}{0,1} + 1,2 \cdot 0,0165 \cdot \frac{85,1}{0,1} \right) \frac{1,91^2}{2} \cdot 1000 \cong 2,02 \cdot 10^5 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

b) Preko koeficijenta lokalnog otpora

$$\Sigma_{gub} = \left(0,0274 \frac{10}{0,1} + 1,915 \right) \frac{1,91^2}{2 \cdot 9,81} + \left(0,0274 \frac{300}{0,1} + 6,3 \right) \frac{1,91^2}{2 \cdot 9,81} \cong 17 \text{ (m)}$$

ili izraženo pritiskom:

$$\begin{aligned} \Sigma_{gub} &= \left(0,0274 \frac{10}{0,1} + 1,915 \right) \frac{1,91^2}{2} \cdot 1000 + \left(0,0274 \frac{300}{0,1} + 6,30 \right) \frac{1,91^2}{2} \cdot 1000 \cong \\ &\cong 1,7 \cdot 10^5 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

Ukupna manometarska visina

a) Preko ekvivalentnih dužina:

$$H_{man} = H_g + \sum_{gub} = 120 + 20,6 = 140,6 \approx 141 \text{ (m)}$$

ili izraženo pritiskom

$$H_{man} = (120 \rho g + 2,02 \cdot 10^5) = (120 \cdot 1000 \cdot 9,81 + 2,02 \cdot 10^5) = \\ = 13,79 \cdot 10^5 \text{ (Pa)}$$

b) Preko koeficijenta lokalnog otpora

$$H_{man} = 120 + 17 = 137 \text{ (m)}$$

ili izraženo pritiskom:

$$H_{man} = (120 \rho g + 1,7 \cdot 10^5) = (120 \cdot 1000 \cdot 9,81 + 1,7 \cdot 10^5) = 13,47 \cdot 10^5 \text{ (Pa)}$$

Preko usisane manometarske visine

$$H_{man_u} = H_{gu} + H_{gub_u} = 5 + \left(0,0274 \frac{10}{0,1} + 1,2 \cdot 0,0165 \cdot \frac{44,8}{0,1} \right) \frac{1,91^2}{2 \cdot 9,81} = 7,2 \text{ (m)}$$

ili izraženo pritiskom:

$$H_{man_u} = (5 \cdot 1000 \cdot 9,81) + \left(0,0274 \frac{10}{0,1} + 1,2 \cdot 0,0165 \cdot \frac{44,8}{0,1} \right) \frac{1,91^2}{2} \cdot 1000 \\ H_{man_u} = 0,703 \cdot 10^5 \text{ (Pa)}$$

Tabela 17. *Vrednost ekvivalentnih dužina*

Nominalni d (mm)	10	100	150	200	250	360	400	500
Glatke krivine od 90°	2	3,7	6	7,5	9	11,2	16,6	21
Normalne krivine od liv.gvožđa	4,8	11,2	18,7	27	36	44	66	82
Normalni prolazni ventili	19,5	46	75	110	150	195	250	400
Normalni ugaoni ventili	15	30	48	67	91	115	172	225
Ventili za zatvaranje	3	6,7	12	16,5	21,5	27	40	69
Patent. prolazni ventil	0,7	1,6	3	4	5,2	6,7	12	13,5
Protivpovratni ventil	4,8	11,2	18,7	27	36	45	66	89

Tabela 18. Vrednosti koeficijenta r/d

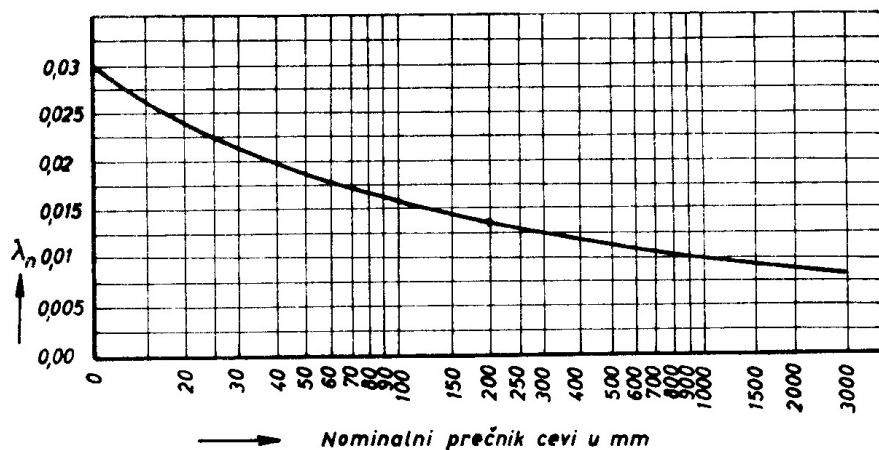
$\alpha^\circ \backslash r/d$	1	2	3	4	6	10
22,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
45	0,14	0,10	0,09	0,08	0,075	0,07
60	0,19	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07
90	0,23	0,14	0,125	0,11	0,09	0,08

Tabela 19. Vrednosti koeficijenta ξ zavisno od ugla β

β°	10	20	30	40	45	50	60	70
ξ	0,52	1,54	3,91	10,3	18,7	32,6	118	751

Tabela 20. Vrednosti koeficijenta ξ zavisno od prečnika D

D (mm)	13	19	25	32	38	50	75	100	200
ξ	10,8	6,9	6,1	6,0	5,8	4,6	3,6	3,1	2,7



Sl. 26. Nomogram za određivanje prečnika cevi

LITERATURA

- [1] V. Jovičić, A. Čović: ODVODNJAVANJE RUDNIKA, Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu, 1985. godine
- [2] A. Čović: ODVODNJAVANJE RUDNIKA, Kurs specijalizacije, RGF-Beograd, 1985. godine.
- [3] S. Simić, D. Mršović, V. Pavlović: ODVODNJAVANJE POVRŠINSKIH KOPOVA, Rudarski institut-Beograd, 1984. godine.

SADRŽAJ

ODVODNJAVANJE U RUDARSTVU PRAKTIKUM SA ZBIRKOM REŠENIH ZADATAKA	3
1. RUDNIČKE VODE	4
2. DOTOCI VODE KOD BUNARA	5
2.1. Proračuni bunara i bušotina	6
3. ODREĐIVANJE PRITOKA VODE U JAMSKE PROSTORIJE	10
3.1. Određivanje prognoznog pritoka vode po veličini sniženja nivoa podzemnih voda	10
3.2. Određivanje pritoka vode po specifičnom pritoku i dimenzijama jamskih prostorija	10
4. NAČINI INFORMATIVNOG BUŠENJA	11
5. VODNE BARAŽE	15
5.1. Proračun drvenih baraža	15
5.2. Proračun zidanih baraža	17
5.3. Proračun betonskih baraža	20
5.4. Primeri proračuna drvenih baraža	23
5.5. Primeri proračuna zidanih baraža	23
5.6. Primeri proračuna betonskih baraža	28
6. ODVODNJAVANJE OKANA	34
6.1. Odvodnjavanje okana pomoću pumpi	34
6.2. Odvodnjavanje pomoću erlifta	41
6.3. Odvodnjavanje pomoću hidroelevatora	43
6.4. Primeri proračuna odvodnjavanja pri izradi okana	44
7. KANALI ZA ODVODNJAVANJE	52
7.1. Primeri proračuna kanala za odvodnjavanje	55
8. TALOŽNICI	62
8.1. Primeri proračuna taložnika	63
9. VODOSABIRNICI	65
9.1. Primeri proračuna vodosabirnika	66
10. PUMPNE KOMORE	68
10.1. Primeri proračuna pumpne komore	68
11. IZBOR CEVOVODA ZA ODVODNJAVANJE	70
12. RUDNIČKE PUMPE	71
13. PRORAČUN VISINE PUMPANJA	79
13.1 Primeri proračuna visine pumpanja	79
LITERATURA	84