L. Paal, A. Aitsam

HÜDRAULIKA ülesannete kogu

Tallinn 1966

2/72447

A-28213

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Sanitaartehnika ja hüdraulika kateeder

L. Paal, A. Aitsam

HÜDRAULIKA ÜLESANNETE KOGU

Tallinn
1966

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра гидравлики и сантехники

Л. Пааль и А. Айтсам

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ГИДРАВЛИКЕ
На эстонском языке

F2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
72447

Täienduste ja parandustega kordustrükk

Vastutav toimetaja H. Tibar

Trükkimisele antud 28.IV 66. Paber 60x84, 1/16
Trükipg. 6,75. Tingpg.6,18. Tiraaž 1000.
MB-04265. TPI rotaprint, 1966. Tell.196
Hind 20 kop.

S i s s e j u h a t u s

Käesolev ülesannete kogu sisaldab 136 ülesannet hüdraulika üldkursuse ulatuses. Ülesannete kogu iga osa ees on toodud lühike selgitav lõik koos vajalike valemitega. Torustike arvutamise hõlbustamiseks on lisades antud arvutustabelid.

Ülesannete kogu koostamisel on kasutatud järgmisi materjale:

И.И. Куколевский, Задачник по гидравлике, 1956.

А.В. Соколов, Задачи по гидравлике, 1956.

С.Б. Старк, Основы гидравлики , насосы и воздуходувные машины, 1954.

Н.А. Панчурин, Сборник задач по гидравлике, ч. I, 1953.

I. Hüdrostaatika

§ 1. Hüdrostaatiline rõhk

Hüdrostaatiline rõhk p antud vedeliku punktis on avaldatav valemiga

$$p = \lim_{d\omega \to 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta \omega}\right) = \frac{dP}{d\omega}, \qquad (1 - 1)$$

kus P on vedeliku rõhujõud pinnale.

Hüdrostaatiline rõhk mõjub risti pinnale (pinna sisemise normaali suunas) ja tema suurus ei olene pinna orientatsioonist ruumis. Rõhk oleneb ainult antud punkti koordinaatidest ja vedeliku tihedusest

$$p = f(\rho, x, y, z). \qquad (1 - 2)$$

Rõhu dimensiooniks on jõud pinnale, s. o. kG/cm^2, kG/m^2, t/m^2 jne.[1]

[1] Vt. mõõtühikute tabel - lisa VI.

Vedelikule mõjuvatest välisjõududest tingitud rõhku seisvas vedelikus nimetatakse absoluutseks rõhuks (p_a) ja väljendatakse harilikult absoluutsetes atmosfäärides (ata).

Rõhku võib arvutada ka tinglikust nullist, milleks tavaliselt võetakse atmosfäärirõhk (p_{at} = 1 kG/cm^2). Viimasel juhul saame ülerõhu ($p_ü$), mis näitab tegeliku rõhu erinevust atmosfäärirõhust (atü), s. o.

$$p_ü = p_a - p_{at}. \qquad (1 - 3)$$

Kui absoluutne rõhk on atmosfäärirõhust väiksem, on ülerõhk negatiivne suurus. Atmosfääri- ja absoluutse rõhu vahet nimetatakse vaakuumiks (p_v), mis avaldub järgmiselt:

$$p_v = p_{at} - p_a \qquad (1 - 4)$$

ehk

$$p_v = - p_ü . \qquad (1 - 5)$$

Kokkusurumatus, liikumatus vedelikus on rõhujaotus (2) avaldatav valemiga (joon. 1)

$$p_{a2} = p_{a1} + \gamma h = p_{at} + \gamma H, \qquad (1 - 6)$$

kus p_{a1} on absoluutne rõhk meelevaldses punktis 1;

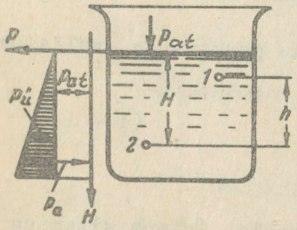
p_{a2} - absoluutne rõhk punktis 2;

γ - vedeliku erikaal kG/m^3.

Ülerõhk punktis 2 on

$$p_ü = \gamma H, \qquad (1 - 7)$$

kus H on punkti 2 kaugus veepinnast.



Joon. 1

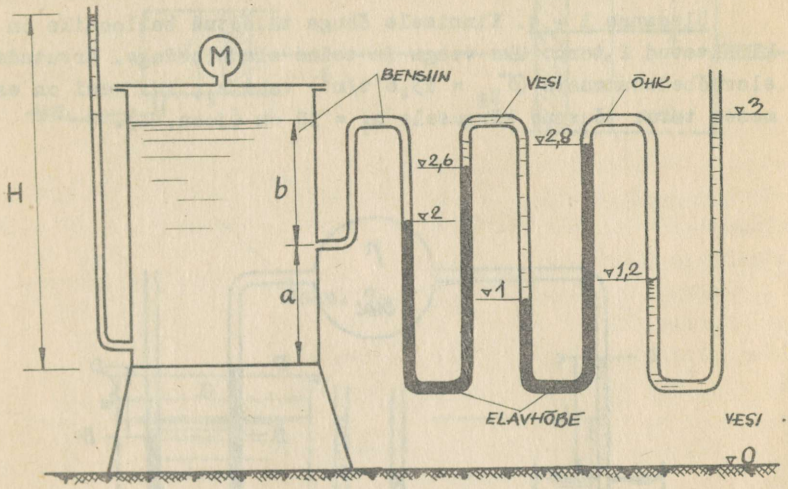
Seega võib hüdrostaatilist rõhku vedeliku antud punktis avaldada vedelikusamba kõrguse kaudu järgmiselt:

$$\frac{p_a - p_{at}}{\gamma} = \frac{p}{\gamma} = H, \qquad (1 - 8)$$

mida nimetatakse piesomeetriliseks kõrguseks.

Ülesanne 1 - 1. Reservuaarile, mis on täidetud bensiiniga (γ_b = 700 kG/m^3) kõrguseni a + b = 1,9 m, on kinnitatud kolm erinevat seadet rõhu mõõtmiseks (joon. 2). Reservuaari kaanele on kinnitatud metallmanomeeter, külgseinale põhja juurde pie-

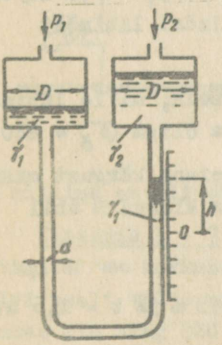
someeter ja teisele külgseinale sügavusel b = 1,3 m kolmekordne diferentsiaalmanomeeter, mis täidetud elavhõbeda (δ_{Hg}=13600 kG/m^3), vee (δ = 1000 kG/m^3) ja õhuga ($\delta_{\text{õ}} \approx 0$).



Joon. 2

Arvutada metallmanomeetri lugem M ja bensiinisamba kõrgus H piesomeetris, kui vedeliku pinnad kolmekordses diferentsiaalmanomeetris on joonisel näidatud kõrgusel (vedelike pinnad on antud meetrites põrandast).

Ülesanne 1 - 2. Kahe vedelikuga mikromeeter koosneb U torust läbimõõduga d = 5 mm. Manomeeter on ühendatud anumatega, millede läbimõõt D = 50 mm (joon. 3). Seade on täidetud kahe mitteseguneva ja lähedaste erikaaludega vedelikuga: etüülpiirituse vesilahuse (δ_1 = 870 kG/m^3) ja petrooleumiga (δ_2 = 830 kG/m^3).



Joon. 3

Anda seos mikromanomeetriga mõõdetava gaasi rõhkude vahe $\Delta p = p_1 - p_2$ ja vedelike lahutustasapinna paigutuse h vahel. Arvutada Δp, kui h=280 mm.

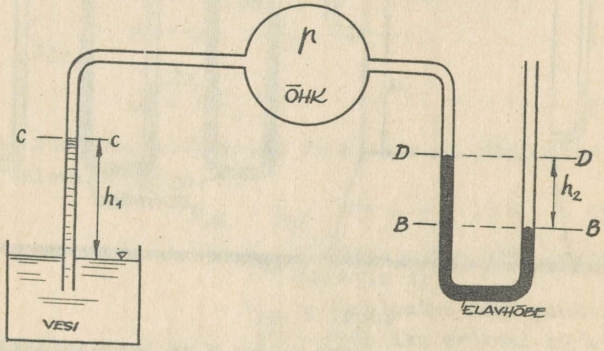
Näidata, mitu korda väheneb h antud Δ p juures, kui

a) puuduvad ülemised anumad;

b) seade on täidetud ainult vedelikuga γ_1.

Ülesanne 1 - 3. Meres 300 m sügavusel mõõdetud ülerõhk $p_ü = 31,5$ kG/cm^2. Arvutada merevee erikaal.

Ülesanne 1 - 4. Kinnisele õhuga täidetud balloonile on kinnitatud 2 toru: üks veega ja teine elavhõbedaga. Arvutada elavhõbedasammaste ($\gamma_{Hg} = 13,6$ t/m^3) vahe h_2, kui vesi on esimeses torus tõusnud kõrgusele $h_1 = 30$ cm (joon. 4).



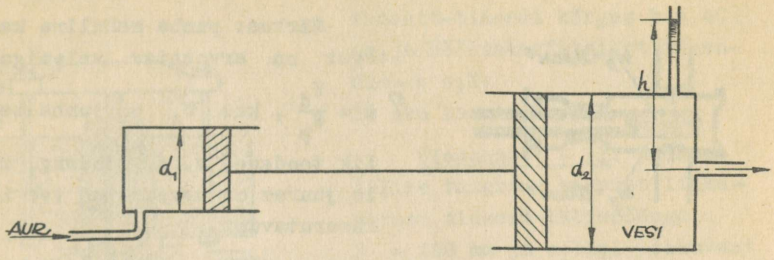
Joon. 4

Ülesanne 1 - 5. Kui suur on auruga töötava kolbpumba rõhk h, kui manomeetriline rõhk aurusilindris $p_1 = 2,5$ kG/cm^2. Aurusilindri läbimõõt $d_1 = 12$ cm ja veesilindri läbimõõt $d_2 = 20$ cm (joon. 5).

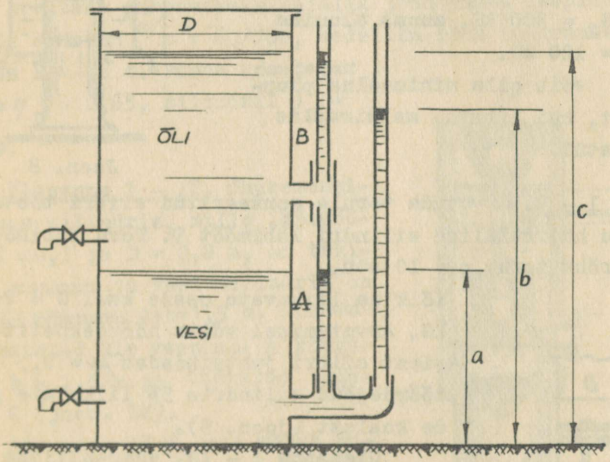
Ülesanne 1 - 6. Silindriline settebassein, mille läbimõõt D = 0,4 m, on täidetud veega kõrguseni a ja õliga ($\gamma_õ = 840$ kG/m^3) kõrguseni C. Vee ja õli lahutustasapinna kõrgust määratakse mõõteklaasi A abil, aga õli tasapinda klaasi B abil (joon. 6).

Arvutada:

1) vee ja õli maht settebasseinis, kui a = 0,5 m ja b = 1,6 m;



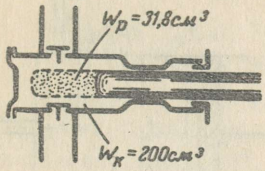
Joon. 5



Joon. 6

2) milline on õli erikaal, kui a = 0,2 m, c = 1,4 m ja b = 1,2 m.

Ülesanne 1 - 7. Arvutada kolbpumba mahuline kasutegur, mis on tingitud vee kokkusurumisest pumbas, kui pumba maht W_k = 200 cm^3. Kolvi poolt väljasurutud vee maht on W_p = 31,8 cm^3 ja rõhk pumbas 210 ning 320 atü. Vee mahuline elastsusmoodul E = 21 000 kG/cm^2. Pumba korpus on jäik (joon. 7).



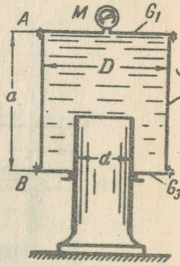
Joon. 7

Märkus: pumba mahuline kasutegur on arvutatav valemiga $\eta_m = \frac{W_d}{W_p}$, kus W_d on pumba tegelik toodang, s. o. toodang, mille juures on arvestatud vee kokkusurutavust.

Ülesanne 1 - 8. Silindriline anum, läbimõõduga D = 0,2 m ja kõrgusega a = 0,4 m, on täidetud veega ja toetub d = 0,10 m läbimõõduga plunžerile (joon. 8).

Arvutada manomeetri lugem M ja jõud poldigruppides A ja B, kui anuma ülemise kaane kaal G_1 = 150 kG, silindrilise osa kaal G_2 = 300 kG, anuma alumise osa kaal G_3 = 120 kG.

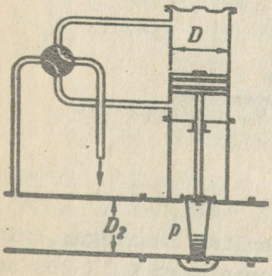
Milline võib olla minimaalne plunžeri läbimõõt, kui lubatud maksimaalne rõhk M = 30 atü?



Joon. 8

Ülesanne 1 - 9. Arvutada torule monteeritud siibri tõstmiseks vajaliku hüdraulilise silindri läbimõõt D. Toru läbimõõt D_2 = 1 m ja rõhk torus p = 10 atü.

Kõikide liikuvate osade kaal G = 200 kG. Arvutamisel võtta hõõrdekoefitsient siibri juhtpindades μ = 0,3 ja hõõrdejõud silindris 5% liikuvate osade kaalust (joon. 9).

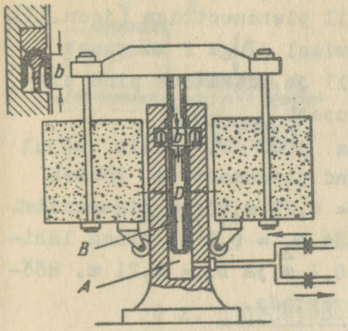


Joon. 9

Ülesanne 1 - 10. Hüdraulilise akumulaatori laadimisel pumpab pump vett silindrisse A, tõstes plunžeri B koos koormusega üles. Akumulaatori tühjendamisel liigub plunžer alla ja vee maht silindris A väheneb (joon. 10).

Arvutada:

1) vee rõhk aku laadimisel ja tühjendamisel, kui plunžeri ja lisaraskuse kogukaal P = 100 t;



Joon. 10

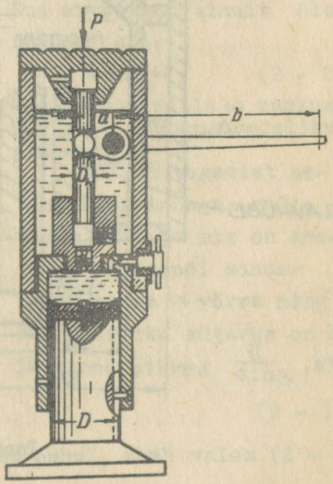
plunžeri läbimõõt D = 400 mm, mansett-tihendi kõrgus b = 40 mm ja hõõrdekoefitsient tihendis μ = 0,1;
2) aku kasutegur.

Ülesanne 1 - 11. Hüdrauliline tungraud koosneb liikumatust alusest läbimõõduga D = 200 mm ja sellel liikuvast kahekambrilisest silindrist. Silindri alumisele osale on kinnitatud D_h = 20 mm läbimõõduga plunžerpump. Silindri ülemises osas on vedeliku reservuaar (joon. 11).

Arvutada pumpamiseks vajalik jõud pumba käepidemele, kui õlgade suhe on $^{a}/_{b}$ = 60/700, vedeliku rõhk tungrauas koormuse juures P = 12 t. Pumba kasutegur võtta η_p = 0,65, silindril η_s = = 0,9.

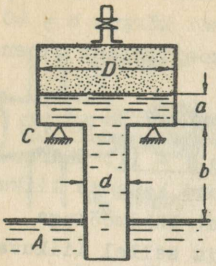
Ülesanne 1 - 12. Õhukeseseinalises silindris, mille läbimõõdud d = 0,3 ja D = 0,8 m, on tekitatud vaakuum ja vesi silindris on tõusnud kõrguseni a+b=1,9 m. Silinder on asetatud üle veepinna A kõrgusele b = 1,5 m ja toetatud tugedele C (joon. 12).

Arvutada jõud, mis mõjub tugedele C, kui silindri omakaal G = 100 kG.



Joon. 11

Ülesanne 1 - 13. Väikeste jõudude mõõtmiseks kasutatakse vedeliku dünamomeetrit, mis koosneb mingisuguse kõrguseni elavhõbedaga täidetud anumast A ja elavhõbedasse asetatud kuplist G. Ruum kupli all on täidetud pii-

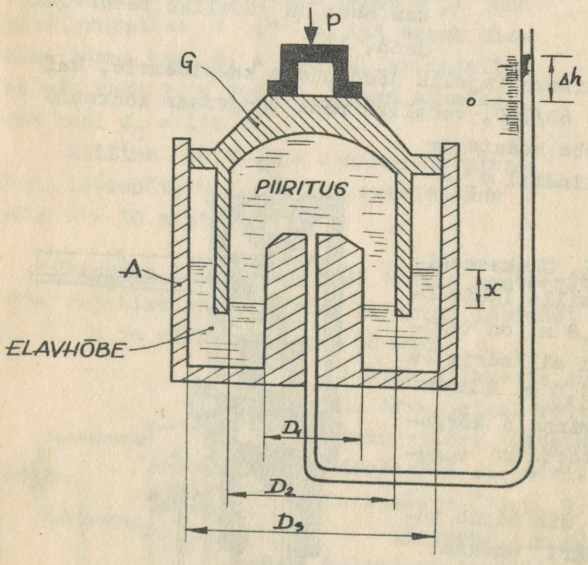


Joon. 12

ritusega (δ = 0,8 t/m^3) ja ühendatud klaastoru abil piesomeetriga (joon.13). Kupli koormamisel jõuga P suureneb rõhk kupli all ja piirituse pind piesomeetris tõuseb.

Arvutada jõud P, mille mõjul piirituse pind piesomeetris tõuseb kõrguse Δh = 0,25 m võrra algasendist. Kupli läbimõõt D_2 = 0,2 m, anuma läbimõõdud D_1 = 0,1 m ja D_3 = 0,21 m. Hõõret mitte arvestada.

Ülesanne 1 - 14. Õhukeseseinaline kuppel, läbimõõduga D = 3m

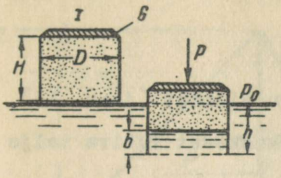


Joon. 13

ja kõrgusega H = 2 m, on massiivse põhjaga. Kuppel lastakse vette I asendist, kus ta on täidetud atmosfäärirõhuga (joon. 14).

Arvutada:

1) kupli süvis h ja tema täitumine veega b, kui kupli kaal on 10 t. Atmosfäärirõhk võtta 750 mm elavhõbedasammast;



Joon. 14

2) täiendav jõud P, mis on vajalik kupli uputamiseks (h = H). Õhu temperatuur kupli all on konstantne.

§ 2. Hüdrostaatiline rõhujõud tasapinnale

Hüdrostaatiline rõhujõud tasapinnalisele seinale (joon.15) arvutatakse valemiga

$$P = p_c \omega , \qquad (2 - 1)$$

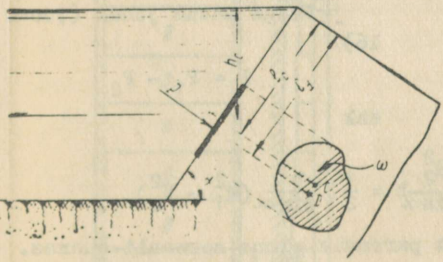
kus p_c on rõhk seina raskuskeskmes C;

ω - seina pindala.

Kui arvestada ainult ülerõhuga, siis

$$P = \gamma h_c \omega , \qquad (2 - 2)$$

kus h_c on pindala ω raskuskeskme c sügavus vedeliku pinnast.



Joon. 15

Kui on tegemist nelinurkse pinnaga, mille laius on b ja mis on asetatud horisondi suhtes kaldu nurga α võrra ning kui vedeliku sügavus on H ja pinna pikkus $\frac{H}{\sin\alpha}$, siis

$$P = \frac{1}{2} \gamma \frac{H^2}{\sin\alpha} b. \qquad (2 - 3)$$

Kui $\alpha = 90^\circ$, s. o. vertikaalseina puhul, saab valem (2 - 3) kuju

$$P = \frac{1}{2} \gamma H^2 b. \qquad (2 - 4)$$

Punkti, kuhu rakendub alati pinna normaali suunas mõjuv rõhujõud P, nimetatakse rõhukeskmeks D.

Kui arvestada ainult ülerõhku, siis rõhukeskme kaugus l_d

(joon. 15) on arvutatav valemiga:

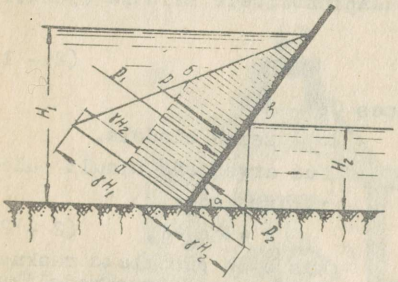
$$l_d = l_c + \frac{I_c}{\omega l_c}, \qquad (2 - 5)$$

kus l_c on raskuskeskme kaugus vedeliku pinnast (joon. 15),

I_c - pinna inertsmoment pinna raskuskeset läbiva telje suhtes.

Suurust $e = \frac{I_c}{\omega l_c}$ nimetatakse hüdrostaatilise rõhu ekstsentrilisuseks ja ta on alati positiivne, s.t. rõhukese asetseb alati allpool pinna raskuskeset.

Hüdrostaatilise rõhujõu leidmiseks on sageli sobiv kasutada rõhu epüüri, mis annab hea ettekujutuse rõhujaotusest, suurusest ja mõjumise suunast.



Joon. 16

Juhul, kui tasapinnalise seina mõlemal pool on vedelik (joon. 16), arvutatakse summaarne rõhujõud vasakult ja paremalt mõjuvate rõhujõudude vahena.

Seega antud juhul (joon. 16)

$$P = P_1 - P_2$$

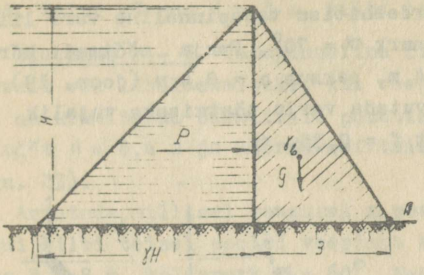
ehk

$$P = \frac{1}{2}\gamma\frac{H_1^2}{\sin\alpha}b - \frac{1}{2}\gamma\frac{H_2^2}{\sin\alpha}b = \frac{1}{2}\gamma\frac{b}{\sin\alpha}(H_1^2 - H_2^2)$$

ja jõud P on suunatud vasakult paremale pinna normaali suunas.

Ülesanne 2 - 1. Arvutada kolmnurkse profiiliga paisu põhja laius B tingimusel, et pais oleks ümberlükkamisele püsiv punkti A suhtes. Arvutamisel lähtuda 1 m paisu pikkusest, kusjuures H = 5,0 m ja betooni mahukaal $\gamma_b = 2{,}2$ t/m^3. Ümberlükkamisel tagavarakoefitsient võtta k = 1,50 (joon. 17).

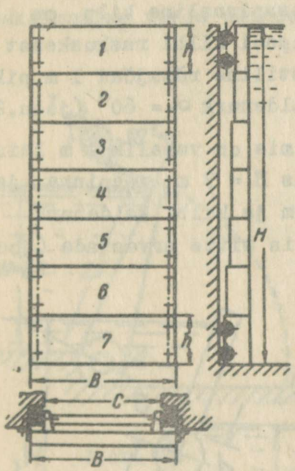
Ülesanne 2 - 2. Paisu on tehtud nelinurkne väljalõige H x C, mille kaudu vesi voolab turbiini (joon. 18). Turbiinide remondi ajal ava suletakse 7 šandooriga, kusjuures üksiku šandoori mõõtmed h x B = 1,2 x 3,4 m^2. Kõikidel šandooridel on 2 paari rullrattaid.



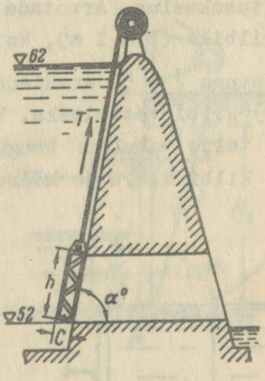
Joon. 17

Arvutada:

1) hüdrostaatiline rõhujõud esimesele ja seitsmendale šandoorile ning maksimaalne paindemoment juhul, kui rattad asuvad šandoori otstes;



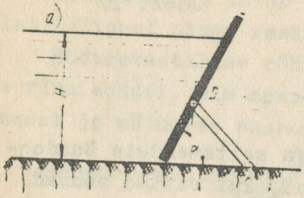
Joon. 18



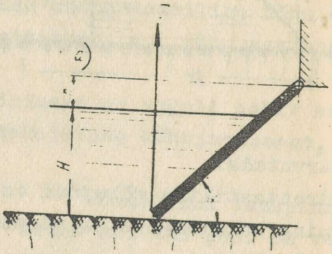
Joon. 19

2) millisele vertikaalkaugusele Δ h šandoori raskuskeskmest tuleks asetada üks paar rattaid senise kahe paari asemel, et ei rikutaks šandoori tasakaalu antud asendis.

Ülesanne 2 - 3. Veehaardeehitise tasapinnaline vari liigub kaldpinnal, mille kaldenurk $\alpha = 70^{\circ}$. Varja mõõtmed: kõrgus h = 1,8 m, laius b = 2,4 m, paksus c = 0,4 m (joon. 19). Varja omakaal G = 2,0 t. Arvutada varja tõstmiseks vajalik jõud T, kui hõõrdekoefitsient f = 0,35.



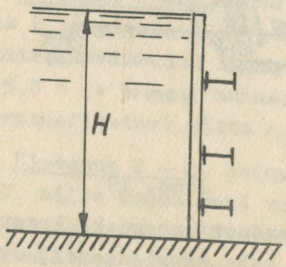
Joon. 20



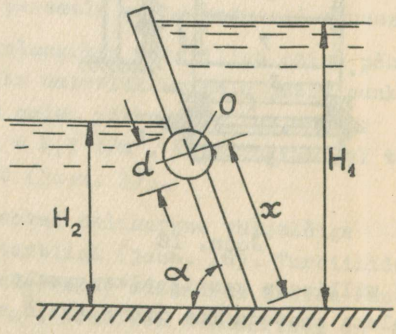
Joon. 21

Ülesanne 2 - 4. Kaldu asetatud tasapinnaline kilp on toetatud punktis D, mis asub 20 cm allpool kilbi raskuskeset C. Kilp on tasakaalus. Arvutada hüdrostaatiline rõhujõud 1 m pikkusega kilbile (b = 1 m), kui kilbi kaldenurk $\alpha = 60^{\circ}$ (joon.20).

Ülesanne 2 - 5. Arvutada jõud T, mis on vajalik 1 m laiuse (b = 1 m) kilbi tõstmiseks. Vee sügavus H = 3 m, veepinna ja šarniiri telje vaheline kaugus h = 1,0 m ja kilbi kaldenurk $\alpha = 60^{\circ}$. Kilbi kaalu ja hõõret šarniiris mitte arvestada (joon. 21).



Joon. 22



Joon. 23

Ülesanne 2 - 6. Asetada vertikaalseina kolm horisontaalset kandetala selliselt, et talad oleksid võrdselt koormatud. Kilbi kõrgus H = 3 m, kilbi laius 5 m (joon. 22).

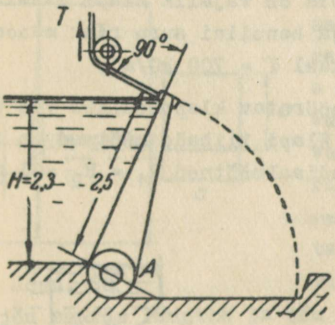
Ülesanne 2 - 7. Tasapinnaline kilp peab pöörduma automaatselt vee läbilaskmiseks, kui veepinna kõrgus $H_1 \geqslant 6$ m. Kilp on kinnitatud šarniirile punktis 0, kusjuures šarniiri läbimõõt d = 0,4 m ja hõõrdekoefitsient šarniiris f = 0,2 (joon. 23).

Arvutada, millisel kaugusel x peab asetsema šarniiri telg 0, kui kilbi teisel poolel veepinna kõrgus H_2 = 3 m. Kilbi laius B = 8 m, kaldenurk $\alpha = 60^\circ$. Kui suur jõud mõjub šarniiridele?

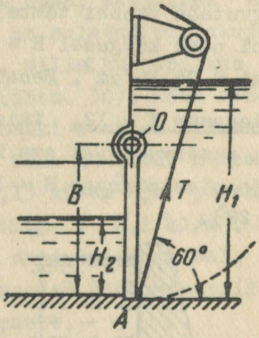
Ülesanne 2 - 8. Tasapinnalise klappsulu 2,5 x 10 m^2 abil hoitakse paisutusvee pind kõrgusel H = 2,3 m (joon. 24).

Arvutada:

1) varja hoidmisel antud asendis trossis T tekkiv summaarne jõud;
2) maksimaalne varja paindemoment ja reaktsioon šarniiris A.



Joon. 24



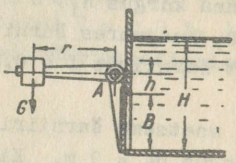
Joon. 25

Ülesanne 2 - 9. Tasapinnaline nelinurkne kilp mõõtmetega B x L = 3 x 4 m^2 sulgeb paisu ava. Paremal pool kilpi on veepinna kõrgus H_1 = 5 m, vasakul pool H_2 = 2 m. (joon. 25).

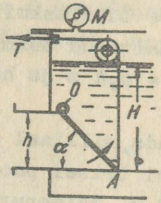
Arvutada:

1) kilbi tõstmiseks vajalik trossi tõmbejõud;
2) millise jõuga P_4 surutakse kilp vastu tuge A suletud olekus.

Ülesanne 2 - 10. Nelinurkne ava B x B = 1 x 1 m^2 vertikaalseinas suletakse kilbiga. Kilp surutakse vastu seina vastukaaluga G, mille õlg r = 1,5 m (joon. 26).



Joon. 26



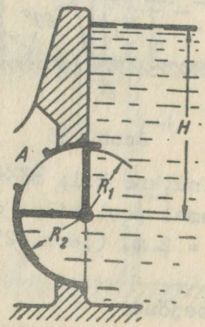
Joon. 27

Arvutada vastukaalu G suurus, mis on vajalik veepinna hoidmiseks kõrgusel H = 2 m, kui kaugus h = 0,3 m. Leida reaktsioonijõud liigendis A.

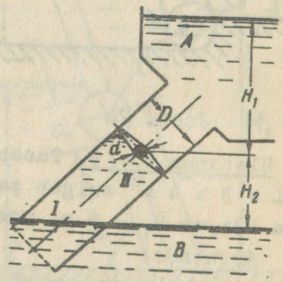
Ülesanne 2 - 11. Pöörduv klapp AO sulgeb väljavoolu bensiinihoidlast ruudukujulise ristlõikega torusse h = 0,3 m. Klapp on kinnitatud šarniirselt punktis O ja asetseb nurga all $\alpha = 45^{\circ}$ (joon. 27).

Arvutada trossi tõmbejõud T, mis on vajalik klapi avamiseks. Bensiini pind kõrgusel H = 0,85 m ja bensiini auru rõhk manomeetri järgi 0,05 kG/cm^2. Bensiini erikaal δ = 700 kG/m^3.

Ülesanne 2 - 12. Täisnurkne pööratav klapp sulgeb vee väljavoolu reservuaarist ava kaudu A. Klapi tiibade mõõtmed on : risti joonise pinnaga B = 1 m ja raadiaalmõõtmed $R_1 = R_2 = 1$ m (joon. 28).



Joon. 28



Joon. 29

Arvutada:

1) klapile mõjuv hüdrostaatiline rõhujõud ja selle jõu moment klapi telje suhtes, mis asub H = 2,5 m võrra allpool veepinda;

2) millise pikkuse R_2 juures rõhujõudude moment telje suhtes võrdub nulliga.

Ülesanne 2 - 13. Torusse D = 1 m, mis asetseb 45^0 nurga all ja ühendab reservuaare A ja B, on asetatud ketasklapp (joon. 29). Arvutada klapi avamiseks vajalik algmoment M, kui klapi laagrite läbimõõt d = 0,15 m ja hõõrdekoefitsient laagrites f = 0,2. Klapi avamine toimub kellaosuti liikumisele vastassuunas.

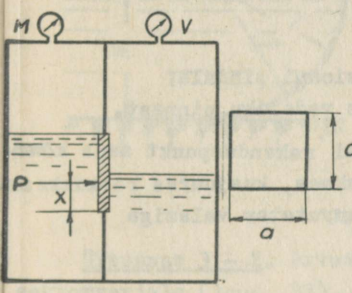
Ülesanne lahendada juhtudel, kui

1) torus klapi all ei ole vett ja klapile mõjub alt atmosfääririõhk ning

2) torus klapi all on vesi.

Kõrgused H_1 = 1,2 m ja H_2 = 2,0 m.

Ülesanne 2 - 14. Suletud reservuaar on täidetud naftaga (γ = 900 kG/m^3). Reservuaar on jagatud kahte ossa, kusjuures vaheseinas ava on suletud ruudukujulise luugiga, mille küljepikkus a = 1,0 m (joon. 30). Rõhk reservuaari kummaski osas on erinev: vasakul on rõhk määratud manomeetriga M = 0,15 kG/cm^2 ja paremal vaakuummeetriga V = 0,1 kG/m^2. Nafta pind on näidatud joonisel. Arvutada summaarse hüdrostaatilise rõhujõu suurus luugile ja jõu rakenduspunkt.



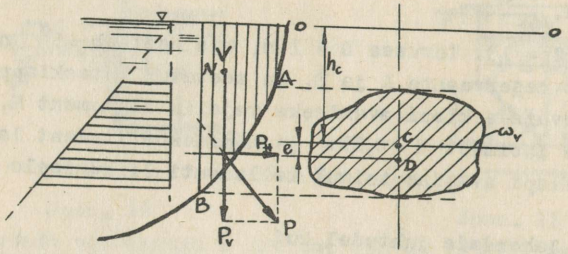
Joon. 30

§ 3. Hüdrostaatiline rõhujõud kõverpinnale

Hüdrostaatilist rõhujõudu kõverpinnalisele kujundile võib vaadelda kui pinna igas punktis pinnale risti olevate elementaarrõhujõudude summat $\Sigma pd\omega$.

Praktikas esinevate ülesannete puhul (näit. kera ja silind-

rilised pinnad) võib elementaarrõhujõudude summat alati vaadelda kui ühte tasakaalustavat jõudu P. Jõu P suurus ja suund arvutatakse sel juhul horisontaalse ja vertikaalse komponendi geomeetrilise summana (joon. 31).



Joon. 31

Horisontaalne rõhujõu komponent kõverpinnale arvutatakse kui rõhujõud vertikaalsele tasapinnale, mille moodustab kõverpinna projektsioon vertikaalpinnal.

$$P_h = \delta h_c \omega_v ,$$

kus ω_v - kõverpinna vertikaalprojektsiooni pindala;

h_c - pinna ω_v raskuskeskme kaugus vedeliku pinnast.

Horisontaalse rõhujõu komponendi rakenduspunkt asub kõverpinna vertikaalprojektsiooni rõhukeskmes, kusjuures raskuskeskme ja rõhukeskme vaheline kaugus on arvutatav valemiga

$$e = \frac{I_c}{\omega_v h_c} ,$$

kus I_c - kõverpinna vertikaalprojektsiooni ω_v inertsmoment raskuskeset läbiva telje suhtes.

Rõhujõu vertikaalne komponent P_v kõverpinnale võrdub kõverpinnal oleva tegeliku või näiva vedeliku kaaluga (joon. 31 vertikaalselt viirutatud pind) ja on avaldatav

$$P_v = \delta V,$$

kus V on vedeliku maht kõverpinnal.

Rõhujõu vertikaalse komponendi P_v rakenduspunkt asub vedeliku mahu V raskuskeskmes N.

Summaarne rõhujõud on geomeetriline summa komponentidest P_H ja P_v (tasapinnalise ülesande puhul):

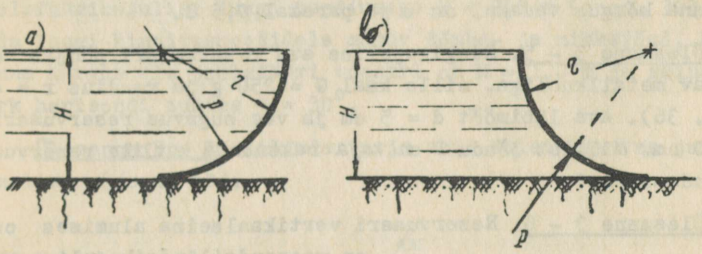
$$P = \sqrt{P_H^2 + P_v^2},$$

kusjuures jõu P mõjumise suund läbib komponentide P_H ja P_v suundade ristumispunkti.

Rõhujõu P mõjumise suuna kaldenurka horisondi suhtes võib arvutada valemist

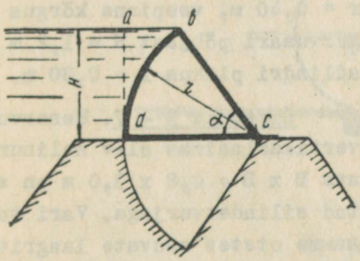
$$tg\varphi = \frac{P_v}{P_H}.$$

Ülesanne 3 - 1. Arvutada rõhujõu suurus ja näidata mõjumise suund silindrilisele pinnale (joon. 32a), mis on täidetud veega kõrguseni H = r = 2 m. Silindri pikkus on 1 m (b = 1 m). Ülesande variant joon. 32 b.

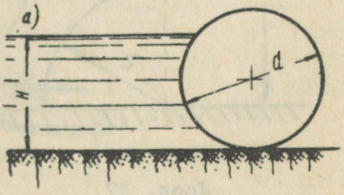


Joon. 32

Ülesanne 3 - 2. Arvutada rõhujõu suurus ja mõjumise suund sektorvarjale (joon. 33), kui H = 3 m ja $\alpha = 45^\circ$. Varja pikkus L = 5 m.



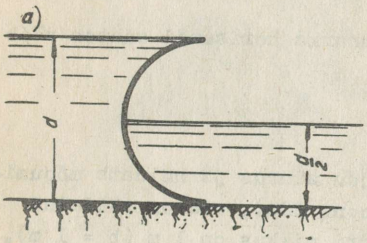
Joon. 33



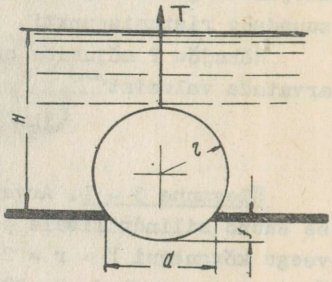
Joon. 34

Ülesanne 3 - 3. Kui suur jõud mõjub silindervarjale (joon. 34), kui varja läbimõõt d = 3 m ja vee sügavus ühel pool varja H = 2,5 m ? Varja pikkus L = 6 m. Millise nurga moodustab rõhujõu mõjumise suund horisondiga?

Ülesanne 3 - 4. Leida rõhujõu suurus ja suund d = 3 m läbimõõduga poolsilinderpinnale (joon. 35). Silindri pikkus L = 1 m, veepinna kõrgus vasakul on d ja paremal 0,5 d.



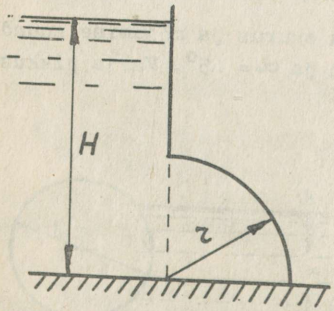
Joon. 35



Joon. 36

Ülesanne 3 - 5. Ringikujuline ava reservuaari põhjas on suletav metallkuuliga, mille kaal G = 250 g ja raadius r = 4 cm (joon. 36). Ava läbimõõt d = 5 cm ja vee sügavus reservuaaris H = 20 cm. Millist jõudu T on vaja rakendada kuulile reservuaari tühjendamiseks?

Ülesanne 3 - 6. Reservuaari vertikaalseina alumises osas on veerandsilindrikujuline ühendusosa (joon. 37). Arvutada rõhujõud veerandsilindrilisele seina osale, kui reservuaar on täidetud veega. Silindri raadius r = 0,40 m, veepinna kõrgus reservuaari põhjast H = 1,2 m ja silindri pikkus L = 0,80 m.



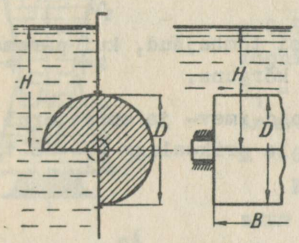
Joon. 37

Ülesanne 3 - 7. Reservuaari vertikaalseinas olev nelinurkne ava D x B = 0,8 x 3,0 m on suletud silindervarjaga. Vari toetatakse otstes asuvate laagritega.

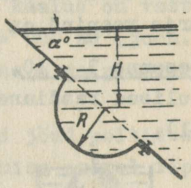
Arvutada:

1) laagritele mõjuv jõud ja vee poolt tekitatud pöördemoment, kui H = 1 m (joon. 38);

2) kuidas muutub laagritele mõjuv jõud ja varja pöördemoment, kui varja pöörata 180° võrra.



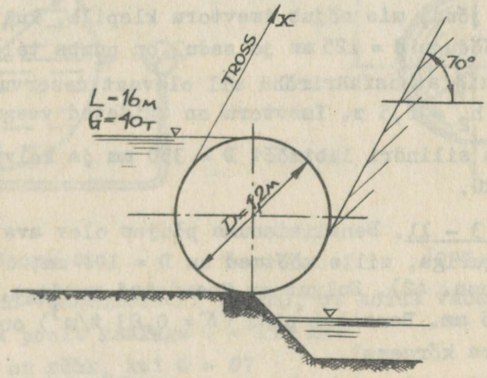
Joon. 38



Joon. 39

Ülesanne 3 - 8. Kaldu asetatud seina üks osa moodustab poolsfäärikujulise luugi raadiusega R = 0,5 m (joon. 39). Arvutada luugi kinnitusneetidele mõjuv tõmbe- ja nihkejõud, kui veepinna kõrgus üle poolsfääri tsentri on H = 1,0 m ja seina kaldenurk horisondi suhtes $\alpha = 30^{\circ}$.

Ülesanne 3 - 9. Silindervarja abil suletakse vee juurdevool kanalisse (joon. 40).



Joon. 40

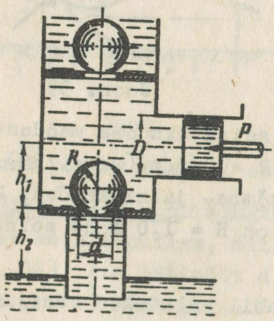
Arvutada:

1) hüdrostaatilise rõhujõu suurus ja suund silindervarjale, kui varja läbimõõt D = 1,2 m ja pikkus L = 16 m;

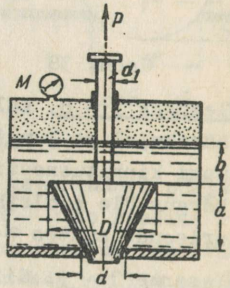
2) trossi tõmbejõud, mis on vajalik varja tõstmiseks mööda kaldpinda kaldenurgaga horisondi suhtes 70°. Varja kaal G = 40 t;

3) kuidas muutuvad rõhujõud ja trossi tõmbejõud, kui paremal pool varja veepind on varja tsentri kõrgune.

Ülesanne 3 - 10. Kolbpumba klapid imev- ja survetorul on kerakujulised raadiusega R = 100 mm ja erikaaluga δ_1 = 8 t/m^3 (joon. 41).



Joon. 41



Joon. 42

Arvutada jõud, mis mõjub imevtoru klapile, kui klapp asub sadulal läbimõõduga d = 125 mm ja sadul on pumba teljest h_1 = 0,5 m madalamal, kuid atmosfäärirõhu all olevast reservuaari veepinnast kõrgemal h_2 = 6,5 m. Imevtoru on täidetud veega.

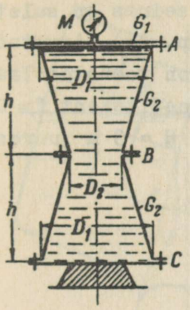
Kolbpumba silindri läbimõõt D = 350 mm ja kolvile mõjub jõud P = 400 kG.

Ülesanne 3 - 11. Bensiinianuma põhjas olev ava on suletud koonilise sulguriga, mille mõõtmed on D = 100 mm; d = 50 mm; a = 100 mm (joon. 42). Sulgur on ühendatud vardaga, mille läbimõõt d_1 = 25 mm. Bensiini pind (δ = 0,83 t/m^3) on sulgurist b = 50 mm võrra kõrgemal.

Arvestamata sulguri kaalu ja varda hõõret tihendis, arvutada:

1) sulguri tõstmiseks vajalik algjõud P, kui anuma manomeetri lugem M = 0,1 kG/cm^2;

2) õhurõhk anumas, mille juures jõud P võrduks nulliga.

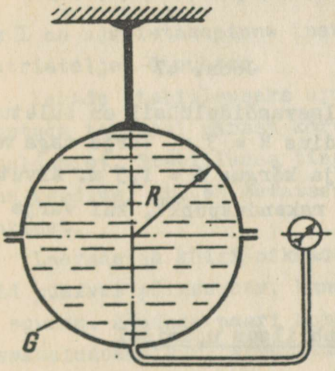


Joon. 43

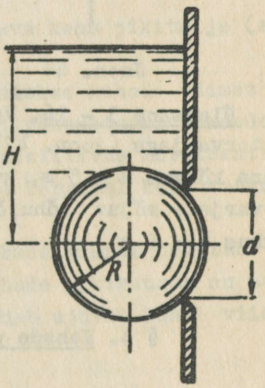
Ülesanne 3 - 12. Arvutada sümmeetrilise anuma hüdraulilisel proovimisel poldigruppidele A, B ja C mõjuvad jõud, kui anuma mõõtmed on D_1 = 1,8 m, D_2 = = 0,9 m, h = 1,2 m ja anuma kaante ning kooniliste külgede kaalud on vastavalt G_1 = 600 kG ja G_2 = 900 kG (joon. 43). Anum on täidetud veega ja proovirõhk M = 0,5 kG/cm^2.

Kuidas muutuvad jõud poltides, kui anum põhjast toetamise asemel riputada üles kaanest A ?

Ülesanne 3 - 13. Kuulikujuline veega täidetud anum raadiusega R = 0,4 m on üles riputatud anuma ülemise poole külge kinnitatud vardaga (joon. 44). Milline peab olema rõhk anuma



Joon. 44



Joon. 45

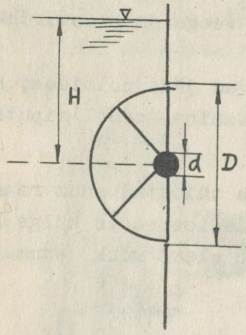
tsentris (mano-vaakuummeetri lugem), et hoida vabalt üleval anuma alumist poolt kaaluga G = 150 kG?

Milline on rõhk, kui G = 0?

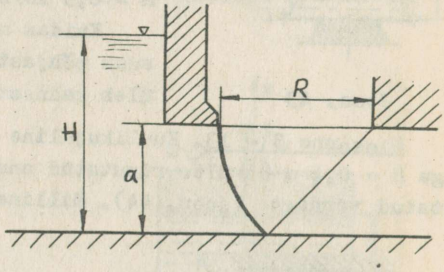
Ülesanne 3 - 14. Milline peab olema minimaalne veepind H anumas, et metallkuul (γ_1 = 8000 kG/ m^3) raadiusega R = 100 mm

sulgeks tasakaaluolekus vertikaalseinas oleva ava läbimõõduga d = 1,5 R (joon. 45) ?

Ülesanne 3 - 15. Nelinurkne ava vertikaalseinas on suletud silindervarjaga, mille läbimõõt D = 1,2 m (joon. 46). Arvutada varja avamisel ületada tulev moment, kui vari on toetatud laagritele läbimõõduga d = 100 mm ja laagri hõõrdekoefitsient f = 0,1. Milline jõud mõjub laagritele veepinna kõrguse H = 3 m juures? Varja pikkus L = 5 m.



Joon. 46



Joon. 47

Ülesanne 3 - 16. Veelaske ava laevasõidulüüsil on suletud sektorvarjaga (joon. 47), mille raadius R = 3 m. Varja taga veepinna kõrgus H = 5 m, kusjuures varja kõrgus a = 1,5 m. Arvutada varjale mõjuv rõhujõud ja selle rakenduspunkt, kui varja pikkus L = 5 m.

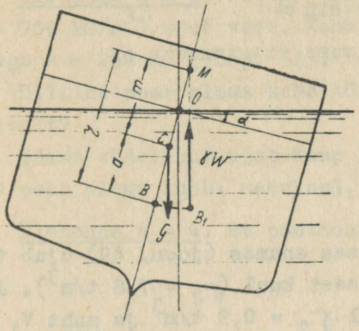
§ 4. Kehade ujuvus ja stabiilsus ujumisel

Archimedese seaduse järgi igale täielikult või osaliselt vedelikku asetatud kehale mõjub üleslükkejõud, mis võrdub keha poolt väljatõrjutud vedeliku kaalule. Üleslükkejõud (Archimedese jõud) on suunatud alt üles ja on arvutatav valemiga:

$$P = \gamma W,$$

kus W on keha poolt väljatõrjutud vedeliku maht.

Ujuvatel kehadel eraldatakse peale raskuskeskme C veel 2 punkti: rõhukese ja metatsenter. Rõhukese ehk vedeliku väl-



Joon. 48

jasurve-kese B on keha poolt väljatõrjutud vedeliku mahu raskuskese. Metatsentriks M nimetatakse tasakaalust väljaviidud ujuva keha ujumistelje ja üleslükkejõu mõjumissirge lõikepunkti (joon. 48). Ujuva keha metatsentri asukoht väikese kaldenurga puhul ($\sin\alpha \approx \alpha$) ei muutu.

Metatsentri ja rõhukeskme vahelist kaugust r nimetatakse metatsentriliseks raadiuseks ja ta on avaldatav valemiga

$$r = \frac{I}{W},$$

kus I on ujumistasapinna inertsmoment ujuva keha pikitelje (sümmeetriatelje) O suhtes.

Kehade stabiilsuseks ujumisel nimetatakse kehade võimet taastada tasakaal pärast kõrvalekaldumist põhjustanud jõudude eemaldumist. Stabiilsuse tingimuseks on positiivne metatsentriline raadius, s.t. et metatsenter asetseks kõrgemal keha raskuskeskmest.

Laevade ja kõigi pikkade ujuvate kehade juures huvitab meid püsivus põiksuunas, kuna püsivus kehade pikisuunas on palju suurem. Jõudude paari momenti, mis püüab ujuvat keha viia tasakaaluasendisse, arvutatakse valemist

$$M = \delta W m \sin\alpha,$$

kus m on metatsentriline kõrgus.

Seda avaldist nimetatakse stabiilsuse metatsentriliseks valemiks ja ta on arvutusteks küllalt täpne, kui $\alpha \leq 5^0$.

Paralleelsete poortidega laevade puhul avaldub metatsentriline kõrgus

$$m = \frac{J}{W} \mp a,$$

kus a on rõhukeskme ja raskuskeskme vaheline kaugus.

Viimasel juhul tasakaalustav moment

$$M = \gamma W \left(\frac{J}{W} \mp a\right) \sin \alpha$$

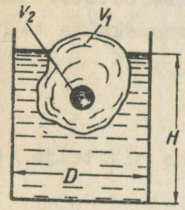
ja sellest järeldub, et stabiilsuse tingimuseks on

$$m = \frac{J}{W} \mp a > 0$$

ehk

$$\frac{r}{a} < 1.$$

Ülesanne 4 - 1. Silindrilises anumas (joon. 49) ujub tükk jääd, millesse on asetatud terasest kuul ($\gamma_2 = 7{,}8$ t/m^3). Jäätüki mahukaal $\gamma_1 = 0{,}9$ t/m^3 ja maht $V_1 = 12$ dm^3. Kuuli maht $V_2 = 50$ cm^3 ja anuma läbimõõt D = 500 mm.

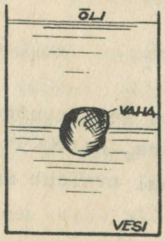


Joon. 49

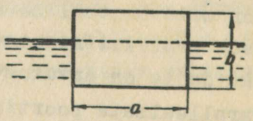
Arvutada:

1) milline osa summaarsest mahust (jää + teras) asub vee peal;
2) kuidas muutub anumas jää sulamisel vee sügavus H;
3) milline osa jää mahust asub vee peal, kui teraskuul eemaldada;
4) milline osa jää mahust asub vee peal, kui V_2 on asendatud õhuga.

Ülesanne 4 - 2. Anumasse, mis on täidetud õli ($\gamma_õ = 900$ kG/m^3) ja veega, on asetatud tükk vaha mahukaaluga $\gamma = 960$ kG/m^3 (joon. 50).



Joon. 50



Joon. 51

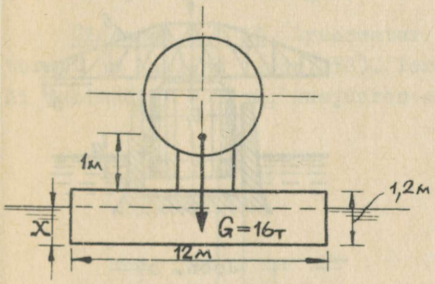
Arvutada, milline osa vaha mahust asub õlis ja milline osa vees.

Ülesanne 4 - 3. Ristkülikukujulise ristlõikega keha (γ = 700 kG/m^3) ujub vees. Keha alus on ruudukujuline küljepikkusega a = 250 mm (joon. 51).

Milline peab olema keha kõrgus b, et ujumine toimuks stabiilselt?

Samas vedelikus ujub kuup küljepikkusega a = 250 mm. Milline peab olema kuubi mahukaal, et kuup ujuks stabiilselt?

Ülesanne 4 - 4. 8t pontooni kasutatakse 16 t katla veoks. Pontooni põhja mõõtmed on 12 x 4 m^2 ja poordi kõrgus 1,2 m (joon. 52).



Joon. 52

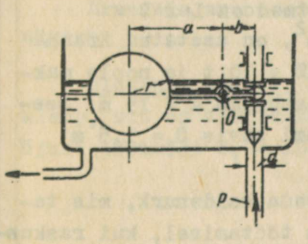
Arvutada:

1) pontooni süvis, kui katel on asetatud pontooni keskele;

2) ujumise stabiilsus, kui kaldenurk α = 10°.

Arvutamisel lähtuda sellest, et katla raskuskese asub 1 m kõrgusel pontooni laest, pontooni oma aga 0,8 m laest allpool, kusjuures kaal on jaotatud ühtlaselt üle kogu pontooni põhja.

Ülesanne 4 - 5. Bensiin erikaaluga γ = 700 kG/m^3 pumbatakse karburaatorisse rõhu all p = 0,3 atü d = 4 mm läbimõõduga toru kaudu (joon. 53). Sissevoolutoru on suletav nõelaga, mis kaalub bensiinis 12 g. Nõel on ühendatud ujukiga, mille kaal õhus on 25 g. Nõela ja ujuki ühenduskang on toetatud šarniirselt punktis 0, kusjuures kangi õlad on vastavalt a = 40 mm ja b = 15 mm.



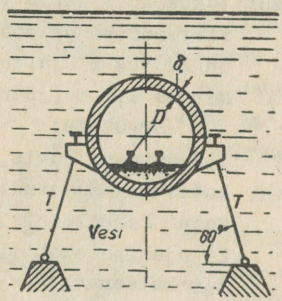
Joon. 53

Arvutada ujuki mõõtmed (raadius r), kui bensiini pind kamb-

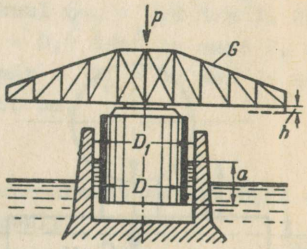
ris on kogu aeg konstantsel kõrgusel ja sissevooluava avamisel on ujuk poole kõrguseni bensiinis. Hõõret šarniiris O mitte arvestada.

Ülesanne 4 - 6. Veealune raudbetoonist tunnel sisemise läbimõõduga D = 3 m ja seinapaksusega δ = 250 mm hoitakse trosside abil vee all (joon. 54). Iga 6 m järel on tunneli kinnitatud paari trossidega.

Arvutada pinge trossis, kui lisakaal tunneli 1 jm kohta on 1000 kg ja betooni mahukaal 2,5 t/m^3.



Joon. 54



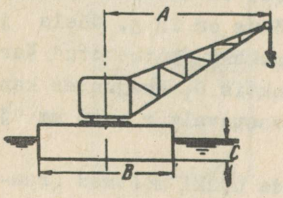
Joon. 55

Ülesanne 4 - 7. Silla pööratav ava on asetatud kambris D_1 = 3,6 m ujuvale silinderujukile läbimõõduga D = 3,4 m (joon. 55).

Arvutada:

1) ujuki süvis a, kui sillaava kaal G = 30 t;
2) silla teepinna vajumine h, kui silda koormata välisjõuga P = 10 t.

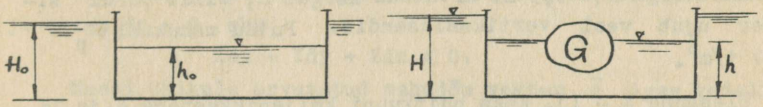
Ülesanne 4 - 8. Praamile, mille mõõtmed on L x B = = 60 x 10 m^2, on asetatud kraana tõstejõuga T = 10 t ja noole maksimaalse ulatusega A = 15 m. Seejuures praami süvis C = 1,5 m (joon. 56).



Joon. 56

Arvutada kaldenurk, mis tekib kraana töötamisel, kui raskuskese asub 3,5 m kõrgemal rõhukeskmest.

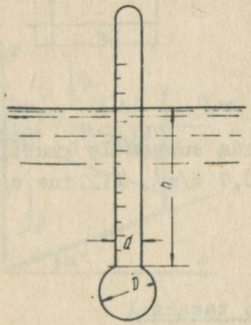
Ülesanne 4 - 9. Vertikaalseintega anum põhjapindalaga $F = 1000\ cm^2$ ujub vees süvisega $H_o = 40$ cm. Anum on täidetud õliga ($\gamma = 900\ kG/m^3$) kõrguseni $h_o = 20$ cm (joon. 57).



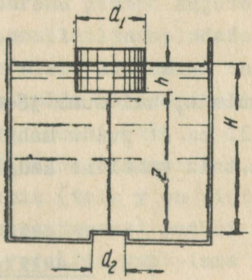
Joon. 57

Arvutada anuma süvis ja õli sügavus anumas, kui anumasse asetada ujuv keha kaaluga G = 10 kg.

Ülesanne 4 - 10. Areomeeter koosneb silindrilisest klaastorust ja kuulist (joon. 58). Toru diameeter d = 1,5 cm ja kuuli läbimõõt D = 3 cm, kusjuures areomeetri kaal $G_1 = 100$ g.



Joon. 58



Joon. 59

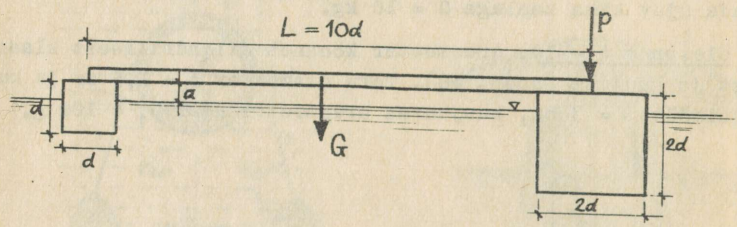
Arvutada areomeetri piiritusse ($\gamma = 0{,}8\ g/cm^3$) vajumise sügavus h.

Ülesanne 4 - 11. Bensiini reservuaari põhjas on ümmargune klapp, mis on kinnitatud trossi abil ujuki külge (joon. 59). Ujuki läbimõõt $d_1 = 10$ cm, klapi läbimõõt $d_2 = 2$ cm.

Arvutada, millise H väärtuse juures avaneb klapp, kui klapi ja ujuki kaal on G = 100 g, bensiini erikaal δ = 0,75 g/cm^3 ja trossi pikkus z = 15 cm.

Ülesanne 4 - 12. Vees ujub puidust silinder kõrgusega h ja diameetriga d = 0,5 m. Arvutada kõrgus h, mille puhul silinder ujub veel vertikaalasendis. Puidu mahukaal δ_p = = 0,7 t/m^3.

Ülesanne 4 - 13. Kaks puitkuupi küljepikkustega d ja 2d ujuvad vees (joon. 60). Kuubid on omavahel ühendatud talaga (G = 0,5 kg).



Joon. 60

Arvutada, kui suur jõud P rakendada suuremale kuubile, kui d = 10 cm ja puidu mahukaal δ_p = 0,7 t/m^3. Milline on veepinna ja tala vaheline kaugus a ?

§ 5. Vedeliku suhteline tasakaal

Vedeliku suhteliseks tasakaaluks nimetatakse nähtust, mille puhul liikuvas anumas olev vedelik on anuma suhtes tasakaalus. Raskusjõule, mis mõjub vedeliku osakesele, liitub inertsjõud või tsentrifugaaljõud.

Sel juhul on rõhujaotuse seaduspärasus seisvas vedelikus avaldatav diferentsiaalvõrrandiga:

$$dp = \rho (Xdx + Ydy + Zdz),$$

kus x, y, z on vedeliku punkti koordinaadid anumaga seotud koordinaadisüsteemis;

$p = f(x, y, z)$ – rõhk vedelikus;

ρ – vedeliku tihedus;

X, Y, Z – mahujõu projektsioonid koordinaattelgedel.

Mahujõud on arvutatud vedeliku massi ühikule.

Samarõhu pinna võrrandi saame tingimusel, kui p = const ja seega dp = 0 ehk

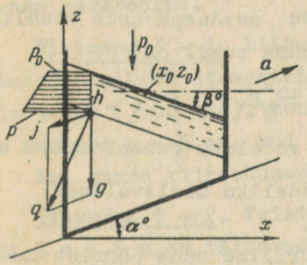
$$Xdx + Ydy + Zdz = 0.$$

Massi ühikule arvutatud mahujõu vektor $\bar{q}$ igas vedeliku punktis kujutab endast ühikraskusjõu $\bar{g}$ ja ühikinertsjõu $\bar{j}$ summat:

$$\bar{q} = \bar{g} + \bar{j}, \quad \bar{j} = -\bar{a},$$

kus $\bar{a}$ on liikumise kiirendus antud vedeliku punktis.

Rõhk vedelikus muutub igas suunas, välja arvatud ühikmahujõu vektoriga $\bar{q}$ risti olev suund. Seega samarõhu pind ja vedeliku vabapind igas oma punktis on risti antud punktis mõjuva ühikmahujõu vektoriga.



Joon. 61

Anuma sirgjoonelisel liikumisel konstantse kiirendusega $\bar{a}$ samarõhu pinnad kujutavad endast paralleeltasapindade parve, mis on risti liikumise tasapinnaga ja kaldu horisontaaliga nurga β võrra (joon. 61).

Ristkoordinaatide x, y, z süsteemis (telg y on risti liikumise tasapinnaga) punkti x_0, z_0 läbiv vedeliku vabapinna võrrand esineb kujul:

$$z - z_0 = -\frac{a \cos\alpha}{g + a \sin\alpha}(x - x_0);$$

$$tg\beta = \frac{a \cos\alpha}{g + a \sin\alpha},$$

kus x ja z on vabapinna meelevaldse punkti koordinaadid.

Anuma sirgjoonelisel liikumisel rõhujaotuse seaduspärasus vedelikus antakse seosega:

$$p = p_0 - \rho\left[a\cos\alpha(x - x_0) + (g + a \sin\alpha)(z - z_0)\right],$$

kus p_0 on rõhk punktis (x_0, z_0);

p – rõhk meelevaldses vedeliku punktis (x, z).

Sügavusel h on rõhk arvutatav valemiga:

$$p = p_0 + \rho(g + a \sin\alpha)h.$$

Silindrilise anuma pöörlemisel ümber vertikaaltelje nurkkiirusega ω lisandub raskusjõule tsentrifugaaljõud ja koordinaattelgedele ühikmahujõu projektsioonid. Sel juhul

$$X = \omega^2 x, \quad Y = \omega^2 y, \quad Z = -g.$$

Tähistades

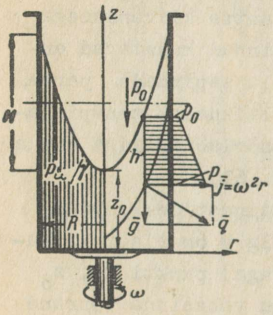
$$x^2 + y^2 = r^2,$$

saame silinderkoordinaatides (r, z) vedeliku vabapinna võrrandile anda kuju (joon. 62):

$$z - z_0 = \frac{\omega^2 r^2}{2g},$$

kus z_0 on pöörleva parabooli tipu vertikaalkoordinaat;

r,z - vedeliku vabapinna meelevaldse punkti koordinaadid.



Joon. 62

Parabooli kõrgus $H = \frac{\omega^2 R^2}{2g}$, kus R on anuma raadius.

Rõhujaotuse seaduspärasus vedelikus pöörleva anuma puhul on:

$$p = p_0 + \rho \frac{\omega^2 r^2}{2} - \gamma(z - z_0),$$

kus p_0 on rõhk vedeliku vabapinnal,

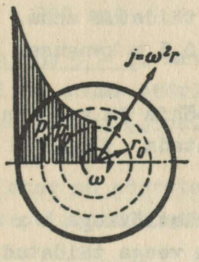
p - rõhk vedeliku meelevaldses punktis (r, z).

Kui silindriline anum pöörleb ümber horisontaaltelje nurkkiirusega ω, siis ω suure väärtuse puhul on tsentrifugaaljõud $\bar{j} = \omega^2 r$ suur ühikraskusjõuga $\bar{g}$ võrreldes, mispärast viimane jäetakse harilikult arvestamata.

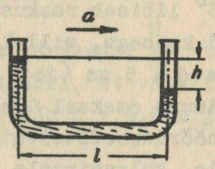
Toodud juhul samarõhu pinnad kujutavad endast kontsentrilisi silindreid anuma pöörlemisteljega ühtivate telgedega (joon. 63).

Pöörlemisteljest kaugusel r olevas vedeliku punktis avaldub rõhk nii:

$$p = p_0 + \rho \frac{\omega^2(r^2 - r_0^2)}{2},$$



Joon. 63



Joon. 64

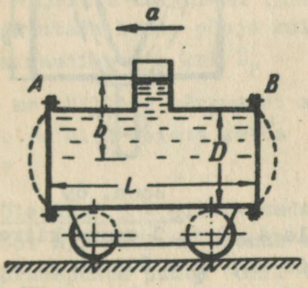
kus p_0 on rõhk silindrilisel pinnal, mille raadius on r_0.

Nagu nähtub viimasest valemist, on rõhujaotus raadiuse suunas paraboolne.

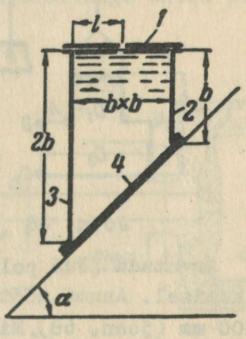
Ülesanne 5 - 1. Liikuva keha kiirenduse määtmiseks võib kasutada väikese diameetriga U-kujulist toru, mis on täidetud vedelikuga (joon. 64). Keha liikumisel vedeliku paiknemine torus muutub: h = 5 cm, kui torude vahekaugus l = 30 cm.

Kui suure kiirendusega liigub keha?

Ülesanne 5 - 2. Tsistern, läbimõõduga D = 1,2 m ja pikkusega L = 2,5 m, on täidetud naftaga (δ = 900 kG/m^3) kõrguseni



Joon. 65



Joon. 66

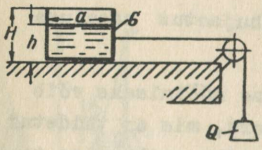
b = 1 m(joon. 65). Tsistern liigub horisontaalselt kiirendusega a = 2 m/sek^2.

Arvutada tsisterni tasapinnalistele otstele A ja B mõjuv rõhujõud.

Ülesanne 5 - 3. Kaldpinnal horisondi suhtes kaldenurgaga $\alpha = 45^0$ libiseb raskusjõu mõjul veega täidetud anum. Anum on kaetud kaanega, millel on seinast l = 0,5 m kaugusel ümmargune ava d = 5 mm (joon. 66).

Anuma omakaal G = 150 kG, anuma põhja ja kaldpinna vaheline hõõrdekoefitsient μ = 0,278. Arvutada rõhujõud anuma kaanele, külgseintele ja põhjale.

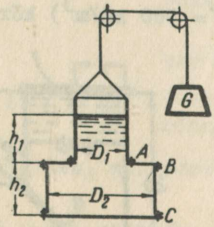
Ülesanne 5 - 4. Anum, nelinurkse ristlõikega a x a = = 200 x 200 mm^2, omakaaluga G = 4 kg, on veega täidetud sügavuseni h = 150 mm (joon. 67). Anum libiseb tasapinnal jõu Q = 25 kG mõjul.



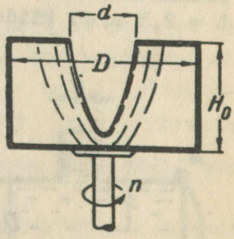
Joon. 67

Arvutada anuma kõrgus H, et kogu vedelik jääks liikumisel anumasse. Hõõrdekoefitsient tasapinna ja anuma vahel μ = 0,3.

Ülesanne 5 - 5. Anum, kõrgusega $h_1 + h_2$ = 800 mm, on trossiga üles riputatud. Tross on asetatud plokkidele ja ploki teise otsa on kinnitatud raskus G = 200 kG.



Joon. 68



Joon. 69

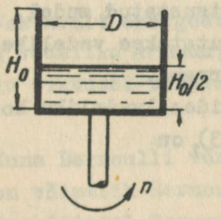
Arvutada jõud poldigruppidele A, B ja C anuma kiireneval liikumisel. Anuma mõõtmed D_1 = 400 mm, D_2 = 600 mm ja h_2 = = 300 mm (joon. 68). Mitte arvestada anuma kaalu ja hõõrdega plokkides.

Ülesanne 5 - 6. Silindriline anum, läbimõõduga D = 400 mm ja kõrgusega H_0 = 300 mm, on eelnevalt veega täidetud. Anum pöörleb vertikaaltelje ümber pöörete arvuga 200 p/min (joon. 69).

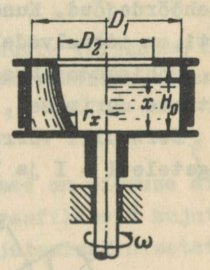
Milline vedeliku maht jääb anumasse, kui ülemise ava läbimõõt d = 200 mm?

Ülesanne 5 - 7. Arvutada vedelikuga kõrguseni $\frac{H_0}{2}$ täidetud silindrilise anuma pöörlemiskiirus tingimusel, et vedelik tõuseks anuma ääreni (joon. 70). Anuma läbimõõt D = 0,8 m ja kõrgus H_0 = 1,2 m.

Kui suur on pöörete arv, kui anumasse jääb ainult pool esialgsest vedeliku mahust?



Joon. 70

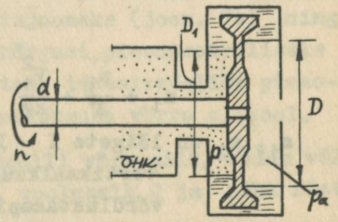


Joon. 71

Ülesanne 5 - 8. Piduri ketas, läbimõõduga D_1 = 800 mm ja kõrgusega H_0 = 200 mm, pöörleb tsentraaltelje suhtes pöörete arvuga n = 120 p/min. Ketas on täidetud jahutusvedelikuga antud pöörete arvule vajaliku kõrguseni (joon. 71).

Arvutada ketta põhja kuiva osa raadius r_x, kui D_2 = = 500 mm. Millise kõrguseni x tõuseb vedelik seisva ketta puhul?

Ülesanne 5 - 9. Arvutada läbimõõt D_1, milleni ulatub vesi vaakuumpumba pumba võlli tihendava hüdraulilise tihendi siseküljel. Võlli läbimõõt



Joon. 72

d = 0,15 m ja läbimõõt, milleni ulatub vesi tihendi välisküljel, on D = 0,30 m (joon. 72). Vaakuum pumbas on 0,7 at. Võlli pöörete arv n = 2000 p/min ja vee pöörlemise nurkkiirus tihendis on pool võlli nurkkiirusest.

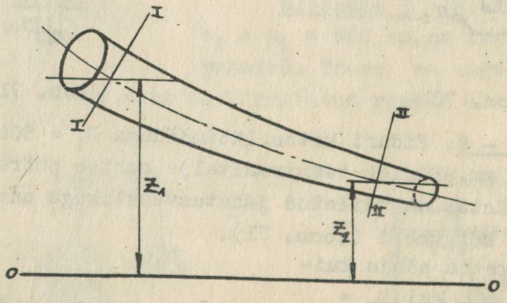
II. Põhimõisteid hüdrodünaamikast

§ 6. Bernoulli võrrand ideaalvedeliku koguvoolule

Ideaalvedelikeks nimetatakse vedelikke, milles puuduvad sisehõõrdejõud. Kuna reaalvedelikes esinevad sisehõõrdejõud alati, on ideaalvedelik vedeliku lihtsustatud mudel.

Põhiseaduspärasuseks, mida kasutatakse vedelike voolamisnähtuste uurimisel, on Bernoulli võrrand.

Bernoulli võrrand, kirjutatuna ideaalvedeliku koguvoolu lõigetele I - I ja II - II (joon. 73), on



Joon. 73

$$z_1 + \frac{p_1}{\delta} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\delta} + \frac{v_2^2}{2g}, \quad \text{kus} \quad (6-1)$$

z_1, z_2 on lõigete I - I ja II - II raskuskeskmete vertikaalkaugused meelevaldselt valitud võrdlustasapinnast 0 - 0 ;

p_1, p_2 - rõhud lõigete I - I ja II - II raskuskeskmetes;

v_1, v_2 - keskkiirused lõigetes I - I ja II - II.

Ülaltoodud kujul on Bernoulli võrrand rakendatav juhtudel, kui

1) vedelikule mõjub mahujõududest vaid raskusjõud ja

2) voolu põiklõige piki voolu on sujuvalt muutuv.

Energeetilisest seisukohast väljendab Bernoulli võrrand vedeliku ühe raskusühiku kogu energiat, mida nimetatakse erienergiaks ja tähistatakse E-ga.

$$E = z + \frac{p}{\delta} + \frac{v^2}{2g}, \qquad (6-2)$$

mille z on vedeliku ühe raskusühiku potentsiaalne asendienergia meelevaldselt valitud võrdlustasapinna suhtes;

$\frac{p}{\delta}$ - vedeliku ühe raskusühiku potentsiaalne rõhuenergia;

$\frac{v^2}{2g}$ - vedeliku ühe raskusühiku kineetiline energia.

Vastavalt energeetilisele tõlgendusele väljendab Bernoulli võrrand vedeliku erienergia jäävust. Ideaalvedeliku erienergia on voolu pikkusel konstantne:

$$E = \text{const}. \qquad (6-3)$$

Kuna Bernoulli võrrandi kõik liikmed on pikkuse dimensiooniga, on võimalik Bernoulli võrrandit graafiliselt kujutada.

Graafilisel Bernoulli võrrandi kujutamisel nimetatakse võrrandi üksikuid liikmeid järgmiselt:

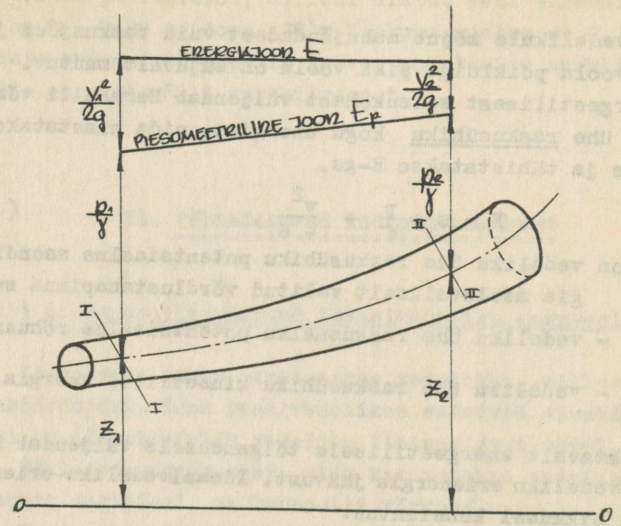
z on geodeetiline kõrgus;

$\frac{p}{\delta}$ - piesomeetriline kõrgus, s. o. kõrgus, milleni tõuseb vedelik vooluga ühendatud piesomeetris;

$\frac{v^2}{2g}$ - kiiruskõrgus.

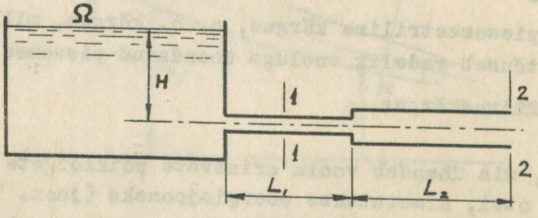
Joont, mis ühendab voolu erinevate põiklõigete koguenergia lõikude otsi, nimetatakse energiajooneks (joon. 74) ning joont, mis ühendab piesomeetrilisi kõrgusi, piesomeetriliseks jooneks. Nagu nähtub joonisest, asetseb ideaalvedelike piesomeetriline joon energiajoonest kiiruskõrguse võrra allpool.

Ülesanne 6 - 1. Kasutades Bernoulli võrrandit, leida väljavoolukiirus torust v_2 (joon. 75), vooluhulk Q ja rõhk rist-



Joon. 74

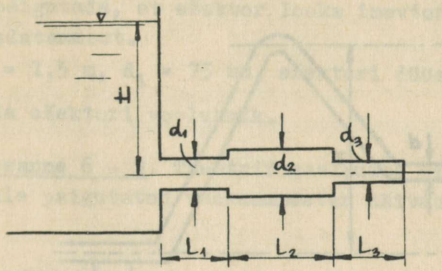
lõikes 1, kui H = 1,0 m, ω_1 = 1 dm^2, ω_2 = 1,5 dm^2 ja Ω =100 dm^2. Rõhukadusid mitte arvestada.



Joon. 75

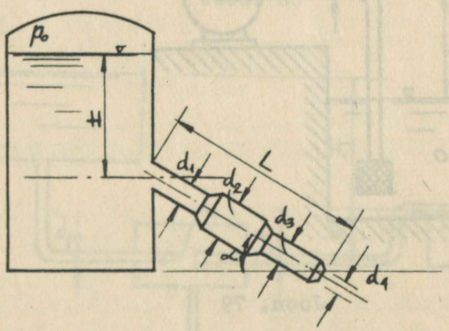
Ülesanne 6 - 2. Vesi voolab anumast atmosfääri üksteisega järjestikku ühendatud erinevate diameetritega torusid mööda (joon. 76). Leida, millise survekõrguse H juures saavutab vaakuum esimeses torus võimaliku piirväärtuse, s. o. 10 m veesammast, kui d_1 = 10 cm, d_2 = 20 cm, d_3 = 15 cm. Joonestada ener-

giajoon ja piesomeetriline joon. Rõhukadusid mitte arvestada.



Joon. 76

Ülesanne 6 - 3. Suletud anumast voolab vesi atmosfääri muutuva põiklõikega kaldtoru mööda (joon. 77). Leida toru vooluhulk ja joonestada energiajoon ning piesomeetriline joon, kui p_o = 0,25 atü, α = 30°, H = 15 m, d_1 = 125 mm, d_2 = 150 mm, d_3 = 100 mm, d_4 = 75 mm ja torustiku pikkus L = 15 m. Rõhukadusid mitte arvestada.

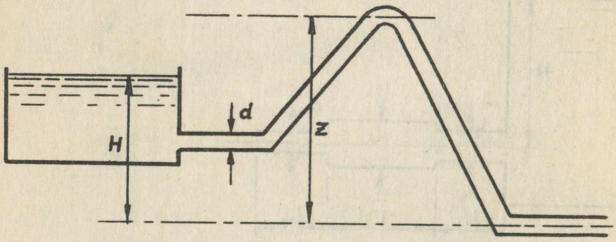


Joon. 77

Ülesanne 6 - 4. Leida sifooni (joon. 78) vooluhulk, kui d = 150 mm, H = 3,3 m, z = 6,8 m. Joonestada piesomeetriline joon ja leida vaakuum sifooni kõrgeimas punktis. Rõhukadusid mitte arvestada.

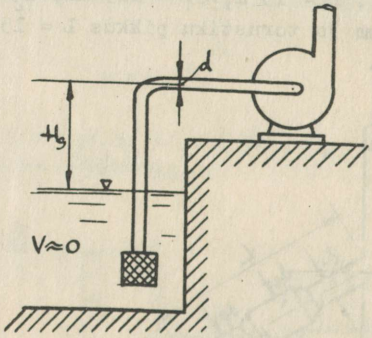
Ülesanne 6 - 5. Leida vaakuum tsentrifugaalpumba sissevoo-

luavas, kui pumba toodang on 20 m^3/tunnis, H_s = 5,5 m ja



Joon. 78

d = 100 mm (joon. 79). Rõhukadusid mitte arvestada. Joonestada energiajoon ja piesomeetriline joon.



Joon. 79

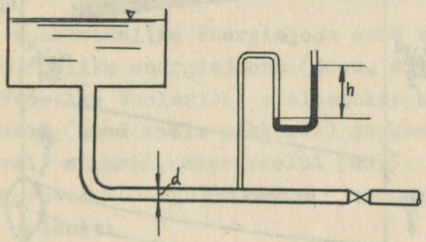
Ülesanne 6 - 6. Anumast atmosfääri väljuvale torule on paigutatud elavhõbemanomeeter (joon. 80). Leida vooluhulk torus, kui suletud siibri puhul manomeetri näit on h = 550 mm elavhõbedasammast, avatud siibri puhul 500 mm elavhõbedasammast ning d = 100 mm. Takistusi mitte arvestada.

Ülesanne 6 - 7. Pumba käivitamisel tsentrifugaalpumba imevtoru veega täitmiseks kasutatakse ežektorit (joon. 81). Leida,

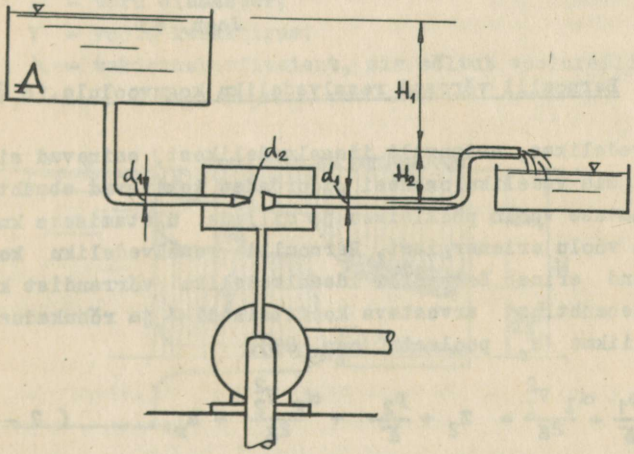
kui kõrgele üle ežektori äravoolutoru väljumisava H_1 surve-paak A paigutada, et ežektor looks imevtorus vaakuumi 200 mm elavhõbedasammast.

H_2 = 1,5 m, d_1 = 75 mm, ežektori düüsi diameeter d_2 = 50 mm. Leida ežektori vooluhulk.

Ülesanne 6 - 8. Tsentrifugaalpumba sissevooluava juurde imevtorule paigutatud vaakuummeeter näitab vaakuumit 300 mm



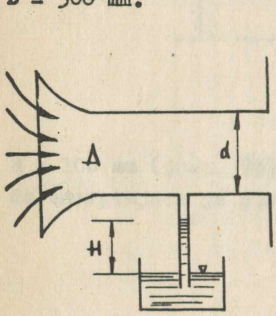
Joon. 80



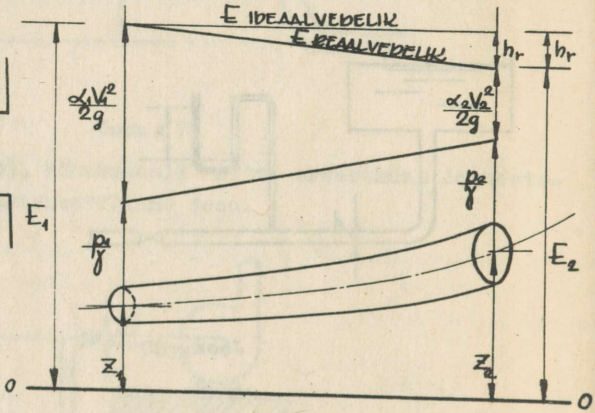
Joon. 81

elavhõbedasammast pumba toodangu juures 60 m^3/tunnis (joon. 79). Leida pumba telje kõrgus H_s reservuaari veepinnast, kui imevtoru diameeter on 150 mm. Joonestada energiajoon ja piesomeetriline joon. Rõhukadusid mitte arvestada.

Ülesanne 6 - 9. Tsentrifugaalventilaator imeb õhku toru A abil, mille silindrilist osa veeanumaga ühendab klaastoru (joon. 82). Leida ventilaatori toodang sekundis, kui vesi klaastorus tõusis kõrgusele H = 250 mm ja õhu mahukaal γ =1,29 kG/m^3. D = 300 mm.



Joon. 82



Joon. 83

§ 7. Bernoulli võrrand reaalvedeliku koguvoolule

Reaalvedelikes, erinevalt ideaalvedelikest, esinevad sisehõõrdejõud, mis vedeliku osakesi pidurdades tekitavad ebaühtlase kiirusjaotuse voolu põiklõikes ja millede ületamiseks kulutatakse osa voolu erienergiast. Bernoulli reaalvedeliku koguvoolu võrrand erineb Bernoulli ideaalvedeliku võrrandist kiirusjaotuse ebaühtlust arvestava koefitsiendi α ja rõhukadusid arvestava liikme h_r poolest (joon. 83).

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_r, \qquad (7 - 1)$$

kus

α_1 ja α_2 on Coriolise koefitsiendid lõigetele I - I ja II - II, mis arvestavad keskkiiruse kaudu väljendatud kineetilise energia erinevust tegelikust, kiirusjaotust arvestavast kineetilisest energiast. Tavaliselt võetakse $\alpha = 1{,}1$ ja ligikaudsetes arvutustes $\alpha = 1{,}0$;

h_r - erienergia kadu sisehõõrde ületamiseks lõigete I - I ja II - II vahel.

Kirjutades Bernoulli võrrandi erienergiate kaudu, saame

$$E_1 = E_2 + h_r. \qquad (7 - 2)$$

Seega reaalvedelike energiajoon asub rõhukadude võrra allpool ideaalvedeliku energiajoont (joon. 83).

Vedelike voolamisel eraldatakse kahesuguseid rõhukadusid: **liinikaod (kaod voolu pikkusel) ja kaod kohalikes takistustes** (**põlved, siibrid, sissevoolud jne.**).

Torudes **liinikadude määramiseks** kasutatakse Darcy valemit:

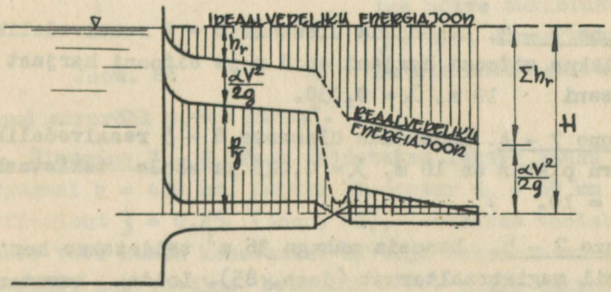
$$h_l = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}, \qquad (7 - 3)$$

milles L on **toru pikkus;**

D - toru diameeter;

V - voolu keskkiirus;

λ - takistuskoefitsient, mis sõltub voolurežiimist (vt. § 8).



Joon. 84

Nagu nähtub Darcy valemist on rõhukaod toru pikkusel pro-

portsionaalsed toru pikkusega ja põhjustavad energiajoone lineaarse langu (joon. 84). Ühele toru pikkusühikule taandatud rõhulangu nimetatakse hüdrauliliseks languks:

$$J = \frac{h_6}{L} . \qquad (7 - 4)$$

Kohalikes takistustes rõhukadude määramiseks kasutatakse Weisbachi valemit:

$$h_k = \zeta \frac{v^2}{2g} , \qquad (7 - 5)$$

milles V on keskkiirus;

ζ - kohaliku takistuse koefitsient, mis sõltub kohaliku takistuse iseloomust.

Mõningate iseloomulike kohalike takistuste koefitsiendi väärtused on toodud lisas I.

Weisbachi valemist nähtub, et kohalike takistuste rõhulange iseloomustatakse energiajoone järsu astmega (joon. 84).

Kogu rõhulang torustikus on väljendatav valemiga:

$$h_r = \sum h_L + \sum h_k = \sum_{i=1}^{m} \left(\lambda_i \frac{L_i}{D_i} \frac{v_i^2}{2g} \right) + \sum_{k=1}^{n} \left(\zeta_k \frac{v_k^2}{2g} \right) . \qquad (7 - 6)$$

Ülesanne 7 - 1. Lahendada ülesanne 6 - 1 reaalvedelikule, kui $L_1 = 10$ m, $L_2 = 20$ m, $\lambda_1 = 0{,}025$, $\lambda_2 = 0{,}030$.

Ülesanne 7 - 2. Lahendada ülesanne 6 - 2 reaalvedelikule, kui $L_1 = 5$ m, $L_2 = 10$ m, $L_3 = 10$ m, $\lambda_1 = 0{,}030$, $\lambda_2 = 0{,}025$ ja $\lambda_3 = 0{,}030$.

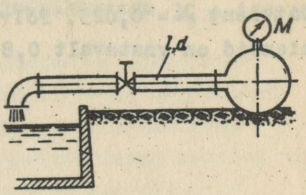
Ülesanne 7 - 3. Lahendada ülesanne 6 - 4 reaalvedelikule, kui toru pikkus sifooni harjani on 5 m ja sifooni harjast alumise otsani 10 m. $\lambda = 0{,}030$.

Ülesanne 7 - 4. Lahendada ülesanne 6 - 5 reaalvedelikule, kui imevtoru pikkus on 10 m, $\lambda = 0{,}025$ ja sõela takistuskoefitsient $\zeta = 10$.

Ülesanne 7 - 5. Bassein mahuga 36 m^3 täidetakse horisontaaltoru abil magistraaltorust (joon. 85). Leida harutoru diameeter, kui bassein täitub 30 minuti jooksul.

Magistraaltoru rõhk M = 2,5 atü, torustiku pikkus l = 45 m,

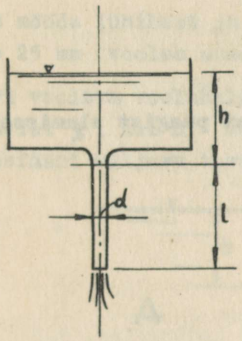
$\lambda = 0{,}035$, siibri kohaliku takistuse koefitsient $\zeta = 4$, põlve kohaliku takistuse koefitsient $\zeta = 0{,}3$.



Joon. 85

Ülesanne 7 - 6. Vesi temperatuuriga 20°C voolab anumast atmosfääri piki vertikaaltoru pikkusega l = 6 m ja diameetriga d = 40 mm (joon. 86). Joonestada toru vooluhulga sõltuvus anuma survekõrgusest h. Joonestada energiajoon ja piesomeetriline joon survekõrgustele h = 0,5 m ja h = 2 m, kui $\lambda = 0{,}030$.

Ülesanne 7 - 7. Kolb diameetriga D = 200 mm liigub silindris ühtlase kiirusega üles, imedes vett toru kaudu silindrisse konstantse veepinnaga anumast (joon. 87). Leida kolvi liikumiskiirus, kui 2 m üle veepinna asetseva kolvi liikumiseks vajalik jõud P = 240 kg. Leida kolvi võimalik maksimaalne tõusukõrgus kiiruse juures, mis veel ei tekita veesamba lahtirebimist kolvist.

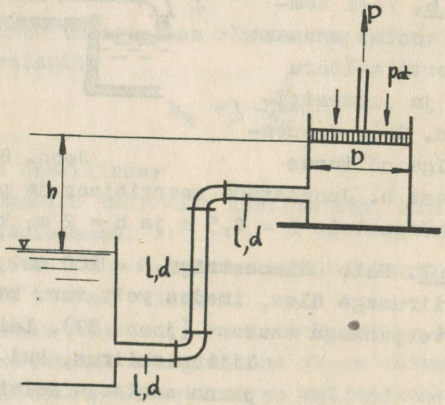


Joon. 86

Torustik koosneb kolmest järjestikku ühendatud võrdsest torust diameetriga d = 50 mm, pikkusega l = 4 m. $\lambda = 0{,}03$ ja iga põlve takistuskoefitsient $\zeta = 0{,}5$. Atmosfäärirõhk p = 740 mm elavhõbedasammast ja küllastunud aururõhk 0,043 kG/cm^2.

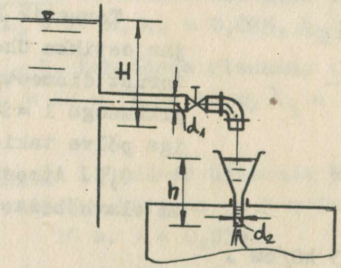
Ülesanne 7 - 8. Paak täidetakse lehtri kaudu bensiiniga kõrguseni h = 400 mm. Lehtri diameeter d_2 = 50 mm ja takistuskoefitsient $\zeta = 0{,}25$ (joon. 88). Lehtrisse voolab bensiin lühikese toru kaudu konstantse nivooga reservuaarist. Leida reservuaari maksimaalne bensiininivoo, mille juures lehtrist ei voola üle, ning sellele nivoole vastav bensiini vooluhulk.

Toru diameeter d_1 = 30 mm, pikkus L = 3 m ja takistuskoefitsient λ = 0,025. Põlve ja kraani kohaliku takistuse koefitsiendid on vastavalt 0,8 ja 8,5.



Joon. 87

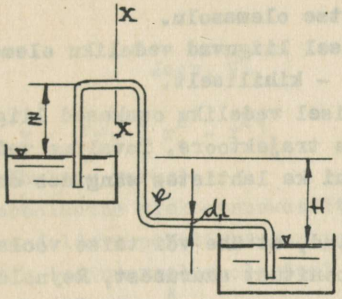
Ülesanne 7 - 9. Vesi voolab ülemisest paagist alumisse



Joon. 88

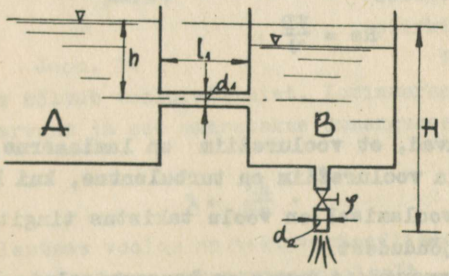
paaki d = 50 mm diameetri ja 30 m kogupikkusega sifooni kaudu (joon. 89). Leida vaakuum sifooni harjal, kui paakides veepindade vahe on H = 4,5 m, sifooni harja kõrgus Z = 2,5 m, torustiku takistuskoefitsient λ = 0,028, põlvede raadiused R = 50 mm ja torustiku pikkus ülemisest paagist lõikeni x - x on 10 m.

Ülesanne 7 - 10. Vesi voolab paagist A paaki B mööda lühikest toru, diameetriga d_1 = 20 mm ja pikkusega l_1 = 100 cm,



Joon. 89

kust mööda lühikest ja ventiiliga varustatud toru diameetriga d_2 = 25 mm voolab atmosfääri (joon. 90). Leida paagist atmosfääri voolava vooluhulga Q sõltuvus ventiili takistuskoefitsiendist ζ, kui h = 400 mm, H = 900 mm. Takistusi lühikese, atmosfääri väljuva toru pikkusel mitte arvestada.



Joon. 90

§ 8. Vedelike voolamisrežiimid

Katsetega on tõestatud vedeliku kahe voolamisrežiimi - laminaarse ja turbulentse olemasolu.

Laminaarsel voolamisel liiguvad vedeliku elementaarjoad üksteisega paralleelselt - kihiliselt.

Turbulentsel voolamisel vedeliku osakesed liiguvad kaootiliselt mööda juhuslikke trajektoore. Tavaline vedelike voolamine nii torustikes, kui ka lahtistes sängides on turbulentne.

Katsetega on tõestatud, et ühe või teise voolamisrežiimi olemasolu sõltub dimensioonitust suurusest, Reynoldsi arvust:

$$Re = \frac{VL}{\nu} , \qquad (8 - 1)$$

kus V on voolu iseloomustav kiirus,

L - voolu iseloomustav pikkus ja

ν - vedeliku kinemaatiline viskoossuskoefitsient.

Torustikes voolamisnähtuste uurimisel võetakse voolu iseloomustavaks pikkuseks tavaliselt toru diameeter ja iseloomustavaks kiiruseks voolu keskkiirus. Reynoldsi arv torustikele määratakse seosega:

$$Re = \frac{VD}{\nu} . \qquad (8 - 2)$$

Katsed näitavad, et voolurežiim on laminaarne, kui $Re = \frac{VD}{\nu} \leq 2000$, ja voolurežiim on turbulentne, kui $Re > 5000$.

Laminaarsel voolamisel on voolu takistus tingitud viskoossetest sisehõõrdejõududest.

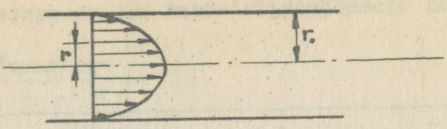
Voolamisel ümmarguses torus on tangensiaalpinged toru seinal määratud avaldisega

$$\tau_o = \delta \frac{r_o}{2} J , \qquad (8 - 3)$$

kus r_o on toru raadius,

J - hüdrauliline lang.

Kiirusjaotus on paraboolne (joon. 91) ja määratud võrrandiga:



Joon. 91

$$v = \frac{\Delta p}{4\mu l}\left(r_o^2 - r^2\right), \qquad (8-4)$$

kus Δp on rõhulang torus;

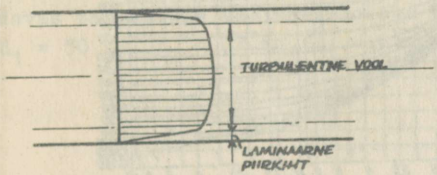
μ – absoluutne viskoossuskoefitsient;

r – vaadeldava punkti kaugus toru teljest.

Vooluhulk laminaarsel voolamisel ümartorus:

$$Q = \frac{\pi \Delta p}{8\mu l} r_o^4 . \qquad (8-5)$$

Turbulentses voolus on voolu takistus tingitud turbulentsest segunemisest tulenevatest sisehõõrdejõududest. Turbulentses voolus on võimalik toru keskel eraldada turbulentset voolusüdamikku ja toru seinte ääres laminaarset piirkihti (joon. 92).



Joon. 92

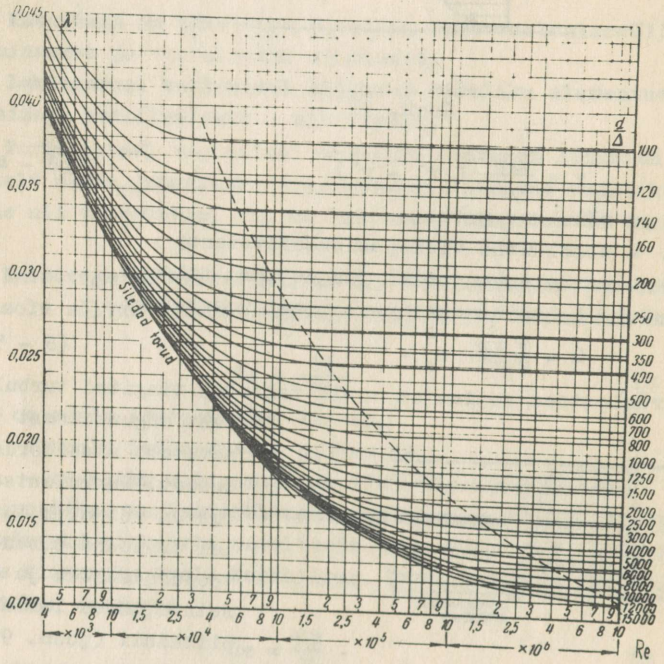
Takistuskoefitsiendi λ muutus sõltub voolurežiimist. Laminaarses voolus sõltub λ Reynoldsi arvust ja see määratakse ümmarguses torus voolamisel valemiga

$$\lambda = \frac{64}{Re} . \qquad (8-6)$$

Turbulentses voolus on takistuskoefitsiendi λ muutus keerukas, see määratakse eksperimentaalselt. Joonisel 93 on näitena toodud λ muutus ümmargustes terastorudes turbulentse voolu korral.

Toodud graafikust selgub, et suurte Re arvude puhul takistuskoefitsient sõltub vaid nn. suhtelisest toru karedusest, s.o. toru diameetri d ning absoluutkareduse Δ suhtest, ega sõltu sisehõõrdejõududest. Väiksemate Re arvude korral takistuskoefit-

sient sõltub nii sisehõõrdejõududest kui ka suhtelisest toru karedusest.

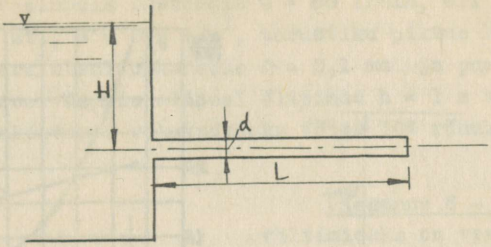


Joon. 93

Torude absoluutkareduseks võetakse:
uutel tõmmatud terastorudel 0,1 mm,
uutel keevisõmblusega terastorudel 0,2 mm,
vanadel ekspluatatsioonis olnud torudel 1,3 mm.

Ülesanne 8 - 1. Vesi voolab paagist atmosfääri piki horisontaalset terastoru diameetriga d = 1,0 cm ja pikkusega 10 m (joon. 94). Leida maksimaalne survekõrgus H, mille juures torus voolamine on veel laminaarne. Vee kinemaatiline viskoossuskoefitsient ν = 0,01 cm^2/sek. Milline on sissevoolu takistuskoefitsiendi ζ = 0,5 mõju maksimaalsele survekõrgusele?

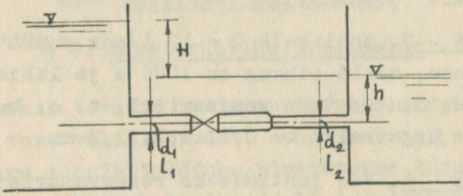
Ülesanne 8 - 2. Leida ülesande 8 - 1 tingimustel, kui



Joon. 94

toru diameeter on d=2,5 cm, vooluhulga sõltuvus survekõrgusest viimase muutumisel 0 - 25 m. Joonestada Q - H sõltuvus graafiliselt. Toru absoluutkareduseks Δ võtta 0,01 mm.

Ülesanne 8 - 3. Leida survekõrgus H, et kahte anumat ühendavas torustikus vooluhulk oleks Q= 2 l/sek (joon. 95), kui h=2 m, d_1 = 50 mm, d_2 = 32 mm, l_1 = 4 m, l_2 = 6 m, Δ_1 = 0,1 mm ja



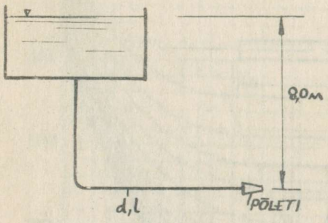
Joon. 95

Δ_2 = 0,05 mm. Ventiili takistuskoefitsient ζ = 8,0, vee kinemaatiline viskoossuskoefitsient 0,01 cm^2/sek.

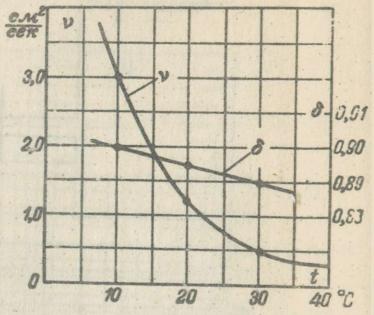
Ülesanne 8 - 4. Torus diameetriga 100 mm voolab masuut mahukaaluga γ = 0,9 t/m^3 ja dünaamilise viskoossuskoefitsiendiga μ = 22,5 · 10^{-4} kG sek/m^2. Leida kiirus ja nihkepinge jaotus toru põiklõikes, kui masuudi keskkiirus on 0,25 m/sek.

Ülesanne 8 - 5. Keskkütteahi tarbib tunnis 300 kg masuuti. Leida rõhk ahjus põletite ees, kui masuudi paak asub 8 m kõrgemal põleti teljest. Survetorustiku pikkus l = 30 m ja diameeter d = 25 mm (joon. 96). Masuudi mahukaal on γ = 0,88 ja kinemaatiline viskoossuskoefitsient ν = 0,25 cm^2/sek.

TRÜ Raamatukogu



Joon. 96

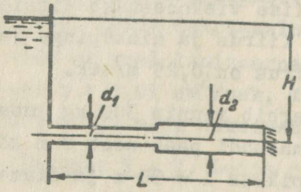


Joon. 97

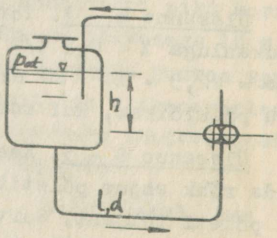
Ülesanne 8 - 6. Mööda 5 km pikkust ja 150 mm diameetriga horisontaaltoru pumbatakse masuuti. Leida rõhukaod torustikus masuudi temperatuuridel 10°C, 20°C ja 30°C, kui masuudi vooluhulk on 50 l/sek ja toru absoluutkaredus Δ = 0,1 mm. Masuudi mahukaalu ja viskoossuse muutus võtta lisatud graafikust temperatuurist sõltuvalt (joon. 97).

Ülesanne 8 - 7. Vooluhulk Q = 12 l/sek pumbatakse reservuaari toru kaudu, mille pikkus on 1000 m ja läbimõõt 125 mm. Leida rõhukadude muutus toru vananemisel, s. o. kui absoluutkaredus suureneb järgmiselt: Δ = 0,1; 0,2; 1,2 mm.

Ülesanne 8 - 8. Vee juhtimiseks reservuaarist 400 m kaugusel asuva tarbijani võib kasutada 150 mm ja 200 mm diameetriga torusid (joon. 98). Leida, kui palju on vaja paigaldada kumbagi toru, kui H = 9 m, Q = 2,1 m^3/min ja torude absoluutkaredus Δ = 1,2 mm.

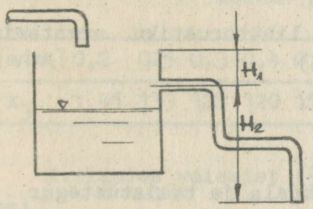


Joon. 98



Joon. 99

Ülesanne 8 - 9. Leida rõhk määrimissüsteemi sissevooluavas, kui vooluhulk süsteemis Q = 60 l/min, õli temperatuur 20°C, ν = 2 st., γ = 0,9 t/m^3, torustiku pikkus l = 5 m, d = = 35 mm, toru absoluutkaredus Δ = 0,1 mm ja pumba sissevooluava asub reservuaaris allpool õlipinda h = 1 m võrra (joon. 99). Kohalike takistuste rõhukadudeks võtta 10% rõhukadudest toru pikkusel.



Joon. 100

Ülesanne 8 - 10. Ülevoolu vältimiseks on veepaak varustatud 18 meetri pikkuse ülevoolutoruga (joon. 100). Leida ülevoolutoru diameeter, kui see peab laskma läbi vett 100 m^3/tunnis survekõrguse H_1 = 0,2 m juures. Üle voolutoru väljumisava on H_2=5,0 m kõrgemal toru otsast ja toru absoluutkaredus Δ = 0,1 mm.

III. Torustike arvutamine

§ 9. Lihttorustiku arvutamine

Toodetavaid torusid iseloomustatakse järgmiste põhiparameetritega: toru välisläbimõõt, seina paksus, pikkus ja tingläbimõõt. Toru tingläbimõõduks nimetatakse toru läbimõõtu millimeetrites, mis vastab ligikaudselt torude ühendamiseks määratud otste siseläbimõõdule. Toru tingläbimõõt on torude liigituste aluseks jämeduse järgi ja ta määratakse ГОСТ 355-41 alusel järgmiselt (mm-tes): 3, 6, 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 70, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 ning edasi kuni 4000-ni 200 mm viisi. Vastavalt kasutatavale töörõhule toodetakse torusid kas normaalse või tugevdatud seinapaksusega, kusjuures kummalgi juhul toru välisläbimõõt on sama.

Hüdraulilisest seisukohast iseloomustab toru tema arvutuslik läbimõõt, mis on aluseks toru ristlõike määramisel. Toru arvutuslik läbimõõt võetakse võimaliku settekihi arvel tegelikust siseläbimõõdust ühe millimeetri võrra väiksem.

Teras- ja malmtorude normaalsortiment on toodud tabelis lisa II.

Lähtudes hüdraulilisest arvutusest, jaotatakse torustikud pikkadeks ja lühikesteks. Pikkade torustike puhul on kohalike rõhukadude summa $\sum h_k$ liinikadudega võrreldes tühiselt väike ning jäetakse arvesse võtmata.

A. Pikk torustik. Küllalt pika lihttorustiku arvutamise põhivalemiks on Darcy valem (7 - 3)

$$h_L = H = \frac{Q^2}{2g\omega^2} \lambda \frac{L}{d},$$

kus $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ on toru ristlõike pindala ja takistustegur määratakse teras- ning malmtorude puhul Seveljovi valemitega:

ruuttakistuse tsoonis, kui $v \geqslant 1{,}2$ m/sek,

$$\lambda_{ruut} = \frac{0{,}0210}{d_a^{0{,}3}}, \qquad (9 - 1)$$

eelruuttakistuse tsoonis, kui $v < 1{,}2$ m/sek,

$$\lambda_{eelruut} = \frac{0{,}0179}{d_a^{0{,}3}} \left[1 + \frac{0{,}867}{v}\right]^{0{,}3}. \qquad (9 - 2)$$

Tähistades

$$A = \frac{16\lambda}{2g\pi^2 d^5}, \qquad (9 - 3)$$

saame

$$H = AlQ^2 = SQ^2, \qquad (9 - 4)$$

kus A on torustiku eritakistus ja S = AL - torustiku takistus.

Valemitest (9 - 1) ja (9 - 3) selgub, et ruuttakistuse tsoonis, kui $v > 1{,}2$ m/sek, torustiku eritakistus A sõltub ainult toru ristlõike geomeetrilistest elementidest ning on standardsete torude puhul tabuleeritav (vt. lisa III).

Eelruuttakistuse tsooni puhul, kui $v < 1{,}2$ m/sek, lisatakse valemisse (9 - 4) parandustegur ning saadakse

$$H = Ak_3LQ^2, \qquad (9 - 4a)$$

kus parandusteguri k_3 väärtused on toodud järgmises tabelis:

Tabel 1

Parandustegurid k_3 eritakistuse A väärtustele teras- ja malmtorudele

v [m/sek]	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	⩾1,2
k_3	1,41	1,33	1,28	1,20	1,15	1,115	1,085	1,06	1,04	1,03	1,015	1,00

Avaldades valemist (9 - 4) vooluhulga Q, saame Chezy valemi

$$Q = \sqrt{\frac{1}{A}}\sqrt{i} = k\sqrt{i}, \qquad (9 - 5)$$

kus $i = \frac{H}{L}$ on hüdrauliline lang ja

$\sqrt{\frac{1}{A}} = k$ - vooluhulga moodul.

Et veelgi kergendada torustike arvutust, on valemi (9-4) ja (9 - 4a) alusel koostatud tabelid (Ševeljovi tabelid terastorudele ГОСТ 3262-55 on toodud lisas IV ja malmtorudele lisas V).

Ševeljovi tabeleis on antud igale toruläbimõõdule erinevate vooluhulkade puhul keskmine kiirus v (m/sek) ja 1000 i = = 1000 $\frac{H}{L}$ (rõhukadu meetrites 1000 meetri pikkuse toru puhul ehk rõhukadu millimeetrites ühe meetri pikkuse toru puhul).

Pika lihttorustiku arvutamisel esineb neli põhiülesannet:

1. Määrata H, kui Q, d ja L on ette antud. Ševeljovi tabeleist (lisa IV) on võimalik otse leida 1000 i ja v. Rõhukadu võrdub H = iL.

Ilma nimetatud tabelita on võimalik rõhukadu määrata valemi (9 - 4) või (9 - 4a) abil, kusjuures eritakistus A määratakse tabelist lisa III.

2. Määrata Q, kui H, d ja L on ette antud. Arvutatakse 1000 i = 1000 $\frac{H}{L}$. Pärast seda on Ševeljovi tabelist (lisa IV) võimalik otse leida Q ja v.

Nimetatud tabeleid kasutamata leitakse valemist (9 - 5) vooluhulk Q ja seejärel arvutatakse v. Kui v ⩾ 1,2 m/sek,

siis arvutatud Q on lõplik. Juhul kui v < 1,2 m/sek, arvutatakse parandatud väärtus

$$Q = \sqrt{\frac{1}{Ak_3}}\sqrt{i}.$$

3. Määrata d, kui Q, H ja L on ette antud. Arvutatakse 1000 i ja Seveljovi tabelist (lisa IV) määratakse läbimõõt d. Ilma nimetatud tabelita määratakse valemist (9 - 4) või valemist (9 - 4a) eritakistus A ja seejärel tabeli (lisa III) kaudu läbimõõt d.

4. Määrata d ja H, kui Q ja L on ette antud. Ülesandel on lõpmatult palju lahendeid. Lahendite arvu piiramiseks kasutatakse lisatingimust sobiva optimaalse voolukiiruse näol $v_{ök.}$. Viimase määravad ökonoomilised kaalutlused, kuna torudes ei või lubada liialt suuri voolukiirusi (rõhukaod suurenevad võrdeliselt keskmise kiiruse ruuduga). Lähtudes projekteerimispraktika seisukohtadest, soovitatakse alljärgnevaid ökonoomilisi piirvooluhulki ja piirkiirusi.

Tabel 2

Ökonoomilised piirvooluhulgad ja piirkiirused
N.N. Abramovi järgi

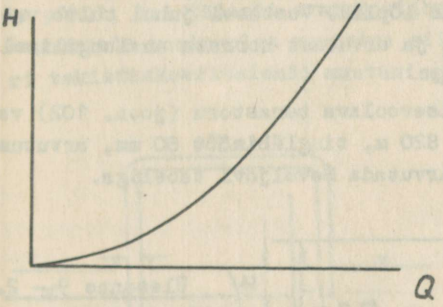
d mm	Ökonoomiline piirvooluhulk l/sek		Ökonoomiline piirkiirus m/sek	
	väikseim	suurim	väikseim	suurim
1	2	3	4	5
100	-	5,4	-	0,71
125	5,4	9,0	0,45	0,73
150	9,0	15,0	0,48	0,85
200	15,0	28,5	0,51	0,91
250	28,5	45,0	0,58	0,92
300	45,0	68,0	0,64	0,96
350	68,0	96,0	0,71	1,00
400	96,0	130,0	0,76	1,04
450	130,0	168,0	0,82	1,06
500	168,0	237,0	0,84	1,21

1	2	3	4	5
600	237,0	355,0	0,86	1,26
700	355,0	490,0	0,93	1,27
800	490,0	685,0	0,98	1,36
900	685,0	882,0	1,07	1,38
1000	882	1120	1,12	1,43
1100	1120	1390	1,18	1,46
1200	1390	-	1,22	-

Torude sortimendi kahe naaberdiameetri puhul d_n ja d_{n+1} vastab tabelis toodud ülempiir väiksemale läbimõõdule d_n ja alampiir suuremale läbimõõdule d_{n+1}.

Ülesande lahendamisel valitakse tabelist ökonoomiline kiirus ja leitakse Seveljovi tabelist sellele vastav toru läbimõõt d ja rõhukadu h = iL.

Rõhukõrguse H graafilist sõltuvust vooluhulgast valemi (9 - 4) või (9 - 4a) alusel nimetatakse torustiku karakteristikuks (joon. 101).



Joon. 101

Kui karakteristik on antud torustiku jaoks konstrueeritud, saab tema abil määrata kas vooluhulka või rõhukadu erinevatel torustiku töörežiimidel.

B. Lühikese torustiku arvutus erineb pika torustiku arvutusest selle poolest, et siin tuleb arvesse võtta ka kõik kohalikud rõhukaod h_k valemi (7 - 5) järgi.

Lühikese torustiku põhivalem on seega

$$h_r = \frac{Q^2}{2g\omega^2}\left(\lambda\frac{L}{d}+\Sigma\right), \qquad (9-6)$$

mida kasutatakse alati koos Bernoulli võrrandiga, mis annab seose rõhukao h_r ja olemasoleva rõhukõrguse (erienergia varu) H vahel.

Takistustegur λ määratakse siin valemite (9 - 1) või (9 - 2) alusel, kohaliku takistuse tegurid määratakse vastavalt takistuste iseloomule.

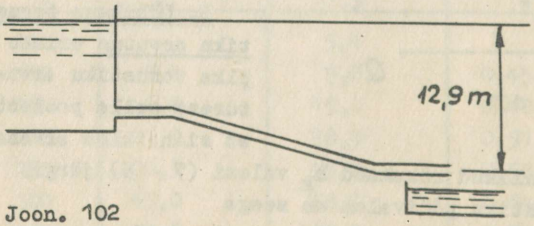
Torustiku arvutusel esineb kolm põhiülesannet:

1. Määrata H, kui Q, d, L ja $\Sigma\zeta$ on ette antud. Ülesanne lahendub otseselt. Siin määratakse algul $v = \frac{Q}{\omega}$ ja seejärel kas valemi (9 - 1) või valemi (9 - 2) alusel λ. Siis määratakse valemi (9 - 6) ja Bernoulli võrrandi abil H.

2. Määrata Q, kui H, d, L ja $\Sigma\zeta$ on ette antud. Ülesanne otseselt ei lahendu, kuna üldjuhul λ sõltub kiirusest v, seega ka vooluhulgast Q. Siin määratakse esialgu takistustegur λ valemi (9 - 1) kohaselt (oletatakse, et voolamine toimub ruuttakistuse tsoonis). Siis arvutatakse Q ja v. Kui $v \geqslant 1{,}2$ m/sek, on arvutus lõplik. Juhul kui $v < 1{,}2$ m/sek, tuleb arvutust korrata, kusjuures λ määratakse valemi (9 - 2) kohaselt.

3. Määrata d, kui Q, H, L ja $\Sigma\zeta$ on ette antud. Seegi ülesanne otseselt ei lahendu. Elementaarseim lahendusviis on järk-järguline lähenemine. Oletatakse meelevaldne läbimõõt d_1 ja arvutatakse sellele vastavad suurused v_1, λ_1 ja Q_1. Kui arvutatud $Q_1 = Q$, on arvutus lõplik. Vastasel juhul tuleb valida parandatud läbimõõt d_2 ja arvutust korrata analoogiliselt seni, kuni arvutatud $Q_i = Q$.

Ülesanne 9 - 1. Leida isevoolava terastoru (joon. 102) vooluhulk, kui toru pikkus on 820 m, tingläbimõõt 80 mm, arvutuslik siseläbimõõt 79,5 mm. Arvutada Ševeljovi tabeliga.

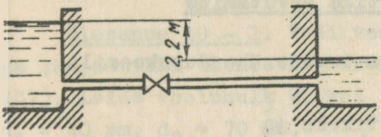


Joon. 102

Ülesanne 9 - 2. 3600 meetri pikkuse vesivarustustoru lõpp on 32 meetrit toru algusest kõrgemal. Leida vooluhulga 2,5 m^3/min läbilaskmiseks vajalik rõhk toru (ГОСТ 3101-46) alguses, kui toru D = 200 mm ja vajalik vabarõhk toru lõpus peab olema 2,5 at. Arvutada eritakistuse A abil.

Ülesanne 9 - 3. Vooluhulk Q = 300 m^3/t juhitakse piki terastoru, mille lõpp-punkt on 13,0 m kõrgemal toru algusest, 6,0 km kaugusele. Leida vajalik toru diameeter, kui rõhk toru alguses on 40 m. Arvutada eritakistuse A abil.

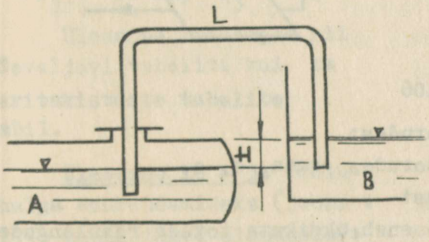
Ülesanne 9 - 4. Leida toru läbimõõt ja vajalik survekõrgus toru alguses, kui L = 100 m ja Q = 8 l/sek. Terastoru ГОСТ 3262-55. Arvutada eritakistuse A abil.



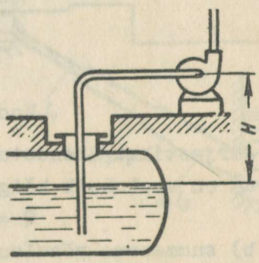
Joon. 103

Ülesanne 9 - 5. Vesi voolab ühest anumast teise piki horisontaalset uputatud toru diameetriga 150 mm (ГОСТ 3262-55) ja pikkusega 64 m (joon. 103). Leida vooluhulk torus, kui reservuaaride veepindade vahe on 2,2 m ja siibri takistus ζ = 0. Ülesanne lahendada Seveljovi tabelite ja eritakistuse A abil.

Ülesanne 9 - 6. Leida vooluhulk eelmise ülesande tingimuste puhul, kui täiesti avatud siibri takistuskoefitsient on 8,0. Joonestada vooluhulga muutmine siibri sulgemisel sõltuvalt siibri takistuskoefitsiendi muutumisest.



Joon. 104



Joon. 105

Ülesanne 9 - 7. Vesi voolab sifoontoru kaudu anumast B anumasse A (joon. 104). Leida sifoontoru läbimõõt, kui Q = 2,0 l/sek, L = 20 m ja veepindade vahe H = 0,20 m. Ülesanne lahendada Seveljovi tabelite abil. Leida tegelik maksimaalne vooluhulk.

Ülesanne 9 - 8. Bensiini pumbatakse maa-alusest reservuaarist 21 m pikkuse 70 mm toru kaudu (joon. 105). Leida vaakuum torus pumba juures, kui Q = 400 l/min ja H = 6 m.

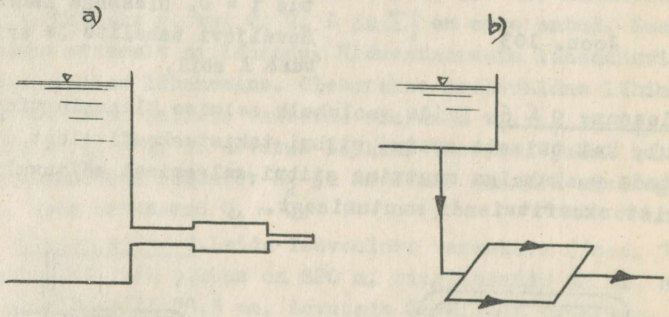
Ülesanne 9 - 9. Vesi voolab reservuaarist atmosfääri piki 100 mm ja 100 m pikkust horisontaaltoru. Joonestada toru vooluhulga karakteristik.

§ 10. Mitmesuguste torustike arvutamine

Torustikud jagunevad üksikute torude ühendusskeemile (joon. 106) vastavalt:

a) järjestikühendusega torustikeks ja

b) paralleelühendusega torustikeks.



Joon. 106

Järjestikku ühendatud torudes:

a) on vooluhulk kõigis torudes sama, s. o.

$$Q = \text{const} \ ;$$

b) summaarne rõhulang koosneb üksikute torude rõhulangude summast

$$H = \sum_{i=1}^{n} h_i = Q^2 \sum_{i=1}^{n} S_i . \qquad (10 - 1)$$

Paralleelselt ühendatud torudes:

a) rõhulang kõigis torudes on sama, s. o.

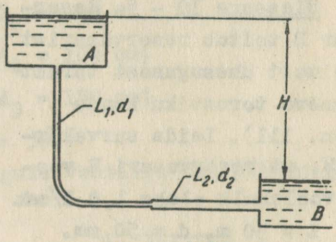
$$H = \text{const} \ ;$$

b) summaarne vooluhulk koosneb üksikute torude vooluhulkade summast

$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i = \frac{\sqrt{H}}{\sum_{i=1}^{n} S_i} . \qquad (10 - 2)$$

Torustike graafilisel lahendamisel tuleb järjestikku ühendatud torude karakteristikud liita vertikaalsuunas, s. o. sama vooluhulga juures summeerida rõhulangud ja paralleelselt ühendatud torude karakteristikud liita horisontaalsuunas, s. o. sama rõhu juures summeerida vooluhulgad.

Ülesanne 10 - 1. Vesi voolab paagist A paaki B teineteisega järjestikku ühendatud terastoru (ГОСТ 3262-55) mööda (joon. 107). Leida vooluhulk Q, kui d_1 = 40 mm, d_2 = 70 mm, $L_1 = L_2$ = 40 m ja H = 5 m. Ülesanne lahendada Seveljovi tabelite abil.

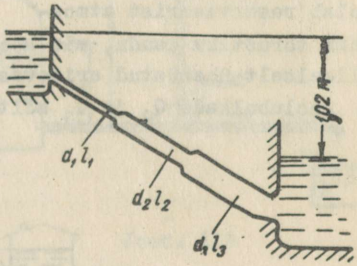


Joon. 107

Ülesanne 10 - 2. Leida isevoolava naftatorustiku vooluhulk (joon. 108), kui:

d_1 = 100 mm, l_1 = 20 m,
d_2 = 125 mm, l_2 = 10 m,
d_3 = 80 mm, l_3 = 40 m.

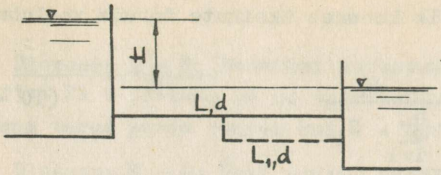
Ülesanne lahendada nii Seveljovi tabelite kui ka eritakistuste tabelite abil.



Joon. 108

Ülesanne 10 - 3. Vooluhulga suurendamiseks (joon. 109) ühendatakse olemasoleva toruga paralleelselt sama diameetriga toru (punktiir) pikkusega $L_1 = \frac{L}{2}$. Määrata vooluhulk ühe ja kahe toru kasutamisel, kui H = 1 m, d = 100 mm ja L = 10 m.

Ülesanne 10 - 4. Tarbijat punktis D (joon. 110) toidetakse reservuaaridest A ja B. Leida maksimaalne vooluhulk tarbija



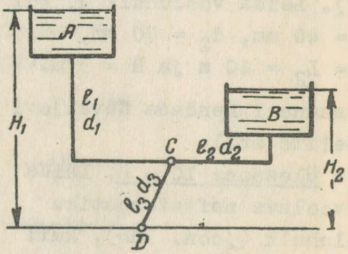
Joon. 109

juures, kui:

H_1 = 30 m, H_2 = 20 m;
d_1 = 100 mm, d_2 = 125 mm, d_3 = 150 mm;
l_1 = 400 m, l_2 = 500 m, l_3 = 250 m.

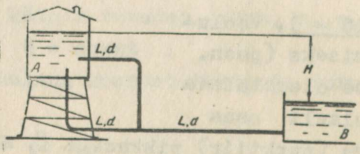
Ülesanne 10 - 5. Reservuaar B toitub reservuaarist A kolmest ühesugusest torust koosneva torustiku kaudu (joon. 111). Leida survekõrgus H, et reservuaari B voolav vooluhulk oleks 1,0 l/sek.

L = 50 m, d = 50 mm.



Joon. 110

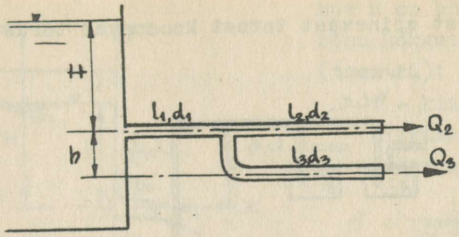
Ülesanne 10 - 6. Vesi voolab reservuaarist atmosfääri torustiku kaudu, mis koosneb kolmest järjestikku ja paralleelselt ühendatud erinevast torust (joon. 112). Joonestada vooluhulkade Q_2 ja Q_3 sõltuvus survekõrgusest H viimase



Joon. 111

muutumisel 0 - 3 m, kui h = 2 m ja

l_1 = 10 m, l_2 = 20 m, l_3 = 20 m;
d_1 = 150 mm, d_2 = 100 mm, d_3 = 80 mm.



Joon. 112

Ülesanne 10 - 7. Leida vooluhulk torustikus, mis ühendab kahte reservuaari nivoode vahega H = 24 m (joon. 113), kui

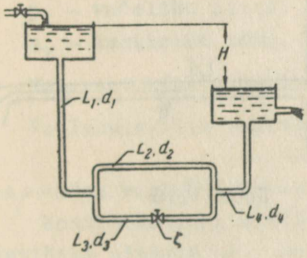
$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 100 \text{ m};$$

$$d_1 = d_2 = d_4 = 100 \text{ mm};$$

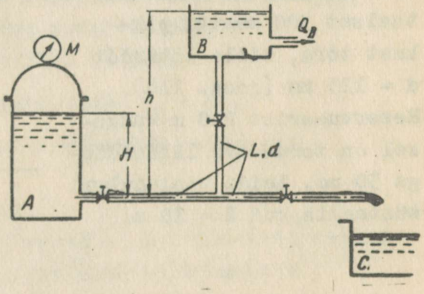
$$d_3 = 150 \text{ mm};$$

ventiili takistuskoefitsient $\zeta = 30$.

Kuidas mõjub süsteemi vooluhulgale ventiili täielik sulgemine?



Joon. 113



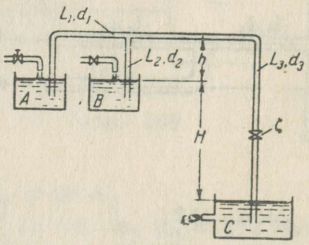
Joon. 114

Ülesanne 10 - 8. Suletud reservuaar A varustab veega paake B ja C torustiku kaudu, mis koosneb kolmest ühesugusest 210 m pikkusest ja 100 mm diameetriga torust (joon. 114).

Leida paaki C suubuv vooluhulk ja veepinna kõrgus h paagis B, kui vooluhulk paagist B on 5 l/sek, manomeetri näit paagil A 4 atü ja H = 3 m.

Ülesanne 10 - 9. Reservuaaridest A ja B voolab vesi anumas-

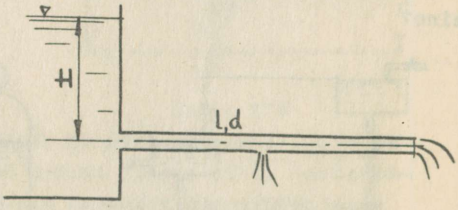
se C piki kolmest erinevast torust koosnevat torustikku (joon. 115).



Joon. 115

Leida reservuaari C vooluhulk, kui:
H = 16 m; L_1 = 200 m, L_2 = 100 m, L_3 = 500 m;
d_1 = 125 mm, d_2 = 100 mm, d_3 = 125 mm ja
ventiili takistuskoefitsient ζ = 12.

Ülesanne 10 -10. Vesi voolab reservuaarist atmosfääri piki horisontaalset 300 meetri pikkust toru, mille läbimõõt d = 125 mm (joon. 116). Reservuaarist 200 m kaugusel on torus ava läbimõõduga 50 mm. Leida vooluhulgad süsteemis, kui H = 10 m.



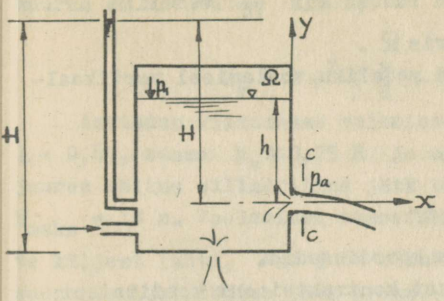
Joon. 116

IV. Voolamine anumatest

§ 11. Vedelike voolamine avadest ja jätkudest

Vedelike voolamisel väikesest avast muutumatu rõhu juures avaldub kiirus joa kitsendatud lõikes valemiga (joon. 117)

$$V_c = \varphi\sqrt{2gH},$$



Joon. 117

kus H on hüdrostaatilise rõhu kõrgus üle ava telje (tsentri);

φ - kiiruskoefitsient.

Kiiruskoefitsient φ on arvutatav seosest

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}},$$

kus α on kineetilise energia koefitsient joa kitsendatud lõikes ja esimeses lähenduses võib $\alpha = 1$;

ζ - ava takistuskoefitsient.

Üldjuhul hüdrostaatiline rõhukõrgus voolamisel kinnisest reservuaarist üle ava tsentri võrdub:

$$H = h + \frac{p_1 - p_2}{\gamma},$$

kus h on ava tsentri ja vedeliku vabapinna vaheline kaugus,

p_1 - vedeliku pinnal olev rõhk reservuaaris,

p_2 - keskkonna rõhk, kuhu vedelik voolab.

Kui voolamine toimub atmosfääri, siis $p_2 = p_a$.

Vooluhulk, mis voolab avast, arvutatakse valemiga:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH},$$

kus $\mu = \varepsilon\varphi$ on vooluhulga koefitsient.

Kontraktsiooni koefitsient ε avaldub kui joa kitsendatud ristlõike pindala ω_c suhe ava ristlõike pindalasse ω :

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega} = \frac{d_c^2}{d^2}.$$

Koefitsientide φ, ζ, ε ja μ väärtused olenevad ava geomeetrilisest kujust ja servade töötlusest, vedeliku juurdevoolu tingimustest avale ja Reynoldsi arvust.

Ava võib lugeda väikeseks, kui tema läbimõõt ei ületa $0{,}1\,H_o$, kus $H_o = H + \frac{v_o^2}{2g}$ on rõhukõrgus üle ava telje. Juurdevoolu kiiruskõrgus $\frac{v_o^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g\Omega^2}$ võetakse arvesse siis,

kui ava ristlõike pindala ω on suurem kui $\frac{1}{10}$ vedeliku vabapinna pindalast reservuaaris Ω.

Joa trajektoori võrrandid vedeliku voolamisel vertikaalseinas oleva ava kaudu

$$x = 2\varphi\sqrt{Hy},$$

$$y = \frac{x^2}{4\varphi^2 H},$$

kus x ja y on joa raskuskeskme koordinaadid.

Vedeliku voolamisel jätkust kontraktsiooni koefitsient $\varepsilon = 1$ ja järelikult $\mu = \varphi$.

Jätkuks nimetatakse lühikest toru, mille pikkus $l = (3+4)d$.

Koefitsientide $\varepsilon, \varphi, \mu$ ja ζ arvulised väärtused, mis iseloomustavad vee voolamist avadest ja jätkudest, on toodud alljärgnevas tabelis:

Nr.	Jätku tüüp	Koefitsiendid			
		ε	φ	μ	ζ
1.	Teravate servadega ümmargune ava	0,64	0,97	0,62	0,06
2.	Väline silindriline jätk (venturi jätk)	1,00	0,82	0,82	0,50
3.	Sisemine silindriline jätk (Borda jätk)	1,00	0,71	0,71	1,00
4.	Kooniline kitsenev jätk (koonilisuse nurk $13^\circ 40'$)	0,99	0,96	0,95	0,09
5.	Kooniline laienev jätk (koonilisuse nurk $5 + 6^\circ$)	1,00	0,50	0,50	3,00

Märkus: tabelis toodud andmed on kehtivad ainult täieliku kontraktsiooni puhul, s. t. kui ava kaugus külgseintest ja põhjast on vähemalt 3d.

Uputatud avade ja jätkude puhul võib kasutada samu valemeid ja koefitsiente, mida kasutatakse voolamisel atmosfääri. Erinevus on ainult selles, et uputatud avade ja jätkude puhul on rõhukõrguseks H veepindade vahe.

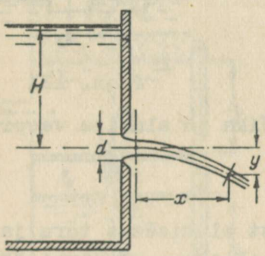
Voolamisel jätkudest tekib jätkus sissevoolu taga kitsendatud lõikes vaakuum. Silindrilise välise jätku puhul vaakuumi

suurus on arvutatav valemiga

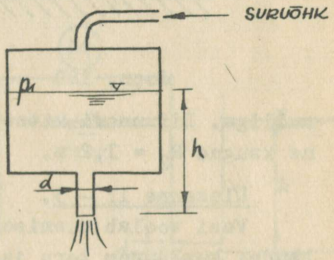
$$h_v = 2\varphi^2 \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) H.$$

Asetades viimasesse valemisse väärtused $\varphi = 0{,}82$ ja $\varepsilon = 0{,}64$, saame $h_v \approx 0{,}75\ H$ ja seega maksimaalne H, mille juures väline silindriline jätk võib töötada veel jätkuna, on $H_{maks} = 13$ m. Voolamisel atmosfääri rebib juga end jätku seinte küljest lahti, aga juba rõhukõrgusel H = (8 ÷ 9)m ja rõhu suurendamisel töötab jätk avana.

Ülesanne 11 - 1. Vesi voolab avast (d = 10 mm) atmosfääri rõhu juures H = 2 m (joon. 118). Arvutada ava vooluhulga-, kiirus- ja takistuskoefitsient, kui vooluhulk Q = 0,294 l/sek ja



Joon. 118



Joon. 119

joa raskuskeskme ühe punkti koordinaadid on : x = 3 m ja y = 1,2 m.

Ülesanne 11 - 2. Arvutada maksimaalne võimalik õhurõhk bensiinipaagis tingimusel, et paagi väljavoolutoru töötaks veel jätkuna. Toru läbimõõt d = 50 mm, h = 1,5 m, bensiini auru rõhk 200 mm elavhõbedasammast ja bensiini erikaal $\gamma = 750$ kG/m^3 (joon. 119). Baromeetriline rõhk on 730 mm elavhõbedasammast. Kui suur on bensiini kaaluline vooluhulk?

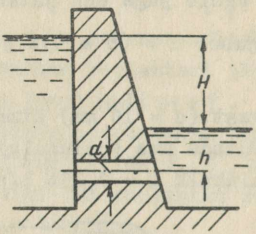
Ülesanne 11 - 3. Paisu silindrilise veelasu kaudu lastakse läbi vooluhulk Q = 2,3 m^3/sek, kui rõhukõrgus H = 10 m.

Arvutada veelasu läbimõõt d ja minimaalne veepinna kõrgus h üle jätku telje tingimusel, et vaakuum jätkus ei ületaks 6-m veesammast (joon. 120).

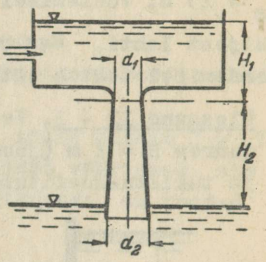
Ülesanne 11 - 4. Veereservuaar on alumise biefiga ühendatud

difuusoriga, mille läbimõõdud on : d_1 = 100 mm ja d_2 = 150 mm (joon. 121). Difuusori sissevoolu takistuskoefitsient on ζ = 0,06 ja rõhukadude koefitsient difuusoris φ_k = 0,2.

Arvutada veepinna kõrgus H_1 ülemises reservuaaris tingimusel, et difuusori kitsendatud lõikes absoluutne rõhk võrduks



Joon. 120

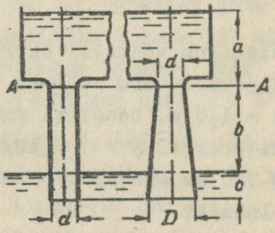


Joon. 121

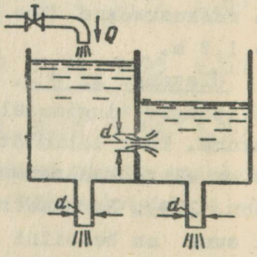
nulliga. Difuusori kitsendatud lõike ja alumise veepinna vaheline kaugus H_2 = 1,2 m.

Ülesanne 11 - 5.

Vesi voolab ülemisest paagist alumisesse toru ja difuusori kaudu, kusjuures toru ja difuusori sissevoolu läbimõõt (lõige A - A) d = 300 mm ja difuusori väljavoolu läbimõõt D = 600 mm (joon. 122).



Joon. 122



Joon. 123

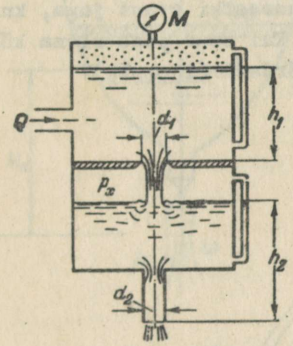
Arvutada, mitu korda difuusori vooluhulk on suurem vooluhulgast torus, kui on teada kõrgused a = 0,8 m, b = 1,4 m ja c = 0,6 m. Sissevoolu osa takistuskoefitsient nii torus kui ka difuusoris on ζ = 0,05 ja rõhukadude koefitsient difuusoris φ_k = 0,25.

Kui suur on rõhk mõlemal juhul lõikes A - A?

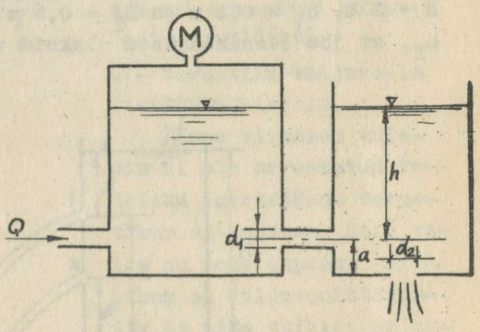
Ülesanne 11 - 6. Paak on eraldatud vaheseinaga kaheks osaks, kusjuures vaheseinas on teravate servadega ümmargune ava läbimõõduga d = 100 mm (joon. 123). Vasakpoolsesse paagi osasse voolab vesi Q = 80 l/sek. Mõlema sektsiooni põhjad on varustatud silindrilise välisjätkuga, millede läbimõõt d = 100 mm. Arvutada mõlema jätku vooluhulk.

Kui suur peab olema vasakpoolse jätku läbimõõt, et vooluhulgad mõlemast jätkust oleksid võrdsed?

Ülesanne 11 - 7. Vesi voolab ülemisest paagist alumisse teravate servadega ümmargusest avast, mille läbimõõt d_1 = 30 mm (joon. 124) ja alumisest paagist silindrilise välisjätku (d_2 = = 20 mm) kaudu atmosfääri.



Joon. 124



Joon. 125

Arvutada jätku vooluhulk Q, kui on teada, et ülemise paagi manomeeter näitab M = 0,5 atü ja veepinnad mõõteklaaside järgi on h_1 = 2m ja h_2 = 3 m.

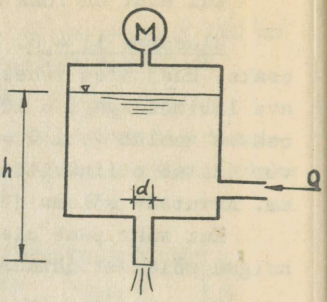
Kui suur on siis rõhk p_x alumises paagis?

Ülesanne 11 - 8. Kaks reservuaari on ühendatud omavahel jätkuga (joon. 125), mille läbimõõt d_1 = 30 mm. Mõlemas reservuaaris on vedeliku (δ = 750 kG/m^3) pind samal kõrgusel, s. t. h = 1,20 m. Manomeetri lugem vasakpoolses anumas M = 0,40 atü.

Arvutada ava läbimõõt d_2 ja vooluhulk Q, kui tegemist on muutumatu voolamisega. Jätku telje ning ava vaheline kaugus a = 0,50 m.

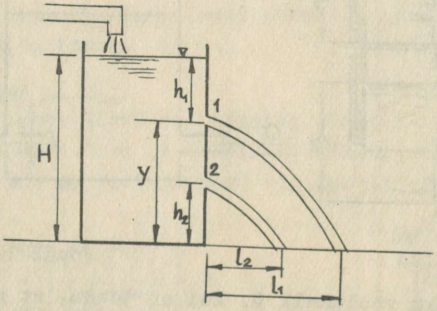
Ülesanne 11 - 9. Suletud reservuaar on varustatud silindrilise välisjätkuga, mille läbimõõt d = 40 mm. Jätku väljavoolu ava ja veepinna vaheline kaugus h = 1,3 m (joon. 126).

Mitu korda suureneb vooluhulk Q, kui ülerõhk veepinnal muuta algväärtusest (M_1 = 0,45 atü) lõppväärtuseni (M_2 = 1,50 atü)?



Joon. 126

Ülesanne 11 - 10. Reservuaari seinas on 2 teravate servadega ja erinevatel kõrgustel asuvat ava läbimõõduga d = 25 mm (joon. 127). Kui kaugele paiskub kummastki avast juga, kui H = 2 m, h_1 = 0,4 m ja h_2 = 0,6 m? Kui suur peab olema kõrgus h_2, et joa lennukaugused oleksid võrdsed ($l_1 = l_2$)?



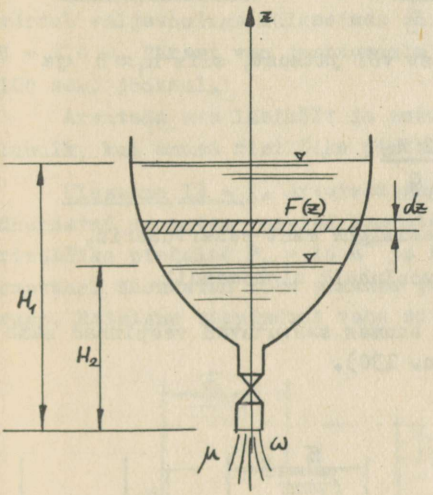
Joon. 127

§ 12. Voolamine muutuva rõhu all

Vedelikud voolavad muutuva rõhu all tavaliselt reservuaaride tühjendamisel ja täitmisel. Kui on tegemist voolamisega ruuttakistuse piirkonnas, võib vooluhulga koefitsiendi μ võtta konstantseks suuruseks kogu anuma tühjenemise või täitumise aja vältel. Seda esineb praktikas kõige sagedamini, sest enamikel juhtudel on tegemist väheviskoossete vedelike voolamisega.

Anuma osalise tühjenemise aeg vedeliku pinna langemisel kõrguselt H_1 kõrguseni H_2 on üldjuhul arvutatav valemiga (joon. 128):

$$t = \frac{1}{\mu\omega\sqrt{2g}} \int_{H_2}^{H_1} \frac{F(z)\,dz}{\sqrt{z}} ,$$



Joon. 128

kus F (z) on anuma vedeliku vabapinna pindala funktsioon rõhust z;
dz - vedeliku pinna alanemine anumas aja dt jooksul ($dz < 0$);
μ - väljavoolutorustiku vooluhulga koefitsient, mis on arvutatud väljavoolu ristlõikele;
ω - torustiku väljavoolu ristlõike pindala.

Kuna viimases valemis ei ole arvestatud vedeliku inertsjõudu torustikus ega anumas, siis valem on seda täpsem, mida lühem on väljavoolutorustik ja mida väiksem on torustiku ristlõike pindala anuma ristlõike pindalaga võrreldes.

Prismaatilise reservuaari jaoks, kus F (z) = F = const, saame peale integreerimist

$$t = \frac{2F}{\mu\omega\sqrt{2g}} \left(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} \right).$$

Kui anuma tühjenemisel voolab anumasse samal ajal juurde konstantne vooluhulk q, siis anuma tühjenemise aeg pikeneb aja Δt võrra:

$$\Delta t = \frac{2f}{\mu\omega\sqrt{2g}} \sqrt{z} \ln \frac{\sqrt{H_1} - \sqrt{z}}{\sqrt{H_2} - \sqrt{z}} ,$$

kus z on rõhk, mis arvutatakse valemist

$$q = \mu\omega\sqrt{2g\,z}.$$

Anuma täieliku tühjenemise aeg (joon. 129):

$$T = \frac{2F}{\mu\omega\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h_0 + h_1} - \sqrt{h_1}\right),$$

kus väljavoolutorustiku vooluhulga koefitsient (lühike toru)

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta + \lambda\frac{L}{D}}}.$$

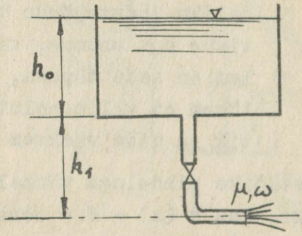
Kui väljavool toimub avast või jätkust, siis $h_1 \approx 0$ ja tühjenemise aeg

$$T = \frac{2F\sqrt{h_0}}{\mu\omega\sqrt{2g}} = \frac{2W_0}{Q_0},$$

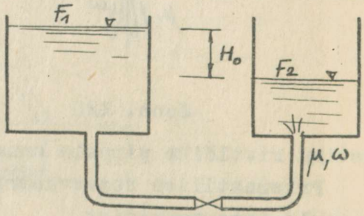
kus $W_0 = F \cdot h_0$ on vedeliku esialgne maht reservuaaris,

$Q_0 = \mu\omega\sqrt{2gh_0}$ – vedeliku vooluhulk algmomendil.

Kahes omavahel ühendatud anumas saavutavad veepinnad sama kõrguse aja T möödumisel (joon. 130).



Joon. 129



Joon. 130

$$T = 2\,\frac{F_1 F_2}{F_1 + F_2}\,\frac{\sqrt{H_0}}{\mu\omega\sqrt{2g}},$$

kus F_1 ja F_2 on reservuaaride ristlõike pindalad (konstantsed).

Suure viskoossusega vedelike puhul võib esineda väljavoolutorustikus laminaarne voolamine. Mitte arvestades kohalike takistuste mõju, on viskoossete vedelike puhul anuma osalise tühjenemise aeg F (z) = F = const arvutatav valemist (joon. 128)

$$T = \frac{F}{k} \ln \frac{H_1}{H_2},$$

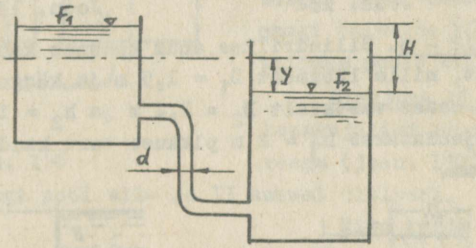
kus

$$k = \frac{\pi g d^4}{128 \nu l}.$$

Ülesanne 12 - 1. Vee juurdevool silindrilisse anumasse võrdub väljavooluga külgseinas oleva ava kaudu rõhu juures $H = 1{,}0$ m. Pärast vee juurdevoolu katkestamist tühjeneb anum 100 sek. jooksul.

Arvutada ava läbimõõt ja anumasse juurdevoolava vee vooluhulk, kui anuma ristlõike pindala $F = 0{,}5\ m^2$.

Ülesanne 12 - 2. Arvutada aeg, mille jooksul omavahel ühendatud anumates veepind saavutab sama kõrguse. Anumate ristlõike pindalad $F_1 = 10\ m^2$ ja $F_2 = 6\ m^2$ (joon. 131) on omavahel ühendatud 10 m pikkuse ja $d = 100$ mm läbimõõduga toruga. Esialgne veepindade vahe anumates $H = 4$ m.



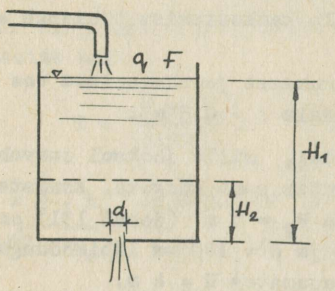
Joon. 131

Arvutamisel võtta takistuskoefitsient toru käänakule $\zeta = 0{,}30$ ja hõõrdekoefitsient $\lambda = 0{,}040$.

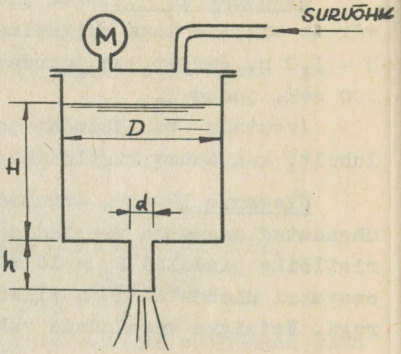
Ülesanne 12 - 3. Reservuaari, ristlõike pindalaga $F = 1\ m^2$, voolab vooluhulk $q = 1$ l/sek. Reservuaari põhjas on teravate servadega $d = 30$ mm läbimõõduga ava, mille kaudu vesi välja voolab (joon. 132). Väljavoolu algmomendil on veepinna kõrgus $H_1 = 60$ cm. Kui palju kulub aega, et veepind langeks kõrguseni $H_2 = 30$ cm?

Ülesanne 12 – 4. Kui suurt ülerõhku peab hoidma paagis, et paak tühjeneks kaks korda kiiremini, kui atmosfäärirõhu puhul?

Paagi läbimõõt D = 800 mm ja esialgne veepinna kõrgus H = 900 mm(joon. 133). Väljavool paagist toimub d = 25 mm läbimõõduga silindrilise välisjätku kaudu, mille pikkus h = 100 mm.

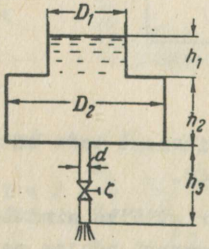


Joon. 132

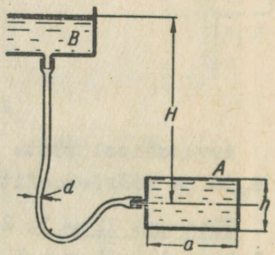


Joon. 133

Ülesanne 12 – 5. Silindriline anum koosneb kahest osast: ülemisest osast, mille läbimõõt D_1 = 1,5 m ja kõrgus h_1 = 1,0m, ning alumisest osast vastavalt D_2 = 2,2 m ja h_2 = 1,5 m (joon. 134). Anum tühjendatakse h_3 = 2 m pikkuse toru kaudu, mille läbimõõt d = 60 mm.



Joon. 134



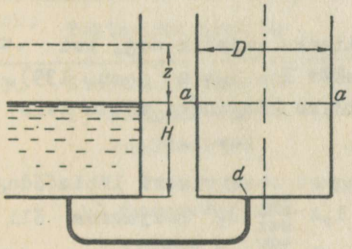
Joon. 135

Arvutada anuma tühjenemise aeg, kui on teada, et takistustegur torus λ = 0,03 ja täiesti avatud ventiili takistuskoefitsient ζ = 4.

Ülesanne 12 - 6. Ruudukujulise põhjaga a x a = 2 x 2 m^2 paak A kõrgusega h = 1,6 m täidetakse vooliku abil bensiiniga tsentraalsest bensiinihoidlast B. Vooliku pikkus l = 7 m ja ta on ühendatud paagiga A $\frac{1}{2}$ h kõrgusel (joon. 135), kusjuures hoidla B asub paagist A kõrgemal H = 5 m.

Arvutada vooliku läbimõõt d, kui on teada, et antud tingimustes paagi A täitumise aeg T = 15 min. Vooliku hõõrdekoefitsient λ = 0,05. Kohalikke takistusi mitte arvestada.

Ülesanne 12 - 7. Paak läbimõõduga D = 600 mm täidetakse torustiku kaudu kõrguseni a - a (H = 1,2 m) reservuaari veega. Toru läbimõõt d = 25 mm ja takistuskoefitsientide summa (arvestades kadusid ka voolu pikkusel) ζ = 8 (joon. 136).



Joon. 136

1) Arvutada paagi täitmise aeg kõrguseni a - a, kui reservuaari veepind jääb samale kõrgusele.

2) Millise kõrguseni z peab tõstma reservuaari veepinda, et paagi täitmine kõrguseni a - a toimuks poole kiiremini?

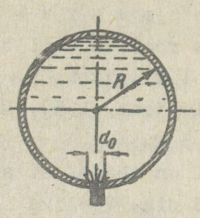
Ülesanne 12 - 8. Kaks poolkerakujulist anumat on täidetud veega (joon. 137). I anumal on kera suurringi pool all- ja II anumal ülalpool.



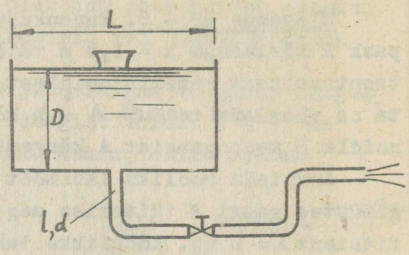
Joon. 137

Mitu korda tühjeneb I anum kiiremini II anumast, kui väljavool toimub avast läbimõõduga d_0? Kera sisemine raadius on R. Anuma vee pinnal on atmosfäärirõhk.

Ülesanne 12 - 9. Arvutada kerakujulise anuma R = 0,8 m täielik tühjenemise aeg anuma põhjas oleva d_0 = 50 mm läbimõõduga ava kaudu. Tühjenemise ajal on veepinnal atmosfäärirõhk (joon. 138).



Joon. 138

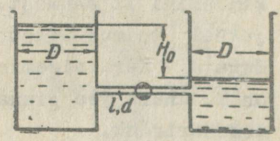


Joon. 139

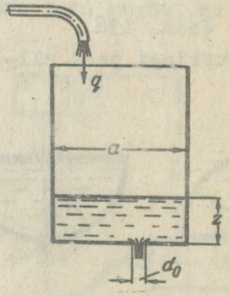
Ülesanne 12 - 10. Bensiini tsistern tühjendatakse põhjas oleva toru kaudu, mille pikkus l = 7 m ja läbimõõt d = 50 mm. Toru kohalike takistuskoefitsientide summa ζ = 8 ja takistustegur λ = 0,025.

Arvutada tsisterni tühjendamiseks vajalik aeg, kui tsisterni pikkus L = 6 m ja läbimõõt D = 2,4 m (joon. 139). Arvutamisel toru väljavoolu ristlõike kõrguseks võtta tsisterni põhja kõrgus.

Ülesanne 12 - 11. Kaks ühesugust reservuaari läbimõõduga D = 0,8 m on täidetud õliga (ν = 1,4 $\frac{cm^2}{sek}$), kusjuures õli pindade vahe H_0 = 1,20 m (joon. 140). Õli pinnad ühtlustuvad



Joon. 140



Joon. 141

ühendustoru kraani avamisega. Kui palju kulub aega, et õli pindade vahe oleks H = 0,1 m. Ühendustoru pikkus l = 6 m ja tema läbimõõt d = 12 mm. Õli voolamine torus toimub laminaarselt.

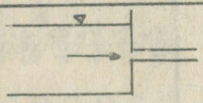
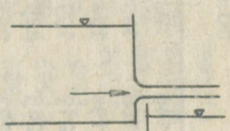
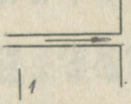
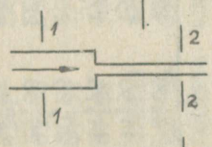
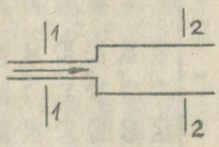
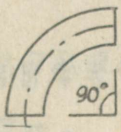
Ülesanne 12 - 12. Ruudukujulise põhjaga (a = 800 mm) anumasse antakse konstantne vooluhulk q = 2 l/sek. Samaaegselt toimub väljavool anuma põhjas oleva ava kaudu, mille d_0 = 30 mm ja μ = 0,61 (joon. 141).

Arvutada:

1) millise veepinna $z_{maks.}$ puhul töötab antud süsteem statsionaarsel režiimil;
2) kui palju kulub aega, et veepindade z ja $z_{maks.}$ vahe oleks Δz = 0,10 m?

Lisa I

Mõningaid kohalike takistuste koefitsiente

Jrk. nr.	Takistuse nimetus	Takistuse skeem	ζ
1.	Sissevool torusse a) teravad sissevooluservad		a) 0,5
	b) ümardatud servadega sissevool		b) 0,1 - 0,2
2.	Väljavool torust anumasse		1,0
3.	Voolu järsk kitsenemine		$h = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$ $\zeta = 0,5(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1})$
4.	Voolu järsk laienemine		$h = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$ $\zeta = (\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1)^2$
5.	Toru põlv		0,5 - 0,6

Torude normaalnomenklatuur

Terastorud (läbimõõdud mm-tes)											Malmtorud	
ГОСТ 3262-55				ГОСТ 3101-46				ГОСТ 4015-52			ГОСТ 5525-50	
tingläbimõõt	välisläbimõõt	sisseläbimõõt	arvut. siseläbimõõt d_a	tingläbimõõt	välisläbimõõt	siseläbim. seinapaksusel 10 mm	arvut. siseläbimõõt d_a	tingläbimõõt	välisläbimõõt	arvut. siseläbim. d_a seinapaksusel 10 mm	siseläbimõõt	arvut. siseläbimõõt d_a
8	13,50	9,00	8,00	125	146	126	125	400	426	406	50	49
10	17,00	12,50	11,50	150	168	148	147	450	478	458	75	74
15	21,25	15,75	14,75	175	194	174	173	500	529	509	100	99
20	26,75	21,25	20,25	200	219	199	198	600	630	610	125	124
25	33,50	27,00	26,00	225	245	225	224	700	720	700	150	149
32	42,25	35,75	34,75	250	273	253	252	800	820	800	200	199
40	48,00	41,00	40,00	275	299	279	278	900	920	900	250	249
50	60,00	53,00	52,00	300	325	305	305	1000	1020	1000	300	300
70	75,50	68,00	67,00	325	351	331	331	1200	1220	1200	350	350
80	88,50	80,50	79,50	350	377	357	357	1400	1420	1400	400	400
100	114,00	106,00	105,00	400	426	406	406				450	450
125	140,00	131,00	130,00								500	500
150	165,00	156,00	155,00								600	600
											700	700
											800	800
											900	900
											1000	1000

Eritakistuse A arvutuslikud väärtused

Terastorud								Malmtorud			
GOST 3262-55			GOST 3101-46		GOST 4015-52			GOST 5525-50			
tingläbim. mm	A, kui Q on m^3/sek	A, kui Q on l/sek	tingläbim. mm	A, kui Q on m^3/sek	tingläbim. mm	A, kui Q on m^3/sek		siseläbim. mm	A, kui Q on m^3/sek	siseläbim. mm	A, kui Q on m^3/sek
8	225500000	225,5	125	106,2	400	0,2062		50	15190	400	0,2232
10	32950000	32,95	150	44,95	450	0,1089		75	1709	450	0,1195
15	8809000	8,809	175	18,96	500	0,06222		100	365,3	500	0,06839
20	1643000	1,643	200	9,273	600	0,02384		125	110,8	600	0,02602
25	436700	0,4367	225	4,822	700	0,01150		150	41,85	700	0,01150
32	93860	0,09386	250	2,583	800	0,005665		200	9,029	800	0,005665
40	44530	0,04453	275	1,535	900	0,003034		250	2,752	900	0,003034
50	11080	0,01108	300	0,9392	1000	0,001736		300	1,025	1000	0,001736
70	2893	0,002893	325	0,6088	1200	0,0006605		350	04529		
80	1168	0,001168	350	0,4078	1400	0,0002918					
100	267,4	0,0002674	400	0,2062							
125	86,23	0,00008623									
150	33,95	0,00003395									

Seveljovi arvutustabelid terastorudele 3262-55

v m/sek.

Q 1/sek.	d mm																	
	8		10		15		20		25		32		40		50		70	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
0,025	0,50	162																
0,030	0,60	226																
0,035	0,70	300	0,34	50,4														
0,040	0,80	384	0,38	63,9														
0,045	0,89	476	0,43	79,0	0,26	23,5												
0,050	0,99	580	0,48	95,5	0,29	28,4												
0,055	1,09	692	0,53	113	0,32	33,8												
0,060	1,19	815	0,58	133	0,35	39,2												
0,065	1,29	953	0,63	154	0,38	45,2	0,20	9,76										
0,070	1,39	1105	0,67	176	0,41	51,8	0,22	11,1										
0,075	1,49	1268	0,72	200	0,44	58,6	0,23	12,5										
0,080	1,59	1443	0,77	225	0,47	65,7	0,25	14,0										
0,085	1,69	1629	0,82	252	0,50	73,3	0,26	15,6										
0,090	1,79	1827	0,87	280	0,53	81,5	0,28	17,3										
0,095	1,89	2035	0,91	310	0,56	89,8	0,29	19,1										
0,10	1,99	2255	0,96	340	0,58	98,5	0,31	20,8										
0,11	2,19	2729	1,06	406	0,64	117	0,34	24,7	0,21	7,36								
0,12	2,39	3247	1,15	478	0,70	137	0,37	28,8	0,23	8,59								
0,13	2,59	3811	1,25	557	0,76	159	0,40	33,3	0,24	9,91								
0,14	2,78	4420	1,35	646	0,82	182	0,43	38,0	0,26	11,3								
0,15	2,98	5074	1,44	742	0,88	208	0,46	43,0	0,28	12,7								
0,16			1,54	843	0,94	234	0,50	48,5	0,30	14,3								
0,17			1,64	953	0,99	262	0,53	54,1	0,32	15,9								
0,18			1,73	1068	1,05	291	0,56	60,1	0,34	17,6								
0,19			1,83	1189	1,11	322	0,59	66,3	0,36	19,4	0,20	4,75						
0,20			1,92	1318	1,17	354	0,62	72,7	0,38	21,3	0,21	5,22						
0,25			2,41	2059	1,46	551	0,78	109	0,47	31,8	0,26	7,70	0,20	3,92				
0,30			2,89	2965	1,76	793	0,93	153	0,56	44,2	0,32	10,7	0,24	5,42				
0,35			3,37	4036	2,05	1079	1,09	204	0,66	58,6	0,37	14,1	0,28	7,08				
0,40					2,34	1409	1,24	263	0,75	74,8	0,42	17,9	0,32	8,98				
0,45					2,63	1784	1,40	333	0,85	93,2	0,47	22,1	0,36	11,1	0,21	3,12		
0,50					2,93	2202	1,55	411	0,94	113	0,53	26,7	0,40	13,4	0,23	3,74		
0,55					3,22	2665	1,71	497	1,04	135	0,58	31,8	0,44	15,9	0,26	4,44		
0,60							1,86	591	1,13	159	0,63	37,3	0,48	18,4	0,28	5,16		
0,65							2,02	694	1,22	185	0,68	43,1	0,52	21,5	0,31	5,97		
0,70							2,17	805	1,32	214	0,74	49,5	0,56	24,6	0,33	6,83	0,20	1,9
0,75							2,33	924	1,41	246	0,79	56,2	0,60	28,3	0,35	7,70	0,21	2,2
0,80							2,48	1051	1,51	279	0,84	63,2	0,64	31,4	0,38	8,52	0,23	2,5
0,85							2,64	1187	1,60	316	0,90	70,7	0,68	35,1	0,40	9,63	0,24	2,8
0,90							2,79	1330	1,69	354	0,95	78,7	0,72	39,0	0,42	10,7	0,25	3,1

Q l/sek.	d mm															
	25		32		40		50		70		80		100		125	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
,95	1,79	394	1,00	86,9	0,76	43,1	0,45	11,8	0,27	3,42						
,0	1,88	437	1,05	95,7	0,80	47,3	0,47	12,9	0,28	3,76	0,20	1,64				
,05	1,98	481	1,11	105	0,84	51,8	0,49	14,1	0,30	4,09	0,21	1,78				
,1	2,07	528	1,16	114	0,87	56,4	0,52	15,3	0,31	4,44	0,22	1,95				
,15	2,17	578	1,21	124	0,91	61,3	0,54	16,6	0,33	4,81	0,23	2,10				
,2	2,26	629	1,27	135	0,95	66,3	0,56	18,0	0,34	5,18	0,24	2,27				
,25	2,35	682	1,32	147	0,99	71,6	0,59	19,4	0,35	5,57	0,25	2,44				
,3	2,45	738	1,37	159	1,03	76,9	0,61	20,8	0,37	5,99	0,26	2,61				
,35	2,54	796	1,42	171	1,07	82,5	0,64	22,3	0,38	6,41	0,27	2,79				
,4	2,64	856	1,48	184	1,11	88,4	0,65	23,7	0,40	6,83	0,28	2,97				
,45	2,73	918	1,53	197	1,15	94,4	0,68	25,4	0,41	7,27	0,29	3,16				
,5	2,82	983	1,58	211	1,19	101	0,71	27,0	0,42	7,72	0,30	3,36				
,55	2,92	1049	1,63	226	1,23	107	0,73	28,7	0,44	8,22	0,31	3,56				
,6	3,01	1118	1,69	240	1,27	114	0,75	30,4	0,45	8,70	0,32	3,76				
,65			1,74	256	1,31	121	0,78	32,2	0,47	9,19	0,33	3,97				
,7			1,79	271	1,35	129	0,80	34,0	0,48	9,69	0,34	4,19	0,20	1,09		
,75			1,85	287	1,39	136	0,82	35,9	0,50	10,2	0,35	4,41	0,202	1,15		
,8			1,90	304	1,43	144	0,85	37,8	0,51	10,7	0,36	4,66	0,21	1,21		
,85			1,95	321	1,47	152	0,87	39,7	0,52	11,3	0,37	4,89	0,214	1,27		
,9			2,00	339	1,51	161	0,89	41,8	0,54	11,9	0,38	5,13	0,22	1,32		
,95			2,06	357	1,55	169	0,92	43,8	0,55	12,4	0,39	5,37	0,225	1,39		
,0			2,11	375	1,59	178	0,94	46,0	0,57	13,0	0,40	5,62	0,23	1,47		
,1			2,21	414	1,67	196	0,99	50,3	0,60	14,2	0,42	6,13	0,24	1,58		
,2			2,32	454	1,75	216	1,04	54,9	0,62	15,5	0,44	6,66	0,25	1,72		
,3			2,43	497	1,83	236	1,08	59,6	0,65	16,8	0,46	7,22	0,27	1,87		
,4			2,53	541	1,91	256	1,13	64,5	0,68	18,2	0,48	7,79	0,28	2,00		
,5			2,64	587	1,99	278	1,18	69,6	0,71	19,6	0,50	8,41	0,29	2,16		
,6			2,74	635	2,07	301	1,22	74,9	0,74	21,0	0,52	9,03	0,30	2,31	0,20	0,825
,7			2,85	684	2,15	325	1,27	80,8	0,77	22,6	0,54	9,66	0,31	2,48	0,203	0,878
,8			2,95	736	2,23	349	1,32	86,9	0,79	24,1	0,56	10,3	0,32	2,63	0,21	0,940
,9					2,31	374	1,37	93,2	0,82	25,7	0,58	11,0	0,33	2,81	0,22	0,995
,0					2,39	400	1,41	99,8	0,85	27,4	0,60	11,7	0,35	2,98	0,23	1,06
,1					2,47	428	1,46	107	0,88	29,1	0,62	12,4	0,36	3,17	0,233	1,12
,2					2,55	456	1,51	114	0,91	30,9	0,64	13,2	0,37	3,36	0,24	1,19
,3					2,63	485	1,55	121	0,94	32,7	0,66	13,9	0,38	3,54	0,25	1,26
,4					2,71	515	1,60	128	0,96	34,5	0,68	14,7	0,39	3,74	0,26	1,32
,5					2,78	545	1,65	136	0,99	36,5	0,70	15,5	0,40	3,93	0,264	1,40
,6					2,86	577	1,69	144	1,02	38,4	0,72	16,3	0,42	4,14	0,27	1,46
,7					2,94	610	1,74	152	1,05	40,4	0,74	17,2	0,43	4,34	0,28	1,54
,8					3,02	643	1,79	160	1,08	42,5	0,76	18,0	0,44	4,57	0,29	1,61

q l/sek.	d mm											
	50		70		80		100		125		150	
	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001
3,9	1,84	169	1,11	44,6	0,79	18,9	0,45	4,77	0,294	1,69	0,207	0,723
4,0	1,88	177	1,13	46,8	0,81	19,8	0,46	5,01	0,30	1,76	0,21	0,754
4,1	1,93	186	1,16	49,0	0,83	20,7	0,47	5,22	0,31	1,84	0,217	0,785
4,2	1,98	196	1,19	51,2	0,85	21,7	0,48	5,46	0,32	1,92	0,22	0,824
4,3	2,02	205	1,22	53,5	0,87	22,6	0,50	5,71	0,324	2,01	0,23	0,857
4,4	2,07	215	1,25	56,0	0,89	23,6	0,51	5,94	0,33	2,09	0,233	0,890
4,5	2,12	224	1,28	58,6	0,91	24,6	0,52	6,20	0,34	2,18	0,24	0,924
4,6	2,17	235	1,30	61,2	0,93	25,7	0,53	6,44	0,35	2,27	0,244	0,966
4,7	2,21	245	1,33	63,9	0,95	26,7	0,54	6,71	0,354	2,35	0,25	1,00
4,8	2,26	255	1,36	66,7	0,97	27,8	0,55	6,95	0,36	2,45	0,254	1,04
4,9	2,31	266	1,39	69,5	0,99	28,9	0,57	7,24	0,37	2,53	0,26	1,08
5,0	2,35	277	1,42	72,3	1,01	30,0	0,58	7,49	0,38	2,63	0,265	1,12
5,1	2,40	288	1,45	75,2	1,03	31,1	0,59	7,77	0,384	2,72	0,27	1,15
5,2	2,45	300	1,47	78,2	1,05	32,2	0,60	8,04	0,39	2,82	0,276	1,20
5,3	2,50	311	1,50	81,3	1,07	33,4	0,61	8,34	0,40	2,91	0,28	1,24
5,4	2,54	323	1,53	84,4	1,09	34,6	0,62	8,64	0,41	3,02	0,286	1,28
5,5	2,59	335	1,56	87,5	1,11	35,8	0,63	8,92	0,414	3,11	0,29	1,32
5,6	2,64	348	1,59	90,7	1,13	37,0	0,65	9,23	0,42	3,22	0,297	1,37
5,7	2,68	360	1,62	94,0	1,15	38,3	0,66	9,52	0,43	3,32	0,30	1,41
5,8	2,73	373	1,64	97,3	1,17	39,5	0,67	9,84	0,44	3,43	0,31	1,45
5,9	2,78	386	1,67	101	1,19	40,8	0,68	10,1	0,444	3,53	0,313	1,50
6,0	2,82	399	1,70	104	1,21	42,1	0,69	10,5	0,45	3,65	0,32	1,54
6,1	2,87	412	1,73	108	1,23	43,5	0,70	10,8	0,46	3,76	0,323	1,59
6,2	2,92	426	1,76	111	1,25	44,9	0,72	11,1	0,47	3,87	0,33	1,64
6,3	2,97	440	1,79	115	1,27	46,4	0,73	11,4	0,475	3,99	0,334	1,69
6,4	3,01	454	1,81	118	1,29	47,9	0,74	11,8	0,48	4,09	0,34	1,73
6,5			1,84	122	1,31	49,4	0,75	12,1	0,49	4,22	0,344	1,78
6,6			1,87	126	1,33	50,9	0,76	12,4	0,50	4,33	0,35	1,83
6,7			1,90	130	1,35	52,4	0,77	12,8	0,505	4,45	0,355	1,88
6,8			1,93	134	1,37	54,0	0,78	13,2	0,51	4,57	0,36	1,93
6,9			1,96	138	1,39	55,6	0,80	13,5	0,52	4,70	0,366	1,98
7,0			1,99	142	1,41	57,3	0,81	13,9	0,53	4,81	0,37	2,03
7,1			2,01	146	1,43	58,9	0,82	14,3	0,535	4,95	0,376	2,08
7,2			2,04	150	1,45	60,6	0,83	14,6	0,54	5,06	0,38	2,14
7,3			2,07	154	1,47	62,3	0,84	15,0	0,55	5,20	0,39	2,19
7,4			2,10	158	1,49	64,0	0,85	15,4	0,56	5,32	0,392	2,24
7,5			2,13	163	1,51	65,7	0,87	15,8	0,565	5,46	0,40	2,30
7,6			2,15	167	1,53	67,5	0,88	16,2	0,57	5,60	0,403	2,36
7,7			2,18	172	1,55	69,3	0,89	16,6	0,58	5,73	0,41	2,41
7,8			2,21	176	1,57	71,1	0,90	17,0	0,59	5,87	0,413	2,46

Q 1/sek.	d mm									
	70		80		100		125		150	
	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001
7,9	2,24	181	1,59	72,9	0,91	17,4	0,595	6,00	0,42	2,53
8,0	2,27	185	1,61	74,8	0,92	17,8	0,60	6,15	0,424	2,58
8,1	2,30	190	1,63	76,7	0,93	18,2	0,61	6,28	0,43	2,64
8,2	2,33	195	1,65	78,6	0,95	18,6	0,62	6,43	0,435	2,71
8,3	2,35	199	1,67	80,5	0,96	19,1	0,625	6,56	0,44	2,76
8,4	2,38	204	1,69	82,4	0,97	19,5	0,63	6,72	0,445	2,82
8,5	2,41	209	1,71	84,4	0,98	19,9	0,64	6,85	0,45	2,88
8,6	2,44	214	1,73	86,4	0,99	20,3	0,65	7,01	0,456	2,95
8,7	2,47	219	1,75	88,4	1,01	20,8	0,655	7,15	0,46	3,00
8,8	2,50	224	1,77	90,5	1,02	21,2	0,66	7,31	0,466	3,06
8,9	2,52	229	1,79	92,6	1,03	21,7	0,67	7,45	0,47	3,14
9,0	2,55	234	1,81	94,6	1,04	22,1	0,68	7,62	0,477	3,20
9,1	2,58	240	1,83	96,8	1,05	22,6	0,69	7,78	0,48	3,26
9,2	2,61	245	1,85	98,9	1,06	23,0	0,693	7,93	0,49	3,33
9,3	2,64	250	1,87	101	1,07	23,5	0,70	8,10	0,493	3,39
9,4	2,67	256	1,89	103	1,09	24,0	0,71	8,25	0,50	3,45
9,5	2,69	261	1,91	105	1,10	24,5	0,72	8,42	0,503	3,52
9,6	2,72	267	1,93	108	1,11	25,0	0,723	8,57	0,51	3,59
9,7	2,75	272	1,95	110	1,12	25,4	0,73	8,74	0,514	3,66
9,8	2,78	278	1,97	112	1,13	26,0	0,74	8,90	0,52	3,72
9,9	2,81	284	1,99	115	1,14	26,4	0,75	9,08	0,525	3,80
10,0	2,84	289	2,01	117	1,15	26,9	0,753	9,23	0,53	3,87
10,25	2,91	304	2,06	123	1,18	28,2	0,77	9,67	0,54	4,04
10,5	2,98	319	2,11	129	1,21	29,5	0,79	10,1	0,56	4,22
10,75	3,05	334	2,16	135	1,24	30,9	0,81	10,6	0,57	4,41
11,0			2,21	141	1,27	32,4	0,83	11,0	0,58	4,60
11,25			2,27	148	1,30	33,8	0,85	11,5	0,60	4,79
11,5			2,32	155	1,33	35,4	0,87	11,9	0,61	4,98
11,75			2,37	161	1,36	36,9	0,88	12,4	0,62	5,19
12,0			2,42	168	1,39	38,5	0,90	12,9	0,64	5,39
12,25			2,47	175	1,41	40,1	0,92	13,4	0,65	5,59
12,5			2,52	183	1,44	41,8	0,94	14,0	0,66	5,80
12,75			2,57	190	1,47	43,5	0,96	14,5	0,68	6,03
13,0			2,62	197	1,50	45,2	0,98	15,0	0,69	6,24
13,25			2,67	205	1,53	46,9	1,00	15,5	0,70	6,46
13,5			2,72	213	1,56	48,7	1,02	16,1	0,71	6,68
13,75			2,77	221	1,59	50,6	1,04	16,7	0,73	6,92
14,0			2,82	229	1,62	52,4	1,05	17,2	0,74	7,15
14,25			2,87	237	1,65	54,3	1,07	17,8	0,75	7,38
14,5			2,92	246	1,67	56,2	1,09	18,4	0,77	7,61

Q l/sek.	d mm						Q l/sek.	d mm			
	100		125		150			125		150	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i		v	1000i	v	1000i
14,75	1,70	58,2	1,11	19,0	0,78	7,88	34,5	2,60	103	1,83	40,4
15,0	1,73	60,2	1,13	19,6	0,79	8,12	35,0	2,64	106	1,85	41,6
15,5	1,78	64,2	1,17	20,8	0,82	8,62	35,5	2,67	109	1,88	42,8
16,0	1,85	68,5	1,20	22,1	0,85	9,15	36,0	2,71	112	1,91	44,0
16,5	1,90	72,8	1,24	23,5	0,87	9,67	36,5	2,75	115	1,93	45,2
17,0	1,96	77,3	1,28	24,9	0,90	10,2	37,0	2,79	118	1,96	46,5
17,5	2,02	81,9	1,32	26,4	0,93	10,8	37,5	2,82	121	1,99	47,7
18,0	2,08	86,6	1,36	27,9	0,95	11,4	38,0	2,86	125	2,01	49,0
18,5	2,14	91,5	1,39	29,5	0,98	11,9	38,5	2,90	128	2,04	50,3
19,0	2,19	96,5	1,43	31,1	1,01	12,6	39,0	2,94	131	2,07	51,6
19,5	2,25	102	1,47	32,8	1,03	13,2	39,5	2,98	135	2,09	53,0
20,0	2,31	107	1,51	34,5	1,06	13,8	40	3,01	138	2,12	54,3
20,5	2,37	112	1,54	36,2	1,09	14,5	41			2,17	57,1
21,0	2,42	118	1,58	38,0	1,11	15,2	42			2,23	59,9
21,5	2,48	124	1,62	39,9	1,14	15,8	43			2,28	62,8
22,0	2,54	129	1,66	41,7	1,17	16,5	44			2,33	65,7
22,5	2,60	135	1,69	43,6	1,19	17,2	45			2,38	68,7
23,0	2,66	141	1,73	45,6	1,22	18,0	46			2,44	71,8
23,5	2,71	148	1,77	47,6	1,24	18,7	47			2,49	75,0
24,0	2,77	154	1,81	49,7	1,27	19,5	48			2,54	78,2
24,5	2,83	161	1,85	51,8	1,30	20,4	49			2,60	81,5
25,0	2,89	167	1,88	53,9	1,32	21,2	50			2,65	84,9
25,5	2,94	174	1,92	56,1	1,35	22,1	51			2,70	88,3
26,0	3,00	181	1,96	58,3	1,38	22,9	52			2,76	91,8
26,5			2,00	60,5	1,40	23,8	53			2,81	95,4
27,0			2,03	62,9	1,43	24,7	54			2,86	99,0
27,5			2,07	65,2	1,46	25,7	55			2,91	103
28,0			2,11	67,6	1,48	26,6	56			2,97	106
28,5			2,15	70,0	1,51	27,6	57			3,02	110
29,0			2,18	72,5	1,54	28,5					
29,5			2,22	75,0	1,56	29,5					
30,0			2,26	77,6	1,59	30,5					
30,5			2,30	80,2	1,62	31,6					
31,0			2,34	82,9	1,64	32,6					
31,5			2,37	85,6	1,67	33,7					
32,0			2,41	88,3	1,70	34,8					
32,5			2,45	91,1	1,72	35,9					
33,0			2,49	93,9	1,75	37,0					
33,5			2,52	96,8	1,77	38,1					
34,0			2,56	99,7	1,80	39,2					

Seveljovi arvutustabelid malmtorudele
(ГОСТ 5525-61 ja ГОСТ 9583-61)

Значения 1000*i* и *v* для чугунных труб (ГОСТ 5525-61 и ГОСТ 9583-61, класс А) Таблица IV

Q л/сек.	d мм 50		80		100		125		150	
	v	1000*i*	*v*	1000*i*	*v*	1000*i*	*v*	1000*i*	*v*	1000*i*
0,40	0,20	3,00								
0,50	0,25	4,46								
0,60	0,30	6,14								
0,70	0,35	8,10								
0,80	0,40	10,3								
0,90	0,45	12,7								
1,0	0,51	15,4								
1,1	0,56	18,3	0,21	1,76						
1,2	0,61	21,4	0,23	2,05						
1,3	0,66	24,8	0,25	2,35						
1,4	0,71	28,4	0,27	2,68						
1,5	0,76	32,2	0,29	3,04						
1,6	0,81	36,3	0,31	3,40	0,20	1,22				
1,7	0,86	40,6	0,33	3,79	0,21	1,36				
1,8	0,91	45,1	0,35	4,21	0,23	1,49				
1,9	0,96	49,8	0,37	4,63	0,24	1,65				
2,0	1,01	54,9	0,39	5,06	0,25	1,81				
2,1	1,06	60,1	0,41	5,54	0,27	1,97				
2,2	1,11	65,5	0,43	6,02	0,28	2,14				
2,3	1,16	71,3	0,44	6,51	0,29	2,32				

Q l/sec.	d mm									
	50		80		100		125		150	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
2,4	1,21	77,0	0,46	7,05	0,30	2,49				
2,5	1,26	83,6	0,48	7,58	0,32	2,68	0,20	0,910		
2,6	1,31	90,3	0,50	8,13	0,33	2,88	0,21	0,975		
2,7	1,36	97,4	0,52	8,72	0,34	3,08	0,22	1,04		
2,8	1,42	105	0,54	9,31	0,35	3,29	0,23	1,11		
2,9	1,47	112	0,56	9,91	0,37	3,49	0,234	1,18		
3,0	1,52	120	0,58	10,6	0,38	3,71	0,24	1,25		
3,1	1,57	128	0,60	11,2	0,39	3,95	0,25	1,33		
3,2	1,62	137	0,62	11,9	0,40	4,17	0,26	1,40		
3,3	1,67	146	0,64	12,6	0,42	4,41	0,266	1,48		
3,4	1,72	155	0,66	13,3	0,43	4,66	0,27	1,57		
3,5	1,77	164	0,68	14,0	0,44	4,90	0,28	1,65	0,20	0,688
3,6	1,82	173	0,70	14,7	0,45	5,16	0,29	1,73	0,202	0,719
3,7	1,87	183	0,71	15,5	0,47	5,43	0,30	1,82	0,21	0,757
3,8	1,92	193	0,73	16,3	0,48	5,68	0,307	1,91	0,213	0,789
3,9	1,97	203	0,75	17,1	0,49	5,96	0,31	2,00	0,22	0,829
4,0	2,02	214	0,77	17,9	0,51	6,25	0,32	2,09	0,225	0,870
4,1	2,07	225	0,79	18,7	0,52	6,52	0,33	2,18	0,23	0,904
4,2	2,12	236	0,81	19,5	0,53	6,82	0,34	2,28	0,236	0,946
4,3	2,17	247	0,83	20,4	0,54	7,10	0,35	2,37	0,24	0,989

Q l/sec.	d mm											
	50		80		100		125		150		200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
4,4	2,22	259	0,85	21,3	0,56	7,42	0,355	2,47	0,25	1,02		
4,5	2,27	271	0,87	22,2	0,57	7,73	0,36	2,57	0,253	1,07		
4,6	2,33	283	0,89	23,1	0,58	8,03	0,37	2,67	0,26	1,11		
4,7	2,38	295	0,91	24,1	0,59	8,36	0,38	2,79	0,264	1,15		
4,8	2,43	308	0,93	25,0	0,61	8,70	0,39	2,90	0,27	1,20		
4,9	2,48	321	0,95	26,0	0,62	9,02	0,40	3,01	0,275	1,24		
5,0	2,53	334	0,97	27,0	0,63	9,37	0,404	3,11	0,28	1,29		
5,1	2,58	348	0,99	28,0	0,64	9,71	0,41	3,23	0,286	1,33		
5,2	2,63	361	1,00	29,1	0,66	10,1	0,42	3,34	0,29	1,38		
5,3	2,68	375	1,02	30,1	0,67	10,4	0,43	3,46	0,30	1,43		
5,4	2,73	390	1,04	31,1	0,68	10,8	0,44	3,57	0,303	1,47		
5,5	2,78	404	1,06	32,3	0,70	11,1	0,444	3,69	0,31	1,52		
5,6	2,83	419	1,08	33,3	0,71	11,5	0,45	3,81	0,315	1,58		
5,7	2,88	434	1,10	34,4	0,72	11,9	0,46	3,93	0,32	1,62		
5,8	2,93	450	1,12	35,6	0,73	12,3	0,47	4,06	0,326	1,68		
5,9	2,98	465	1,14	36,8	0,75	12,7	0,476	4,18	0,33	1,72		
6,0	3,03	481	1,16	37,9	0,76	13,1	0,48	4,33	0,34	1,78		
6,1			1,18	39,2	0,77	13,5	0,49	4,46	0,343	1,84		
6,2			1,20	40,3	0,78	13,9	0,50	4,59	0,35	1,88		
6,3			1,22	41,5	0,80	14,3	0,51	4,72	0,354	1,94		

Q l/сек.	d мм											
	50		80		100		125		150		200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
6,4			1,24	42,9	0,81	14,7	0,517	4,86	0,36	1,99	0,20	0,494
6,5			1,26	44,2	0,82	15,1	0,52	5,00	0,365	2,05	0,205	0,507
6,6			1,28	45,5	0,83	15,6	0,53	5,14	0,37	2,11	0,21	0,525
6,7			1,29	46,9	0,85	16,0	0,54	5,28	0,376	2,16	0,212	0,538
6,8			1,31	48,4	0,86	16,5	0,55	5,42	0,38	2,23	0,215	0,55_
6,9			1,33	49,8	0,87	16,9	0,56	5,56	0,39	2,29	0,22	0,565
7,0			1,35	51,2	0,88	17,4	0,565	5,71	0,393	2,34	0,221	0,579
7,1			1,37	52,7	0,90	17,8	0,57	5,86	0,40	2,41	0,224	0,593
7,2			1,39	54,2	0,91	18,3	0,58	6,01	0,404	2,46	0,23	0,607
7,3			1,41	55,7	0,92	18,8	0,59	6,16	0,41	2,53	0,231	0,626
7,4			1,43	57,3	0,94	19,3	0,60	6,33	0,416	2,59	0,234	0,640
7,5			1,45	58,8	0,95	19,8	0,606	6,49	0,42	2,65	0,237	0,655
7,6			1,47	60,4	0,96	20,2	0,61	6,64	0,427	2,72	0,24	0,670
7,7			1,49	62,0	0,97	20,7	0,62	6,80	0,43	2,78	0,243	0,684
7,8			1,51	63,6	0,99	21,3	0,63	6,96	0,44	2,85	0,246	0,699
7,9			1,53	65,2	1,00	21,7	0,64	7,12	0,444	2,92	0,25	0,720
8,0			1,55	66,9	1,01	22,3	0,646	7,29	0,45	2,98	0,253	0,735
8,1			1,56	68,6	1,02	22,8	0,65	7,46	0,455	3,05	0,256	0,751
8,2			1,58	70,3	1,04	23,3	0,66	7,62	0,46	3,12	0,26	0,766
8,3			1,60	72,1	1,05	23,9	0,67	7,79	0,466	3,18	0,262	0,782

Q l/sec.	d mm											
	80		100		125		150		200		250	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
8,4	1,62	73,8	1,06	24,4	0,68	7,96	0,47	3,26	0,265	0,798		
8,5	1,64	75,5	1,07	24,9	0,69	8,14	0,48	3,32	0,27	0,819		
8,6	1,66	77,4	1,09	25,5	0,694	8,31	0,483	3,40	0,272	0,836		
8,7	1,68	79,2	1,10	26,0	0,70	8,51	0,49	3,47	0,275	0,852		
8,8	1,70	81,0	1,11	26,6	0,71	8,69	0,494	3,54	0,278	0,868		
8,9	1,72	82,9	1,12	27,2	0,72	8,87	0,50	3,61	0,28	0,885		
9,0	1,74	84,7	1,14	27,7	0,73	9,05	0,51	3,69	0,284	0,902		
9,25	1,79	89,4	1,17	29,2	0,75	9,51	0,52	3,88	0,29	0,948		
9,5	1,84	94,3	1,20	30,6	0,77	9,99	0,53	4,07	0,30	0,994		
9,75	1,88	99,4	1,23	32,2	0,79	10,5	0,55	4,27	0,31	1,04		
10,0	1,93	105	1,26	33,9	0,81	11,0	0,56	4,47	0,32	1,09	0,20	0,370
10,25	1,98	110	1,30	35,6	0,83	11,5	0,58	4,67	0,324	1,14	0,207	0,387
10,5	2,03	115	1,33	37,4	0,85	12,0	0,59	4,87	0,33	1,19	0,21	0,403
10,75	2,08	121	1,36	39,2	0,87	12,5	0,60	5,09	0,34	1,24	0,217	0,419
11,0	2,13	126	1,39	41,0	0,89	13,1	0,62	5,31	0,35	1,29	0,22	0,438
11,25	2,17	132	1,42	42,9	0,91	13,6	0,63	5,53	0,355	1,34	0,23	0,454
11,5	2,22	138	1,45	44,8	0,93	14,2	0,65	5,76	0,36	1,40	0,233	0,476
11,75	2,27	144	1,48	46,8	0,95	14,8	0,66	5,99	0,37	1,46	0,24	0,494
12,0	2,32	151	1,52	48,9	0,97	15,4	0,67	6,22	0,38	1,51	0,243	0,512
12,25	2,37	157	1,55	50,9	0,99	16,0	0,69	6,46	0,39	1,57	0,25	0,531

Q l/sec.	d mm													
	80		100		125		150		200		250		300	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
12,5	2,42	163	1,58	53,0	1,01	16,6	0,70	6,71	0,395	1,62	0,253	0,551		
12,75	2,46	170	1,61	55,1	1,03	17,2	0,72	6,95	0,40	1,68	0,26	0,569		
13,0	2,51	177	1,64	57,3	1,05	17,9	0,73	7,21	0,41	1,74	0,263	0,589		
13,25	2,56	184	1,67	59,5	1,07	18,5	0,74	7,46	0,42	1,81	0,27	0,609		
13,5	2,61	191	1,71	61,8	1,09	19,2	0,76	7,72	0,43	1,87	0,273	0,629		
13,75	2,66	198	1,74	64,1	1,11	19,8	0,77	8,01	0,434	1,92	0,28	0,651		
14,0	2,70	205	1,77	66,4	1,13	20,5	0,79	8,26	0,44	1,99	0,283	0,671		
14,25	2,75	212	1,80	68,9	1,15	21,2	0,80	8,53	0,45	2,05	0,29	0,693		
14,5	2,80	220	1,83	71,3	1,17	21,9	0,81	8,82	0,46	2,12	0,293	0,713	0,20	0,291
14,75	2,85	228	1,86	73,8	1,19	22,6	0,83	9,11	0,47	2,19	0,30	0,735	0,206	0,301
15,0	2,90	235	1,90	76,3	1,21	23,3	0,84	9,39	0,474	2,26	0,303	0,757	0,21	0,309
15,5	2,99	251	1,96	81,5	1,25	24,9	0,87	9,98	0,49	2,40	0,31	0,802	0,22	0,327
16,0			2,02	86,8	1,29	26,5	0,90	10,6	0,51	2,54	0,32	0,853	0,223	0,346
16,5			2,09	92,3	1,33	28,2	0,93	11,2	0,52	2,68	0,33	0,901	0,23	0,365
17,0			2,15	98,0	1,37	29,9	0,95	11,8	0,54	2,83	0,34	0,950	0,24	0,385
17,5			2,21	104	1,41	31,7	0,98	12,5	0,55	2,98	0,35	0,999	0,244	0,405
18,0			2,27	110	1,45	33,6	1,01	13,2	0,57	3,14	0,36	1,05	0,25	0,426
18,5			2,34	116	1,49	35,4	1,04	13,8	0,58	3,29	0,37	1,10	0,26	0,447
19,0			2,40	122	1,53	37,4	1,07	14,6	0,60	3,46	0,38	1,16	0,265	0,469
19,5			2,46	129	1,57	39,4	1,09	15,3	0,62	3,63	0,39	1,21	0,27	0,491

Q l/sec.	d mm																	
	100		125		150		200		250		300		350		400		450	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
20,0	2,53	136	1,62	41,4	1,12	16,0	0,63	3,80	0,40	1,27	0,28	0,514	0,205	0,244				
20,5	2,59	143	1,66	43,5	1,15	16,8	0,65	3,98	0,41	1,33	0,29	0,537	0,21	0,255				
21,0	2,65	150	1,70	45,7	1,18	17,6	0,66	4,15	0,42	1,39	0,292	0,557	0,215	0,266				
21,5	2,72	157	1,74	47,8	1,21	18,3	0,68	4,34	0,43	1,45	0,30	0,584	0,22	0,279				
22,0	2,78	164	1,78	50,1	1,24	19,2	0,70	4,53	0,44	1,51	0,31	0,609	0,226	0,290				
22,5	2,84	172	1,82	52,4	1,26	20,0	0,71	4,72	0,45	1,57	0,314	0,634	0,23	0,301				
23,0	2,91	179	1,86	54,7	1,29	20,9	0,73	4,92	0,47	1,63	0,32	0,659	0,236	0,313				
23,5	2,97	187	1,90	57,2	1,32	21,9	0,74	5,10	0,48	1,70	0,33	0,685	0,24	0,325				
24,0	3,03	195	1,94	59,6	1,35	22,8	0,76	5,31	0,49	1,76	0,335	0,711	0,246	0,337				
24,5			1,98	62,1	1,38	23,8	0,77	5,52	0,50	1,83	0,34	0,738	0,25	0,349				
25,0			2,02	64,7	1,40	24,7	0,79	5,73	0,51	1,90	0,35	0,765	0,256	0,361				
25,5			2,06	67,3	1,43	25,8	0,81	5,94	0,52	1,97	0,36	0,793	0,26	0,377	0,20	0,201		
26,0			2,10	70,0	1,46	26,7	0,82	6,15	0,53	2,04	0,363	0,821	0,267	0,389	0,206	0,208		
26,5			2,14	72,7	1,49	27,8	0,84	6,37	0,54	2,11	0,37	0,849	0,27	0,402	0,21	0,215		
27,0			2,18	75,4	1,52	28,9	0,85	6,60	0,55	2,18	0,38	0,878	0,277	0,416	0,213	0,221		
27,5			2,22	78,3	1,54	29,9	0,87	6,83	0,56	2,25	0,384	0,908	0,28	0,429	0,217	0,228		
28,0			2,26	81,2	1,57	31,0	0,88	7,06	0,57	2,33	0,39	0,938	0,287	0,443	0,22	0,235		
28,5			2,30	84,1	1,60	32,1	0,90	7,29	0,58	2,40	0,40	0,968	0,29	0,456	0,225	0,243		
29,0			2,34	87,1	1,63	33,3	0,92	7,53	0,59	2,48	0,405	0,999	0,297	0,470	0,23	0,251		
29,5			2,38	90,1	1,66	34,4	0,93	7,78	0,60	2,56	0,41	1,03	0,30	0,487	0,233	0,258		

Q l/sec.	d mm																	
	100		125		150		200		250		300		350		400		450	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
30,0			2,42	93,2	1,69	35,6	0,95	8,03	0,61	2,64	0,42	1,06	0,31	0,503	0,237	0,266		
30,5			2,46	96,3	1,71	36,8	0,96	8,28	0,62	2,72	0,43	1,09	0,313	0,516	0,24	0,274		
31,0			2,50	99,5	1,74	38,0	0,98	8,52	0,63	2,81	0,432	1,12	0,32	0,531	0,245	0,282		
31,5			2,54	103	1,77	39,3	1,00	8,78	0,64	2,89	0,44	1,15	0,323	0,546	0,25	0,290		
32,0			2,58	106	1,80	40,5	1,01	9,05	0,65	2,97	0,45	1,19	0,33	0,561	0,253	0,299	0,20	0,171
32,5			2,62	109	1,83	41,8	1,03	9,31	0,66	3,06	0,453	1,22	0,333	0,576	0,257	0,307	0,204	0,176
33,0			2,66	113	1,85	43,1	1,04	9,58	0,67	3,14	0,46	1,26	0,34	0,595	0,26	0,316	0,207	0,180
33,5			2,71	116	1,88	44,4	1,06	9,84	0,63	3,23	0,47	1,29	0,344	0,611	0,265	0,324	0,21	0,185
34,0			2,75	120	1,91	45,8	1,07	10,1	0,69	3,32	0,474	1,33	0,35	0,627	0,27	0,333	0,213	0,190
34,5			2,79	123	1,94	47,1	1,09	10,4	0,70	3,42	0,48	1,36	0,354	0,643	0,273	0,342	0,216	0,195
35,0			2,83	127	1,97	48,5	1,11	10,7	0,71	3,50	0,49	1,40	0,36	0,659	0,277	0,351	0,22	0,201
35,5			2,87	130	1,99	49,9	1,12	11,0	0,72	3,60	0,50	1,43	0,364	0,676	0,28	0,360	0,223	0,206
36,0			2,91	134	2,02	51,3	1,14	11,3	0,73	3,69	0,502	1,47	0,37	0,692	0,285	0,369	0,226	0,211
36,5			2,95	138	2,05	52,7	1,15	11,6	0,74	3,78	0,51	1,51	0,374	0,709	0,29	0,378	0,23	0,216
37,0			2,99	142	2,08	54,2	1,17	11,9	0,75	3,88	0,52	1,55	0,38	0,730	0,293	0,387	0,232	0,221
37,5			3,03	146	2,11	55,6	1,18	12,2	0,76	3,97	0,523	1,58	0,385	0,747	0,296	0,395	0,235	0,226
38,0					2,13	57,1	1,20	12,4	0,77	4,07	0,53	1,62	0,39	0,765	0,30	0,404	0,24	0,231
38,5					2,16	58,6	1,22	12,7	0,78	4,17	0,54	1,66	0,395	0,782	0,304	0,414	0,242	0,238
39,0					2,19	60,2	1,23	13,1	0,79	4,28	0,544	1,70	0,40	0,800	0,31	0,423	0,245	0,243
39,5					2,22	61,7	1,25	13,4	0,80	4,38	0,55	1,74	0,405	0,818	0,312	0,433	0,248	0,248

Q l/sek.	d mm																	
	150		200		250		300		350		400		450		500		600	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
40	2,25	63,3	1,26	13,8	0,81	4,48	0,56	1,78	0,41	0,837	0,32	0,443	0,25	0,254	0,20	0,152		
41	2,30	66,5	1,30	14,5	0,83	4,69	0,57	1,86	0,42	0,877	0,324	0,463	0,26	0,264	0,21	0,159		
42	2,36	69,8	1,33	15,2	0,85	4,90	0,59	1,95	0,43	0,915	0,33	0,484	0,264	0,277	0,213	0,165		
43	2,42	73,2	1,36	15,9	0,87	5,11	0,60	2,03	0,44	0,954	0,34	0,505	0,27	0,288	0,22	0,172		
44	2,47	76,6	1,39	16,7	0,89	5,34	0,61	2,12	0,45	0,993	0,35	0,526	0,23	0,300	0,223	0,178		
45	2,53	80,2	1,42	17,4	0,91	5,57	0,63	2,21	0,46	1,04	0,36	0,548	0,282	0,312	0,23	0,188		
46	2,58	83,8	1,45	18,2	0,93	5,80	0,64	2,30	0,47	1,08	0,364	0,570	0,29	0,325	0,234	0,195		
47	2,64	87,4	1,48	19,0	0,95	6,03	0,66	2,39	0,48	1,12	0,37	0,593	0,295	0,337	0,24	0,203		
48	2,70	91,2	1,52	19,8	0,97	6,28	0,67	2,49	0,49	1,16	0,38	0,616	0,30	0,350	0,244	0,210		
49	2,75	95,0	1,55	20,7	0,99	6,52	0,68	2,58	0,50	1,21	0,39	0,637	0,31	0,362	0,25	0,218		
50	2,81	98,9	1,58	21,5	1,01	6,77	0,70	2,67	0,51	1,25	0,40	0,660	0,314	0,377	0,254	0,226		
51	2,86	103	1,61	22,4	1,03	7,02	0,71	2,77	0,52	1,30	0,403	0,685	0,32	0,390	0,26	0,234		
52	2,92	107	1,64	23,3	1,05	7,28	0,73	2,88	0,53	1,34	0,41	0,709	0,33	0,403	0,264	0,242		
53	2,98	111	1,67	24,2	1,07	7,55	0,74	2,98	0,54	1,39	0,42	0,734	0,333	0,419	0,27	0,250		
54			1,71	25,1	1,09	7,82	0,75	3,08	0,55	1,44	0,43	0,760	0,34	0,432	0,274	0,253		
55			1,74	26,0	1,11	8,09	0,77	3,19	0,56	1,49	0,435	0,785	0,345	0,446	0,28	0,266		
56			1,77	27,0	1,13	8,36	0,78	3,30	0,57	1,54	0,44	0,812	0,35	0,460	0,284	0,275		
57			1,80	28,0	1,15	8,65	0,80	3,41	0,58	1,59	0,45	0,838	0,36	0,476	0,29	0,285		
58			1,83	28,9	1,17	8,94	0,81	3,52	0,59	1,64	0,46	0,865	0,364	0,491	0,295	0,294		
59			1,86	30,0	1,19	9,22	0,82	3,63	0,61	1,69	0,47	0,889	0,37	0,505	0,30	0,303		

Q l/sec.	d mm															
	150		200		250		300		350		400		450		500	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
60			1,90	31,0	1,21	9,50	0,84	3,75	0,62	1,75	0,474	0,917	0,38	0,520	0,305	0,312
61			1,93	32,0	1,23	9,81	0,85	3,86	0,63	1,80	0,48	0,945	0,383	0,538	0,31	0,321
62			1,96	33,1	1,25	10,1	0,86	3.98	0,64	1,85	0,49	0,974	0,39	0,553	0,315	0,331
63			1,99	34,1	1,27	10,5	0,88	4,10	0,65	1,91	0,50	1,00	0,395	0,568	0,32	0,340
64			2,02	35,3	1,29	10,8	0,89	4,22	0,66	1,96	0,51	1,03	0,40	0,586	0,325	0,350
65			2,05	36,4	1,31	11,1	0,91	4,35	0,67	2,02	0,514	1,06	0,41	0,602	0,33	0,359
66			2,09	37,5	1,33	11,5	0,92	4,47	0,68	2,08	0,52	1,09	0,414	0,618	0,335	0,369
67			2,12	38,6	1,35	11,8	0,93	4,60	0,69	2,13	0,53	1,12	0,42	0,634	0,34	0,379
68			2,15	39,8	1,37	12,2	0,95	4,73	0,70	2,20	0,54	1,15	0,43	0,654	0,345	0,389
69			2,18	41,0	1,40	12,6	0,96	4,85	0,71	2,25	0,55	1,18	0,433	0,670	0,35	0,399
70			2,21	42,2	1,42	12,9	0,98	4,98	0,72	2,31	0,553	1,21	0,44	0,687	0,356	0,411
71			2,24	43,4	1,44	13,3	0,99	5,11	0,73	2,37	0,56	1,24	0,445	0,704	0,36	0,422
72			2,27	44,6	1,46	13,7	1,00	5,25	0,74	2,44	0,57	1,23	0,45	0,724	0,366	0,432
73			2,31	45,8	1,48	14,1	1,02	5,39	0,75	2,50	0,58	1,31	0,46	0,742	0,37	0,443
74			2,34	47,1	1,50	14,4	1,03	5,52	0,76	2,56	0,59	1,34	0,464	0,759	0,376	0,453
75			2,37	48,4	1,52	14,9	1,05	5,67	0,77	2,62	0,593	1,38	0,47	0,780	0,38	0,464
76			2,40	49,7	1,54	15,2	1,06	5,81	0,78	2,69	0,60	1,41	0,48	0,798	0,386	0,475
77			2,43	51,0	1,56	15,6	1,07	5,95	0,79	2,76	0,61	1,44	0,483	0,816	0,39	0,486
78			2,46	52,3	1,58	16,0	1,09	6,10	0,80	2,82	0,62	1,48	0,49	0,835	0,396	0,493
79			2,50	53,7	1,60	16,5	1,10	6,24	0,81	2,89	0,625	1,51	0,50	0,856	0,40	0,509

Q l/sec.	d mm													
	200		250		300		350		400		450		500	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
80	2,53	55,1	1,62	16,9	1,12	6,39	0,82	2,96	0,63	1,55	0,502	0,875	0,406	0,520
81	2,56	56,5	1,64	17,3	1,13	6,54	0,83	3,03	0,64	1,58	0,51	0,894	0,41	0,532
82	2,59	57,9	1,66	17,7	1,14	6,70	0,84	3,10	0,65	1,62	0,514	0,913	0,416	0,544
83	2,62	59,3	1,68	18,2	1,16	6,85	0,85	3,16	0,66	1,66	0,52	0,936	0,42	0,558
84	2,65	60,7	1,70	18,6	1,17	7,01	0,86	3,24	0,664	1,69	0,53	0,956	0,427	0,570
85	2,69	62,2	1,72	19,1	1,19	7,16	0,87	3,31	0,67	1,73	0,533	0,976	0,43	0,582
86	2,72	63,6	1,74	19,5	1,20	7,30	0,88	3,33	0,68	1,77	0,54	0,999	0,437	0,594
87	2,75	65,2	1,76	20,0	1,21	7,47	0,89	3,45	0,69	1,81	0,55	1,02	0,44	0,606
88	2,78	66,6	1,78	20,4	1,23	7,64	0,90	3,53	0,70	1,84	0,552	1,04	0,447	0,619
89	2,81	68,2	1,80	20,9	1,24	7,81	0,91	3,60	0,704	1,88	0,56	1,06	0,45	0,631
90	2,84	69,7	1,82	21,4	1,26	7,98	0,92	3,68	0,71	1,92	0,565	1,08	0,457	0,644
91	2,88	71,3	1,84	21,8	1,27	8,16	0,93	3,75	0,72	1,96	0,57	1,11	0,46	0,657
92	2,91	72,9	1,86	22,3	1,28	8,34	0,94	3,83	0,73	2,00	0,58	1,13	0,467	0,670
93	2,94	74,4	1,88	22,8	1,30	8,53	0,95	3,91	0,74	2,04	0,583	1,15	0,47	0,683
94	2,97	76,1	1,90	23,3	1,31	8,71	0,96	3,99	0,743	2,08	0,59	1,17	0,477	0,696
95	3,00	77,7	1,92	23,8	1,33	8,90	0,97	4,06	0,75	2,12	0,60	1,20	0,48	0,712
96			1,94	24,3	1,34	9,09	0,98	4,15	0,76	2,16	0,602	1,22	0,488	0,725
97			1,96	24,8	1,35	9,23	1,00	4,23	0,77	2,20	0,61	1,24	0,49	0,738
98			1,98	25,4	1,37	9,47	1,01	4,31	0,775	2,25	0,615	1,27	0,498	0,752
99			2,00	25,9	1,38	9,67	1,02	4,40	0,78	2,29	0,62	1,29	0,50	0,766

Q l/sec.	d mm													
	200		250		300		350		400		450		500	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
100			2,02	26,4	1,39	9,86	1,03	4,48	0,79	2,33	0,63	1,31	0,51	0,780
102			2,06	27,4	1,42	10,3	1,05	4,64	0,81	2,42	0,64	1,36	0,52	0,808
104			2,10	28,5	1,45	10,7	1,07	4,82	0,82	2,51	0,65	1,41	0,53	0,836
106			2,14	29,6	1,48	11,1	1,09	4,99	0,84	2,60	0,67	1,46	0,54	0,865
108			2,18	30,8	1,51	11,5	1,11	5,17	0,85	2,69	0,68	1,51	0,55	0,897
110			2,22	31,9	1,53	11,9	1,13	5,34	0,87	2,78	0,69	1,56	0,56	0,927
112			2,26	33,1	1,56	12,4	1,15	5,53	0,89	2,88	0,70	1,62	0,57	0,958
114			2,31	34,3	1,59	12,8	1,17	5,71	0,90	2,97	0,72	1,67	0,58	0,989
116			2,35	35,5	1,62	13,3	1,19	5,91	0,92	3,07	0,73	1,72	0,59	1,02
118			2,39	36,7	1,65	13,7	1,21	6,08	0,93	3,17	0,74	1,78	0,60	1,05
120			2,43	38,0	1,67	14,2	1,23	6,29	0,95	3,27	0,75	1,83	0,61	1,09
122			2,47	39,3	1,70	14,7	1,25	6,50	0,96	3,37	0,77	1,89	0,62	1,12
124			2,51	40,6	1,73	15,2	1,27	6,72	0,98	3,47	0,78	1,95	0,63	1,15
126			2,55	41,9	1,76	15,7	1,29	6,93	1,00	3,58	0,79	2,01	0,64	1,19
128			2,59	43,2	1,78	16,1	1,31	7,16	1,01	3,68	0,80	2,06	0,65	1,22
130			2,63	44,6	1,81	16,7	1,33	7,39	1,03	3,79	0,82	2,13	0,66	1,26
132			2,67	46,0	1,84	17,2	1,35	7,61	1,04	3,90	0,83	2,18	0,67	1,29
134			2,71	47,4	1,87	17,7	1,37	7,85	1,06	4,01	0,84	2,25	0,68	1,33
136			2,75	48,8	1,90	18,2	1,40	8,08	1,08	4,12	0,85	2,31	0,69	1,37
138			2,79	50,2	1,92	18,8	1,42	8,33	1,09	4,24	0,87	2,37	0,70	1,40

Q l/sec.	d mm									
	300		350		400		450		500	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
140	1,95	19,3	1,44	8,56	1,11	4,35	0,88	2 43	0,71	1,44
142	1,98	19,9	1,46	8,81	1,12	4,47	0,89	2 50	0,72	1,48
144	2,01	20,5	1,48	9,06	1,14	4,59	0,90	2,56	0,73	1,51
146	2,04	21,0	1,50	9.32	1,15	4 71	0,92	2,63	0,74	1,56
148	2,06	21,6	1,52	9,57	1,17	4,83	0,93	2,70	0.75	1,59
150	2,09	22,2	1,54	9,83	1,19	4,95	0,94	2,77	0,76	1,63
152	2,12	22,8	1,56	10,1	1,20	5,05	0.95	2,84	0,77	1,67
154	2,15	23,4	1,58	10,4	1,22	5,19	0,97	2,91	0,78	1,71
156	2,18	24,0	1,60	10,6	1,23	5,32	0,98	2,98	0,79	1,75
158	2,20	24,6	1,62	10,9	1,25	5,45	0,99	3,05	0,80	1,80
160	2,23	25,3	1,64	11,2	1,27	5,60	1,00	3,12	0,81	1,84
162	2,26	25,9	1,66	11,5	1,28	5,74	1,02	3,19	0,82	1,88
164	2,29	26,5	1,68	11,7	1,30	5,88	1,03	3,27	0,83	1,93
166	2,32	27,2	1,70	12,0	1,31	6,02	1,04	3,34	0,84	1,97
168	2,34	27,8	1,72	12,3	1,33	6,17	1,05	3,42	0,85	2,01
170	2,37	28,5	1,74	12,6	1,34	6,32	1,07	3,50	0,86	2,06
172	2,40	29,2	1,76	12,9	1,36	6,47	1,08	3,57	0,87	2,10
174	2,43	29,9	1,78	13,2	1,38	6 62	1,09	3,65	0,88	2,15
176	2,46	30,5	1,81	13,5	1,39	6,78	1,10	3,73	0,89	2,19
178	2,48	31,3	1,83	13,8	1,41	6,92	1,12	3,81	0,90	2,24

Q l/sec	d mm									
	300		350		400		450		500	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
180	2,51	32,0	1,85	14,1	1,42	7,08	1,13	3,89	0,91	2,29
182	2,54	32,7	1,87	14,5	1,44	7,24	1,14	3,97	0,92	2,33
184	2,57	33,4	1,89	14,8	1,45	7,40	1,15	4,05	0,93	2,39
186	2,59	34,1	1,91	15,1	1,47	7,57	1,17	4,14	0,94	2,43
188	2,62	34,8	1,93	15,4	1,49	7,72	1,18	4,22	0,95	2,48
190	2,65	35,6	1,95	15,8	1,50	7,89	1,19	4,30	0,97	2,53
192	2,68	36,4	1,97	16,1	1,52	8,06	1,20	4,38	0,98	2,58
194	2,71	37,1	1,99	16,4	1,53	8,23	1,22	4,47	0,99	2,63
196	2,73	37,9	2,01	16,8	1,55	8,40	1,23	4,56	1,00	2,68
198	2,76	38,7	2,03	17,1	1,57	8,56	1,24	4,65	1,01	2,73
200	2,79	39,5	2,05	17,5	1,58	8,74	1,25	4,75	1,02	2,78
203	2,83	40,7	2,08	18,0	1,60	9,01	1,27	4,89	1,03	2,86
206	2,87	41,8	2,11	18,5	1,63	9,28	1,29	5,03	1,05	2,94
209	2,92	43,1	2,14	19,1	1,65	9,54	1,31	5,18	1,06	3,02
212	2,96	44,3	2,17	19,6	1,68	9,82	1,33	5,33	1,08	3,10
215	3,00	45,6	2,21	20,2	1,70	10,1	1,35	5,49	1,09	3,18
218			2,24	20,8	1,72	10,4	1,37	5,64	1,11	3,27
221			2,27	21,3	1,75	10,7	1,39	5,80	1,12	3,35
224			2,30	21,9	1,77	11,0	1,41	5,95	1,14	3,44
227			2,33	22,5	1,79	11,3	1,42	6,12	1,15	3,52

Q l/sec	d mm							
	350		400		450		500	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
230	2,36	23,1	1,82	11,6	1,44	6,28	1,17	3,61
233	2,39	23,7	1,84	11,9	1,46	6,45	1,18	3,70
236	2,42	24,3	1,87	12,2	1,48	6,61	1,20	3,79
239	2,45	25,0	1,89	12,5	1,50	6,78	1,21	3,87
242	2,48	25,6	1,91	12,8	1,52	6,95	1,23	3,97
245	2,51	26,2	1,94	13,1	1,54	7,12	1,24	4,07
248	2,54	26,9	1,96	13,4	1,56	7,30	1,26	4,17
251	2,57	27,5	1,98	13,8	1,57	7,48	1,27	4,27
254	2,61	28,2	2,01	14,1	1,59	7,66	1,29	4,37
257	2,64	28,9	2,03	14,4	1,61	7,84	1,31	4,48
260	2,67	29,5	2,06	14,8	1,63	8,02	1,32	4,59
263	2,70	30,2	2,08	15,1	1,65	8,21	1,34	4,69
266	2,73	30,9	2,10	15,5	1,67	8,40	1,35	4,80
269	2,76	31,6	2,13	15,8	1,69	8,59	1,37	4,91
272	2,79	32,3	2,15	16,2	1,71	8,79	1,38	5,02
275	2,82	33,0	2,17	16,5	1,73	8,97	1,40	5,13
278	2,85	33,8	2,20	16,9	1,74	9,17	1,41	5 24
281	2,88	34,5	2,22	17,3	1,76	9,37	1,43	5.35
284	2,91	35,2	2,25	17,6	1,78	9,58	1,44	5,47
287	2,94	36,0	2,27	18,0	1,80	9,78	1,46	5,59

Q l/sec.	d mm 350 v	350 1000i	400 v	400 1000i	450 v	450 1000i	500 v	500 1000i
290	2,97	36,7	2,29	18,4	1,82	9,98	1,47	5,70
293	3,01	37,5	2,32	18,8	1,84	10,2	1,49	5,82
296			2,34	19,1	1,86	10,4	1,50	5,94
299			2,36	19,5	1,88	10,6	1,52	6,07
302			2,39	19,9	1,89	10,8	1,53	6,19
305			2,41	20,3	1,91	11,0	1,55	6,31
308			2,44	20,7	1,93	11,3	1,56	6,43
311			2,46	21,1	1,95	11,5	1,58	6,56
314			2,48	21,6	1,97	11,7	1,59	6,69
317			2,51	22,0	1,99	11,9	1,61	6,81
320			2,53	22,4	2,01	12,2	1,63	6,94
324			2,56	23,0	2,03	12,5	1,65	7,12
328			2,59	23,5	2,06	12,8	1,67	7,30
332			2,62	24,1	2,08	13,1	1,69	7,47
336			2,66	24,7	2,11	13,4	1,71	7,66
340			2,69	25,3	2,13	13,7	1,73	7,84
344			2,72	25,9	2,16	14,0	1,75	8,02
348			2,75	26,5	2,18	14,4	1,77	8,22
352			2,78	27,1	2,21	14,7	1,79	8,40
356			2,81	27,7	2,23	15,1	1,81	8,59

Q l/sec.	d mm 400 v	400 1000i	450 v	450 1000i	500 v	500 1000i
360	2,85	28,3	2,26	15,4	1,83	8,79
364	2,88	29,0	2,28	15,7	1,85	8,99
368	2,91	29,6	2,31	16,1	1,87	9,18
372	2,94	30,2	2,33	16,4	1,89	9,38
376	2,97	30,9	2,36	16,8	1,91	9,59
380	3,00	31,6	2,38	17,1	1,93	9,79
384			2,41	17,5	1,95	10,0
388			2,43	17,9	1,97	10,2
392			2,46	18,2	1,99	10,4
396			2,48	18,6	2,01	10,6
400			2,51	19,0	2,03	10,9
405			2,54	19,5	2,06	11,1
410			2,57	19,9	2,08	11,4
415			2,60	20,4	2,11	11,7
420			2,64	20,9	2,13	12,0
425			2,67	21,4	2,16	12,3
430			2,70	22,0	2,18	12,5
435			2,73	22,5	2,21	12,8
440			2,76	23,0	2,23	13,1
445			2,79	23,5	2,26	13,4

Q l/sec.	d mm 450 v	450 1000i	500 v	500 1000i
450	2,82	24,0	2,29	13,7
455	2,85	24,6	2,31	14,0
460	2,89	25,1	2,34	14,3
465	2,92	25,7	2,36	14,7
470	2,95	26,2	2,39	15,0
475	2,98	26,8	2,41	15,3
480	3,01	27,3	2,44	15,6
485			2,46	15,9
490			2,49	16,3
495			2,51	16,6
500			2,54	17,0

Q l/sec.	d mm											
	600		700		800		900		1000		1200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
600	2,12	9,36	1,56	4,16	1,19	2,05	0,95	1,15	0,77	0,675	0,53	0,271
610	2,16	9,67	1,59	4,30	1,21	2,11	0,96	1,18	0,78	0,696	0,54	0,280
620	2,19	9,98	1,61	4,44	1,23	2,18	0,98	1,22	0,79	0,716	0,55	0,238
630	2,23	10,3	1,64	4,59	1,25	2,25	0,99	1,26	0,81	0,737	0,56	0,297
640	2,26	10,6	1,67	4,73	1,27	2,33	1,01	1,29	0,82	0,760	0,57	0,306
650	2,30	11,0	1,69	4,88	1,29	2,40	1,02	1,33	0,83	0,782	0,58	0,315
660	2,33	11,3	1,72	5,03	1,31	2,47	1,04	1,37	0,84	0,803	0,585	0,324
670	2,37	11,7	1,74	5,19	1,33	2,55	1,06	1,41	0,86	0,826	0,59	0,333
680	2,40	12,0	1,77	5,34	1,35	2,62	1,07	1,45	0,87	0,849	0,60	0,341
690	2,44	12,4	1,80	5,50	1,37	2,70	1,09	1,49	0,88	0,873	0,61	0,350
700	2,48	12,7	1,82	5,66	1,39	2,78	1,10	1,53	0,89	0,897	0,62	0,360
710	2,51	13,1	1,85	5,82	1,41	2,86	1,12	1,57	0,91	0,919	0,63	0,369
720	2,55	13,5	1,88	5,99	1,43	2,94	1,13	1,61	0,92	0,944	0,64	0,379
730	2,58	13,8	1,90	6,15	1,45	3,02	1,15	1,66	0,93	0,969	0,65	0,389
740	2,62	14,2	1,93	6,32	1,47	3,11	1,17	1,70	0,95	0,994	0,66	0,399
750	2,65	14,6	1,95	6,50	1,49	3,19	1,18	1,74	0,96	1,02	0,664	0,408
760	2,69	15,0	1,98	6,67	1,51	3,27	1,20	1,78	0,97	1,04	0,67	0,418
770	2,72	15,4	2,01	6,85	1,53	3,36	1,21	1,83	0,98	1,07	0,68	0,428
780	2,76	15,8	2,03	7,02	1,55	3,45	1,23	1,87	1,00	1,10	0,69	0,439
790	2,79	16,2	2,06	7,21	1,57	3,54	1,24	1,92	1,01	1,12	0,70	0,449

‰

Q. l/sec.	d mm											
	600		700		800		900		1000		1200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
800	2,83	16,6	2,08	7,39	1,59	3,63	1,26	1,97	1,02	1,15	0,71	0,460
810	2,86	17,0	2,11	7,57	1,61	3,72	1,28	2,02	1,04	1,18	0,72	0,471
820	2,90	17,5	2,14	7,76	1,63	3,81	1,29	2,07	1,05	1,20	0,73	0,481
830	2,94	17,9	2,16	7,95	1,65	3,91	1,31	2,12	1,06	1,23	0,735	0,491
840	2,97	18,3	2,19	8,15	1,67	4,00	1,32	2,17	1,07	1,25	0,74	0,503
850	3,01	18,8	2,21	8,35	1,69	4,10	1,34	2,23	1,09	1,29	0,75	0,514
860			2,24	8,54	1,71	4,20	1,35	2,28	1,10	1,31	0,76	0,525
870			2,27	8,74	1,73	4,30	1,37	2,33	1,11	1,34	0,77	0,537
880			2,29	8,95	1,75	4,39	1,39	2,38	1,12	1,37	0,78	0,548
890			2,32	9,15	1,77	4,49	1,40	2,44	1,14	1,40	0,79	0,559
900			2,34	9,36	1,79	4,59	1,42	2,50	1,15	1,43	0,80	0,570
910			2,37	9,57	1,81	4,70	1,43	2,55	1,16	1,46	0,81	0,582
920			2,40	9,78	1,83	4,80	1,45	2,61	1,18	1,49	0,815	0,594
930			2,42	9,99	1,85	4,91	1,47	2,66	1,19	1,52	0,82	0,607
940			2,45	10,2	1,87	5,01	1,48	2,72	1,20	1,55	0,83	0,619
950			2,47	10,4	1,89	5,12	1,50	2,78	1,21	1,58	0,84	0,631
960			2,50	10,6	1,91	5,23	1,51	2,84	1,23	1,61	0,85	0,642
970			2,53	10,9	1,93	5,34	1,53	2,90	1,24	1,65	0,86	0,655
980			2,55	11,1	1,95	5,45	1,54	2,96	1,25	1,68	0,87	0,668
990			2,58	11,3	1,97	5,56	1,56	3,02	1,27	1,72	0,88	0,681

Q l/sec.	d mm									
	700		800		900		1000		1200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
1000	2,60	11,5	1,99	5,67	1,58	3,08	1,28	1,75	0,89	0,694
1020	2,66	12,0	2,03	5,90	1,61	3,20	1,30	1,82	0,90	0,720
1040	2,71	12,5	2,07	6,14	1,64	3,33	1,33	1,89	0,92	0,745
1060	2,76	13,0	2,11	6,37	1,67	3,46	1,35	1,97	0,94	0,773
1080	2,81	13,5	2,15	6,62	1,70	3,59	1,38	2,04	0,96	0,800
1100	2,86	14,0	2,19	6,87	1,73	3,73	1,41	2,12	0,97	0,827
1120	2,92	14,5	2,23	7,11	1,76	3,87	1,43	2,20	0,99	0,856
1140	2,97	15,0	2,27	7,37	1,80	4,00	1,46	2,28	1,01	0,885
1160	3,02	15,5	2,31	7,63	1,83	4,15	1,48	2,35	1,03	0,914
1180			2,35	7,90	1,86	4,29	1,51	2,44	1,05	0,943
1200			2,39	8,17	1,89	4,44	1,53	2,52	1,06	0,973
1220			2,43	8,45	1,92	4,58	1,56	2,61	1,08	1,00
1240			2,47	8,72	1,95	4,74	1,58	2,69	1,10	1,03
1260			2,51	9,01	1,99	4,89	1,61	2,78	1,12	1,07
1280			2,55	9,29	2,02	5,05	1,64	2,87	1,13	1,10
1300			2,59	9,59	2,05	5,21	1,66	2,96	1,15	1,13
1320			2,63	9,89	2,08	5,37	1,69	3,05	1,17	1,16
1340			2,67	10,2	2,11	5,53	1,71	3,14	1,19	1,20
1360			2,71	10,5	2,14	5,70	1,74	3,24	1,20	1,23
1380			2,75	10,8	2,17	5,87	1,76	3,34	1,22	1,26

Q l/sec	d mm									
	700		800		900		1000		1200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i
1400			2,79	11,1	2,21	6,04	1,79	3,43	1,24	1,30
1420			2,83	11,4	2,24	6,21	1,81	3,53	1,26	1,34
1440			2,87	11,8	2,27	6,39	1,84	3,63	1,28	1,38
1460			2,91	12,1	2,30	6,56	1,87	3,73	1,29	1,41
1480			2,95	12,4	2,33	6,75	1,89	3,83	1,31	1,45
1500			2,99	12,8	2,36	6,93	1,92	3,94	1,33	1,49
1520			3,03	13,1	2,39	7,12	1,94	4,05	1,35	1,53
1540					2,43	7,30	1,97	4,15	1,36	1,57
1560					2,46	7,50	1,99	4,26	1,38	1,61
1580					2,49	7,69	2,02	4,37	1,40	1,66
1600					2,52	7,89	2,04	4,48	1,42	1,70
1620					2,55	8,08	2,07	4,59	1,44	1,74
1640					2,58	8,29	2,10	4,71	1,45	1,78
1660					2,62	8,49	2,12	4,82	1,47	1,83
1680					2,65	8,70	2,15	4,94	1,49	1,87
1700					2,68	8,90	2,17	5,06	1,51	1,92
1720					2,71	9,11	2,20	5,18	1,52	1,96
1740					2,74	9,32	2,22	5,30	1,54	2,01
1760					2,77	9,54	2,25	5,42	1,56	2,05
1780					2,80	9,76	2,27	5,55	1,58	2,10

Q л/сек.	d мм						Q в л/сек	d в мм	
	900		1000		1200			1200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i		v	1000i
1800	2,84	9,98	2,30	5,67	1,59	2,15	2600	2,30	4,48
1820	2,87	10,2	2,33	5,80	1,61	2,20	2620	2,32	4,55
1840	2,90	10,4	2,35	5,93	1,63	2,24	2640	2,34	4,62
1860	2,93	10,7	2,38	6,06	1,65	2,29	2660	2,36	4,69
1880	2,96	10,9	2,40	6,19	1,67	2,34	2680	2,37	4,76
1900	2,99	11,1	2,43	6,32	1,68	2,39	2700	2,39	4,83
1920	3,02	11,4	2,45	6,46	1,70	2,44	2720	2,41	4,90
1940			2,48	6,59	1,72	2,50	2740	2,43	4,98
1960			2,50	6,73	1,74	2,55	2760	2,44	5,05
1980			2,53	6,86	1,75	2,60	2780	2,46	5,13
2000			2,56	7,01	1,77	2,65	2800	2,48	5,20
2020			2,58	7,14	1,79	2,70	2820	2,50	5,27
2040			2,61	7,29	1,81	2,76	2840	2,52	5,35
2060			2,63	7,43	1,82	2,81	2860	2,53	5,42
2080			2,66	7,58	1,84	2,87	2880	2,55	5,50
2100			2,68	7,72	1,86	2,92	2900	2,57	5,58
2120			2,71	7,87	1,88	2,98	2920	2,59	5,65
2140			2,73	8,02	1,90	3,04	2940	2,60	5,73
2160			2,76	8,17	1,91	3,09	2960	2,62	5,81
2180			2,79	8,32	1,93	3,15	2980	2,64	5,89

Q l/sec	d mm						Q l/sec	d mm	
	900		1000		1200			1200	
	v	1000i	v	1000i	v	1000i		v	1000i
2200			2,81	8,48	1,95	3,21	3000	2,66	5,96
2220			2,84	8,63	1,97	3,27	3020	2,68	6,05
2240			2,86	8,79	1,98	3,33	3040	2,69	6,13
2260			2,89	8,94	2,00	3,39	3060	2,71	6,21
2280			2,91	9,10	2,02	3,45	3080	2,73	6,29
2300			2,94	9,26	2,04	3,51	3100	2,75	6,37
2320			2,96	9,43	2,06	3,57	3120	2,76	6,45
2340			2,99	9,59	2,07	3,63	3140	2,78	6,54
2360			3,02	9,75	2,09	3,69	3160	2,80	6,62
2380					2,11	3,75	3180	2,82	6,70
2400					2,13	3,82	3200	2,83	6,79
2420					2,14	3,88	3220	2,85	6,87
2440					2,16	3,95	3240	2,87	6,96
2460					2,18	4,01	3260	2,89	7,05
2480					2,20	4,08	3280	2,91	7,14
2500					2,21	4,15	3300	2,92	7,22
2520					2,23	4,21	3320	2,94	7,31
2540					2,25	4,28	3340	2,96	7,40
2560					2,27	4,35	3360	2,98	7,48
2580					2,29	4,41	3380	2,99	7,57

Lisa VI

Mõõtühikute süsteem

Füüsikaline suurus	Mõõtühik			Üleminekuvalemid	
	CGS süsteem	MKGS süsteem	SI süsteem	CGS - MKGS	MKGS - SI
Pikkus	cm	m	m		
Aeg	s	s	s		
Mass	g	kG s^2/m	kg	1 g = $1{,}02 \cdot 10^{-4}$ kG s^2/m	1 kG s^2/m = 9,81 kg
Jõud	g cm/s^2 = dyn	kG	kg m/s^2 = N	1 g cm/s^2 = $1{,}02 \cdot 10^{-6}$ kG	1 kG = 9,81 N
Rõhk	g/cm s^2	kG/m^2	N/m^2	1 g/cm s^2 = $1{,}02 \cdot 10^{-8}$ kG/m^2	1 kG/m^2 = 9,81 N/m^2
Tihedus	g/cm^3	kGs^2/m^4	kg/m^3	1 g/cm^3 = 102 kG s^2/m^4	1 kG s^2/m^4 = 9,81 kg/m^3
Mahukaal	dyn/cm^3	kG/m^3	kg/m^2s^2 = N/m^3	1 g/cm^2s^2 = 1,02 kG/m^3	1 kG/m^3 = 9,81 N/m^3
Dünaamiline viskoossus	g/cm s = 1P	KGs/m^2	N/m^2	1 g/cms = $1{,}02 \cdot 10^{-2}$ kGs/m^2	1 kGs/m^2 = 9,81 Ns/m^2
Kinemaatiline viskoossus	cm^2/s = 1 St	m^2/s	m^2/s		

S I S U K O R D

lk.

Sissejuhatus 3

I. Hüdrostaatika

§ 1. Hüdrostaatiline rõhk 3
§ 2. Hüdrostaatiline rõhujõud tasapinnale 11
§ 3. Hüdrostaatiline rõhujõud kõverpinnale 17
§ 4. Kehade ujuvus ja stabiilsus ujumisel 24
§ 5. Vedeliku suhteline tasakaal 30

II. Põhimõisteid hüdrodünaamikast

§ 6. Bernoulli võrrand ideaalvedeliku koguvoolule 36
§ 7. Bernoulli võrrand reaalvedeliku koguvoolule 42
§ 8. Vedelike voolamisrežiimid 48

III. Torustike arvutamine

§ 9. Lihttoru arvutamine 53
§ 10. Mitmesuguste torustike arvutamine 59

IV. Voolamine anumatest

§ 11. Vedelike voolamine avadest ja jätkudest 63
§ 12. Voolamine muutuva rõhu all 69

Lisa I 77
Lisa II 78
Lisa III 79
Lisa IV 80
Lisa V 85
Lisa VI 106

Hind 20 kop.

A-28213
II

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00446485 7