



*L. Paal, A. Aitsam*

# **HÜDRAVLIKA** *ülesannete kogu*

*Tallinn 1969*



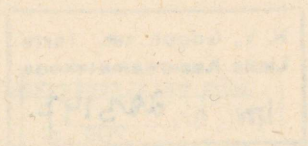
Poto

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT

Sanitaartehnika kateeder

L. Paal, A. Aitsam

HÜDRAULIKA ÜLESANNETE KOGU



Tallinn

1969

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра санитарной техники

Л. Пааль и А. Айтсам

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ГИДРАВЛИКЕ

На эстонском языке

Vahetusfond

N. V. Goooli nim. Tartu  
Linnale Raamatukogu

Inv. nr. 223147

*bu*

TARTU ÜLIKOOLI  
RAAMATUKOGU

Kordustrükk

Vastutav toimetaja H. Tibar

---

Trükkimisele antud 18. IX 69. Paber 60x84/16  
Trükipg. 6,75. Tingpg. 6,18. Tiraaz 1000  
MB-09108. TPI rotaprint, Tallinn, Pikk jalg 14  
Tell. 356 . Hind 20 kop.

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 воздухоподувные 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

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

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

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

Rõhu dimensiooniks on jõud pinnale, s. o.  $\text{kg/cm}^2$ ,  $\text{kg/m}^2$ ,  $\text{t/m}^2$  jne.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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 ( $p_{at} = 1 \text{ kg/cm}^2$ ). Viimasel juhul saame ülerõhu ( $p_{\bar{u}}$ ), mis näitab tegeliku rõhu erinevust atmosfäärirõhust (atü), s. o.

$$p_{\bar{u}} = p_a - p_{at} \quad (1 - 3)$$

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

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

ehk

$$p_v = - p_{\bar{u}} \quad (1 - 5)$$

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

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

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

$p_{a2}$  - absoluutne rõhk punktis 2;

$\delta$  - vedeliku erikaal  $\text{kg/m}^3$ .

Ülerõhk punktis 2 on

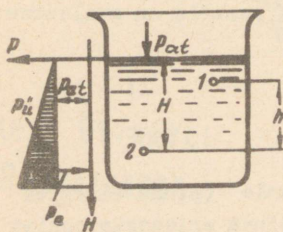
$$p_{\bar{u}} = \delta H, \quad (1 - 7)$$

kus  $H$  on punkti 2 kaugus veepinnast.

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

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

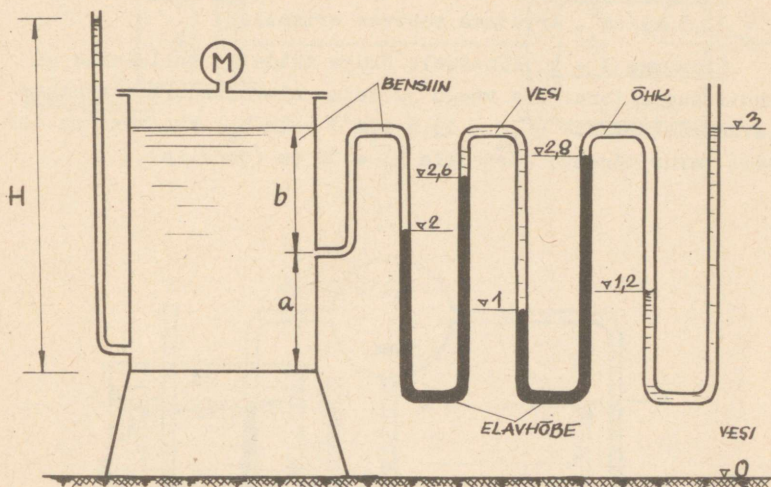
mida nimetatakse piesomeetriliseks kõrguseks.



Joon. 1

Ülesanne 1 - 1. Reservuaarile, mis on täidetud bensiiniga ( $\delta_b = 700 \text{ kg/m}^3$ ) kõrguseni  $a + b = 1,9 \text{ m}$ , on kinnitatud kolm erinevat seadet rõhu mõõtmiseks (joon. 2). Reservuaari kaanele on kinnitatud metallmanomeeter, külgsseinale põhja juurde pie-

someeter ja teisele külgeinale sügavusel  $b = 1,3$  m kolmekordne diferentsiaalmanomeeter, mis täidetud elavhõbeda ( $\gamma_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$ ), vee ( $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) ja õhuga ( $\gamma_{\text{õ}} \approx 0$ ).

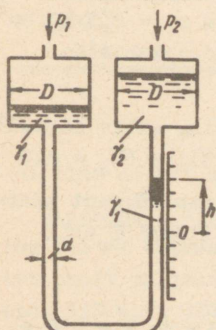


Joon. 2

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

Ülesanne 1 - 2. Kahe vedelikuga mikromeeter koosneb U torust läbimõõduga  $d = 5$  mm. Manomeeter on ühendatud anumatega, millede läbimõõd  $D = 50$  mm (joon. 3). Seade on täidetud kahe mitteseguneva ja lähedaste erikaaludega vedelikuga: etüülpiirituse vesilahuse ( $\gamma_1 = 870 \text{ kg/m}^3$ ) ja petrooleumiga ( $\gamma_2 = 830 \text{ kg/m}^3$ ).

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



Joon. 3

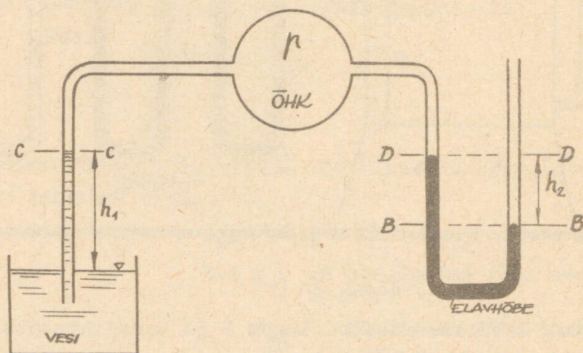
Näidata, mitu korda väheneb  $h$  antud  $\Delta p$  juures, kui

a) puuduvad ülemised anumad;

b) seade on täidetud ainult vedelikuga  $\delta_1$ .

Ülesanne 1 - 3. Meres 300 m sügavusel mõõdetud ülerõhk  $p_u = 31,5 \text{ kg/cm}^2$ . Arvutada merevee erikaal.

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



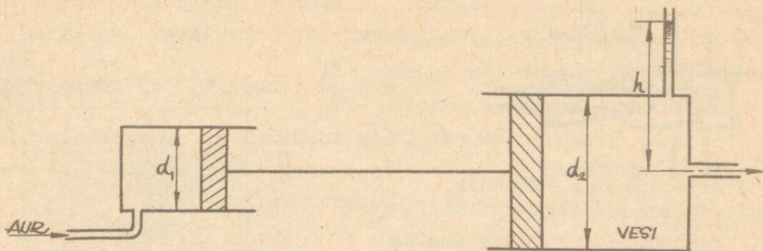
Joon. 4

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

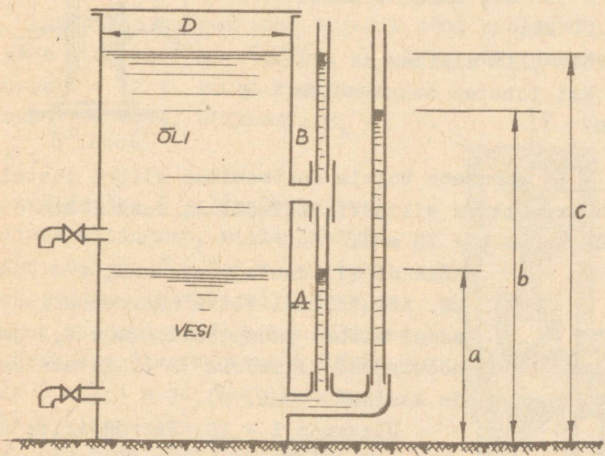
Ülesanne 1 - 6. Silindriline settebassein, mille läbimõõt  $D = 0,4 \text{ m}$ , on täidetud veega kõrguseni  $a$  ja õliga ( $\delta_{\text{õ}} = 840 \text{ kg/m}^3$ ) kõrguseni  $C$ . Vee ja õli lahutustasapinna kõrgust määratakse mõõteklaasi  $A$  abil, aga õli tasapinda klaasi  $B$  abil (joon. 6).

Arvutada:

1) vee ja õli maht settebasseinis, kui  $a = 0,5 \text{ m}$  ja  $b = 1,6 \text{ m}$ ;



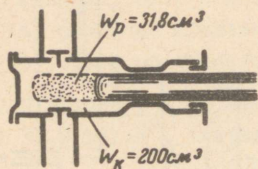
Joon. 5



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<sup>3</sup>. Kolvi poolt väljasurutud vee maht on  $W_p = 31,8$  cm<sup>3</sup> ja rõhk pumbas 210 ning 320 atü. Vee mahuline elastsusmoodul  $E = 21\ 000$  kg/cm<sup>2</sup>. Pumba korpus on jäik (joon. 7).

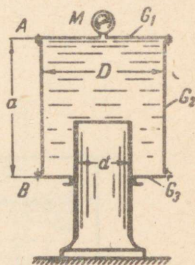


Joon. 7

Ülesanne 1 - 8. Silindriline anum, läbimõdduga  $D = 0,2 \text{ m}$  ja kõrgusega  $a = 0,4 \text{ m}$ , on täidetud veega ja toetub  $d = 0,10 \text{ m}$  läbimõdduga plunžerile (joon. 8).

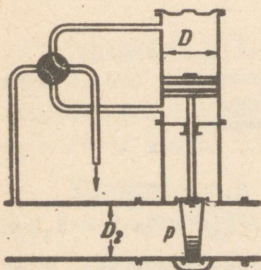
Arvutada manomeetri lugem  $M$  ja jõud poldigruppides  $A$  ja  $B$ , kui anuma ülemise kaane kaal  $G_1 = 150 \text{ kG}$ , silindrilise osa kaal  $G_2 = 300 \text{ kG}$ , anuma alumise osa kaal  $G_3 = 120 \text{ kG}$ .

Milline võib olla minimaalne plunžeri läbimõõt, kui lubatud maksimaalne rõhk  $M = 30 \text{ atü}$ ?



Joon. 8

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



Joon. 9

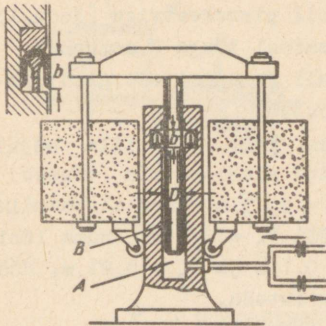
Arvutada, kui plunžeri ja

Kõikide liikuvate osade kaal  $G = 200 \text{ kG}$ . Arvutamisel võtta hõõrdekoefitsient siibri juhtpindades  $\mu = 0,3$  ja hõõrdejõud silindris 5% liikuvate osade kaalust (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 lisaraskuse kogukaal  $P = 100 \text{ t}$ ;



Joon. 10

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  $\eta_p = 0,65$ , silindril  $\eta_s = 0,9$ .

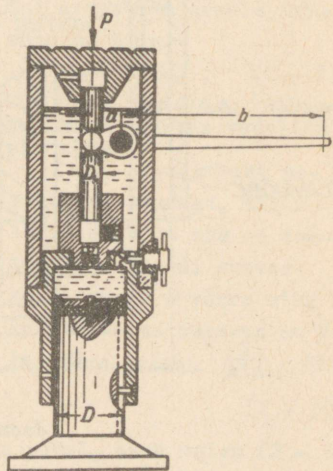
Ülesanne 1 - 12. Čhukeseseinälises silindris, mille läbimõõdud  $d = 0,3$  ja  $D = 0,8$  m, on tekitatud vaakuum ja vesi silindris on tõusnud kõrguseni  $a+b=1,9$  m. Silinder on asetatud üle veepinna A kõrgusele  $b = 1,5$  m ja toetatud tugeledele C (joon. 12).

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

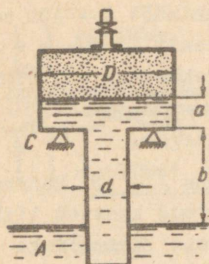
Ülesanne 1 - 13. Väikeste jõudude mõõtmiseks kasutatakse vedeliku dünamomeetrit, mis koosneb mingisuguse kõrguseni elavhõbedaga täidetud anumast A ja elavhõbedasse asetatud kuplist G. Ruum kupli all on täidetud pii-

plunžeri läbimõõd  $D = 400$  mm, mansett-tihendi kõrgus  $b = 40$  mm ja hõõrdekoefitsient tihendis  $\mu = 0,1$ ;  
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).



Joon. 11

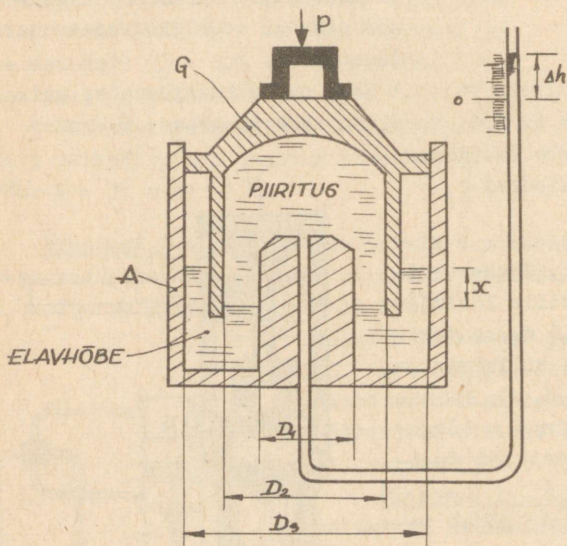


Joon. 12

ritusega ( $\gamma = 0,8 \text{ t/m}^3$ ) 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  $\Delta h = 0,25 \text{ m}$  võrra algasendist. Kupli läbimõõdud  $D_2 = 0,2 \text{ m}$ , anuma läbimõõdud  $D_1 = 0,1 \text{ m}$  ja  $D_3 = 0,21 \text{ m}$ . Hõõret mitte arvestada.

Ülesanne 1 - 14. Õhukeseseinaline kuppel, läbimõõduga  $D = 3 \text{ m}$

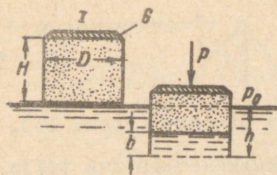


Joon. 13

ja kõrgusega  $H = 2 \text{ m}$ , 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  $10 \text{ t}$ . Atmosfäärirõhk võtta  $750 \text{ mm}$  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

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

kus  $p_c$  on rõhk seina raskuskeskmes  $C$ ;

$\omega$  - seina pindala.

Kui arvestada ainult ülerõhuga, siis

$$P = \delta h_c \omega, \quad (2 - 2)$$

kus  $h_c$  on pindala  $\omega$  raskuskeskme  $c$  sügavus vedeliku pinnast.

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

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

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

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

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 arvatav valemiga:

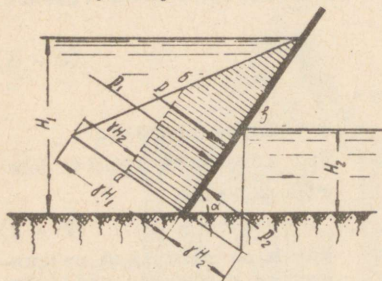
$$l_d = l_c + \frac{I_c}{\omega l_c}, \quad (2 - 5)$$

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 hüdrostaatilisest rõhu ekstsentrilisuseks ja ta on alati positiivne, s.t. rõhukese asetseb alati allpool pinna raskuskeset.

Hüdrostaatilisest rõhujõu leidmiseks on sageli sobiv kasutada rõhu epiüri, mis annab hea ettekujutuse rõhujäätusest, 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)

$$P = P_1 - P_2$$

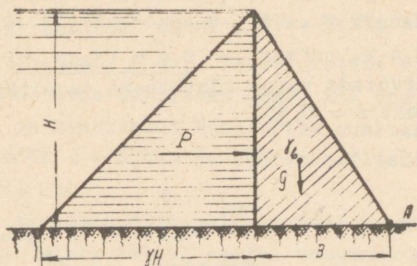
ehk

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

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<sup>3</sup>. Ümberlükkamisel tagavarakoefitsient võtta  $k = 1,50$  (joon. 17).

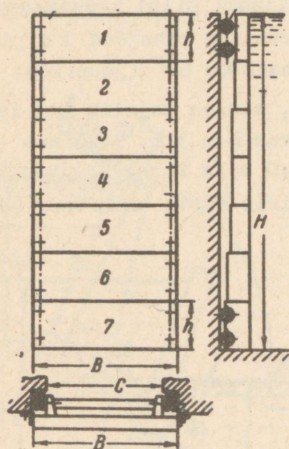
Ülesanne 2 - 2. Paisu on tehtud nelinurkne väljalõige  $H \times C$ , mille kaudu vesi voolab turbiini (joon. 18). Turbiinide remondi ajal ava suletakse 7 šandooriga, kusjuures üksiku šandoori mõõtmed  $h \times B = 1,2 \times 3,4$  m<sup>2</sup>. Kõikidel šandooridel on 2 paari rullrattaid.



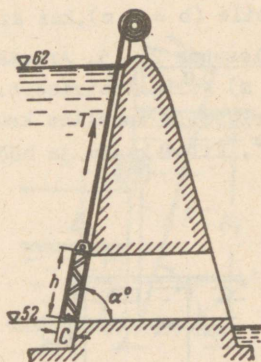
Joon. 17

Arvutada:

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



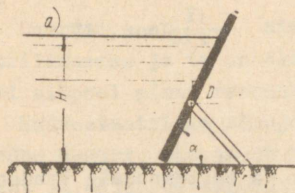
Joon. 18



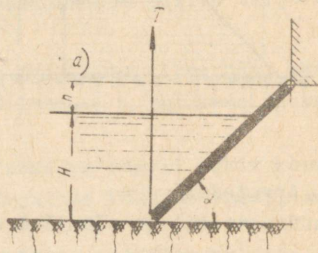
Joon. 19

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

Ülesanne 2 - 3. Veehaardehitise 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  $f = 0,35$ .



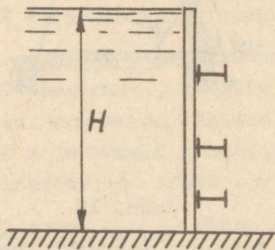
Joon. 20



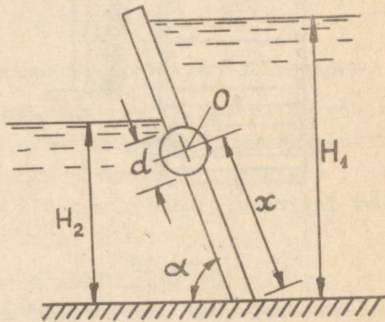
Joon. 21

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 võrdsest kooramatud. Kilbi kõrgus  $H = 3$  m, kilbi laius 5 m (joon. 22).

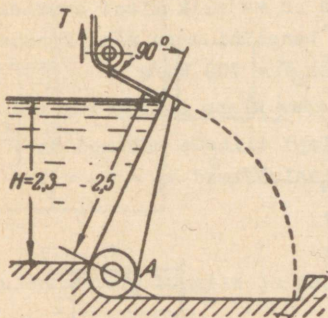
Ülesanne 2 - 7. Tasapinnaline kilp peab pöörduma automaatselt vee läbilaskmiseks, kui veepinna kõrgus  $H_1 \geq 6$  m. Kilp on kinnitatud šarniirile punktis O, kusjuures šarniiri läbimõõt  $d = 0,4$  m ja hõõrdekoefitsient šarniiris  $f = 0,2$  (joon. 23).

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

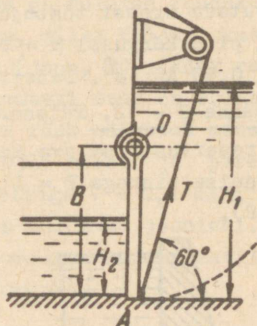
Ülesanne 2 - 8. Tasapinnalise klappsulu  $2,5 \times 10$  m<sup>2</sup> abil hoitakse paisutusvee pind kõrgusel  $H = 2,3$  m (joon. 24).

Arvutada:

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



Joon. 24



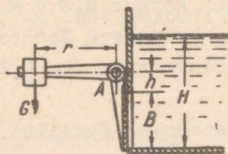
Joon. 25

Ülesanne 2 - 9. Tasapinnaline nelinurkne kilp mõõtmatega  $B \times L = 3 \times 4$  m<sup>2</sup> sulgeb paisu ava. Parem pool kilpi on veepinna kõrgus  $H_1 = 5$  m, vasakul pool  $H_2 = 2$  m. (joon. 25).

Arvutada:

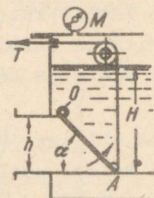
- 1) kilbi tõstmiseks vajalik trossi tõmbejõud;
- 2) millise jõuga  $P_4$  surutakse kilp vastu tuge A suletud olekus.

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



Joon. 26

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

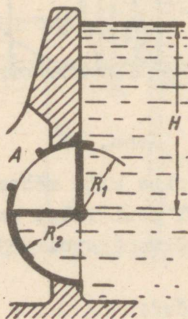


Joon. 27

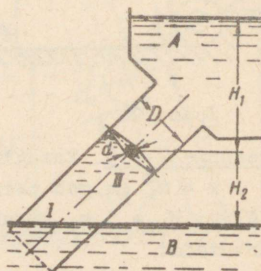
Ülesanne 2 - 11. Pöörduv klapp  $AO$  sulgeb väljavoolu bensiinihoidlast ruudukujulise ristlõikega torusse  $h = 0,3 \text{ m}$ . Klapp on kinnitatud šarniirselt punktis  $O$  ja asetseb nurga all  $\alpha = 45^\circ$  (joon. 27).

Arvutada trossi tõmbejõud  $T$ , mis on vajalik klapi avamiseks. Bensiini pind kõrgusel  $H = 0,85 \text{ m}$  ja bensiini auru rõhk manomeetri järgi  $0,05 \text{ kg/cm}^2$ . Bensiini erikaal  $\delta = 700 \text{ kg/m}^3$ .

Ülesanne 2 - 12. Täisnurkne pööratav klapp sulgeb vee väljavoolu reservuaarist ava kaudu  $A$ . Klapi tiibade mõõtmed on: risti joonise pinnaga  $B = 1 \text{ m}$  ja radiaalmõõtmed  $R_1 = R_2 = 1 \text{ m}$  (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.

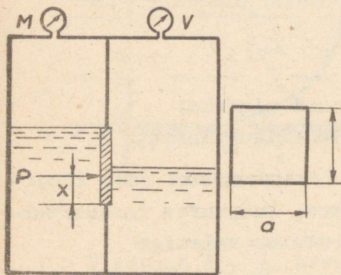
Ülesanne 2 - 13. Torusse  $D = 1$  m, mis asetseb  $45^\circ$  nurga all ja ühendab reservuaare A ja B, on asetatud ketasklapp (joon. 29). Arvutada klapi avamiseks vajalik algmoment  $M$ , kui klapi laagrite läbimõõt  $d = 0,15$  m ja hõõrdekoefitsient laagrites  $f = 0,2$ . Klapi avamine toimub kellaosuti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

Ülesanne lahendada juhtudel, kui

- 1) torus klapi all ei ole vett ja klapile mõjub alt atmosfääri-rõhk 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 ( $\gamma = 900 \text{ kg/m}^3$ ). 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  $M = 0,15 \text{ kg/cm}^2$  ja paremal vaakuummeetriga  $V = 0,1 \text{ kg/m}^2$ . Nafta pind on näidatud joonisel. Arvutada summaarse hüdrostaatilise rõhujõu suurus luugile ja jõu rakenduspunkt.



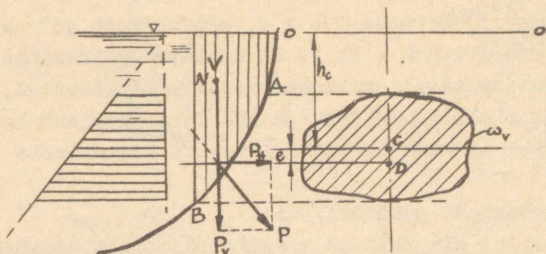
Joon. 30

### § 3. Hüdrostaatiline rõhujõud kõverpinnale

Hüdrostaatilist rõhujõudu kõverpinnalisele kujundile võib vaadelda kui pinna igas punktis pinnale risti olevate elementaarrõhujõudude summat  $\sum p d\omega$ .

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 geometrilise 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  $\omega_v$  - kõverpinna vertikaalprojektsiooni pindala;

$h_c$  - pinna  $\omega_v$  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  $\omega_v$  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):

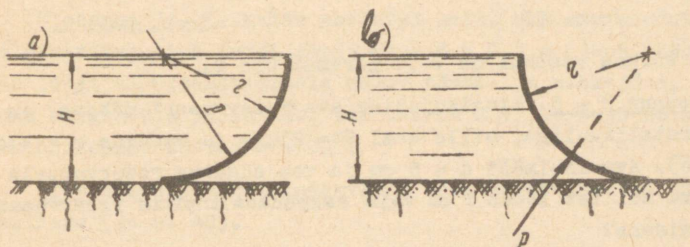
$$P = \sqrt{P_H^2 + P_V^2},$$

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

Rõhujõu  $P$  mõjumise suuna kaldenurka horisoni suhtes võib arvutada valemist

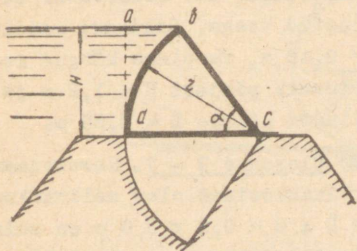
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_V}{P_H}.$$

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.

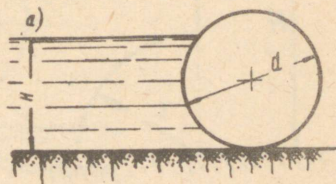


Joon. 32

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.



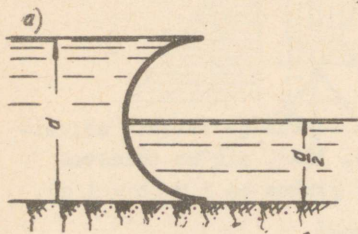
Joon. 33



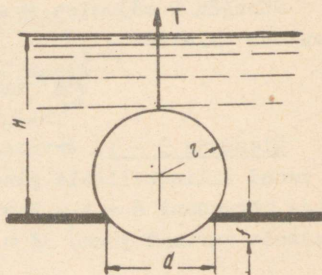
Joon. 34

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,



Joon. 35

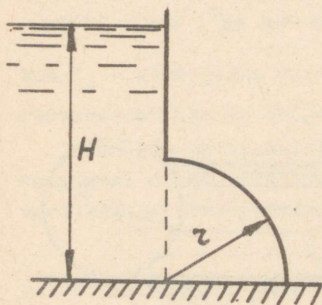


Joon. 36

veepinna kõrgus vasakul on  $d$  ja paremal  $0,5 d$ .

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.

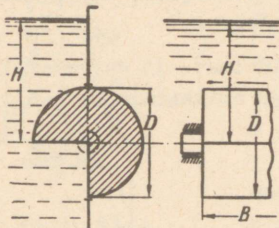


Joon. 37

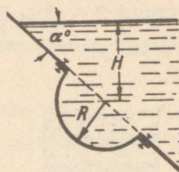
Ülesanne 3 - 7. Reservuaari vertikaalseinas olev nelinurkne ava  $D \times B = 0,8 \times 3,0$  m on suletud silindervarjaga. Vari toetatakse otstes asuvate laagritega.

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  $180^\circ$  võrra.



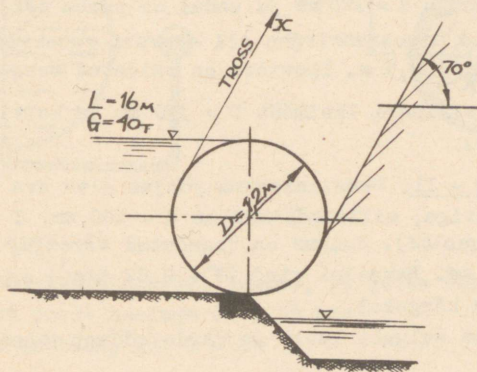
Joon. 38



Joon. 39

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

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

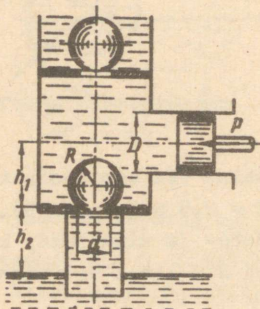


Joon. 40

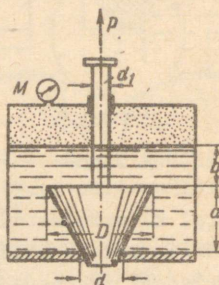
Arvutada:

- 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  $70^\circ$ . 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  $\gamma_1 = 8$  t/m<sup>3</sup> (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.

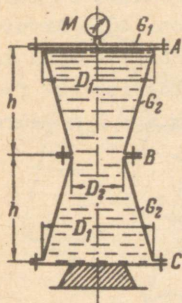
Kolbpumba silindri läbimõõt  $D = 350$  mm ja kolvile mõjub jõud  $P = 400$  kg.

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 ( $\gamma = 0,83$  t/m<sup>3</sup>) 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<sup>2</sup>;

2) Šhurõhk anumad, mille juures jõud P võrduks nulliga.

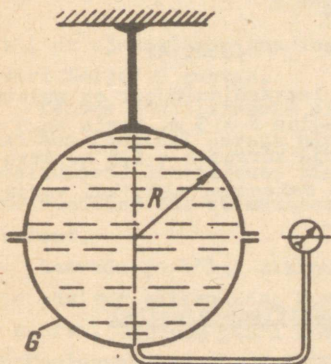


Joon. 43

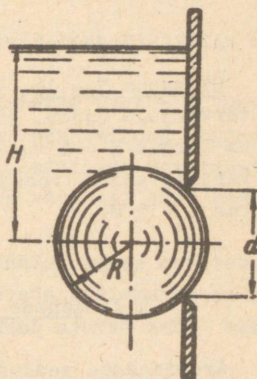
Ülesanne 3 - 12. Arvutada sümmeetrilise anuma hüdraulilisel proovimisel poldigruppidele A, B ja C mõjuvad jõud, kui anuma mõõtmed on  $D_1 = 1,8 \text{ m}$ ,  $D_2 = 0,9 \text{ m}$ ,  $h = 1,2 \text{ m}$  ja anuma kaante ning kooniliste külgede kaalud on vastavalt  $G_1 = 600 \text{ kG}$  ja  $G_2 =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

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

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



Joon. 44



Joon. 45

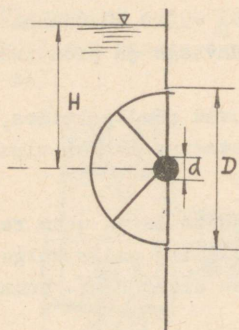
tsentris (mano-vaakuummeetri lugem), et hoida vabalt üleval anuma alumist poolt kaaluga  $G = 150 \text{ kG}$ ?

Milline on rõhk, kui  $G = 0$ ?

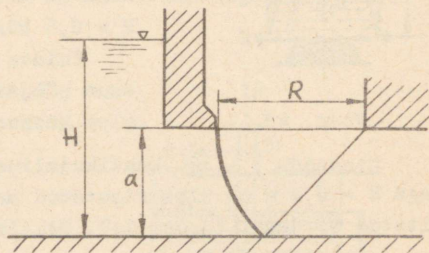
Ülesanne 3 - 14. Milline peab olema minimaalne veepind H anumad, et metallkuul ( $\gamma_1 = 8000 \text{ kG/m}^3$ ) raadiusega  $R = 100 \text{ mm}$

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.

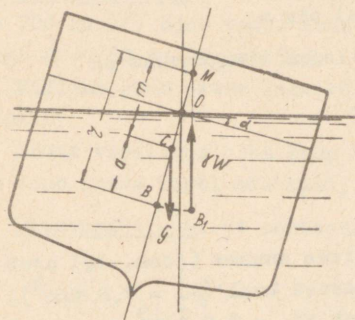
#### § 4. Kehade ujuvus ja stabiilsus ujumisel

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:

$$P = \delta W,$$

kus  $W$  on keha poolt väljatõrjutud vedeliku maht.

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



Joon. 48

avaldatav valemiga

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

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

Kehade stabiilsuseks ujumisel nimetatakse kehade võimet taastada tasakaal pärast kõrvalekaldumist põhjustanud jõudude eemaldumist. Stabiilsuse tingimuseks on positiivne metatsentriline raadius, st. 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  $\alpha \leq 5^\circ$ .

Paralleelsete poortidega laevade puhul avaldub metatsentriline kõrgus

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

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

kus  $a$  on rõhukeskme ja raskuskeskme vaheline kaugus.

Viimasel juhul tasakaalustav moment

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

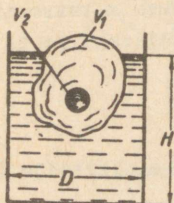
ja sellest järeldub, et stabiilsuse tingimuseks on

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

ehk

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

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



Joon. 49

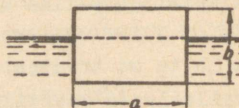
Arvutada:

- 1) milline osa summaarsest mahust (jääd + teras) asub vee peal;
- 2) kuidas muutub anumates 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 asetatud õhuga.

Ülesanne 4 - 2. Anumasse, mis on täidetud õli ( $\delta_\delta = 900 \text{ kg/m}^3$ ) ja veega, on asetatud tükk vaha mahukaaluga  $\delta = 960 \text{ kg/m}^3$  (joon. 50).



Joon. 50



Joon. 51

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

Ülesanne 4 - 3. Ristkülikukujulise ristlõikega keha ( $\gamma = 700 \text{ kg/m}^3$ ) ujub vees. Keha alus on ruudukujuline küljepikkusega  $a = 250 \text{ mm}$  (joon. 51).

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

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

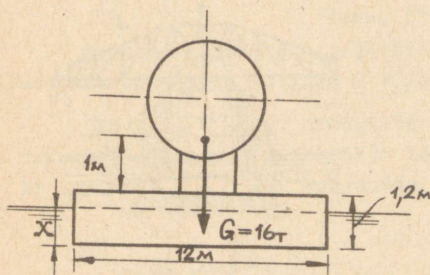
Ülesanne 4 - 4. 8t pontooni kasutatakse 16 t katla veeks.

Pontooni põhja mõõtmed on  $12 \times 4 \text{ m}^2$  ja poordi kõrgus  $1,2 \text{ m}$  (joon. 52).

Arvutada:

- 1) pontooni süvis, kui katel on asetatud pontooni keskele;
- 2) ujumise stabiilsus, kui kaldenurk  $\alpha = 10^\circ$ .

Arvutamisel lähtuda sellest, et katla raskuse asub  $1 \text{ m}$  kõrgusel pontooni laest, pontooni

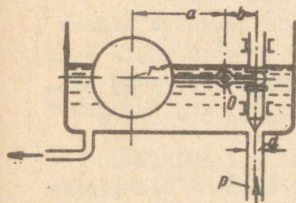


Joon. 52

oma aga  $0,8 \text{ m}$  laest allpool, kusjuures kaal on jaotatud ühtlaselt üle kogu pontooni põhja.

Ülesanne 4 - 5. Bensiin erikaaluga  $\gamma = 700 \text{ kg/m}^3$  pumbatakse karburaatorisse rõhu all  $p = 0,3 \text{ atü}$   $d = 4 \text{ mm}$  läbimõõduga toru kaudu (joon. 53).

Sissevoolutoru on suletav nõelaga, mis kaalub bensiinis  $12 \text{ g}$ . Nõel on ühendatud ujukiga, mille kaal õhus on  $25 \text{ g}$ . Nõela ja ujuki ühenduskang on toetatud šarniirselt punktis  $O$ , kusjuures kangi õlad on vastavalt  $a = 40 \text{ mm}$  ja  $b = 15 \text{ mm}$ .



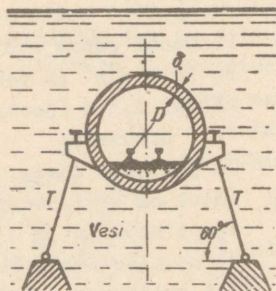
Joon. 53

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

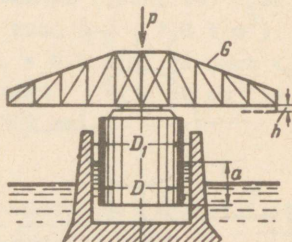
ris on kogu aeg konstantsel kõrgusel ja sissevooluava avamisel on ujuk poole kõrguseni benssiinis. Hõõret šarniiris 0 mitte arvestada.

Ülesanne 4 - 6. Veealune raudbetoonist tunnel sisemise läbimõõduga  $D = 3$  m ja seinapaksusega  $\delta = 250$  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  $2,5 \text{ t/m}^3$ .



Joon. 54



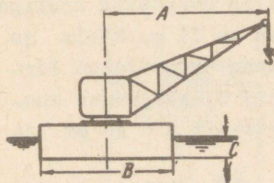
Joon. 55

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.

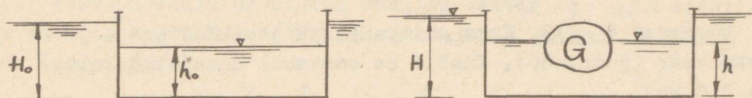
Ülesanne 4 - 8. Praamile, mille mõõtmed on  $L \times B = 60 \times 10 \text{ m}^2$ , on asetatud kraana tõstejõuga  $T = 10$  t ja noole maksimaalise ulatusega  $A = 15$  m. Seejuures praami süvis  $C = 1,5$  m (joon. 56).



Joon. 56

Arvutada kaldemurk, mis tekitab kraana töötamisel, kui raskuskese asub  $3,5$  m kõrgemal rühukeskest.

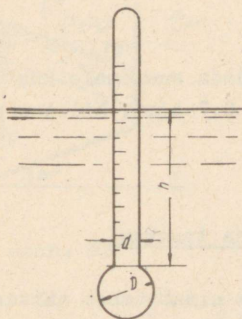
Ülesanne 4 - 9. Vertikaalseintega anum põhjapindalaga  $F = 1000 \text{ cm}^2$  ujub vees süvisega  $H_0 = 40 \text{ cm}$ . Anum on täidetud õliga ( $\gamma = 900 \text{ kg/m}^3$ ) kõrguseni  $h_0 = 20 \text{ cm}$  (joon. 57).



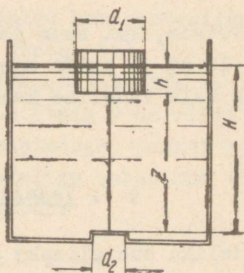
Joon. 57

Arvutada anuma süvis ja õli sügavus anumas, kui anumasse asetada ujuv keha kaaluga  $G = 10 \text{ kg}$ .

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



Joon. 58



Joon. 59

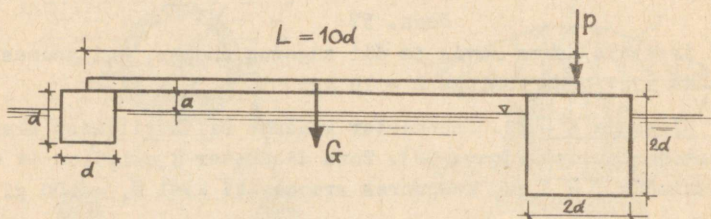
Arvutada areomeetri piiritusse ( $\gamma = 0,8 \text{ g/cm}^3$ ) vajumise sügavus  $h$ .

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

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

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

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



Joon. 60

Arvutada, kui suur jõud  $P$  rakendada suuremale kuubile, kui  $d = 10 \text{ cm}$  ja puidu mahukaal  $\delta_p = 0,7 \text{ t/m}^3$ . Milline on vee-pinna ja tala vaheline kaugus  $a$ ?

### § 5. Vedeliku suhteline tasakaal

Vedeliku suhteliseks tasakaaluks nimetatakse nähtust, mille puhul liikuv asumas 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;

$\rho$  - vedeliku tihedus;

$X, Y, Z$  - mahujõu projektsioonid koordinaattelgedel.

Mahujõud on arvatatud vedeliku massi ühikule.

Samarõhu pinna võrrandi saame tingimusel, kui  $p = \text{const}$  ja seega  $dp = 0$  ehk

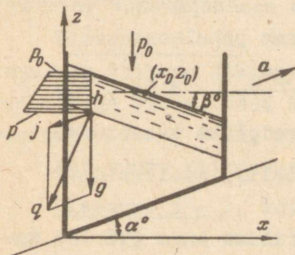
$$Xdx + Ydy + Zdz = 0.$$

Massi ühikule arvatatud 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  $\beta$  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:

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

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

kus  $x$  ja  $z$  on vabapinna meeleväldse punkti koordinaadid.

Anuma sirgjoonelisel liikumisel rõhujäotuse seaduspärasus vedelikus antakse seosega:

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

kus  $p_0$  on rõhk punktis  $(x_0, z_0)$ ;

$p$  - rõhk meeleväldses 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  $\omega$  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.

$$\text{Parabooli kõrgus } H = \frac{\omega^2 R^2}{2g}, \text{ kus } R$$

on anuma raadius.

Rõhujaotuse seaduspärasus vedelikus pöörleva anuma puhul on:

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

kus  $p_0$  on rõhk vedeliku vabapinnal,

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

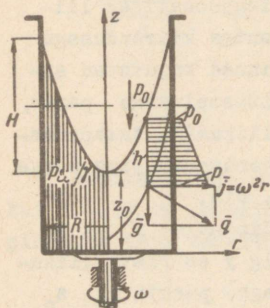
Kui silindriline anum pöörleb ümber horisontaaltelje nurkkiirusega  $\omega$ , siis  $\omega$  suure väärtuse puhul on tsentrifugaaljõud  $\bar{J} = \omega^2 r$  suur ühikraskus-

jõuga  $\bar{g}$  võrreldes, mis pärast viimane jäetakse harilikult arvestamata.

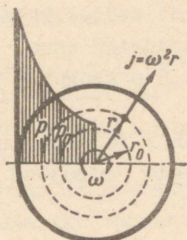
Toodud juhul samarõhu pinnad kujutavad endast kontsentriilisi silindreid anuma pöörlemisteljega ühtivate telgedega (joon. 63).

Pöörlemisteljest kaugusel  $r$  olevas vedeliku punktis avaldub rõhk nii:

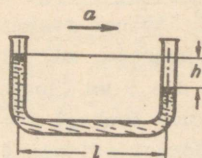
$$p = p_0 + \rho \frac{\omega^2 (r^2 - r_0^2)}{2},$$



Joon. 62



Joon. 63



Joon. 64

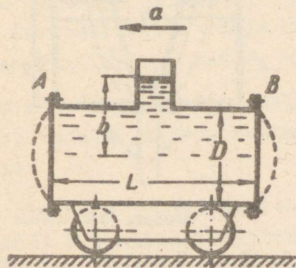
kus  $p_0$  on rõhk silindrilisel pinnal, mille raadius on  $r_0$ .

Nagu nähtub viimasest valemist, on rõhujaotus raadiuse suunas paraboolne.

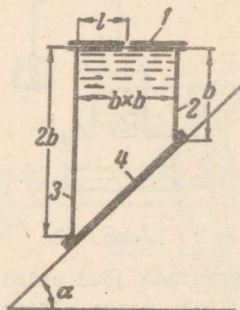
Ülesanne 5 - 1. Liikuva keha kiirenduse mõõtmiseks võib kasutada väikese diameetriga U-kujulist toru, mis on täidetud vedelikuga (joon. 64). Keha liikumisel vedeliku paiknemine torus muutub:  $h = 5$  cm, kui torude vahekaugus  $l = 30$  cm.

Kui suure kiirendusega liigub keha?

Ülesanne 5 - 2. Tsistern, läbimõõduga  $D = 1,2$  m ja pikkusega  $L = 2,5$  m, on täidetud naftaga ( $\gamma = 900$  kg/m<sup>3</sup>) kõrguseni



Joon. 65



Joon. 66

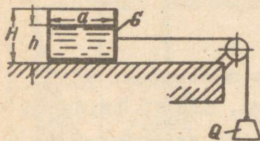
$b = 1$  m (joon. 65). Tsistern liigub horisontaalselt kiirendusega  $a = 2$  m/sek<sup>2</sup>.

Arvutada tsisterni tasapinnalistele otstele A ja B mõjuv rõhujõud.

Ülesanne 5 - 3. Kaldpinnal horisondi suhtes kaldenurgaga  $\alpha = 45^\circ$  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  $\mu = 0,278$ . Arvutada rõhujõud anuma kaanele, külgsseitele ja põhjale.

Ülesanne 5 - 4. Anum, nelinurkse ristlõikega  $a \times a = 200 \times 200$  mm<sup>2</sup>, omakaaluga  $G = 4$  kg, on veega täidetud sügavuseni  $h = 150$  mm (joon. 67). Anum libiseb tasapinnal jõu  $Q = 25$  kg mõjul.

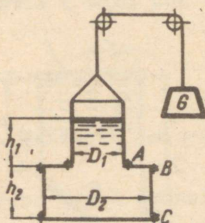


Joon. 67

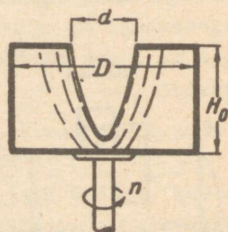
le ja ploki teise otsa on kinnitatud raskus  $G = 200$  kg.

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

Ülesanne 5 - 5. Anum, kõrgusega  $h_1 + h_2 = 800$  mm, on trossiga üles riputatud. Tross on asetatud plokkidele



Joon. 68



Joon. 69

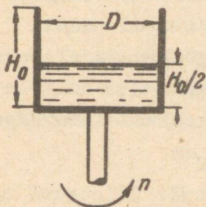
Arvutada jõud poldigruppidele A, B ja C anuma kiireneval liikumisel. Anuma mõõtmed  $D_1 = 400$  mm,  $D_2 = 600$  mm ja  $h_2 = 300$  mm (joon. 68). Mitte arvestada anuma kaalu ja hõõrdega plokkides.

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).

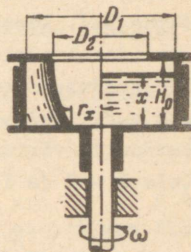
Milline vedeliku maht jääb anumasse, kui ülemise ava läbimõõt  $d = 200$  mm?

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?



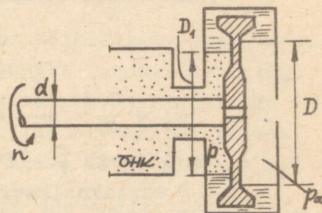
Joon. 70



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?



Joon. 72

Ülesanne 5 - 9. Arvutada läbimõõt  $D_1$ , milleni ulatub vesi vaakuumpumba pumba völli tihendava hüdraulilise tihendi siseküljel. Völli läbimõõt

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

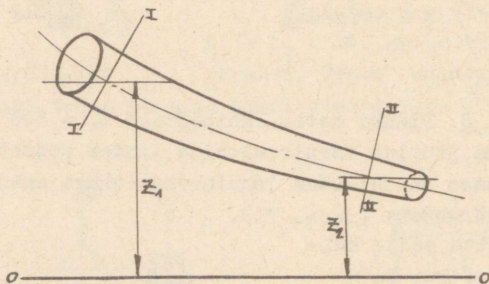
## II. Põhimõisteid hüdrodünaamikast

### § 6. Bernoulli võrrand ideaalvedeliku koguvoolule

Ideaalvedelikeks nimetatakse vedelikke, milles puuduvad sisehõrdejõud. Kuna reaalvedelikes esinevad sisehõrdejõud 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

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

$z_1, z_2$  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.

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

mille  $z$  on vedeliku ühe raskusühiku potentsiaalne asendenergia meeleväldiselt valitud võrdlustasapinna suhtes;

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

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

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

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

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

Graafilisel Bernoulli võrrandi kujutamisel nimetatakse võrrandi üksikuid liikmeid järgmiselt:

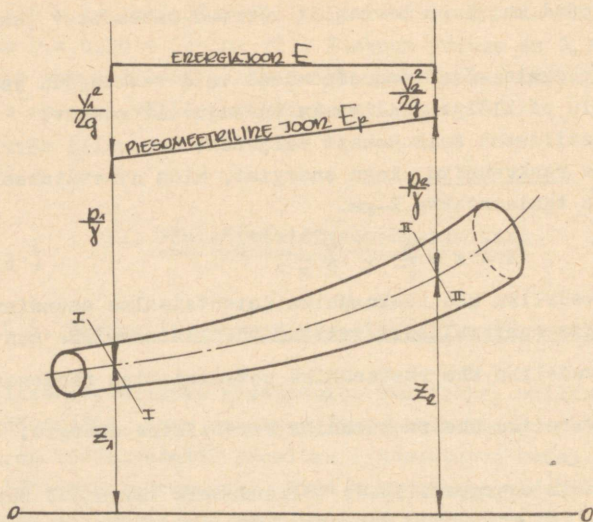
$z$  on geodeetiline kõrgus;

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

$\frac{v^2}{2g}$  - kiiruskõrgus.

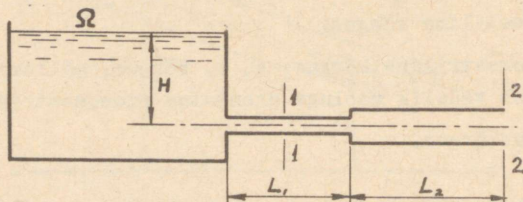
Joont, mis ühendab voolu erinevate põiklõigete koguenergia lõikude otsi, nimetatakse energiajooneks (joon. 74) ning joont, mis ühendab piesomeetrilisi kõrgusi, piesomeetriliseks jooneks. Nagu nähtub joonisest, asetseb ideaalvedelike piesomeetriline joon energiajoonest kiiruskõrguse võrra allpool.

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



Joon. 74

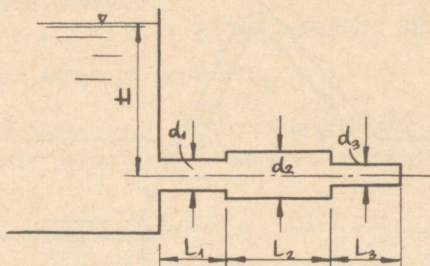
lõikes 1, kui  $H = 1,0$  m,  $\omega_1 = 1$  dm<sup>2</sup>,  $\omega_2 = 1,5$  dm<sup>2</sup> ja  $\Omega = 100$  dm<sup>2</sup>. Rõhukadusid mitte arvestada.



Joon. 75

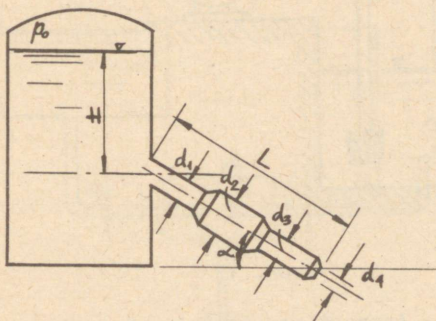
Ülesanne 6 - 2. Vesi voolab anumast atmosfääri üksteisega järjestikku ühendatud erinevate diameetritega torusid mööda (joon. 76). Leida, millise survekõrguse  $H$  juures saavutab vaakum esimeses torus võimaliku piirväärtuse, s. o. 10 m veesammast, kui  $d_1 = 10$  cm,  $d_2 = 20$  cm,  $d_3 = 15$  cm.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

giajoon ja piesomeetriline joon. Rõhukadusid mitte arvestada.



Joon. 76

Ülesanne 6 - 3. Suletud anumast voolab vesi atmosfääri muutuva õiklõikega kaldtoru mööda (joon. 77). Leida toru vooluhulk ja joonestada energiajoon ning piesomeetriline joon, kui  $p_0 = 0,25 \text{ atü}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $H = 15 \text{ m}$ ,  $d_1 = 125 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 150 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 100 \text{ mm}$ ,  $d_n = 75 \text{ mm}$  ja torustiku pikkus  $L = 15 \text{ m}$ . Rõhukadusid mitte arvestada.

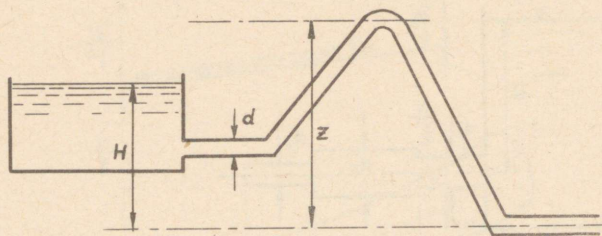


Joon. 77

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

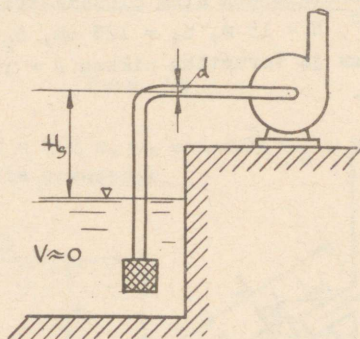
Ülesanne 6 - 5. Leida vaakuum tsentrifugaalpumba sissevoo-

luavas, kui pumba toodang on  $20 \text{ m}^3/\text{tunnis}$ ,  $H_S = 5,5 \text{ m}$  ja



Joon. 78

$d = 100 \text{ mm}$  (joon. 79). Rõhkadusid mitte arvestada. Joonestada energiajoon ja piesomeetriline joon.



Joon. 79

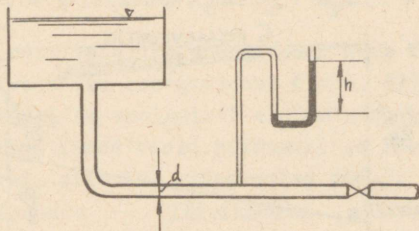
Ülesanne 6 - 6. Anumast atmosfääri väljuvale torule on paigutatud elavhõbemanomeeter (joon. 80). Leida vooluhulk torus, kui suletud siibri puhul manomeetri näit on  $h = 550 \text{ mm}$  elavhõbedasammast, avatud siibri puhul  $500 \text{ mm}$  elavhõbedasammast ning  $d = 100 \text{ mm}$ . Takistusi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

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

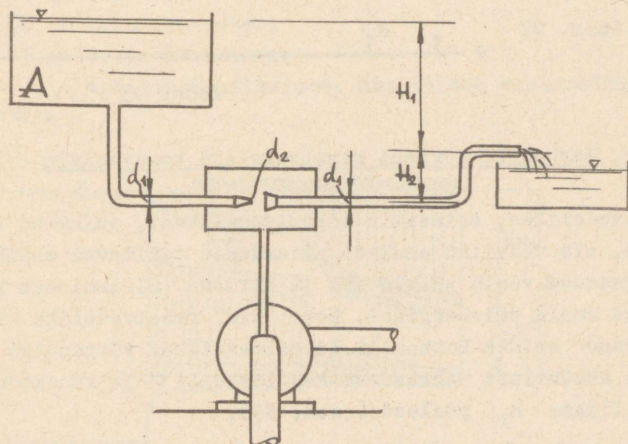
kui kõrgele üle ežektori äravoolutoru väljumisava  $H_1$  survepaak A paigutada, et ežektor looks imevtorus vaakuumi 200 mm elavhõbedasammast.

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

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



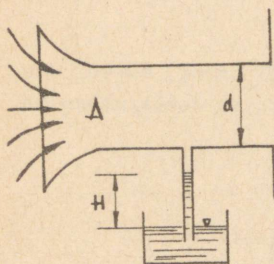
Joon. 80



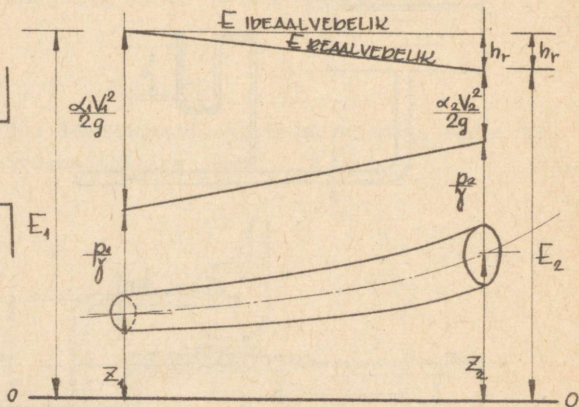
Joon. 81

elavhõbedasammast pumba toodangu juures  $60 \text{ m}^3/\text{tunnis}$  (joon. 79). Leida pumba telje kõrgus  $H_S$  reservuaari veepinnast, kui imev-toru diameeter on  $150 \text{ mm}$ . Joonestada energiaajoon ja piesometri-line 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 klaastoru tõusis kõrgusele  $H = 250 \text{ mm}$  ja õhu mahukaal  $\gamma = 1,29 \text{ kg/m}^3$ .  $D = 300 \text{ mm}$ .



Joon. 82



Joon. 83

### § 7. Bernoulli võrrand reaalvedeliku koguvoolule

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

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

kus

$\alpha_1$  ja  $\alpha_2$  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 sisehõrde ületamiseks lõigete I - I ja II - II vahel.

Kirjutades Bernoulli võrrandi erienergiatega kaudu, saame

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

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

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

Torudes liinikadude määramiseks kasutatakse Darcy valemit:

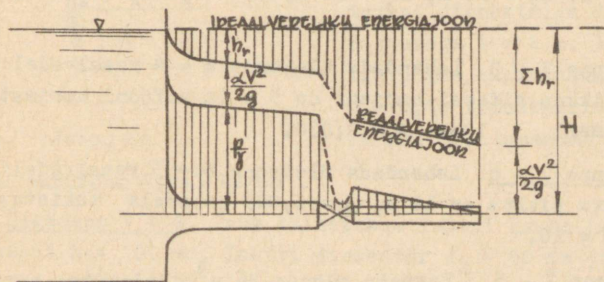
$$h_1 = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (7 - 3)$$

milles L on toru pikkus;

D - toru diameeter;

v - voolu keskkiirus;

$\lambda$  - 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 rõhulanguga nimetatakse hüdrauliliseks languks:

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

Kohalikes takistustes rõhukadude määramiseks kasutatakse Weisbachi valemit:

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

milles  $V$  on keskkiirus;

$\zeta$  - kohaliku takistuse koefitsient, mis sõltub kohaliku takistuse iseloomust.

Mõningate iseloomulike kohalike takistuste koefitsiendi väärtused on toodud lisas I.

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

Kogu rõhulang torustikus on väljendatav valemiga:

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

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 takistuskoeffitsient  $\zeta = 10$ .

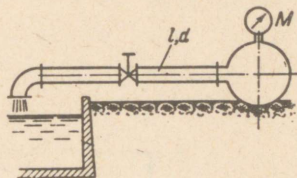
Ülesanne 7 - 5. Bassein mahuga  $36 \text{ m}^3$  täidetakse horisontaalatoru abil magistraalatorust (joon. 85). Leida harutoru diameeter, kui bassein täitub 30 minuti jooksul.

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

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

Ülesanne 7 - 6. Vesi temperatuuriga  $20^{\circ}\text{C}$  voolab anumast atmosfääri piki vertikaalatoru pikkusega  $l = 6 \text{ m}$  ja diameetriga  $d = 40 \text{ mm}$  (joon. 86). Joonestada toru vooluhulga sõltuvus

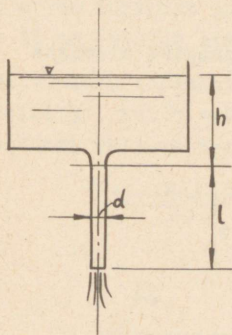
anuma survekõrgusest  $h$ . Joonestada energiajoon ja piesomeetriline joon survekõrgustele  $h = 0,5 \text{ m}$  ja  $h = 2 \text{ m}$ , kui  $\lambda = 0,030$ .



Joon. 85

Ülesanne 7 - 7. Kolb diameetriga  $D = 200 \text{ mm}$  liigub silindris ühtlase kiirusega üles, imedes vett toru kaudu silindrisse konstantse veepinnaga anumast (joon. 87). Leida kolvi

liikumiskiirus, kui  $2 \text{ m}$  üle vee pinna asetseva kolvi liikumiseks vajalik jõud  $P = 240 \text{ kg}$ . Leida kolvi võimalik maksimaalne tõusukõrgus kiiruse juures, mis veel ei tekita veesamba lahtirebimist kolvist.



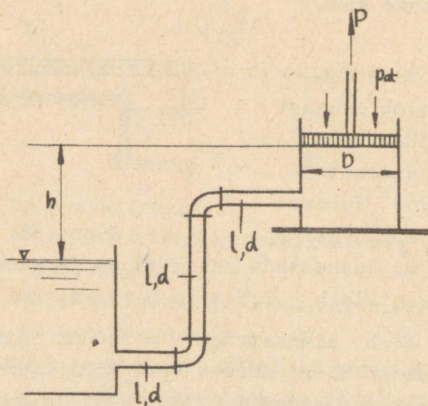
Joon. 86

Torustik koosneb kolmest järjestikku ühendatud võrdsest torust diameetriga  $d = 50 \text{ mm}$ , pikkusega  $l = 4 \text{ m}$ .  $\lambda = 0,03$  ja iga põlve takistuskoeffitsient  $\zeta = 0,5$ . Atmosfäärirõhk  $p = 740 \text{ mm}$  elavhõbedasammast ja küllas-

tunud aururõhk  $0,043 \text{ kg/cm}^2$ .

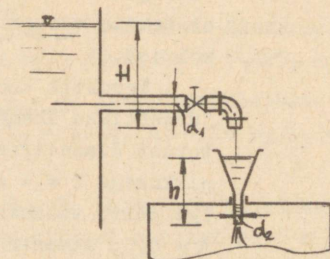
Ülesanne 7 - 8. Paak täidetakse leetri kaudu bensiiniga kõrguseni  $h = 400 \text{ mm}$ . Letri diameeter  $d_2 = 50 \text{ mm}$  ja takistuskoeffitsient  $\zeta = 0,25$  (joon. 88). Letrisse voolab bensiin lähikese toru kaudu konstantse nivooga reservuaarist. Leida reservuaari maksimaalne bensiininivoo, mille juures letrist ei voola üle, ning sellele nivoole vastav bensiini vooluhulk.

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



Joon. 87

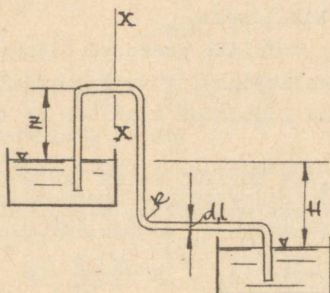
Ülesanne 7 - 9. Vesi voolab ülemisest paagist alumisse



Joon. 88

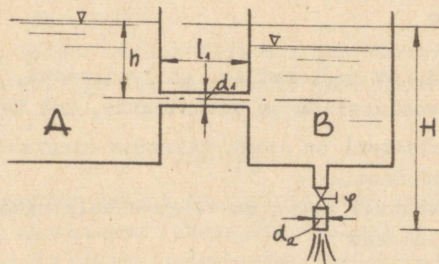
paaki  $d = 50$  mm diameetri ja 30 m kogupikkusega sifooni kaudu (joon. 89). Leida vaakuum sifooni harjal, kui paakides veepindade vahe on  $H = 4,5$  m, sifooni harja kõrgus  $Z = 2,5$  m, torustiku takistuskoefitsient  $\lambda = 0,028$ , põlvete raadiused  $R = 50$  mm ja torustiku pikkus ülemisest 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 takistuskoeffitsiendist  $\xi$ , 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 turbulentsse 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 süngides on turbulentne.

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

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

kus  $V$  on voolu iseloomustav kiirus,

$L$  - voolu iseloomustav pikkus ja

$\nu$  - vedeliku kinemaatiline viskoossuskoeffitsient.

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

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

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 sisehõrdejõududest.

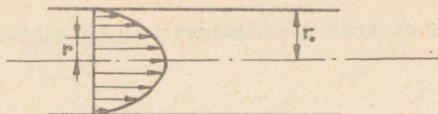
Voolamisel ümmarguses torus on tangentsiaalpinged toru seinal määratud avaldisega

$$\tau_0 = \delta \frac{r_0}{2} J, \quad (8 - 3)$$

kus  $r_0$  on toru raadius,

$J$  - hüdrauliline lang.

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



Joon. 91

$$v = \frac{\Delta p}{4\mu l} (r_0^2 - r^2), \quad (8 - 4)$$

kus  $\Delta p$  on rõhulang torus;

$\mu$  - absoluutne viskoossuskoefitsient;

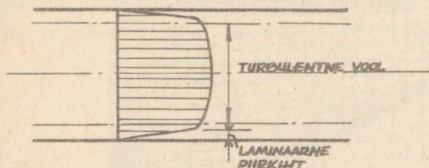
$r$  - vaadeldava punkti kaugus toru teljest.

Vooluhulk laminaarsel voolamisel ümართის:

$$Q = \frac{\pi \Delta p}{8\mu l} r_0^4. \quad (8 - 5)$$

Turbulentses voolus on voolu takistus tingitud turbulent-

sest segunemisest tule-  
nevatest sisehõrdejõu-  
dudest. Turbulentses voo-  
lus on võimalik toru kes-  
kel eraldada turbulentset  
voolusüdamikku ja toru  
seinte ääres laminaarset  
piirkihti (joon. 92).



Joon. 92

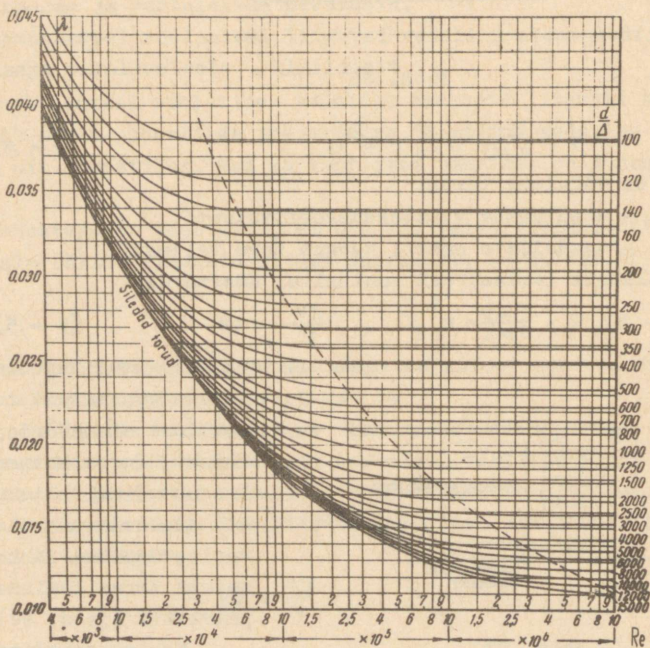
di  $\lambda$  muutus sõltub voolurežiimist. Laminaarses voolus sõltub  $\lambda$  Reynoldsi arvust ja see määratakse ümmarguses torus voolamisel valemiga

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

Turbulentses voolus on takistuskoeffitsiendi  $\lambda$  muutus keerukas, see määratakse eksperimentaalselt. Joonisel 93 on näitena toodud  $\lambda$  muutus ümmargustes terastorudes turbulentses voolu korral.

Toodud graafikust selgub, et suurte  $Re$  arvude puhul takistuskoeffitsient sõltub vaid nn. suhtelisest toru karedusest, s.o. toru diameetri  $d$  ning absoluutkareduse  $\Delta$  suhtest, ega sõltu sisehõrdejõududest. Väiksemate  $Re$  arvude korral takistuskoeffit-

sient sõltub nii sisehõrdejõududest kui ka suhtelisest toru karedusest.



Joon. 93

Torude absoluutkareduseks võetakse:

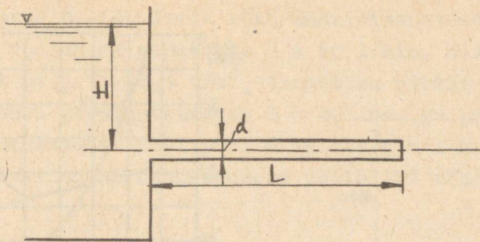
uutel tõmmatud terastorudel 0,1 mm,

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 viskoossuskoeffitsient  $\nu = 0,01$  cm<sup>2</sup>/sek. Milline on sissevoolu takistuskoeffitsiendi  $\xi = 0,5$  mõju maksimaalsele survekõrgusele?

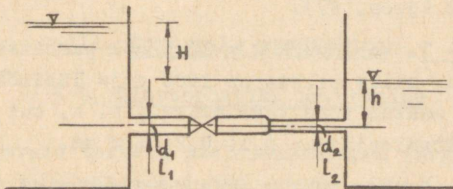
Ülesanne 8 - 2. Leida ülesande 8 - 1 tingimustel, kui



Joon. 94

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

Ülesanne 8 - 3. Leida survekõrgus  $H$ , et kahte anumad 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,  $\Delta_1 = 0,1$  mm ja

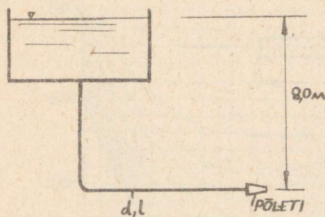


Joon. 95

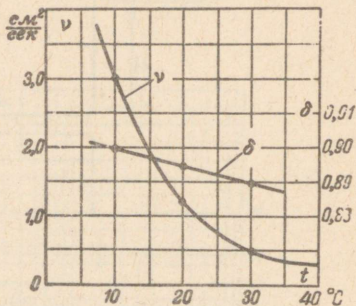
$\Delta_2 = 0,05$  mm. Ventili takistuskoefitsient  $\xi = 8,0$ , vee kinemaatiline viskoossuskoefitsient  $0,01$  cm<sup>2</sup>/sek.

Ülesanne 8 - 4. Torus diameetriga 100 mm voolab masuut mahukaaluga  $\gamma = 0,9$  t/m<sup>3</sup> ja dünaamilise viskoossuskoefitsiendiga  $\mu = 22,5 \cdot 10^{-4}$  kg sek/m<sup>2</sup>. 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 põletite teljest. Survetorustiku pikkus  $l = 30$  m ja diameeter  $d = 25$  mm (joon. 96). Masuudi mahukaal on  $\gamma = 0,88$  ja kinemaatiline viskoossuskoefitsient  $\nu = 0,25$  cm<sup>2</sup>/sek.



Joon. 96

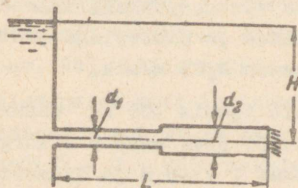


Joon. 97

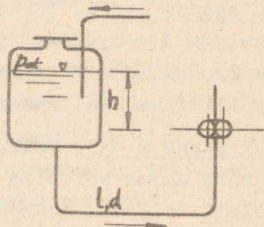
Ülesanne 8 - 6. Mõdda 5 km pikkust ja 150 mm diameetriga horisontaalatoru pumbatakse masuuti. Leida rõhukaod torustikus masuudi temperatuuridel  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  ja  $30^{\circ}\text{C}$ , kui masuudi vooluhulk on 50 l/sek ja toru absoluutkaredus  $\Delta = 0,1$  mm. Masuudi 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 rõhukaodude muutus toru vananemisel, s. o. kui absoluutkaredus suureneb järgmiselt:  $\Delta = 0,1; 0,2; 1,2$  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<sup>3</sup>/min- ja torude absoluutkaredus  $\Delta = 1,2$  mm.

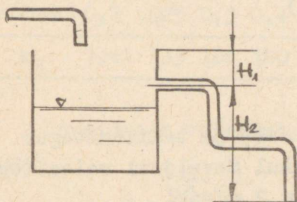


Joon. 98



Joon. 99

Ülesanne 8 - 9. Leida rõhk määrimissüsteemi sissevoolu-  
 avas, kui vooluhulk süsteemis  $Q = 60$  l/min, õli temperatuur  
 $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\nu = 2$  st.,  $\gamma = 0,9$  t/m<sup>3</sup>, torustiku pikkus  $l = 5$  m,  $d =$   
 $= 35$  mm, toru absoluutkaredus  $\Delta = 0,1$  mm ja pumba sissevoolu-  
 ava asub reservuaaris allpool õlipinda  $h = 1$  m võrra (joon. 99).  
 Kohalike takistuste rõhukadudeks võtta 10% rõhukadudest toru  
 pikkusel.



Joon. 100

ja toru absoluutkaredus  $\Delta = 0,1$  mm.

Ülesanne 8 - 10. Ülevoolu  
 vältimiseks on veepaak varusta-  
 tud 18 meetri pikkuse ülevoolu-  
 toruga (joon. 100). Leida ülevoo-  
 lutoru diameeter, kui see peab  
 laskma läbi vett 100 m<sup>3</sup>/tunnis  
 survekõrguse  $H_1 = 0,2$  m juures.

Üle voolutoru väljumisava  
 on  $H_2 = 5,0$  m kõrgemal toru otsast

### III. Torustike arvutamine

#### § 9. Lihttorustiku arvutamine

Toodetavaid torusid iseloomustatakse järgmiste põhipara-  
 meetritega: toru välisläbimõõt, seina paksus, pikkus ja ting-  
 läbimõõt. Toru tingläbimõõduks nimetatakse toru läbimõõtu mil-  
 limeetrites, mis vastab ligikaudselt torude ühendamiseks mää-  
 ratud otste siseläbimõõdule. Toru tingläbimõõt on torude lii-  
 gituste 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. Vasta-  
 valt kasutatavale tööriistale toodetakse torusid kas normaalse  
 või tugevdatud seinapaksusega, kusjuures kummalgi juhul toru  
 välisläbimõõt on sama.

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

Teras- ja malmtorude normaalsortiment on toodud tabelis liisa 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)

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

kus  $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$  on toru ristlõike pindala ja takistustegur määratakse teras- ning malmtorude puhul Seveljovi valemitega: ruuttakistuse tsoonis, kui  $v \geq 1,2$  m/sek,

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

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

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

Tähistades

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

saame

$$H = ALQ^2 = SQ^2, \quad (9 - 4)$$

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 geomeetristest elementidest ning on standardsete torude puhul tabuleeritav (vt. liisa III).

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

$$H = Ak_3 LQ^2,$$

(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	$\geq 1,2$
$k_3$	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 valem

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

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

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

Et veelgi kergendada torustike arvutust, on valem (9-4) ja (9 - 4a) alusel koostatud tabelid (Seveljovi tabelid teras- torudele ГОСТ 3262-55 on toodud lisa IV ja malmtorudele lisa V).

Seveljovi tabelleis 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. Seveljovi tabelleist (lisa IV) on võimalik otse leida  $1000 i$  ja  $v$ . Rõhukadu võrdub  $H = iL$ .

Ilma nimetatud tabelita on võimalik rõhukadu määrata valem (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 Seveljovi tabelist (lisa IV) võimalik otse leida  $Q$  ja  $v$ .

Nimetatud tabelleid kasutamata leitakse valemist (9 - 5) vooluhulk  $Q$  ja seejärel arvutatakse  $v$ . Kui  $v \geq 1,2$  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 Ševeljovi 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 alljärgnevat ökonoomilisi piirvooluhulki ja piirkiirusi.

Tabel 2

Ökonoomilised piirvooluhulgad ja piirkiirused

N.N. Abramovi järgi

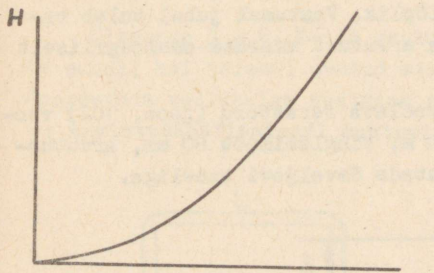
d mm	Ökonoomiline piirvooluhulk l/sek		Ökonoomiline piirkiirus m/sek	
	väikseim	suurim	väikseim	suurim
1	2	3	4	5
100	-	5,4	-	0,71
125	5,4	9,0	0,45	0,73
150	9,0	15,0	0,48	0,85
200	15,0	28,5	0,51	0,91
250	28,5	45,0	0,58	0,92
300	45,0	68,0	0,64	0,96
350	68,0	96,0	0,71	1,00
400	96,0	130,0	0,76	1,04
450	130,0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

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

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

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

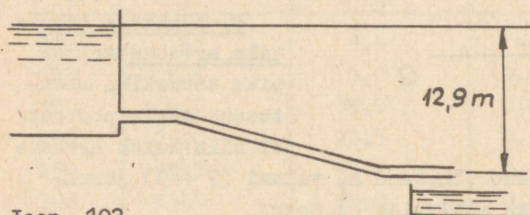
Torustiku arvutusel esineb kolm põhiülesannet:

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

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

3. Määrata  $d$ , kui  $Q$ ,  $H$ ,  $L$  ja  $\Sigma$  on ette antud. Seegi ülesanne otseselt ei lahendu. Elementaarsem lahendusviis on järk-järguline lähenemine. Oletatakse meelevaldne läbimõõt  $d_1$  ja arvutatakse sellele vastavad suurused  $v_1$ ,  $\lambda_1$  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  $Q_n = Q$ .

Ülesanne 9 - 1. Leida iseveoolava terastoru (joon. 102) vooluhulk, kui toru pikkus on 820 m, tinglähimõõt 80 mm, arvutuslik siselähimõõt 79,5 mm. Arvutada Ševaljovi tabeliga.



Joon. 102

Ülesanne 9 - 2.  
3600 meetri pikku-  
se vesivarustusto-  
ru lõpp on 32 meet-  
rit toru algusest  
kõrgemal. Leida voo-  
luhulga  $2,5 \text{ m}^3/\text{min}$

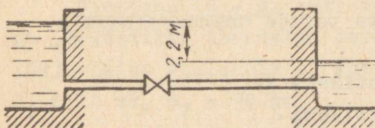
läbilaskmiseks vajalik rõhk toru (ГОСТ 3101-46) alguses, kui toru  $D = 200$  mm ja vajalik vabarõhk toru lõpus peab olema 2,5 at. Arvutada eritakistuse  $A$  abil.

Ülesanne 9 - 3. Vooluhulk  $Q = 300 \text{ m}^3/\text{t}$  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  $L = 100 \text{ m}$  ja  $Q = 8 \text{ l/sek}$ . Terastoru ГOCT 3262-55. Arvutada eritakistuse A abil.

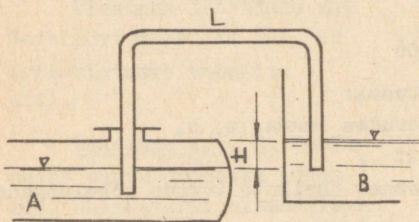
Ülesanne 9 - 5. Vesi voolab ühest anumast teise piki

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  $\zeta = 0$ . Ulesanne lahendada Seveljovi tabelite ja eritakistuse A abil.

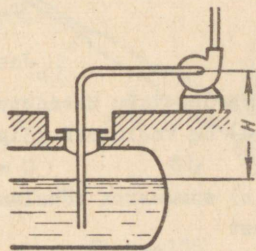


Joon. 103

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



Joon. 104



Joon. 105

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

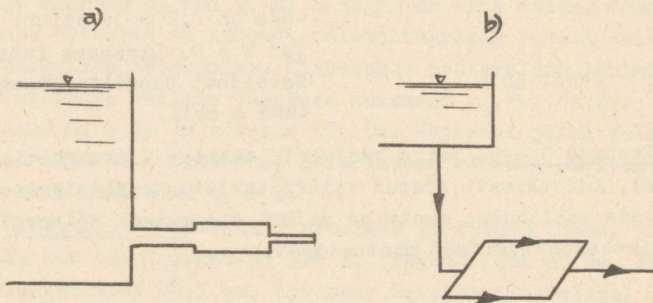
Ülesanne 9 - 8. Bensiini pumbatakse maa-alusest reservuaarist 21 m pikkuse 70 mm toru kaudu (joon. 105). Leida vaakuum torus pumba juures, kui  $Q = 400 \text{ l/min}$  ja  $H = 6 \text{ m}$ .

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

### § 10. Mitmesuguste torustike arvutamine

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

- järjestikühendusega torustikeks ja
- paralleelühendusega torustikeks.



Joon. 106

Järjestikku ühendatud torudes:

- on vooluhulk kõigis torudes sama, s. o.

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

- summaarne rõhulang koosneb üksikute torude rõhulangude summast

$$H = \sum_{i=1}^n h_{f_i} = Q^2 \sum_{i=1}^n S_i. \quad (10 - 1)$$

Paralleelselt ühendatud torudes:

- rõhulang kõigis torudes on sama, s. o.

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

b) summaarne vooluhulk koosneb üksikute torude vooluhul-  
kade summast

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

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

Ülesanne 10 - 1. Vesi voolab paagist A paaki B teineteise-  
ga järjestikku ühendatud terastoru (ГОСТ 3262-55) mööda (joon.  
107). Leida vooluhulk  $Q$ , kui

$d_1 = 40 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 70 \text{ mm}$ ,  
 $L_1 = L_2 = 40 \text{ m}$  ja  $H = 5 \text{ m}$ .

Ülesanne lahendada Ševaljovi  
tabelite abil.

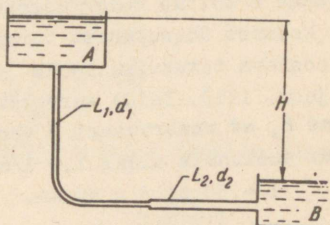
Ülesanne 10 - 2. Leida  
isevoolava naftatorustiku  
vooluhulk (joon. 108), kui:

$d_1 = 100 \text{ mm}$ ,  $l_1 = 20 \text{ m}$ ,  
 $d_2 = 125 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 10 \text{ m}$ ,  
 $d_3 = 80 \text{ mm}$ ,  $l_3 = 40 \text{ m}$ .

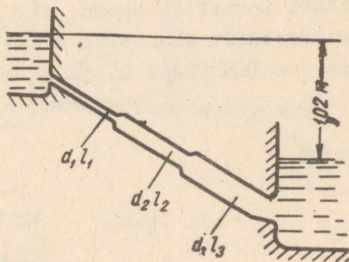
Ülesanne lahendada nii  
Ševaljovi tabelite kui ka  
eritakistuste tabelite  
abil.

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

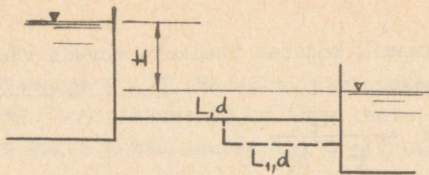
Ülesanne 10 - 4. Tarbijat punktis D (joon. 110) toidetakse  
reservuaaridest A ja B. Leida maksimaalne vooluhulk tarbija



Joon. 107



Joon. 108



Joon. 109

juures, kui:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= 30 \text{ m}, & H_2 &= 20 \text{ m}; \\
 d_1 &= 100 \text{ mm}, & d_2 &= 125 \text{ mm}, & d_3 &= 150 \text{ mm}; \\
 l_1 &= 400 \text{ m}, & l_2 &= 500 \text{ m}, & l_3 &= 250 \text{ m}.
 \end{aligned}$$

Ülesanne 10 - 5. Reser-

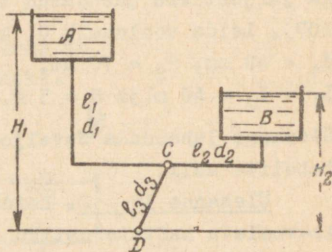
vuaar B toitub reservuaarist A kolmest ühesugusest torust koosneva torustiku kaudu (joon. 111). Leida survekõrgus  $H$ , et reservuaari B voolav vooluhulk oleks  $1,0 \text{ l/sek}$ .

$$L = 50 \text{ m}, \quad d = 50 \text{ mm}.$$

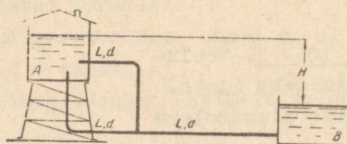
Ülesanne 10 - 6. Vesi

voolab reservuaarist atmos-

fääri torustiku kaudu, mis koosneb kolmest järjestikku ja paralleelselt ühendatud erinevast torust (joon. 112). Joonestada vooluhulkade  $Q_2$  ja  $Q_3$  sõltuvus survekõrgusest  $H$  viimase



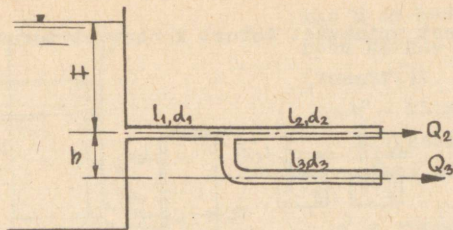
Joon. 110



Joon. 111

muutumisel  $0 - 3 \text{ m}$ , kui  $h = 2 \text{ m}$  ja

$$\begin{aligned}
 l_1 &= 10 \text{ m}, & l_2 &= 20 \text{ m}, & l_3 &= 20 \text{ m}; \\
 d_1 &= 150 \text{ mm}, & d_2 &= 100 \text{ mm}, & d_3 &= 80 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$



Joon. 112

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

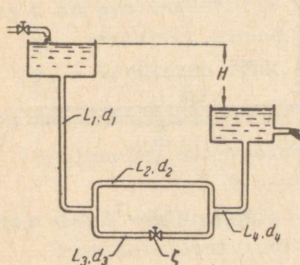
$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 100 \text{ m};$$

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

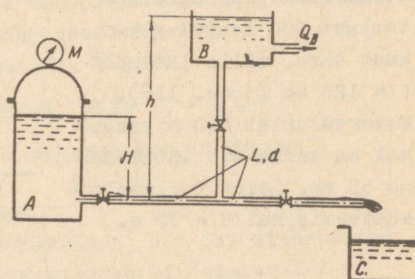
$$d_3 = 150 \text{ mm};$$

ventiili takistuskoeffitsient  $\zeta = 30$ .

Kuidas mõjub süsteemi vooluhulgale ventiili täielik sulgemine?



Joon. 113



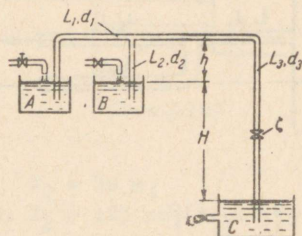
Joon. 114

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:

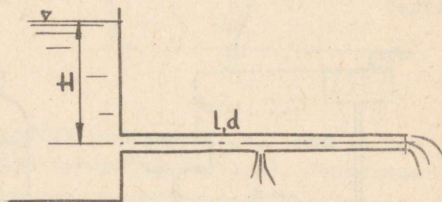
$H = 16$  m;  $L_1 = 200$  m,  $L_2 = 100$  m,  $L_3 = 500$  m;

$d_1 = 125$  mm,  $d_2 = 100$  mm,  $d_3 = 125$  mm ja

ventiili takistuskoefitsient  $\zeta = 12$ .

Ülesanne 10 -10. Ve-

si 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.



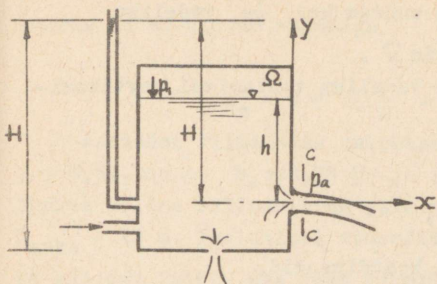
Joon. 116

IV. Voolamine anumatest

§ 11. Vedelike voolamine avadest ja jätkudest

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

$$v_c = \sqrt{2gH},$$



Joon. 117

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

$\varphi$  - kiiruskoefitsient.

Kiiruskoefitsient  $\varphi$  on arvatav seosest

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

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

$\zeta$  - 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  $\varepsilon$  avaldub kui joa kitsendatud ristlõike pindala  $\omega_c$  suhe ava ristlõike pindalasse  $\omega$ :

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

Koefitsientide  $\varphi$ ,  $\zeta$ ,  $\varepsilon$  ja  $\mu$  väärtused olenevad ava geomeetrisest kujust ja servade töötlustest, vedeliku juurdevoolu tingimustest avale ja Reynoldsi arvust.

Ava võib lugeda väikeseks, kui tema läbimõõt ei ületa  $0,1 H_0$ , kus  $H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$  on rõhukõrgus üle ava telje. Juurdevoolu kiiruskõrgus  $\frac{v_0^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g\omega^2}$  võetakse arvesse siis,

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

Joa trajektoori võrrandid vedeliku voolamisel vertikaal-seinas 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  $\xi$  arvulised väärtused, mis ise-loomustavad vee voolamist avadest ja jätkudest, on toodud alljärgnevas tabelis:

Nr.	Jätku tüüp	Koefitsiendid			
		$\varepsilon$	$\varphi$	$\mu$	$\xi$
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 külgeintest 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.

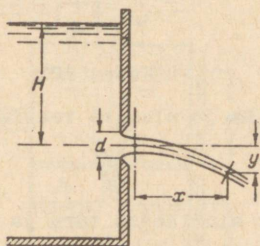
Voolamisel jätkudest tekib jätkus sissevoolu taga kitsendatud lõikes vaakuum. Silindrilise välise jätku puhul vaakuumi

suurus on arvatav valemiga

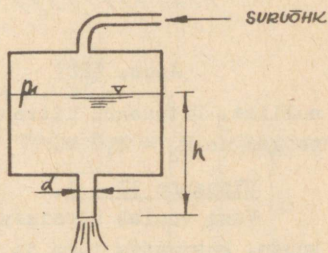
$$h_v = 2\varphi^2 \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) H.$$

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  $H_{\text{maks}} = 13$  m. Voolamisel atmosfääri rebib juga end jätku seinete 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 takistuskoeffitsient, 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<sup>3</sup> (joon. 119). Baromeetriline rõhk on 730 mm elavhõbedasammast. Kui suur on bensiini kaaluline vooluhulk?

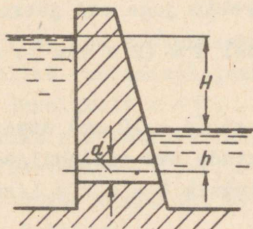
Ülesanne 11 - 3. Paisu silindrilise veelasu kaudu lastakse läbi vooluhulk  $Q = 2,3$  m<sup>3</sup>/sek, kui rõhukõrgus  $H = 10$  m.

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

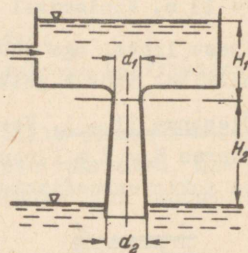
Ülesanne 11 - 4. Veereservuaar on alumise biefiga ühendatud

difuusoriga, mille läbimõõdud on :  $d_1 = 100$  mm ja  $d_2 = 150$  mm (joon. 121). Difuusori sissevoolu takistuskoeffitsient on  $\zeta = 0,06$  ja rõhukadude koeffitsient difuusoris  $\varphi_k = 0,2$ .

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



Joon. 120

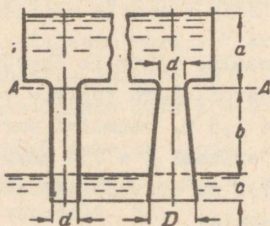


Joon. 121

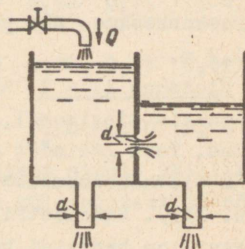
nulliga. Difuusori kitsendatud lõike ja alumise veepinna vaheline kaugus  $H_2 = 1,2$  m.

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

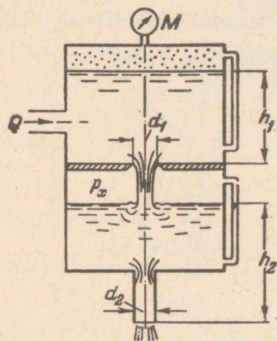
Arvutada, mitu korda difuusori vooluhulk on suurem vooluhulgast torus, kui on teada kõrgused  $a = 0,8$  m,  $b = 1,4$  m ja  $c = 0,6$  m. Sissevoolu osa takistuskoeffitsient nii torus kui ka difuusoris on  $\zeta = 0,05$  ja rõhukadude koeffitsient difuusoris  $\varphi_k = 0,25$ .

Kui suur on rõhk mõlemal juhul lõikes A - A?

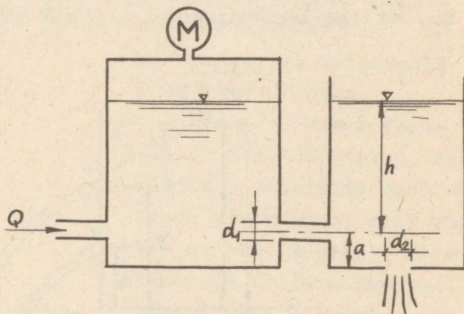
Ülesanne 11 - 6. Paak on eraldatud vaheseinaga kaheks osaks, kusjuures vaheseinas on teravate servadega ümmargune ava läbimõõduga  $d = 100$  mm (joon. 123). Vasakpoolsesse paagi osasse voolab vesi  $Q = 80$  l/sek. Mõlema sektsiooni põhjad on varustatud silindrilise välisjätkuga, millede läbimõõt  $d = 100$  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 monomeeter näitab  $M = 0,5$  atü ja veepinnad mõõteklaaside järgi on  $h_1 = 2$  m ja  $h_2 = 3$  m.

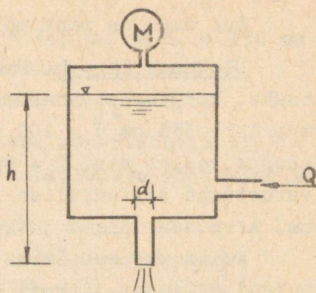
Kui suur on siis rõhk  $p_x$  alumises paagis?

Ülesanne 11 - 8. Kaks reservuaari on ühendatud omavahel jätkuga (joon. 125), mille läbimõõt  $d_1 = 30$  mm. Mõlemas reservuaaris on vedeliku ( $\gamma = 750$  kg/m<sup>3</sup>) pind samal kõrgusel, s. t.  $h = 1,20$  m. Manomeetri lugem vasakpoolses anumus  $M = 0,40$  atü.

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

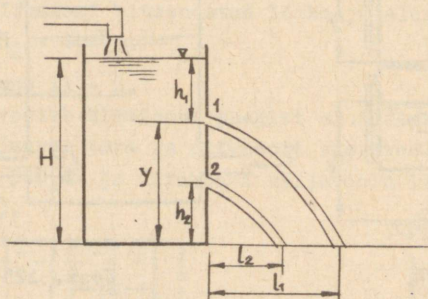
Ülesanne 11 - 9. Suletud reservuaar on varustatud silindrilise välisjätkuga, mille läbimõõtu  $d = 40$  mm. Jätku väljavoolu ava ja veepinna vaheline kaugus  $h = 1,3$  m (joon. 126).

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 ( $l_1 = l_2$ )?



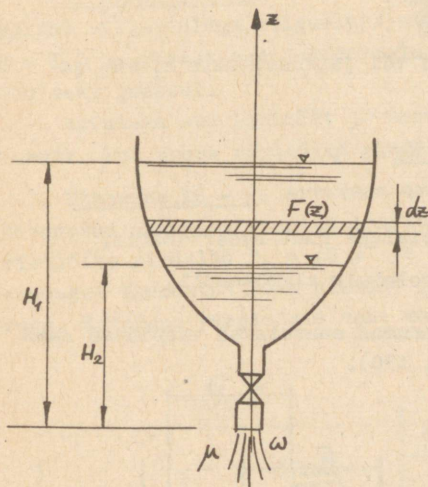
Joon. 127

## § 12. Voolamine muutuva rõhu all

Vedelikud voolavad muutuva rõhu all tavaliselt reservuaaride tühjendamisel ja täitmisel. Kui on tegemist voolamisega ruuttakistuse piirkonnas, võib vooluhulga koefitsiendi  $\mu$  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 anumase aja  $dt$  jooksul ( $dz < 0$ );  $\mu$  - väljavoolutorustiku vooluhulga koefitsient, mis on arvutatud väljavoolu ristlõikele;  $\omega$  - torustiku väljavoolu ristlõike pindala.

Kuna viimases valemis ei ole arvestatud vedeliku inertsiõudu torustikus ega anumase, siis valem on seda täpsem, mida lühem on väljavoolutorustik ja mida väiksem on to-

rustiku ristlõike pindala anuma ristlõike pindalaga võrreldes.

Prismaatilise reservuaari jaoks, kus  $F(z) = F = \text{const}$ , saame peale integreerimist

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

Kui anuma tühjenemisel voolab anumasse samal ajal juurde konstantne vooluhulk  $q$ , siis anuma tühjenemise aeg pikeneb aja  $\Delta t$  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):

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

kus väljavoolutorustiku vooluhulga koefitsient (lühike toru)

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

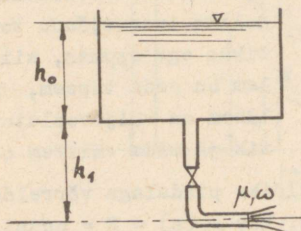
Kui väljavool toimub avast või jätkust, siis  $h_1 \approx 0$  ja tühjenemise aeg

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

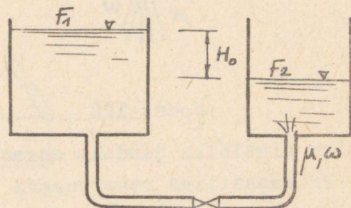
kus  $W_0 = F \cdot h_0$  on vedeliku esialgne maht reservuaaris,

$Q_0 = \mu\omega\sqrt{2g}h_0$  - vedeliku vooluhulk algmomendil.

Kahes omavahel ühendatud anumal 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  $F(z) = F = \text{onst}$  arvutatav valemist (joon. 128)

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

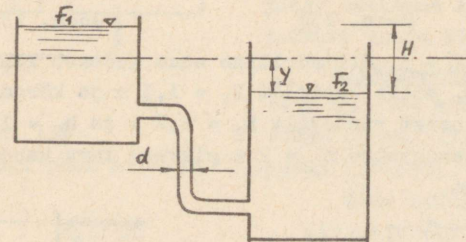
kus

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

Ülesanne 12 - 1. Vee juurdevool silindrilisse anumasse võrdub väljavooluga külgliseinas 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<sup>2</sup>.

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



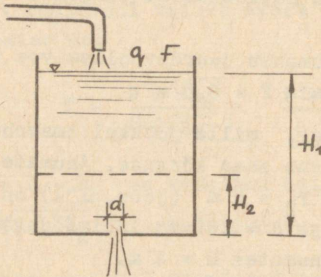
Joon. 131

Arvutamisel võtta takistuskoeffitsient toru käänakule  $\xi = 0,30$  ja hõõrdekoeffitsient  $\lambda = 0,040$ .

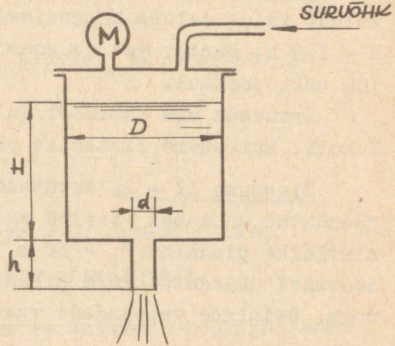
Ülesanne 12 - 3. Reservuaari, ristlõike pindalaga  $F = 1$  m<sup>2</sup>, voolab vooluhulk  $q = 1$  l/sek. Reservuaari põhjas on teravate servadega  $d = 30$  mm läbimõõduga ava, mille kaudu vesi välja voolab (joon. 132). Väljavoolu algmomendil on veepinna kõrgus  $H_1 = 60$  cm. Kui palju kulub aega,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

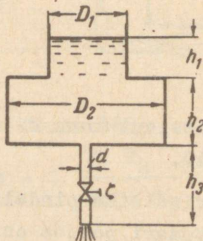


Joon. 132

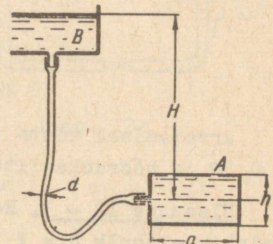


Joon. 133

Ülesanne 12 - 5. Silindriline anum koosneb kahest osast: ülemisest osast, mille läbimõõt  $D_1 = 1,5$  m ja kõrgus  $h_1 = 1,0$  m, 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



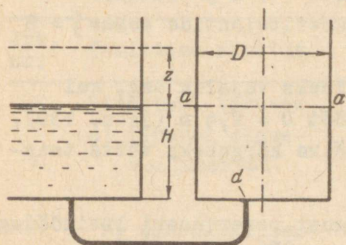
Joon. 135

Arvutada anuma tühjenemise aeg, kui on teada, et takistustegur torus  $\lambda = 0,03$  ja täiesti avatud ventiili takistuskoeffitsient  $\zeta = 4$ .

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

Arvutada vooliku läbimõõt  $d$ , kui on teada, et antud tingimustes paagi A täitumise aeg  $T = 15 \text{ min}$ . Vooliku hõõrdekoeffitsient  $\lambda = 0,05$ . Kohalikke takistusi mitte arvestada.

Ülesanne 12 - 7. Paak läbimõõduga  $D = 600 \text{ mm}$  täidetakse torustiku kaudu kõrguseni  $a - a$  ( $H = 1,2 \text{ m}$ ) reservuaari vee-ga. Toru läbimõõt  $d = 25 \text{ mm}$  ja takistuskoeffitsientide summa (arvestades kadusid ka voolu pikkusel)  $\zeta = 8$  (joon. 136).



Joon. 136

kera suurringi pool all- ja II anumal ülalpool.



Joon. 137

täielik tühjenemise aeg anuma põhjas oleva  $d_0 = 50 \text{ mm}$  läbimõõduga ava kaudu. Tühjenemise ajal on veepinnal atmosfäärirõhk (joon. 138).

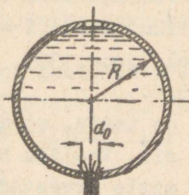
1) Arvutada paagi täitmise aeg kõrguseni  $a - a$ , kui reservuaari veepind jääb samale kõrgusele.

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

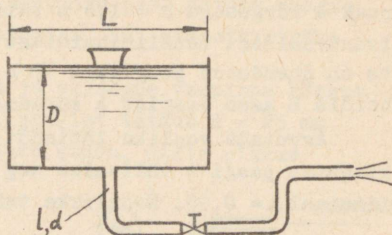
Ülesanne 12 - 8. Kaks poolkerakujulist anumast on täidetud veega (joon. 137). I anumal on

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  $R = 0,8 \text{ m}$



Joon. 138

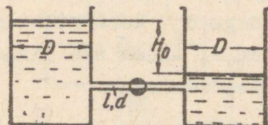


Joon. 139

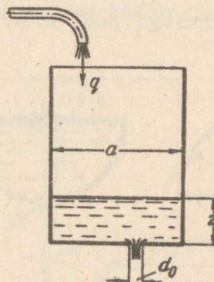
Ülesanne 12 - 10. Bensiini tsistern tühjendatakse põhjas oleva toru kaudu, mille pikkus  $l = 7 \text{ m}$  ja läbimõõt  $d = 50 \text{ mm}$ . Toru kohalike takistuskoeffitsientide summa  $\sum \zeta = 8$  ja takistustegur  $\lambda = 0,025$ .

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

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



Joon. 140



Joon. 141

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

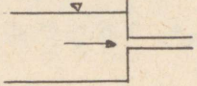
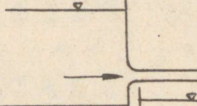
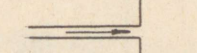
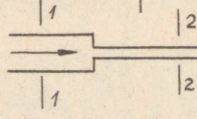
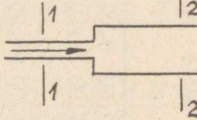
Ülesanne 12 - 12. Ruudukujulise põhjaga ( $a = 800$  mm) anumasse antakse konstantne vooluhulk  $q = 2$  l/sek. Samaaegselt toimub väljavool anuma põhjas oleva ava kaudu, mille  $d_0 = 30$  mm ja  $\mu = 0,61$  (joon. 141).

Arvutada:

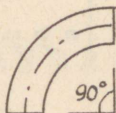
- 1) millise veepinna  $z_{\text{maks.}}$  puhul töötab antud süsteem stationsaarsel režiimil;
- 2) kui palju kulub aega, et veepindade  $z$  ja  $z_{\text{maks.}}$  vahe oleks  $\Delta z = 0,10$  m?

Lisa I

Mõningaid kohalike takistuste koefitsiente

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

5. Toru põlv



0,5 - 0,6

## Torude normaalnomenklatuur

Terastorud (läbimõõdud mm-tes)								Malmtorud				
POCT 3262-55				POCT 3101-46				POCT 4015-52			POCT 5525-50	
ting- läbi- mõõt	välis- läbi- mõõt	sise- läbi- mõõt	arvut. siselä- bimõõt d <sub>a</sub>	ting- läbi- mõõt	välis- läbi- mõõt	sise- läbim- seina- paksu- sel 10 mm	arvut. sise- läbi- mõõt d <sub>a</sub>	ting- läbi- mõõt	välis- läbi- mõõt	arvut. sise- läbim- seina- paksusel 10 mm d <sub>a</sub>	sise- läbi- mõõt	arvut. sise- läbi- mõõt d <sub>a</sub>
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

		T e r a s t o r u d				M a l m t o r u d				
		FOCT 3262-55		FOCT 3101-46		FOCT 4015-52		FOCT 5525-50		
ting- läbim. mm	A, kui Q on m <sup>3</sup> /sek	A, kui Q on l/sek	ting- läbim. mm	A, kui Q on m <sup>3</sup> /sek	ting- läbim. mm	A, kui Q on m <sup>3</sup> /sek	sise- läbim. mm	A, kui Q on m <sup>3</sup> /sek	sise- läbim. mm	A, kui Q on m <sup>3</sup> /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	0,4529		
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								

## Seveliovi arvutustabelid terastoruudele 3262-55

v m/sek.

q 1/sek.	d mm																	
	8		10		15		20		25		32		40		50		70	
	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001	v	10001
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	1,99
0,75							2,33	924	1,41	246	0,79	56,2	0,60	28,3	0,35	7,70	0,21	2,26
0,80							2,48	1051	1,51	279	0,84	63,2	0,64	31,4	0,38	8,52	0,23	2,53
0,85							2,64	1187	1,60	316	0,90	70,7	0,68	35,1	0,40	9,63	0,24	2,81
0,90							2,79	1330	1,69	354	0,95	78,7	0,72	39,0	0,42	10,7	0,25	3,11

Лиса IV жѣг

Q 1/сек.	d mm															
	25		32		40		50		70		80		100		125	
	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001
0,35	1,79	394	1,00	86,9	0,76	43,1	0,45	11,8	0,27	3,42						
1,0	1,88	437	1,05	95,7	0,80	47,3	0,47	12,9	0,28	3,76	0,20	1,64				
1,05	1,98	481	1,11	105	0,84	51,8	0,49	14,1	0,30	4,09	0,21	1,78				
1,1	2,07	528	1,16	114	0,87	56,4	0,52	15,3	0,31	4,44	0,22	1,95				
1,15	2,17	578	1,21	124	0,91	61,3	0,54	16,6	0,33	4,81	0,23	2,10				
1,2	2,26	629	1,27	135	0,95	66,3	0,56	18,0	0,34	5,18	0,24	2,27				
1,25	2,35	682	1,32	147	0,99	71,6	0,59	19,4	0,35	5,57	0,25	2,44				
1,3	2,45	738	1,37	159	1,03	76,9	0,61	20,8	0,37	5,99	0,26	2,61				
1,35	2,54	796	1,42	171	1,07	82,5	0,64	22,3	0,38	6,41	0,27	2,79				
1,4	2,64	856	1,48	184	1,11	88,4	0,66	23,7	0,40	6,83	0,28	2,97				
1,45	2,73	918	1,53	197	1,15	94,4	0,68	25,4	0,41	7,27	0,29	3,16				
1,5	2,82	983	1,58	211	1,19	101	0,71	27,0	0,42	7,72	0,30	3,36				
1,55	2,92	1049	1,63	226	1,23	107	0,73	28,7	0,44	8,22	0,31	3,56				
1,6	3,01	1118	1,69	240	1,27	114	0,75	30,4	0,45	8,70	0,32	3,76				
1,65			1,74	256	1,31	121	0,78	32,2	0,47	9,19	0,33	3,97				
1,7			1,79	271	1,35	129	0,80	34,0	0,48	9,69	0,34	4,19	0,20	1,09		
1,75			1,85	287	1,39	136	0,82	35,9	0,50	10,2	0,35	4,41	0,202	1,15		
1,8			1,90	304	1,43	144	0,85	37,8	0,51	10,7	0,36	4,66	0,21	1,21		
1,85			1,95	321	1,47	152	0,87	39,7	0,52	11,3	0,37	4,89	0,214	1,27		
1,9			2,00	339	1,51	161	0,89	41,8	0,54	11,9	0,38	5,13	0,22	1,32		
1,95			2,06	357	1,55	169	0,92	43,8	0,55	12,4	0,39	5,37	0,225	1,39		
2,0			2,11	375	1,59	178	0,94	46,0	0,57	13,0	0,40	5,62	0,23	1,47		
2,1			2,21	414	1,67	196	0,99	50,3	0,60	14,2	0,42	6,13	0,24	1,58		
2,2			2,32	454	1,75	216	1,04	54,9	0,62	15,5	0,44	6,66	0,25	1,72		
2,3			2,43	497	1,83	236	1,08	59,6	0,65	16,8	0,46	7,22	0,27	1,87		
2,4			2,53	541	1,91	256	1,13	64,5	0,68	18,2	0,48	7,79	0,28	2,00		
2,5			2,64	587	1,99	278	1,18	69,6	0,71	19,6	0,50	8,41	0,29	2,16		
2,6			2,74	635	2,07	301	1,22	74,9	0,74	21,0	0,52	9,03	0,30	2,31	0,20	0,826
2,7			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
2,8			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
2,9					2,31	374	1,37	93,2	0,82	25,7	0,58	11,0	0,33	2,81	0,22	0,995
3,0					2,39	400	1,41	99,8	0,85	27,4	0,60	11,7	0,35	2,98	0,23	1,06
3,1					2,47	428	1,46	107	0,88	29,1	0,62	12,4	0,36	3,17	0,233	1,12
3,2					2,55	456	1,51	114	0,91	30,9	0,64	13,2	0,37	3,36	0,24	1,19
3,3					2,63	485	1,55	121	0,94	32,7	0,66	13,9	0,38	3,54	0,25	1,26
3,4					2,71	515	1,60	128	0,96	34,5	0,68	14,7	0,39	3,74	0,26	1,32
3,5					2,78	545	1,65	136	0,99	36,5	0,70	15,5	0,40	3,93	0,264	1,40
3,6					2,86	577	1,69	144	1,02	38,4	0,72	16,3	0,42	4,14	0,27	1,46
3,7					2,94	610	1,74	152	1,05	40,4	0,74	17,2	0,43	4,34	0,28	1,54
3,8					3,02	643	1,79	160	1,08	42,5	0,76	18,0	0,44	4,57	0,29	1,61

Q 1/сек.	d mm											
	50		70		80		100		125		150	
	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	10001	▼	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/сек.	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 1/сек.	d mm						Q 1/сек.	d mm			
	100		125		150			125		150	
	v	10001	v	10001	v	10001		v	10001	v	10001
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					

Lisa V

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

Q <i>kg</i>	d mm									
	50		80		100		125		150	
	<i>v</i>	1000 <i>l</i>	<i>v</i>	1000 <i>l</i>	<i>v</i>	1000 <i>l</i>	<i>v</i>	1000 <i>l</i>	<i>v</i>	1000 <i>l</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 class.	d mm									
	50		80		100		125		150	
	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l
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 class.	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 Угол.	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	0,552
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 class.	d mm											
	80		100		125		150		200		250	
	v	100z	v	100z	v	100z	v	100z	v	100z	v	100z
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	
	σ	1000z	σ	1000z	σ	1000z	σ	1000z	σ	1000z	σ	1000z	σ	1000z
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	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l
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 C/m.	d mm																	
	100		125		150		200		250		300		350		400		450	
	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z
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	0,63	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 Eloax.	d mm																	
	150		200		250		300		350		400		450		500		600	
	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l	v	1000l
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 c/sec.	d mm															
	100		200		250		300		350		400		450		500	
	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z
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 μsec.	d mm													
	200		250		300		350		400		450		500	
	v	1000f	v	1000f	v	1000f	v	1000f	v	1000f	v	1000f	v	1000f
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 class.	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 Eloex.	d mm									
	300		350		400		450		500	
	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z
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	1,21	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	dmm										Q	dmm									
	300		350		400		450		500			300		400		450		500			
	v	1000i	v	1000i	v	1000i	v	1000i	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	230	2,36	23,1	1,82	11,6	1,44	6,28	1,17	3,61		
182	2,54	32,7	1,87	14,5	1,44	7,24	1,14	3,97	0,92	2,33	233	2,39	23,7	1,84	11,9	1,46	6,45	1,18	3,70		
184	2,57	33,4	1,89	14,8	1,45	7,40	1,15	4,05	0,93	2,39	236	2,42	24,3	1,87	12,2	1,48	6,61	1,20	3,79		
186	2,59	34,1	1,91	15,1	1,47	7,57	1,17	4,14	0,94	2,43	239	2,45	25,0	1,89	12,5	1,50	6,78	1,21	3,87		
188	2,62	34,8	1,93	15,4	1,49	7,72	1,18	4,22	0,95	2,48	242	2,48	25,6	1,91	12,8	1,52	6,95	1,23	3,97		
190	2,65	35,6	1,95	15,8	1,50	7,89	1,19	4,30	0,97	2,53	245	2,51	26,2	1,94	13,1	1,54	7,12	1,24	4,07		
192	2,68	36,4	1,97	16,1	1,52	8,06	1,20	4,38	0,98	2,58	248	2,54	26,9	1,96	13,4	1,56	7,30	1,26	4,17		
194	2,71	37,1	1,99	16,4	1,53	8,23	1,22	4,47	0,99	2,63	251	2,57	27,5	1,98	13,8	1,57	7,48	1,27	4,27		
196	2,73	37,9	2,01	16,8	1,55	8,40	1,23	4,56	1,00	2,68	254	2,61	28,2	2,01	14,1	1,59	7,66	1,29	4,37		
198	2,76	38,7	2,03	17,1	1,57	8,56	1,24	4,65	1,01	2,73	257	2,64	28,9	2,03	14,4	1,61	7,84	1,31	4,48		
200	2,79	39,5	2,05	17,5	1,58	8,74	1,25	4,75	1,02	2,78	260	2,67	29,5	2,06	14,8	1,63	8,02	1,32	4,59		
203	2,83	40,7	2,08	18,0	1,60	9,01	1,27	4,89	1,03	2,86	263	2,70	30,2	2,08	15,1	1,65	8,21	1,34	4,69		
206	2,87	41,8	2,11	18,5	1,63	9,28	1,29	5,03	1,05	2,94	266	2,73	30,9	2,10	15,5	1,67	8,40	1,35	4,80		
209	2,92	43,1	2,14	19,1	1,65	9,54	1,31	5,18	1,06	3,02	269	2,76	31,6	2,13	15,8	1,69	8,59	1,37	4,91		
212	2,96	44,3	2,17	19,6	1,68	9,82	1,33	5,33	1,08	3,10	272	2,79	32,3	2,15	16,2	1,71	8,79	1,38	5,02		
215	3,00	45,6	2,21	20,2	1,70	10,1	1,35	5,49	1,09	3,18	275	2,82	33,0	2,17	16,5	1,73	8,97	1,40	5,13		
218			2,24	20,8	1,72	10,4	1,37	5,64	1,11	3,27	278	2,85	33,8	2,20	16,9	1,74	9,17	1,41	5,24		
221			2,27	21,3	1,75	10,7	1,39	5,80	1,12	3,35	281	2,88	34,5	2,22	17,3	1,76	9,37	1,43	5,35		
224			2,30	21,9	1,77	11,0	1,41	5,95	1,14	3,44	284	2,91	35,2	2,25	17,6	1,78	9,58	1,44	5,47		
227			2,33	22,5	1,79	11,3	1,42	6,12	1,15	3,52	287	2,94	36,0	2,27	18,0	1,80	9,78	1,46	5,59		

Q class.	d mm						Q class.	d mm						Q class.	d mm							
	350		400		450			500		Q class.	400		450		500		Q class.	450		500		
	v	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>		v	1000 <i>l</i>		v	1000 <i>l</i>	v		1000 <i>l</i>	v		1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>
290	2,97	36,7	2,29	18,4	1,82	9,98	1,47	5,70	360	2,85	28,3	2,26	15,4	1,83	8,79	450	2,82	24,0	2,23	13,7		
293	3,01	37,5	2,32	18,8	1,84	10,2	1,49	5,82	364	2,88	29,0	2,28	15,7	1,85	8,99	455	2,85	24,6	2,31	14,0		
296			2,34	19,1	1,86	10,4	1,50	5,94	368	2,91	29,6	2,31	16,1	1,87	9,18	460	2,89	25,1	2,34	14,3		
299			2,36	19,5	1,88	10,6	1,52	6,07	372	2,94	30,2	2,33	16,4	1,89	9,38	465	2,92	25,7	2,36	14,7		
302			2,39	19,9	1,89	10,8	1,53	6,19	376	2,97	30,9	2,36	16,6	1,91	9,59	470	2,95	26,2	2,39	15,0		
305			2,41	20,3	1,91	11,0	1,55	6,31	380	3,00	31,6	2,38	17,1	1,93	9,79	475	2,98	26,8	2,41	15,3		
308			2,44	20,7	1,93	11,3	1,56	6,43	384			2,41	17,5	1,95	10,0	480	3,01	27,3	2,44	15,6		
311			2,46	21,1	1,95	11,5	1,58	6,56	388			2,43	17,9	1,97	10,2	485			2,46	15,9		
314			2,48	21,6	1,97	11,7	1,59	6,69	392			2,46	18,2	1,99	10,4	490			2,49	16,3		
317			2,51	22,0	1,99	11,9	1,61	6,81	396			2,48	18,6	2,01	10,6	495			2,51	16,6		
320			2,53	22,4	2,01	12,2	1,63	6,94	400			2,51	19,0	2,03	10,9	500			2,54	17,0		
324			2,56	23,0	2,03	12,5	1,65	7,12	405			2,54	19,5	2,06	11,1							
328			2,59	23,5	2,06	12,8	1,67	7,30	410			2,57	19,9	2,08	11,4							
332			2,62	24,1	2,08	13,1	1,69	7,47	415			2,60	20,4	2,11	11,7							
336			2,66	24,7	2,11	13,4	1,71	7,66	420			2,64	20,9	2,13	12,0							
340			2,69	25,3	2,13	13,7	1,73	7,84	425			2,67	21,4	2,16	12,3							
344			2,72	25,9	2,16	14,0	1,75	8,02	430			2,70	22,0	2,18	12,5							
348			2,75	26,5	2,18	14,4	1,77	8,22	435			2,73	22,5	2,21	12,8							
352			2,78	27,1	2,21	14,7	1,79	8,40	440			2,76	23,0	2,23	13,1							
356			2,81	27,7	2,23	15,1	1,81	8,59	445			2,79	23,5	2,26	13,4							

Q (Inch.)	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	0,288
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	0,403
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 lines.	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	1,26	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	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>	v	1000 <i>l</i>
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 $\frac{1}{\text{mm}}$	d mm									
	700		800		900		1000		1200	
	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z	v	1000z
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 класс.	d мм						Q в афсек	d в мм	
	900		1000		1200			1200	
	v	1000%	v	1000%	v	1000%		v	1000%
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

101

Q $\mu$ sec	d mm						Q $\mu$ sec	d mm	
	900		1000		1200			1200	
	v	1000z	v	1000z	v	1000z		v	1000z
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

## Mõõtühikute süsteem

Füüsikaline suurus	M õ õ t ü h i k			Ü l e m i n e k u v a l e m i d		
	CGS süsteem	MKGS süsteem	SI süsteem	CGS - MKGS	MKGS - SI	
Pikkus	cm	m	m			
Aeg	s	s	s			
Mass	g	kg	kg	$1 \text{ g} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ kG}$	$1 \text{ kG} \text{ s}^2/\text{m} = 9,81 \text{ kg}$	
Jõud	$\text{g cm/s}^2 =$ $= \text{dyn}$	kG	$\text{kg m/s}^2 =$ $= \text{N}$	$1 \text{ g cm/s}^2 = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ kG}$	$1 \text{ kG} = 9,81 \text{ N}$	
Rõhk	$\text{g/cm s}^2$	$\text{kG/m}^2$	$\text{N/m}^2$	$1 \text{ g/cm s}^2 = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ kG/m}^2$	$1 \text{ kG/m}^2 = 9,81 \text{ N/m}^2$	
Tihedus	$\text{g/cm}^3$	$\text{kGs}^2/\text{m}^4$	$\text{kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 102 \text{ kG s}^2/\text{m}^4$	$1 \text{ kG s}^2/\text{m}^4 = 9,81 \text{ kg/m}^3$	
Mahukaal	$\text{dyn/cm}^3$	$\text{kG/m}^3$	$\text{kg/m}^2 \text{ s}^2 =$ $= \text{N/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^2 \text{ s}^2 = 1,02 \text{ kG/m}^3$	$1 \text{ kG/m}^3 = 9,81 \text{ N/m}^3$	
Dünaamiline viskoossus	$\text{g/cm s} =$ $= 1 \text{ P}$	$\text{KGs/m}^2$	$\text{N/m}^2$	$1 \text{ g/cms} = 1,02 \cdot 10^{-2} \text{ kGs/m}^2$	$1 \text{ kGs/m}^2 = 9,81 \text{ Ns/m}^2$	
Kinemaatiline viskoossus	$\text{cm}^2/\text{s} =$ $= 1 \text{ St}$	$\text{m}^2/\text{s}$	$\text{m}^2/\text{s}$			

N. V. Gogol'i nim.  
Taru Linna  
Keskraamatukogu

## 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



223147

Hind 20 kop.

A  
30482

150018

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00515001 8