

557.5(076)

15

პ. ჯიქია

ჰილრაელისკურ ბაანგაროზებათა
მ ა გ ა ლ ი თ ე ბ ი

თბილისი—1968

3. X O T O

ჰირაკვიკუჩ გეანგეჩიშეხათა
მ ა გ ე დ ი თ ე ბ ი

576984

17318

საქ. პოლიტექნიკური ინსტიტუტის
ფუნდამენტური ბიბლიოთეკა
Фундаментальная Библиотека
Груз. Политехнического Института

საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტროს
სახელმწიფო გამომცემლობა „ცოდნა“

თბილისი
1963

ა ვ ტ ო რ ი ს ა ბ ა ნ

წინამდებარე სახელმძღვანელო — „ჰიდრაველიკურ გაანგარიშებათა მაგალითები“ — მიზნად ისახავს ჰიდრაველიკის ზოგადი კურსის პრაქტიკული ნაწილის შესწავლას. ასეთი ხასიათის წიგნი პირველად გამოდის ქართულ ენაზე. მასში წარმოდგენილია მთელი რიგი ორიგინალური ამოცანების ამოხსნა. ზოგი მათგანი, გადამუშავებული სახით, გამოყენებულია ჩვენივე წიგნიდან „ჰიდრაველიკა“.

ვინაიდან ტექნიკური სასწავლებლების სასწავლო პროგრამებით გავალისწინებული აღარ არის პრაქტიკული მეცადინეობა ჰიდრაველიკაში, ამიტომ უფრო მეტად იზრდება ჩვენს მიერ მოწოდებული წიგნის მნიშვნელობა. იგი დიდ სარგებლობას მოუტანს როგორც დასწრებული, ისე საღამოს და დაუსწრებელი სწავლების სტუდენტებს; განსაკუთრებით გამოიყენებენ მას დაუსწრებელი სწავლების სტუდენტები ჰიდრაველიკაში საკონტროლო სამუშაოს შესრულებისას. ჩვენი სახელმძღვანელო დახმარებას გაუწევს მელიორაციისა და სამშენებლო ტექნიკუმის მსმენელთ, აგრეთვე, იმ საინჟინრო ტექნიკურ მუშაკებს, რომელნიც ჰიდრაველიკურ გაანგარიშებებს აწარმოებენ ჰიდროტექნიკის, მელიორაციისა და სახალხო მეურნეობის სხვა დარგებში. ეს წიგნი გამოადგებათ ფაბრიკა-ქარხნების რაციონალიზატორებსაც, რომლებიც ემსახურებიან პნევმატიკურ და ჰიდროსტატიკურ დანადგარებს.

ამ წიგნის პირველი თავი შეადგინა, მთლიანად წიგნის რედაქტირება გასწია და საერთოდ მისი დასაბუქდად მომზადების საქმეში აქ-

ტიური მონაწილეობა მიიღო ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ჰიდრაულიკის კათედრის დოცენტმა ნ. ქუთათელაძემ, რომელსაც უღრმეს მადლობას მოვახსენებ.

ავტორი კმაყოფილებით მიიღებს ყველა საქმიან შენიშვნას და გაითვალისწინებს მათ წიგნის შემდგომი გამოცემისას.

ჰ ი ლ რ ო ს ზ ა ზ ი ქ ა

ამოცანა (№ 1). მოცემულია ზეთით სავსე ცილინდრული ჭურჭელი. რომლის დიამეტრი $D=2,2$ მ, ხოლო ზეთის სიმაღლე ცილინდრში $H=4,5$ მ (იხ. ნახ. 1), ზეთის მოცულობითი წონა $\gamma=0,8$ ტ/მ³, ცილინდრის დღუშზე მოქმედი გარეგანი ძალა $P_0=80$ კგ.

ვიანგარიშით როგორც ჭურჭლის ფსკერის ფართის ერთეულზე მოქმედი სრული ჰიდროსტატიკური წნევა, ასევე ფსკერის მთლიან ფართზე მოქმედი წნევის ძალა (წნევის ტოლქმედი).

ამოხსნა. დღუშის მოქმედებით გამოწვეული წნევა ზეთის ზედაპირის ერთ კვ. მეტრზე იქნება:

$$p_0 = \frac{P_0}{\omega} = \frac{4 \cdot P_0}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 4,84} = 21,05 \text{ კგ/მ}^2,$$

სადაც ω არის დღუშის (ან ჭურჭლის) განივი კვეთის ფართი მ²-ობით.

ახლა ვიანგარიშით სრული ჰიდროსტატიკური წნევა ჭურჭლის ფსკერის 1 კვ. მეტრზე შემდეგი ცნობილი ფორმულით:

$$p = p_0 + \gamma H = 21,05 + 800 \cdot 4,5 = 3621,05 \text{ კგ/მ}^2,$$

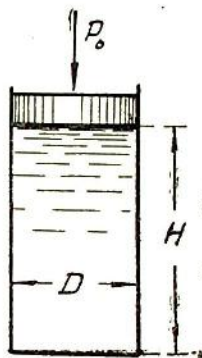
სადაც γ მივიღეთ 800 კგ/მ³ ტოლი.

სრული ჰიდროსტატიკური წნევის ძალა კი ჭურჭლის ფსკერის მთელ ფართზე

$$P = p \cdot \omega = P_0 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 3621,05 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,2^2}{4} = 13760 \text{ კგ} = 13,76 \text{ ტ.}$$

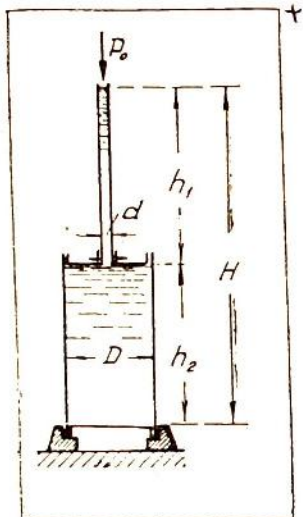
ამოცანა (№ 2). მოცემულია წყლით სავსე რკინის კასრი, რომლის სიმაღლე $h_2=1,2$ მ და დიამეტრი $D=0,6$ მ (იხ. ნახ. 2). ცარიელ კასრის წონა $G=60$ კგ. კასრის ზედაპირთან შეერთებულია ვერტიკალური მილი, რომლის დიამეტრი $d=0,05$ მ. წყლის სიმაღლე მასში $h_1=5$ მ. მილის დღუშზე მოქმედი გარეგანი ძალა $P_0=20$ კგ.

კასრის ფსკერის სიმტკიცეზე შემოწმების მიზნით წინასწარ ხაზირთა განისაზღვროს: 1) სრული ჰიდროსტატიკური წნევის ძალა



ნახ. 1.

რის ფსკერის მთელ ფართზე და 2) რეაქციის ძალა, რომელიც აღიძვრება კასრის საყრდენში.



ნახ. 2.

ამოხსნა. სრული ჰიდროსტატიკური წნევის ძალა კასრის ფსკერის მთელ ფართზე შეგვიძლია უშუალოდ განვსაზღვროთ შემდეგი ცნობილი განტოლებით:

$$P = (p_0 + \gamma H) \cdot \omega$$

სადაც ჩვენ შემთხვევაში

$$H = h_1 + h_2, \quad \omega = \frac{\pi D^2}{4}$$

და

$$P_0 = \frac{P_0}{\omega} = \frac{4P_0}{\pi d^2}$$

არის დგუშის მოქმედებით გამოწვეული წნევა წყლის ზედაპირზე მიღში.

ამრიგად, საანგარიშო გამოსახულება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$P = [p_0 + \gamma(h_1 + h_2)] \cdot \omega = \left[\frac{4P_0}{\pi d^2} + \gamma(h_1 + h_2) \right] \cdot \frac{\pi D^2}{4};$$

თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ მოცემულ სიდიდეებს, მივიღებთ:

$$P = \left[\frac{4 \cdot 20}{3,14 \cdot 0,05^2} + 1000(5,0 + 1,2) \right] \cdot \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} =$$

$$= 4630,4 \text{ კგ} = 4,63 \text{ ტ.}$$

რეაქციის ძალა კასრის საყრდენში იქნება:

$$R = P_0 + \gamma \left(\frac{\pi d^2}{4} \cdot h_1 + \frac{\pi D^2}{4} \cdot h_2 \right) + Q =$$

$$= 20 + 1000 \left(\frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \cdot 5 + \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 1,2 \right) + 60 = 429 \text{ კგ} = 0,43 \text{ ტ.}$$

ამოცანა № 3. ჭურჭელში წყლის სიმაღლე $H = 250$ სმ, ფსკერზე მოწყობილია მრგვალი ზერეტის დასაკეტი ფარი.

გაეიგოთ ის ძალა, რომელიც საჭიროა ფარის გასაღებად, თუ ზერეტის დიამეტრი $d = 50$ სმ და ფარის ხაზუნის კოეფიციენტი $f = 0,5$.

ამოხსნა. წყლის წნევის ძალა ფარზე ტოლია:

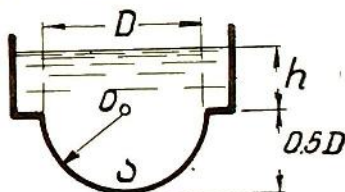
$$P = \gamma H \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 491 \text{ კგ,}$$

ხოლო ძალა, რომელიც საჭიროა მის გასაღებად

$$R = f \cdot P = 245,5 \text{ კგ.}$$

ამოცანა № 4. განვიხილოთ ქურჭელი ა, რომელშიც ჩასხმულია წყალი. ქურჭლის ფსკერი წარმოადგენს ნახევარსფეროს, რომლის დიამეტრი $D=0,4$ მ, ხოლო მასზე მოსული დაწნევა $h=3,0$ მ (იხ. ნახ. 3). განვსაზღვროთ წნევის ძალა ქურჭლის ფსკერზე.

ამოხსნა. ქურჭლის ფსკერის მრუდწირულ ზედაპირზე წყლის წნევის ძალის განსაზღვრისათვის წინასწარ საჭიროა მისი თარაზული და შვეული მდგენელების განსაზღვრა. ვინაიდან თარაზული წნევის ძალები მოქმედებენ ფსკერის ზედაპირზე საწინააღმდეგო მიმართულებით, ამიტომ ისინი ერთმანეთს გააბათილებენ და წნევის ძალის განსაზღვრისათვის საკმარისია მხოლოდ მისი შვეული მდგენელის პოვნა. წნევის ძალის შვეული მდგენელი კი ტოლია წყლის ისეთი შვეული სვეტის წონისა, რომელიც ეყრდნობა თვით განსახილველ მრუდწირულ ზედაპირს და შემოსაზღვრულია ზემოდან წყლის თავისუფალი ზედაპირით.



ნახ. 3.

ნახაზის მიხედვით ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს:

$$P = \gamma \frac{\pi D^2}{4} \cdot h + \gamma \frac{\pi D^3}{6 \cdot 2} = 394 \text{ კგ.}$$

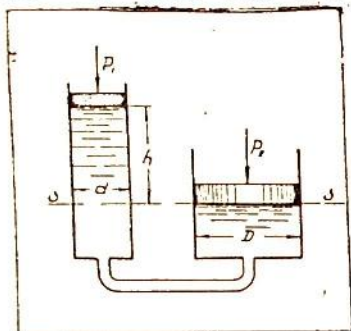
ქურჭლის ფსკერის უმდაბლეს წერტილში ხალასი (მანომეტრიული) ჰიდროსტატიკური წნევა ტოლია:

$$p = \gamma \left(h + \frac{D}{2} \right) = 0,32 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოცანა № 5. მოცემულია მილით შეერთებული ორი შვეული ცილინდრი (იხ. ნახ. 4). მარცხენა ცილინდრის დიამეტრი $d=0,25$ მ, მარჯვენა ცილინდრის $D=0,5$ მ, წყლის დონეთა სხვაობა $h=0,8$ მ, პირველი ცილინდრის დგუშზე მოქმედი ძალა $P_1=120$ კგ.

გავიგოთ რა სიძშიმის ტვირთი უნდა მოქმედებდეს მეორე ცილინდრის დგუშზე, რომ არ დაირღვეს წონასწორობა (იხ. ნახ. 4).

ამოხსნა. წყლის თავისუფალ ზედაპირზე მარცხენა ცილინდრში დგუშით გამოწვეული წნევა ტოლია:



ნახ. 4.

$$p_1 = \frac{P_1}{\omega_1}$$

მარცხენა ცილინდრიდან მარჯვენა ცილინდრის დგუშს გადაეცემა კუთრი წნევა:

$$\frac{P_1}{\omega_1} + \gamma h;$$

წყლის ზედაპირზე მარჯვენა ცილინდრში დგუშის ზემოქმედების გამო აღძრული წნევა

$$p_2 = \frac{P_2}{\omega_2}$$

აქედან გამომდინარე ცხადია, რომ ცილინდრებში სითხის წონასწორობისათვის საჭიროა $a-a$ სიბრტყეზე ორივე ცილინდრში მოქმედი წნევა იყოს ტოლი, ე. ი.

$$\frac{P_1}{\omega_1} + \gamma h = \frac{P_2}{\omega_2};$$

აქედან

$$P_2 = P_1 \frac{\omega_2}{\omega_1} + \gamma h \omega_2,$$

სადაც

$$\omega_1 = \frac{\pi d^2}{4},$$

ხოლო

$$\omega_2 = \frac{\pi D^2}{4}.$$

მაზასადამე,

$$P_2 = P_1 \frac{D^2}{d^2} + \gamma h \frac{\pi D^2}{4} = 637 \text{ კგ.}$$

ამოცანა № 6 ყველა მონაცემები № 5 ამოცანისაა, მხოლოდ $P_2 = 300 \text{ კგ.}$

განესაზღვროთ ცილინდრის დიამეტრი D .

ამოხსნა. წინა ამოცანიდან ვიცით, რომ

$$P_2 = \left(\frac{P_1}{d^2} + \gamma h \cdot \frac{\pi}{4} \right) D^2,$$

აიდანაც

$$D = \sqrt{\frac{P_2}{\frac{P_1}{d^2} + \gamma h \frac{\pi}{4}}} = \sqrt{\frac{300}{\frac{120}{25^2} + 0,001 \cdot 80 \cdot \frac{3,14}{4}}} = 34,3 \text{ სმ.}$$

ამოცანა № 7. № 5 ამოცანის პირობის მიხედვით დავუშვათ:

$$P_1 = 90 \text{ კგ, } P_2 = 900 \text{ კგ. } d = 0,15 \text{ მ და } D = 0,45 \text{ მ.}$$

ვიპოვოთ ისეთ ღონეთა სხვაობა h , რომლის დროსაც ორივე ცილინდრის დგუში წონასწორობაში იქნება.

ამოხსნა. დგუშების წონასწორობისათვის საჭიროა დაცული იყოს შემდეგი პირობა:

$$\frac{P_2}{\omega_2} = \frac{P_1}{\omega_1} + \gamma h,$$

აქედან

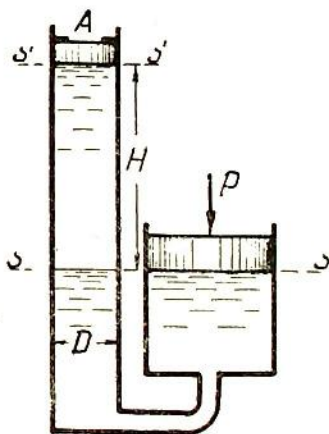
$$h = \frac{4P_2}{\gamma \pi D^2} - \frac{4P_1}{\gamma \pi d^2} = 0,570 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 8. გავიგოთ დგუშზე წნევის ძალა (იხ. ნახ. 5) მისი $a-a$ სიბრტყიდან $a'-a'$ სიბრტყეზე გადანაცვლების შემდეგ, თუ პირველ მდგომარეობაში ($a-a$) დგუშზე წნევა ქვევიდან ზევით $p = 25$ ატმ, დგუშის აწევის სიმაღლე $H = 1,5$ მ, დიამეტრი $D = 0,35$ მ.

ამოხსნა. საწყისი წნევის ძალა დგუშზე უდრის საწყის წნევას, გადამრავლებულს მის ფართობზე, ე. ი.

$$P_1 = p \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 25 \cdot \frac{3,14 \cdot 35^2}{4} = 24052,8 \text{ კგ.}$$

$H = 1,5$ მ-ზე დგუშის აწევით დახარჯული წნევის ძალა



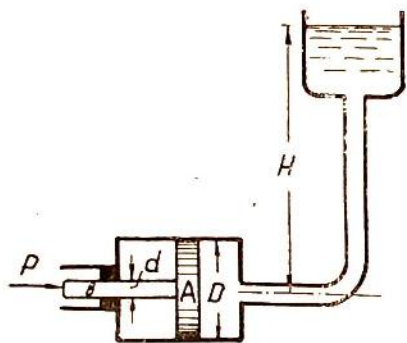
ნახ. 5.

$$P_2 = \gamma \cdot \omega H = \gamma \frac{\pi D^2}{4} \cdot H = 144,32 \text{ კგ.}$$

აწევის შემდეგ დგუშზე მოქმედი წნევის ძალა კი

$$P = P_1 - P_2 = 23908,48 \text{ კგ.}$$

ამოცანა № 9. გავიგოთ ჰიდრავლიკური მულტიპლიკატორის დგუშის დიამეტრი D , თუ $d=0,18$ მ (იხ. ნახ. 6), წნევის სიმაღლე $H=10$ მ და დგუშის ჰოკზე მოქმედი გარეგანი წნევა $p=20$ ატმ. $=20$ კგ/სმ².



ნახ. 6.

ამოხსნა. წნევის ძალა A დგუშზე

$$P_1 = \gamma \cdot H \omega =$$

$$= 1000 \cdot \frac{3,14 D^2}{4} \cdot 10 =$$

$$= 7850 D^2.$$

მეორეს მხრივ B ჰოკზე მოქმედებს გარეგანი წნევის ძალა P_2 :

$$P_2 = p \frac{\pi d^2}{4} =$$

$$= 20 \cdot \frac{3,14 \cdot 18^2}{4} = 5090 \text{ კგ.}$$

წონასწორობისათვის კი საჭიროა, რომ $P_1 = P_2$ ე. ი.

$$7850 D^2 = 5090.$$

აქედან

$$D = \sqrt{\frac{5090}{7850}} = 0,805 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 10. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით მივიღოთ:

$$d = 0,2 \text{ მ, } D = 1,2 \text{ მ,}$$

ხოლო გარეგანი წნევა $p = 30$ ატმ.

ვიპოვოთ წნევის სიმაღლე H , რომლის დროსაც დამყარდება წონასწორობა.

ამოხსნა. როგორც წინა ამოცანიდან ვიცით, წონასწორობისათვის საჭიროა, რომ $P_1 = P_2$, ე. ი.

$$\gamma \frac{\pi D^2}{4} \cdot H = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \gamma H_0,$$

სადაც

$$p = \gamma H_0; H_0 = \frac{p}{\gamma} = \frac{30}{0,001} = 300 \text{ მ.}$$

აქედან

$$H = \frac{d^2}{D^2} \cdot H_0 = \frac{0,04 \cdot 300}{1,44} = 8,33 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 11. წყლის სიმაღლე ღია პიეზომეტრში $h=1,8$ მ. განსახილველი რეზერვუარი ღიაა.

განვსაზღვროთ წყლის ხალასი წნევა რეზერვუართან პიეზომეტრის მიერთების კვეთის სიმაღლის ცენტრში.

ამოხსნა. ხალასი წნევა

$$p = \gamma h = 1000 \cdot 1,8 = 1800 \text{ კგ/მ}^2 = 0,18 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოცანა № 12. რა სიმაღლეზე დაიწვეს ვაკუუმმეტრში წყალი, თუ რეზერვუარის თავისუფალ ზედაპირზე წნევა $p_0 = 0,64$ ატ.

ამოხსნა.

$$h_{\text{ვაკ.}} = \frac{p_{\text{ატ}} - p_0}{\gamma} = \frac{1,0 - 0,64}{0,001} = 360 \text{ სმ} = 3,6 \text{ მ},$$

სადაც $p_{\text{ატ}}$ არის ატმოსფერული წნევა.

ამოცანა № 13. რეზერვუარის ღია პიეზომეტრში წყლის სიმაღლე $h=8$ მ. განვსაზღვროთ სრული წნევა რეზერვუარში პიეზომეტრის მიერთების კვეთის ცენტრში.

ამოხსნა. სრული ჰიდროსტატიკური წნევის საანგარიშო განტოლების თანახმად

$$p = p_{\text{ატ}} + \gamma h = 1,8 \text{ კგ/სმ}^2 = 1,8 \text{ ატ.}$$

ამოცანა № 14. მანომეტრი გვიჩვენებს წნევას $p=7,5$ ატ.

გავიგოთ პიეზომეტრული სიმაღლე h .

ამოხსნა. პიეზომეტრული სიმაღლე

$$h = \frac{p - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = \frac{7,5 - 1,0}{0,001} = 6500 \text{ სმ} = 65 \text{ მ}.$$

ამოცანა № 15. კესონის კომპრესორი აწვითარებს წნევას $p=3$ ატ. გავიგოთ რა სიღრმეზე შეიძლება კესონის ჩაშვება ისე, რომ მასში წყალი არ შევიდეს.

ამოხსნა. აღნიშნული ზღვრული პირობის თანახმად, წყლის სრული ჰიდროსტატიკური წნევა კესონის შესასვლელი კვეთის სიღრმეზე კომპრესორის მიერ განვითარებული წნევის ტოლი უნდა იყოს ე. ი.

$$p_{\text{ატ}} + \gamma H = p$$

აქედან, კესონის ჩაშვების სიღრმე

$$H = \frac{p - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = \frac{3,0 - 1,0}{0,001} = 2000 \text{ სმ} = 20 \text{ მ}.$$

ამოცანა № 16. მდინარეში კესონის ჩაშვების სიღრმე $H=15$ მ.

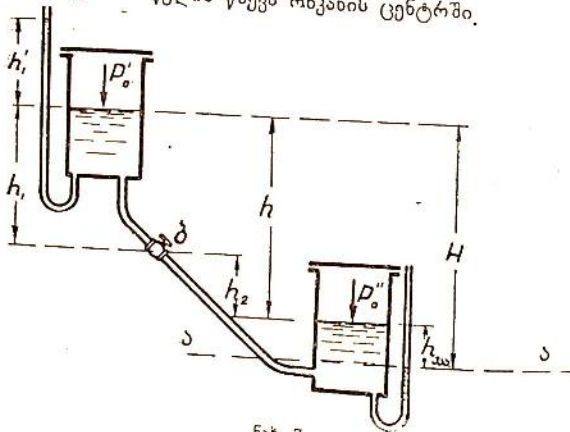
გავიგოთ როგორი წნევა უნდა განავითაროს კესონის კომპრესორმა, რომ კესონის კამერაში წყალი არ შევიდეს.

ამოხსნა. წნევის საანგარიშო განტოლების მიხედვით

$$p = p_{\text{ატ}} + \gamma H = 1,0 + 0,001 \cdot 1500 = 2,5 \text{ კგ/სმ}^2 = 2,5 \text{ ატ.}$$

ამოცანა № 17. ორი დახშული ჭურჭელი შეერთებულია მილით, რომლის ბ წერტილში ჩართულია ონკანი (იხ. ნახ. 7). მარცხენა ჭურჭელში წნევა $p_0' = 2,5$ ატ, მარჯვენა ჭურჭელში $p_0'' = 0,6$ ატ, $h_1 = 2$ მ, ხოლო $h_2 = 1,5$ მ.

განვსაზღვროთ წყლის წნევა ონკანის ცენტრში.



ნახ. 7.

ამოხსნა. შევადგინოთ წნევის განტოლებანი ონკანის ცენტრში გამავალი სიბრტყისათვის.
წნევა ონკანში მარცხენა ჭურჭლიდან

$$p_1 = p_0' + \gamma \cdot h_1 = p_{\text{ატ}} + \gamma \cdot (h_1 + h_1'),$$

სადაც $p_{\text{ატ}}$ არის ატმოსფერული წნევა, ხოლო

$$h_1' = \frac{p_0' - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = 15 \text{ მ.}$$

წნევა მარჯვენა ჭურჭლიდან

$$p_2 = p_{\text{ატ}} - \gamma \cdot (h_2 + h_{2\text{ვკ}}),$$

ვინაიდან $a-a$ საფარდი სიბრტყის მიმართ წონასწორობის პირობიდან გამოვძინებ

სადაც

$$p_{\text{ატ}} = p_2 + \gamma \cdot (h_2 + h_{2\text{ვკ}}),$$

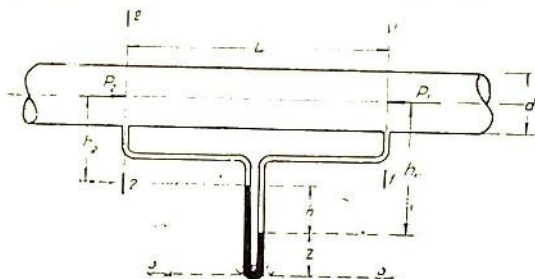
$$h_{2\text{ვკ}} = \frac{p_{\text{ატ}} - p_0''}{\gamma} = 4 \text{ მ.}$$

წნევა ონკანზე ამ წნევათა სხვაობის ტოლი იქნება:

$$p = p_1 - p_2 = [p_{აბ} + \gamma(h_1 + h_1')] - [p_{აბ} - \gamma \cdot (h_2 + h_{გაგ.})] =$$

$$= p_{აბ} + \gamma h_1 + \gamma h_1' - p_{აბ} + \gamma h_2 + \gamma \cdot h_{გაგ.} = \gamma \cdot (h_1 + h_1' + h_2 + h_{გაგ.}) = 2,25 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოცანა № 18. საჭიროა გაიზომოს წნევათა სხვაობა საწნეო მილსადენის 1-1 და 2-2 კვეთებს შორის (იხ. ნახ. 8). ამ მიზნით გამოვიყენოთ ვერცხლისწყლიანი დიფერენციალური მანომეტრი, რომლის მილაკები შეფუერთოთ მილსადენს 1-1 და 2-2 კვეთებში.



ნახ. 8.

ამოხსნა. აღვნიშნოთ h_1 და h_2 წყლის სვეტის სიმაღლე ვერცხლისწყლის სათანადო დონის ზემოთ განსახილველი კვეთების ცენტრებამდე. წნევები განსახილველი კვეთების ცენტრებში აღვნიშნოთ p_1 და p_2 , დიფერენციალური მანომეტრის ჩვენება აღვნიშნოთ h -ით, წყლის მოცულობითი წონა — γ_1 , ვერცხლისწყლის კი — γ_2 .

შევადგინოთ წონასწორობის პირობა ა-ა საფარდი სიბრტყის მიმართ. ასეთი შემთხვევისათვის წონასწორობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$p_1 + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 z = p_2 + \gamma_1 h_2 + \gamma_2 (h + z);$$

საიდანაც წნევათა სხვაობა

$$p_1 - p_2 = \gamma_1 h_2 + \gamma_2 h + \gamma_2 z - \gamma_1 \cdot h_1 - \gamma_2 z = \gamma_2 h - \gamma_1 (h_1 - h_2) = \gamma_2 \cdot h - \gamma_1 h;$$

საბოლოოდ კი

$$\Delta p = p_1 - p_2 = h \cdot (\gamma_2 - \gamma_1).$$

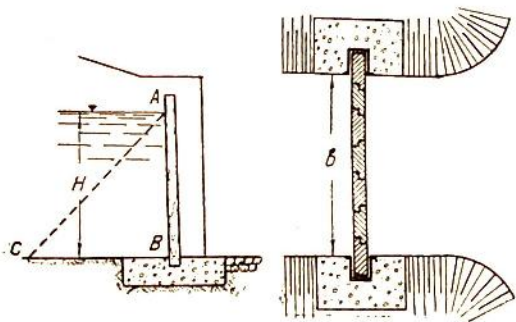
დავუშვათ, რომ დიფერენციალური მანომეტრის ჩვენება $h = 0,45$ მ. γ_2 და γ_1 -ის მნიშვნელობანი ავიღოთ ცნობარიდან. გვექნება:

$$\gamma_2 = 0,0136 \text{ კგ/სმ}^3; \text{ და } \gamma_1 = 0,001 \text{ კგ/სმ}^3,$$

მაშასადამე, საძიებელი წნევათა სხვაობა

$$p_1 - p_2 = (0,0136 - 0,001) \cdot 45 = 0,0126 \cdot 45 = 0,567 \text{ კგ/სმ}^2.$$

ამოცანა № 19. არხზე აგებული ფარის სიგანე $b=2,5$ მ, წყლის მაქსიმალური სიმაღლე ფარის წინ $H=1,5$ მ, ფარის წონა $Q=275$ კგ. (ფარს შემოვლებული აქვს რკინის ჩარჩო), ხახუნის კოეფიციენტი ფარის კილოებში $f=0,4$. განესაზღვროთ: 1. წნევის ძალა ფარზე, 2. ავადგომის ეპიურა და 3. ვიანგარიშით ფარის ამწევი ძალა.



ნახ. 9.

ამოხსნა. 1. წნევის ძალა იანგარიშება შემდეგი განტოლებით:

$$P = \gamma \frac{H^2}{2} \cdot b = 1 \cdot \frac{1,5^2}{2} \cdot 2,5 = 2,81 \text{ ტ} = 2810 \text{ კგ.}$$

წნევის ეპიურის ასაგებად საჭიროა, ფარის ქვედა კიდიდან ამართულ შიგა ნორმალზე მოვზომოთ γH -ის ტოლი მონაკვეთი და მისი ბოლო სწორი ხაზით შევავერთოთ წყლის ზედაპირისა და ფარის სიბრტყის გადაკვეთის წერტილთან. მიღებული სამკუთხედი წარმოადგენს ფარზე მოქმედი ხალასი ჰიდროსტატიკური წნევის ეპიურას (იხ. ნახ. 9).

ფარის ასაწევი ძალის დასადგენად საჭიროა ვიანგარიშოთ ხახუნის ძალა T :

$$T = f \cdot P = 0,4 \cdot 2810 = 1124 \text{ კგ.}$$

ამწევი ძალა უნდა აღემატებოდეს, როგორც ხახუნის ძალას T , ისე ფარის საკუთარ წონას Q :

$$R \geq T + Q = 1124 + 275 = 1399 \text{ კგ.}$$

ამოცანა № 20. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით მივიღოთ:

$$H=5,0 \text{ მ, } b=15,0 \text{ მ და } Q=47500 \text{ კგ.}$$

განესაზღვროთ ფარის ამწევი R ძალა ორი $f_1=0,2$ და $f_2=0,5$ შემთხვევისათვის.

მაშინ პირველი, როდესაც ხახუნის კოეფიციენტი $f_1=0,2$,

$$T_1 = f_1 \cdot P = 0,2 \cdot 187500 = 37500 \text{ კგ,}$$

ამწვევი ძალა კი

$$R_1 = T_1 + Q = 37500 + 47500 = 85000 \text{ კგ.}$$

მეორე, როდესაც ხახუნის კოეფიციენტი

$$f_2=0,5,$$

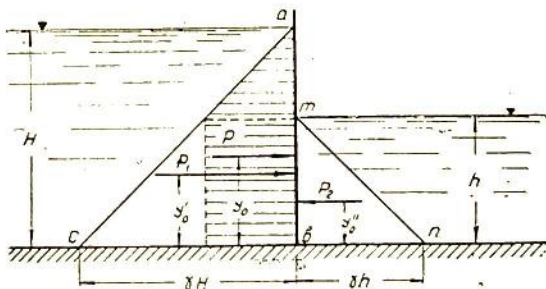
მაშინ

$$T_2 = f_2 \cdot P = 0,5 \cdot 37500 = 18750 \text{ კგ,}$$

ხოლო ამწვევი ძალა

$$R_2 = T_2 + Q = 18750 + 47500 = 66250 \text{ კგ.}$$

ამოცანა № 21. განვიხილოთ შვეული ფარი, რომელსაც წყალი აწვება ორივე მხრიდან. მოცემულია: $H=4,0$ მ, $h=2,0$ მ, ფარის სიგანე $b=5,0$ მ, ხახუნის კოეფიციენტი $f=0,5$, ფარის წონა $Q=350$ კგ (იხ. ნახ. 10).



ნახ. 10.

განესაზღვროთ: 1. წყლის წნევის ძალა ფარის სიგანის ერთეულზე, 2. მთლიანი წნევის ძალა ფარზე, 3. წნევის ცენტრი და 4. ფარის ამწვევი ძალა— R .

ამოხსნა. წნევის ძალა მარცხნიდან ფარის სიგანის ერთეულზე ტოლია:

$$P_1 = \frac{\gamma}{2} H^2 = 8,0 \text{ ტ} = 8000 \text{ კგ.}$$

წნევის ძალა მარჯვნიდან

$$P_2 = \frac{\gamma}{2} h^2 = 2,0 \text{ ტ} = 2000 \text{ კგ.}$$

წნევის ტოლქმედი ძალა სიგანის ერთეულზე

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\gamma}{2} (H^2 - h^2) = 8000 - 2000 = 6000 \text{ კგ.}$$

მთლიანი წნევის ძალა ფარის b სიგანეზე

$$P = (P_1 - P_2) \cdot b = 6000 \cdot 5,0 = 30 \text{ ტ} = 30000 \text{ კგ.}$$

წნევის ცენტრის დაცილება ფსკერიდან

$$y_0 = \frac{1}{3} \cdot \frac{H^3 - h^3}{H^2 - h^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{4^3 - 2^3}{4^2 - 2^2} = 1,55 \text{ მ.}$$

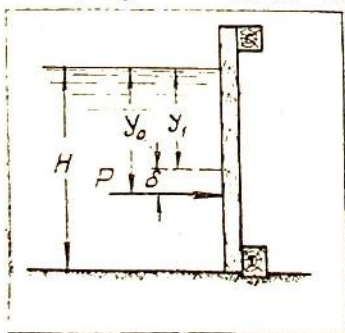
ფარის ამწევი ძალა, როგორც ვიცით,

$$R = T + Q = 15000 + 350 = 15350 \text{ კგ.}$$

სადაც

$$T = f \cdot P = 0,5 \cdot 30000 = 15000 \text{ კგ.}$$

ამოცანა № 22. მოცემულია კედელი, რომლის წინ დაწნევა $H = 5,0$ მ.



ნახ. 11.

ვიზოვით წნევის ცენტრი და მისი დაშორება კედლის სიმძიმის ცენტრამდე (იხ. ნახ. 11).

ამოხსნა. მანძილი წყლის ღონიდან წნევის ცენტრამდე გამოითვლება ფორმულით:

$$y_0 = y_1 + \frac{I_0}{y_1 \cdot a},$$

სადაც მანძილი სიმძიმის ცენტრამდე

$$y_1 = \frac{H}{2}; \quad I_0 = \frac{b \cdot H^3}{12} \text{ (რომელიც)}$$

დესავე კედლის ინერციის მომენტი აღებულია ცენტრალური ღერძის მიმართ) და $a = b \cdot H$. კედლის სიგანე აღნიშნულია b -თი.

მაშასადამე,

$$y_0 = \frac{H}{2} + \frac{2 \cdot b H^3}{12 \cdot H \cdot b \cdot H} = \frac{H}{2} + \frac{H}{6} = \frac{4H}{6} = \frac{2}{3}H.$$

მანძილი წნევის ცენტრიდან კედლის სიმძიმის ცენტრამდე

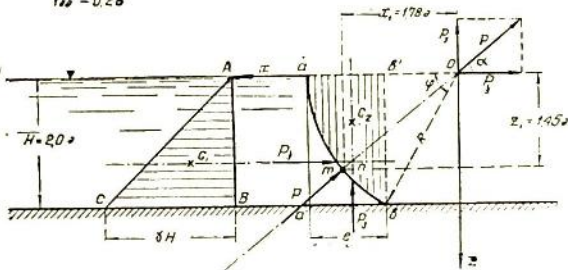
$$\delta = y_0 - y_1 = \frac{2}{3}H - \frac{H}{2} = \frac{H}{6} = \frac{5}{6} = 0,833 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 23. ვიპოვოთ სეგმენტურ საკეტზე მოქმედი წნევის ძალა და წნევის ცენტრი, თუ მოცემულია, რომ $H=2$ მ, საკეტის სიგანე (ნახაზის მართებულ სიბრტყეში) $b=2$ მ, $\varphi=60^\circ$, $R=2,3$ მ და $e=R-R\cos\varphi=1,15$ მ.

ამოხსნა. სეგმენტურ საკეტზე წნევის ძალის განსაზღვრისათვის საჭიროა წინასწარ ვიპოვნოთ მისი ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელები.

საიხსნადი
100 - 0,20

186984



ნახ. 12.

წნევის ძალის ჰორიზონტალური მდგენელის სიდიდე ტოლია ჰიდროსტატიკური წნევის ძალისა განსახილველი საკეტის ცილინდრული ზედაპირის ვერტიკალურ პროექციაზე, კერძოდ

$$P_1 = \gamma \cdot b \frac{H^2}{2} = 1,0 \cdot 2,0 \frac{2,0^2}{2,0} = 4 \text{ ტ.}$$

ამ მდგენელის მოქმედების წირი გაივლის შესაბამისი ჰიდროსტატიკური წნევის სამკუთხა ეპიურის (იხ. ნახაზზე ABC ეპიურა) სიმძიმის ცენტრში (წერტილი C_1).

წნევის ძალის ვერტიკალური მდგენელის სიდიდე ტოლია ე. წ. „წნევის პრიზმის“ წონისა და მიმართულია ვერტიკალურად ქვემოლად

2. პ. ჯიქია

საქ. პოლიტექნიკური უნივერსიტეტი
ფუნდამენტური მეცნიერებათა ინსტიტუტი

ზემოთ, ვინაიდან „წნევის პრიზმი“ განლაგებულია სითხის ფარგლებს გარეთ (იხ. ნახ. 12).

$$P_3 = \gamma b \cdot \vartheta \cdot (abb') = \left(\frac{\pi R^2}{360^\circ} \varphi - \frac{1}{2} R \sin \varphi \cdot R \cos \varphi \right) \cdot \gamma b = \\ = \gamma \cdot b \cdot R^2 \left(\frac{\pi \varphi}{360^\circ} - \frac{1}{2} \sin \varphi \cdot \cos \varphi \right) = 3,26 \text{ ტ.}$$

ან სხვანაირად:

$$P_3 = \gamma \cdot b \cdot \left[c \cdot H - \left(\frac{c+R}{2} \cdot H - \frac{\pi R^2}{360} \varphi \right) \right] = 3,26 \text{ ტ.}$$

ვერტიკალური მდგენელის მოქმედების წირი გაივლის „წნევის პრიზმის“ სიმძიმის ცენტრში (წერტ. C_3).

ტოლქმედი ძალის სიდიდე

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_3^2} = \sqrt{4^2 + 3,26^2} = 5,13 \text{ ტ.}$$

წნევის ძალის მოქმედების წირი გაივლის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელების მოქმედების წირების გადაკვეთის „წერტილში“ და მას რადიალური მიმართულება ექნება (ანუ გაივლის სიმრუდის O ცენტრში).

წნევის ცენტრის (m -წერტილის) კოორდინატების განსაზღვრა შეგვიძლია უშუალოდ, ანალიზური ხერხითაც, რისთვისაც შევადგინოთ ab რკალისა და P ძალის მოქმედების წირის განტოლებები. თუ მათ გადავწყვეტთ ერთობლივად, ვიპოვნით მათი გადაკვეთის წერტილის კოორდინატებს ანუ m წნევის ცენტრს. კოორდინატთა სათავე ავირჩიოთ სიმრუდის O ცენტრში (იხ. ნახ. 12), მაშინ:

$$z = x \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ ხოლო } z^2 + x^2 = R^2.$$

გადავწყვიტოთ ეს სისტემა:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P_3}{P_1} = \frac{3,26}{4,00} = 0,815,$$

მაშინ
$$z = 0,815 \cdot x \text{ და } x^2 + (0,815x)^2 = R^2,$$

აქედან გამომდინარე $x_1 = 1,78 \text{ მ. და } z_1 = 0,815 \cdot 1,78 = 1,45 \text{ მ.}$

ამოცანა № 24. ზოგიერთ შემთხვევაში საჭიროა კედელში მოწყობილი ხერტის ფარის გაღება წყლის დონის ცვლილების მიხედვით ავტომატურად ხდებოდეს. ამისათვის უნდა ავირჩიოთ ფარის ბრუნვის ღერძის მდებარეობა ისე, რომ აღნიშნული პირობა დაკმაყოფილებული იქნეს.

მოცემულია წყლის საპროექტო სიმაღლე ფარის ზემოთ $H = 1,5 \text{ მ}$, ფარის სიმაღლე $h' = 2,0 \text{ მ}$, ხოლო სიგანე $b = 1,2 \text{ მ}$ (იხ. ნახ. 13).

ამოხსნა. როგორც ვიცით მანძილი სიმძიმის ცენტრიდან წნევის ცენტრამდე იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\delta = y_0 - y_1 = \frac{I_0}{\omega \cdot y_1} = \frac{b(h')^3}{12 \cdot b \cdot h' \cdot y_1} = \frac{(h')^2}{12 \cdot y_1} = \frac{(h')^2}{12 \left(H + \frac{h'}{2} \right)},$$

სადაც

$$y_1 = H + \frac{h'}{2}$$

და იგი წყლის ზედაპირიდან ფარის სიმძიმის ცენტრამდე მანძილს წარმოადგენს.

ამოცანის პირობის დასაკმაყოფილებლად საჭიროა, ფარის ბრუნვის ღერძი გავატაროთ

$\left(H + \frac{h'}{2} + \delta \right)$ სიღრმეზე, რადგან

ამ შემთხვევაში წნევის ძალის მომენტი ბრუნვის ღერძის მიმართ ნულის ტოლი იქნება. H მოცემული მნიშვნელობისათვის ფარი დარჩება უძრავ მდგომარეობაში. მაგრამ წყლის დონის ცვლილების დროს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სამ შემთხვევას (წყლის სიმაღლე დონის ცვლილების დროს აღვნიშნოთ h):

1. როდესაც $h = H = 1,5$ მ ფარი წონასწორობაში იქნება; თუ მის ღერძს გავატარებთ $y_0 = H + \frac{h'}{2} + \delta$ სიღრმეზე.

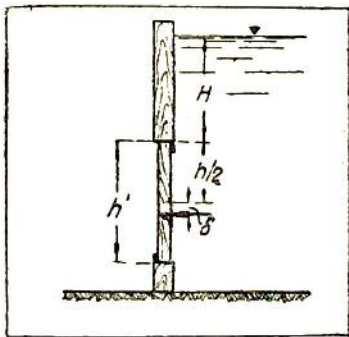
თუ ამ მნიშვნელობას ახლა ბოლო გამოსახულებაში ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$\delta = \frac{(h')^2}{12 \left(H + \frac{h'}{2} \right)} = \frac{2,0^2}{12(1,5 + 1,0)} = \frac{4,0}{30} = 0,133 \text{ მ.}$$

ასე რომ

$$y_0 = H + \frac{h'}{2} + \delta = 1,5 + 1,0 + 0,133 = 2,633 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, ტოლქმედი ძალის მომენტი იქნება ნულის ტოლი.



ნახ. 13.

2. ახლა თუ $h=2,2 \text{ მ} > H=1,5 \text{ მ}$, მაშინ ფარი გაიღება, რადგანაც

$$\delta = \frac{(h')^2}{12\left(h + \frac{h'}{2}\right)} = \frac{2,0^2}{12(2,2+1)} = 0,104 \text{ მ.}$$

წნევის ცენტრი გადაინაცვლებს ფარის ღერძის ზემოთ და შეიქმნება ფარის გამღები მომენტი.

3. ხოლო, თუ $h=1,0 \text{ მ} < H$, მაშინ δ მნიშვნელობა გადიდდება და მივიღებთ

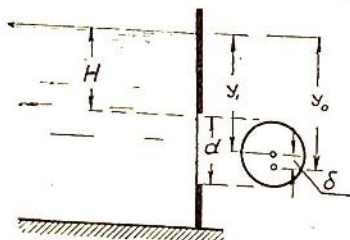
$$\delta = \frac{(h')^2}{12\left(h + \frac{h'}{2}\right)} = \frac{2,0^2}{12(1,0+1,0)} = 0,166 \text{ მ,}$$

ხოლო

$$y_0 = h + \frac{h'}{2} + \delta = 2,166 \text{ მ.}$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ წნევის ცენტრი განლაგებულია ფარის ბრუნვის ღერძის ქვემოთ $0,033 \text{ მ}$ და მაშასადამე, იქმნება მომენტი, რომელიც ფარს თავის საყრდენებს მიაბჯენს.

γ ამოცანა № 25. ჭურჭლის კედელში მოწყობილია მრგვალი ხვრეტი, რომლის დიამეტრი $d=0,4 \text{ მ}$, წყლის სიღრმე $H=1,0 \text{ მ}$, მანძილი წყლის ზედაპირიდან ხვრეტის სიმძიმის ცენტრამდე



ნახ. 14.

$$y_1 = H + \frac{d}{2} = 1,2 \text{ მ.}$$

გავიგოთ ხვრეტის საკეტის ფართზე მოქმედი წნევის ცენტრი. ამოხსნა. წნევის ცენტრის დაშორება სიმძიმის ცენტრამდე ტოლია:

$$\delta = y_0 - y_1 = \frac{I_0}{y_1 \cdot \omega},$$

სადაც

$$I_0 = \frac{\pi d^4}{64} \text{ და } \omega = \frac{\pi d^2}{4}.$$

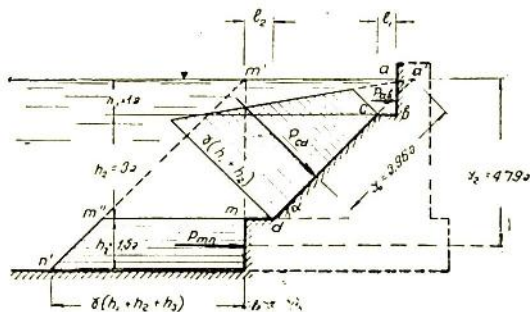
ამრიგად,

$$\delta = \frac{\pi d^4 \cdot 4}{64 \cdot \pi d^2 \cdot y_1} = \frac{d^2}{19,2} = 0,0083 \text{ მ,}$$

მაშასადამე,

$$y_0 = y_1 + \delta = H + \frac{d}{2} + \delta = 1,2083 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 26. საყრდენი კედლის ანგარიშისათვის საჭიროა გამოვარკვიოთ წნევის ძალები კედლის შემადგენელ ნაწილებზე ცალ-ცალკე (იხ. ნახ. 15). გასარკვევია აგრეთვე წნევის ცენტრების დაცილება წყლის თავისუფალ ზედაპირამდე.



ნახ. 15.

მოცემულია: $h_1=1,0$ მ, $h_2=3,0$ მ, $h_3=1,5$ მ, $l_1=0,5$ მ, $l_2=0,8$ მ, კედლის სიგანე $b=4$ მ და $\alpha=45^\circ$.

ამოხსნა. 1. წნევის ძალა კედლის ab ნაწილზე

$$P_{ab} = \frac{\gamma \cdot h_1^2}{2} \cdot b = 2000 \text{ კგ.}$$

კედლის ab ნაწილის წნევის ცენტრი დაცილებულია b წერტილიდან შემდეგი მანძილით:

$$y_0 = \frac{1}{3} h_1 = 0,333 \text{ მ.}$$

2. წნევის ძალა კედლის bc ნაწილზე

$$P_{bc} = \gamma \cdot h_1 \cdot a = \gamma \cdot h_1 \cdot l_1 \cdot b = 2000 \text{ კგ.}$$

3. წნევის ძალა კედლის cd ნაწილზე

$$P_{cd} = \gamma \cdot h_0 \cdot a = \gamma \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) \cdot a = 1000 \cdot 2,5 \frac{h_2}{\sin \alpha} \cdot b = 42430 \text{ კგ,}$$

სადაც h_0 არის ვერტიკალური მანძილი სიბის თავისუფალი ზედაპირიდან კედლის cd ნაწილის სიმაღლის ცენტრამდე.

წნევის ძალის ანგარიში შეიძლება მოვახდინოთ აგრეთვე შემდეგი განტოლებით:

$$P_{cd} = \frac{\gamma}{2 \sin \alpha} [(h_1 + h_2)^2 - h_1^2] \cdot b = 42430 \text{ კგ.}$$

წნევის ცენტრი დაშორებულია წყლის ზედაპირიდან კედლის დახრილობის გასწვრივ შემდეგ მანძილზე:

$$y_0 = y_1 + \frac{I_0}{y_1 \cdot \omega} = \frac{\left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right)}{\sin \alpha} + \frac{b \cdot \left(\frac{h_2}{\sin \alpha}\right)^3}{\frac{12 \left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right)}{\sin \alpha} \cdot b \cdot \frac{h_2}{\sin \alpha}} = 3,96 \text{ მ.}$$

4. წნევის ძალა კედლის *md* ნაწილზე

$$P_{md} = \gamma (h_1 + h_2) \cdot b \cdot l_2 = 8000 \text{ კგ.}$$

წნევის ცენტრი კი დაცილებულია წყლის ზედაპირიდან $h_1 + h_2 = 4$ მ მანძილზე

5. წნევის ძალა კედლის *mn* ნაწილზე

$$P_{mn} = \gamma \cdot h_0 \cdot \omega = \gamma \cdot \left(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2}\right) \cdot b h_3 = 28500 \text{ კგ,}$$

ან სხვანაირად:

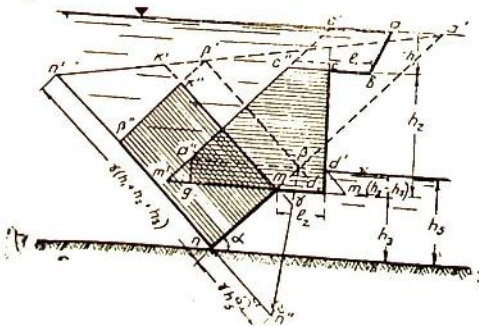
$$P_{mn} = \frac{\gamma}{2} [(h_1 + h_2 + h_3)^2 - (h_1 + h_2)^2] \cdot b = 28500 \text{ კგ.}$$

წნევის ცენტრის დაცილება წყლის ზედაპირიდან

$$y_0 = y_1 + \frac{I_0}{y_1 \cdot \omega} = 4,789 \text{ მ.}$$

მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება საყრდენი კედლის სტატიკური ანგარიშისათვის.

ამოცანა № 21. განვსაზღვროთ წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის ძალები კედლის ცალკეულ უბნებზე, როდესაც ადგილი აქვს წყლის ზემოქმედებას კედლის ორივე მხრიდან (იხ. ნახ. 16).
მოცემული გვაქვს: $h_1 = 1,0$ მ, $h_2 = 4,0$ მ, $h_3 = 2,0$ მ, $h_5 = 5,0$ მ, $h_4 = h_5 - h_3 = 3,0$ მ, $b = 5,0$ მ, $l_1 = l_2 = 1,2$ მ, $\alpha = 30^\circ$.
ამოხსნა. კედლის *ab* და *bc* ნაწილებზე წნევის ძალები იანგარიშება წინა ამოცანაში განხილული წესით.



ნახ. 16.

ვიანგარიშით ტოლქმედი წნევის ძალა კედლის cd ნაწილზე:

$$P_{cd} = P'_{cd} - P''_{cd} = \frac{\gamma}{2} [(h_1 + h_2)^2 - h_1^2] - (h_5 - h_3)^2 \cdot b = 54375 \text{ კვ},$$

სადაც

$$P'_{cd} = \frac{\gamma}{2} [(h_1 + h_2)^2 - h_1^2] \cdot b,$$

ხოლო

$$P''_{cd} = \frac{\gamma}{2} (h_5 - h_3)^2 \cdot b.$$

შესაბამისად გამოხატავენ წნევის ძალებს კედლის cd ნაწილზე მარცხენა და მარჯვენა მხრიდან (ზემო და ქვემო მხრიდან).

წნევის ცენტრი კედლის cd ნაწილზე შეგვიძლია განვსაზღვროთ მომენტთა განტოლებიდან:

$$P_{cd} \cdot l_0 = P'_{cd} \cdot l'_0 - P''_{cd} \cdot l''_0,$$

საიდანაც

$$l_0 = \frac{P'_{cd} \cdot l'_0 - P''_{cd} \cdot l''_0}{P_{cd}}$$

და სადაც l_0 არის მანძილი d წერტილიდან P_{cd} ტოლქმედი ძალის წნევის ცენტრამდე, ხოლო l'_0 და l''_0 იგივე მანძილია (მხრებია) P'_{cd} და P''_{cd} ძალების მიმართ.

აღვნიშნოთ y'_0 და y''_0 მანძილები წნევის ცენტრებიდან წყლის ზედაპირამდე შესაბამისად კედლის მარცხენა და მარჯვენა მხრიდან, მაშინ ჩვენი შემთხვევისათვის მივიღებთ, რომ

$$l'_0 = (h_1 + h_2) - y'_0, \text{ ხოლო } l''_0 = (h_5 - h_3) - y''_0,$$

სადაც

$$y'_0 = \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) + \frac{bh_2^3}{12 \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) \cdot h_2 \cdot b} \quad \text{და} \quad y''_0 = \frac{2}{3} (h_5 - h_3).$$

წნევის ძალა კედლის dm ნაწილზე განვსაზღვროთ შემდეგნაირად:

$$P_{dm} = \gamma [(h_1 + h_2) - (h_5 - h_3)] \cdot b \cdot l_2 = 2250 \text{ კვ}.$$

წნევის ცენტრს კედლის dm ნაწილზე განვსაზღვრავეთ უკვე ცნობილი წესით.

ახლა გამოვარკვიოთ წნევის ძალა კედლის mn ნაწილზე, კერძოდ

$$P_{mn} = P'_{mn} - P''_{mn} = \frac{\gamma}{2 \sin \alpha} \{ [(h_1 + h_2 + h_3)^2 - (h_1 + h_2)^2] - [h_5^2 - (h_5 - h_3)^2] \} \cdot b = 7000 \text{ კვ}.$$

წნევის ცენტრი კედლის mn ნაწილზე შეგვიძლია განვსაზღვროთ ანალოგიურად, იმავე მომენტთა განტოლებით:

$$P_{mn} \cdot l_0 = P'_{mn} \cdot l'_0 - P''_{mn} \cdot l''_0,$$

ხოლო

$$l_0 = \frac{P'_{mn} l'_0 - P''_{mn} l''_0}{P_{mn}},$$

სადაც

$$P'_{mn} = \frac{\gamma}{2 \sin \alpha} \cdot [(h_1 + h_2 + h_3)^2 - (h_1 + h_2)^2] \cdot b,$$

$$P''_{mn} = \frac{\gamma}{2 \sin \alpha} [h_5^2 - (h_5 - h_3)^2] \cdot b;$$

ზემოაღნიშნულ ტოლობებში P_{mn}' არის წნევის ძალა კედლის mn ნაწილზე მარცხენა მხრიდან, ხოლო P_{mn}'' — წნევის ძალა mn ნაწილზე კედლის მარჯვენა მხრიდან. l'_0 და l''_0 მანძილები წარმოადგენენ შესაბამისად P'_{mn} და P''_{mn} ძალების მხრებს d წერტილის მიმართ. l'_0 და l''_0 სიდიდეების დასადგენად წინასწარ, ცნობილი წესით, უნდა განვსაზღვროთ კედლის mn ნაწილისათვის მანძილები წნევის სათანადო ცენტრებიდან წყლის თავისუფალ ზედაპირამდე (mn კედლის დახრილობის გასწვრივ) ორივე მხრიდან (y'_0 და y''_0).

ამოცანა № 28. განვსაზღვროთ წნევის ძალა და წნევის ცენტრი $abcd$ შედგენილ კედელზე.

მოცემულია: $H=6$ მ, $h_1=2,5$ მ, $h_2=2,0$ მ, $h_3=1,5$ მ, კედლის სიგანე $b=1$ მ, $\gamma=1$ ტ/მ³. დანარჩენი სიდიდეები ნაჩვენებია ნახაზზე (იხ. ნახ. 17).

ამოხსნა. შევარჩიოთ ძალის მასშტაბი: 1 მმ—0,2 ტ. ახლა ვიანგარიშოთ წნევის ძალები და წნევის ცენტრები კედლის ცალკეულ შემადგენელ ნაწილებზე.

წნევის ძალა კედლის ab ნაწილზე

$$P_{ab} = \gamma \cdot \frac{h_1^2}{2} \cdot b = 3,125 \text{ ტ.}$$

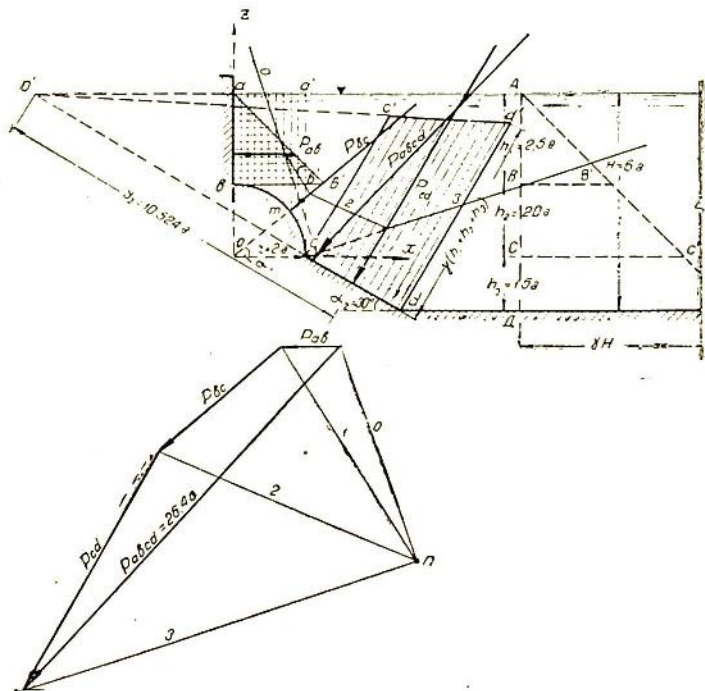
მანძილი წნევის ცენტრიდან სითხის თავისუფალ ზედაპირამდე კედლის ab ნაწილზე ტოლია:

$$y_1 = 2/3 h_1 = 1,67 \text{ მ.}$$

კედლის bc ცილინდრულ ნაწილზე წნევის ძალის ვერტიკალური მდგენელი ტოლია:

$$P'_{bc} = \gamma \cdot b \cdot \text{ფ.}(abca') = \gamma \cdot b \left[\text{ფ.}(aa'co) - \frac{\pi r^2}{4} \right] =$$

$$= \gamma \cdot b \left[(h_1 + h_2) \cdot r - \frac{\pi r^2}{4} \right] = 5,86 \text{ ტ.}$$



ნახ. 17.

ჰორიზონტალური მდგენელი კი:

$$P''_{bc} = \gamma \cdot \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) h_2 \cdot b = 7,0 \text{ ტ.}$$

წნევის ძალა კედლის bc ნაწილზე ტოლია:

$$P_{bc} = \sqrt{(P'_{bc})^2 + (P''_{bc})^2} = \sqrt{5,86^2 + 7,0^2} = 9,129 \text{ ტ.}$$

წნევის ცენტრის კოორდინატების საპოვნელად კედლის bc ნაწილზე შემდგენიარად უნდა მოვიქცეთ: O ცენტრში შევარჩიოთ კოორდინატთა სათავე. oz ღერძი მივმართოთ ვერტიკალურად ქვემოდან ზევით (იხ. ნახ. 17). შევადგინოთ P_{bc} ძალის მოქმედების წირისა და r რადიუსის მქონე რკალის განტოლებანი და გადავწყვიტოთ ისინი ერთობლივად, რის შედეგად ვიპოვით მათი გადაკვეთის წერტილის, ანუ „წნევის ცენტრის“ კოორდინატებს (x_1 და z_1):

$$\left. \begin{aligned} z &= x \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ z^2 + x^2 &= r^2 \end{aligned} \right\} \text{სადაც } \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{P'_{bc}}{P''_{bc}} = \frac{5,86}{7,00} = 0,837;$$

ამიტომ

$$z = 0,837 \cdot x$$

და

$$(0,837 \cdot x)^2 + x^2 = r^2, \text{ ანუ } 0,7 x^2 + x^2 = 4,$$

საიდანაც

$$x_1 = 1,54 \text{ მ}, z_1 = 0,837 \cdot 1,54 = 1,29 \text{ მ}.$$

ამრიგად, განისაზღვრა კედლის bc ნაწილზე m წნევის ცენტრის კოორდინატები (არჩეული ღერძების მიმართ).

ახლა განვსაზღვროთ წნევის ძალის სიდიდე კედლის cd ნაწილზე

$$P_{cd} = \gamma \left(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} \right) \cdot \frac{h_3}{\sin \alpha_2} \cdot b = 1,0 \cdot 5,25 \cdot 3,0 \cdot 1,0 = 15,75 \text{ ტ}.$$

წნევის ცენტრი კი დაცილებულია წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან (მის გაგრძელებიდან) y_2 მანძილზე (იხ. ნახ. 17):

$$\begin{aligned} y_2 = y_1 + \frac{I_o}{y_1 \cdot \omega} &= \frac{\left(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} \right)}{\sin \alpha_2} + \frac{b \cdot \left(\frac{h_3}{\sin \alpha_2} \right)^3}{12 \cdot \left(h_1 + h_2 + \frac{h_3}{2} \right) b \cdot \frac{h_3}{\sin \alpha_2}} = \\ &= 10,5 + \frac{9,0}{12 \cdot 10,5 \cdot 3,0} = 10,524 \text{ მ}. \end{aligned}$$

P_{cd} ძალა მიმართულია კედლის cd ნაწილის მართობულად.

შემდგომ მოვხდინოთ კედლის აღნიშნულ შემადგენელ ნაწილებზე მოქმედი წნევის ძალების შეჯამება გრაფიკული ხერხით (იხ. ნახ. 17).

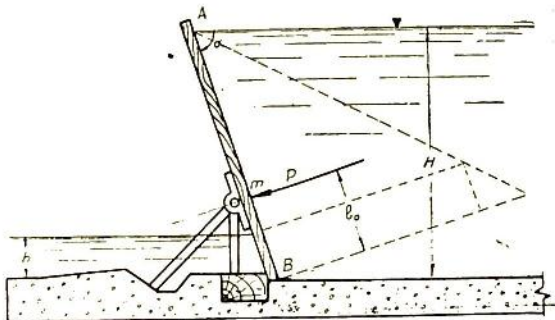
მთლიანი წნევის ძალის სიდიდე $abcd$ კედელზე ტოლია:

$$P_{abcd} = 26,4 \text{ ტ}.$$

წნევის ცენტრი განისაზღვრება ძალების შეჯამების თოკის მრავალგვერდის მეთოდით.

ამოცანა № 29. განვიხილოთ α კუთხით დახრილი ფარი. შევერჩიოთ ამ ფარს თარაზული ბრუნვის ღერძის ისეთი მდებარეობა, რომ იგი ავტომატურად გაიღოს, როდესაც დონე ფარის წინ წინასწარ დადგენილ სიმაღლეს ასცილდება.

მოცემულია ფარის დახრის კუთხე $\alpha = 72^\circ$, წყლის წინასწარ დადგენილი სიღრმე $H = 3$ მ და წყლის სიღრმე ფარის ქვემოთ $h = 1,0$ მ (იხ. ნახ. 18).



ნახ. 18.

დავადგინოთ ფარის თარაზული ბრუნვის ღერძის ისეთი მდებარეობა, რომლის დროსაც დაკმაყოფილებული იქნება ზემოაღნიშნული პირობა.

ამოხსნა. წყლის წნევის ძალა ფარის წინ (მარჯვნიდან) მის ერთეულ სიგანეზე:

$$P_1 = \gamma \frac{H^2}{2 \sin \alpha};$$

წნევის ძალა ფარის მარცხენა მხრიდან

$$P_2 = \gamma \frac{h^2}{2 \sin \alpha};$$

ტოლქმედი წნევის ძალა ფარზე გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\gamma}{2 \cdot \sin \alpha} \cdot (H^2 - h^2).$$

წნევის ცენტრის დაცილება ფარის ფსკერიდან (ფარის დახრილობის გასწვრივ)

$$l_0 = \frac{1}{3 \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{H^3 - h^3}{H^2 - h^2} = 1,14 \text{ მ.}$$

ამოცანის პირობის დასაკმაყოფილებლად საჭიროა ფარის ბრუნვის ღერძი მოვათავსოთ ზუსტად წნევის ცენტრში, ანუ ფსკერიდან $L_0 = 1,14$ მ მანძილზე.

ამოცანა № 30. ფარის დაგეგმარების დროს საჭიროა წნევა განსაზღვროთ მის სხვადასხვა კვეთში.

წყლის მნიშვნელოვანი სიმაღლის დროს ჩვეულებრივი ხის ფარის კვეთი დიდი ზომის გამოდის, რაც არ არის ხელსაყრელი როგორც ეკონომიურად, ისე ექსპლოატაციის თვალსაზრისით.

ამ შემთხვევაში ჩვეულებრივ აძჯობინებენ ლითონის ფარს. იმისათვის, რომ ფარის კოჭები (რიგელები) ერთი და იგივე კვეთის იყოს, საჭიროა სიმაღლის მიხედვით სათანადოდ განლაგებული კოჭები თანაბრად იყვნენ დატვირთულნი (იხ. ნახ. 19).

დავეუშვათ, ფარის სიმაღლე $H = 5,0$ მ, სიგანე $b = 7,0$ მ, წყლის წნევა ცალმხრივია. საჭიროა წყლის მთელი დატვირთვა გავანაწილოთ ხუთ კოჭზე.

გავიგოთ ფარის სხვადასხვა სიღრმეზე მოქმედი წნევა და მოვახდინოთ კოჭების სათანადო განლაგება.

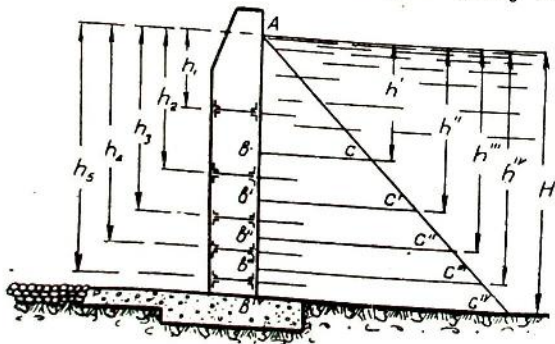
ამოხსნა. წნევის ძალა ფარის მთლიან ფართობზე ტოლია:

$$P = \gamma \frac{H^2}{2} \cdot b = 87500 \text{ კგ.}$$

ასეთ შემთხვევაში თითოეულ კოჭზე მოქმედი ძალა ტოლი უნდა იყოს:

$$P_1 = \frac{P}{5} = 17500 \text{ კგ.}$$

როგორც ვიცით, ფარის ერთეულ სიგანეზე მოქმედი წნევის ძალა გამოიხატება ტოლფერდა სამკუთხედის ფართობით (გაუჩხენოთ, რომ აღნიშნული ტოლფერდა სამკუთხედი წარმოადგენს ფარზე ჰიდროსტა-



ნახ. 19.

ტიკური წნევის ეპიურას). თუ ამ სამკუთხედის ფართობს დაეყოფთ ხუთ თანასწორ ნაწილად, მაშინ მიღებული თანასწორი ფართობების სიმძიმის ცენტრებზე გატარებული თარაზული წირები განსაზღვრავენ კოჭების ღერძების განლაგებას.

ამრიგად:

$$1. \frac{ABC_{\text{ფართ.}}}{AB^{IV}C^{IV}_{\text{ფართ.}}} = \frac{1}{5} = \frac{(h')^2}{H^2}, \text{ აქედან } h' = \frac{H}{\sqrt{5}} = 2,24 \text{ მ};$$

$$2. \frac{AB^IC^I_{\text{ფართ.}}}{AB^{IV}C^{IV}_{\text{ფართ.}}} = \frac{2}{5} = \frac{(h'')^2}{H^2}, \text{ აქედან } h'' = \frac{H \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{5}} = 3,16 \text{ მ};$$

$$3. \frac{AB^{II}C^{II}_{\text{ფართ.}}}{AB^{IV}C^{IV}_{\text{ფართ.}}} = \frac{3}{5} = \frac{(h''')^2}{H^2}, \text{ აქედან } h''' = \frac{H\sqrt{3}}{\sqrt{5}} = 3,87 \text{ მ};$$

$$4. \frac{AB^{III}C^{III}_{\text{ფართ.}}}{AB^{IV}C^{IV}_{\text{ფართ.}}} = \frac{4}{5} = \frac{(h^{IV})^2}{H^2}, \text{ აქედან } h^{IV} = \frac{H\sqrt{4}}{\sqrt{5}} = 4,47 \text{ მ}.$$

მაშასადამე, წნევის სამკუთხედის ფართობი დაყოფილია ხუთ ტოლ ნაწილად ან, რაც იგივეა, ფარის ზედაპირი დაყოფილია ხუთ ტოლად დატვირთულ უბნად (ფარის სიმძიმის მიხედვით). ახლა საჭიროა ვიპოვოთ წნევის ეპიურას ტოლი ფართეულების სიმძიმის ცენტრების დაშორება წყლის ზედაპირიდან, კერძოდ:

1. ABC სამკუთხედის სიმძიმის ცენტრის დაშორება წყლის ზედაპირიდან ტოლია:

$$h_1 = \frac{2}{3} h' = 1,49 \text{ მ};$$

2. რადგანაც $BCB'C'$ ფართი ტრაპეციაა, ამიტომ:

$$h_2 = h' + \frac{h'' - h'}{3} \cdot \frac{2h'' + h'}{h'' + h'} = 2,73 \text{ მ};$$

$$3. h_3 = h'' + \frac{h''' - h''}{3} \cdot \frac{2h''' + h''}{h''' + h''} = 3,54 \text{ მ};$$

$$4. h_4 = h''' + \frac{h^{IV} - h'''}{3} \cdot \frac{2h^{IV} + h'''}{h^{IV} + h'''} = 4,18 \text{ მ};$$

$$5. h_5 = h^{IV} + \frac{H - h^{IV}}{3} \cdot \frac{2 \cdot H + h^{IV}}{H + h^{IV}} = 4,75 \text{ მ}.$$

კოპები უნდა განვალაგოთ სიმძიმის ცენტრების სიორმეზე (h_1, h_2, h_3, h_4 და h_5) რის შედეგად ისინი თანაბრად იქნებიან დატვირთული.

ამოცანა № 31. ხრეშიან ან სხვა რომელიმე ჟონვად ნიადაგზე აგებული კაშხალის ფუძეში შეიძლება ადგილი ჰქონდეს წყლის ფილტრაციას. ეს მოვლენა განსაკუთრებით ინტენსიურად მიმდინარეობს კაშხალის წინ მალაღი დაწნევის შემთხვევაში (იხ. ნახ. 20).

კაშხალის ანგარიშის დროს მდგრადობაზე მხედველობაში უნდა მივიღოთ წყლის წნევა, რომელიც დამოკიდებულია, კაშხალის წინ ფაქტიურად არსებულ დაწნევაზე.

უნდა განვსაზღვროთ კაშხლის მდგრადობის კოეფიციენტი. კაშხალის განივი კვეთის ზომები მოყვანილია ნახაზზე:

$$H=7,0 \text{ მ}, h=3,0 \text{ მ}, l_1=2,0 \text{ მ}, l_2=6,0 \text{ მ}, l_3=10,0 \text{ მ}, l_4=l_3-l_2=4,0 \text{ მ}, l_5=1,0 \text{ მ}.$$

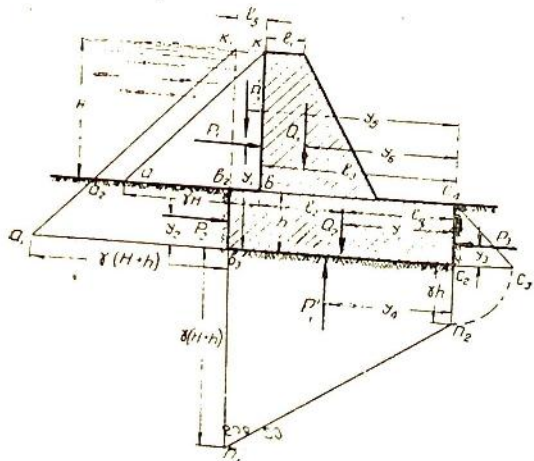
ამოხსნა. კაშხალის ცალკეულ ნაწილებზე წყლის ჰიდროსტატიკური წნევის ძალები ვიანგარიშოთ გრაფო-ანალიზური ხერხით:

1. თარაზული წნევის ძალა კედლის kb ნაწილის ერთეულ სიგანეზე ტოლია:

$$P_1 = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} = 24,5 \text{ ტ} = 24500 \text{ კგ}.$$

ეს წნევის ძალა გამოიხატება abk ტოლფერდა სამკუთხედის ფართობით.

2. თარაზული წნევის ძალა ფუძის მარცხენა b_2b_3 ნაწილზე გამოიხატება ($a_1a_2b_3b_2$) ტრაპეციის ფართობით:



ნახ. 20.

$$P_2 = \gamma \cdot [H + (H+h)] \frac{h}{2} = \gamma(2H+h) \frac{h}{2} = 25,5 \text{ ტ} = 25500 \text{ კგ.}$$

3. თარაზული წნევის ძალა ფუძის მარჯვენა $c_1 c_2$ ნაწილზე გამოიხატება $c_1 c_2 c_3$ სამკუთხა ეპიურას ფართობით:

$$P_3 = \frac{\gamma h^2}{2} = 4,5 \text{ ტ} = 4500 \text{ კგ.}$$

4. შვეული წნევის ძალა, რომელიც მოქმედებს კაშხალის ფუძეზე ქვევიდან ზევით, გამოიხატება $n_1 b_1 c_2 n_2$ ტრაპეციის ფართობით:

$$P_1' = \frac{[(H+h)+h]}{2} \cdot (l_3 + l_5) = 71,5 \text{ ტ} = 71500 \text{ კგ.}$$

5. შვეული წნევის ძალა ფუძის $b b_2$ ნაწილზე

$$P_2' = \gamma H \cdot l_5 = 7,0 \text{ ტ} = 7000 \text{ კგ.}$$

6. კაშხალის საკუთარი წონა მის ერთეულ სიგანეზე საძირკვლის წონის გარეშე

$$Q_1 = \gamma_1 \left(\frac{l_1 + l_2}{2} \cdot H \right) = 61,5 \text{ ტ} = 61500 \text{ კგ.}$$

7. საძირკველის საკუთარი წონა

$$Q_2 = \gamma_1 \cdot h \cdot (l_5 + l_3) = 72,6 \text{ ტ} = 72600 \text{ კგ.}$$

სადაც γ_1 არის ბეტონის მოცულობითი წონა და $2,2 \text{ ტ/მ}^3$ უდრის.

წნევის ძალებისა და კაშხალის საკუთარი წონის გამოთვლის შემდეგ კაშხალის მდგრადობის პირობების დასადგენად საჭიროა განვსაზღვროთ კაშხალზე მოქმედი ძალთა ვექტორების მხრები e_2 წერტილის მიმართ.

P_1 ძალის მხარი

$$y_1 = \frac{1}{3} H + h = 5,33 \text{ მ.}$$

P_2 ძალის მხარი y_2 იანგარიშება როგორც ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის დაშორება ფუძიდან, ე. ი.

$$y_2 = \frac{h}{3} \cdot \frac{h+3H}{h+2H} = 1,41 \text{ მ.}$$

P_3 ძალის მხარი იქნება:

$$y_3 = \frac{h}{3} = 1,0 \text{ მ.}$$

P_1' ძალის მხარი გამოიხატება, როგორც ტრაპეციის სიმძიმის ცენტრის დაშორება e_2 წერტილიდან და ტოლია:

$$y_4 = \frac{l_3 + l_5}{3} \cdot \frac{3h + 2H}{2h + H} = 6,5 \text{ მ,}$$

P_2' ძალის მხარი

$$y_5 = l_3 + \frac{l_5}{2} = 10,5 \text{ მ,}$$

Q_1 და Q_2 ძალების მხრების განსაზღვრა შეიძლება გრაფიკულად¹.

Q_1 ძალის მხარი ტოლია:

$$y_6 = l_7 + l_4 = 3,8 + 4,0 = 7,8 \text{ მ,}$$

ხოლო Q_2 ძალის მხარი

$$y_7 = \frac{l_3 + l_5}{2} = 5,5 \text{ მ.}$$

ვინაიდან დავადგინეთ როგორც ძალები, ისე მათი მხრები e_2 წერტილის მიმართ, უკვე შეგვიძლია გამოვთვალოთ კაშხალის, როგორც დამჭერი, ისევე გადამყირავებელი მომენტები:

$$M_{\text{გადა.}} = P_1 \cdot y_1 + P_2 \cdot y_2 + P_1' \cdot y_4 = 24,5 \cdot 5,33 + 25,5 \cdot 1,41 + 71,5 \cdot 6,5 = 130,59 + 35,95 + 464,75 = 631,29 \text{ ტმ,}$$

$$M_{\text{დამჭ.}} = P_3 \cdot y_3 + Q_1 \cdot y_6 + Q_2 \cdot y_7 + P_2' \cdot y_5 = 4,5 \cdot 1,0 + 61,6 \cdot 7,8 + 72,6 \cdot 5,5 + 7,0 \cdot 10,5 = 957,78 \text{ ტმ.}$$

ამ მომენტთა ფარდობა განსაზღვრავს კაშხლის მდგრადობის კოეფიციენტს:

$$\alpha = \frac{M_{\text{დამჭ.}}}{M_{\text{გადაყ.}}} = \frac{957,98}{631,29} = 1,51.$$

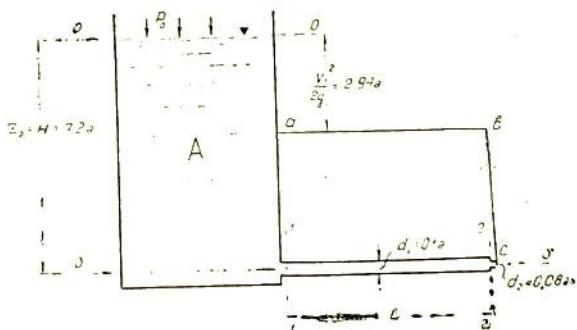
როგორც ვხედავთ, კაშხალი მდგრადობის თვალსაზრისით კარგ პირობებში იმყოფება, მას გააჩნია მდგრადობის ტექნიკურად საკმარისი მარაგი.

¹ იხ. პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა. 1947 წ. გვ. 59.

ტექნიკის მრავალ დარგში ხშირად გვიხდება ჰიდროდინამიკის სხვადასხვა პრობლემის გადაწყვეტა. ჰიდროდინამიკის ამოცანები ჰიდროსტატიკის ამოცანებთან შედარებით ხასიათდებიან მეტი სირთულით. პრაქტიკული ჰიდროდინამიკის განვითარების საქმეში უაღრესად დიდი როლი შეასრულა სითხის მოძრაობის ძირითადი განტოლების—დ. ბერნულის განტოლების გამოყენებამ.

ქვემოთ განხილულ ჰიდრაულიკურ გაანგარიშებათა მაგალითების ამოხსნის დროს ძირითადად გამოყენებული იქნება დ. ბერნულის განტოლება და აგრეთვე ჰიდროდინამიკის სხვა კანონებიც.

ამოცანა № 32. მოცემულია აუზი A (იხ. ნახ. 21). მოცემული აუზის წყლის ზედაპირზე გავატაროთ $O-O$ სიბრტყე. აუზიდან წყალი გამოედინება მილით, რომლის დიამეტრი $d_1=0,10$ მ, ხოლო გამოსასვლელი კვეთის დიამეტრი $d_2=0,08$ მ. მილიდან წყალი გამოედინება ატმოსფეროში. დაწნევა $H=7,2$ მ.



ნახ. 21.

გამოვთვალოთ ხარჯი (Q), სიჩქარე (v) და უკიეზომეტრული დაწნევები მილსადენის 1—1 და 2—2 კვეთებში. ვიგულისხმობთ, რომ სითხე იდეალურია (მილში ენერგიის ხარჯვას წინააღობაზე ადგილი არა აქვს).

ამოხსნა. შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 0-0 და 2-2 კვეთებისათვის ა-ა საფარდი სიბრტყის მიმართ (საფარდი სიბრტყე გატარებულია მილის 2-2 კვეთის ცენტრში):

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2,$$

სადაც $v_0=0$ რადგან A აუზში წყლის შედაპირის ფართობი დიდია; $p_0=p_2=p_{at}$ რადგან 0-0 და 2-2 კვეთებში მოქმედებს ატმოსფერული წნევა; $z_0=H$ არის მანძილი 0-0 კვეთიდან ა-ა საფარდ სიბრტყემდე; $z_2=0$.

ამ მნიშვნელობათა (1) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ:

$$H = \frac{v_2^2}{2g},$$

საიდანაც

$$v_2 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 7,2} = 11,85 \text{ მ/წმ.}$$

ბარჯი 2-2 კვეთში ტოლია:

$$Q = \omega_2 \cdot v_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot v_2 = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} \cdot 11,85 = 0,0597 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ვინაიდან განვსაზღვრეთ v_2 სიჩქარე, ამიტომ უწყვეტობის განტოლებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ v_1 სიჩქარეც:

$$Q = \omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2,$$

აქედან

$$v_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot v_2 = 7,595 \text{ მ/წმ.}$$

პიეზომეტრული სიმაღლის დასადგენად დავწეროთ ბერნულის განტოლება 0-0 და 1-1 კვეთებისათვის იმავე საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

ან

$$H + \frac{p_{at}}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g},$$

ვინაიდან

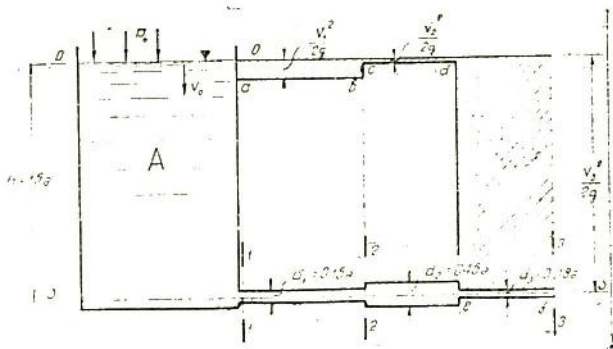
$$\frac{v_0^2}{2g} \approx 0, \quad z_1 = 0 \text{ და } z_0 = H.$$

ამ განტოლების წვერებაა გადაჯგუფების შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_{at}}{\gamma} = H - \frac{v_1^2}{2g} = 7,2 - 2,94 = 4,25 \text{ მ.}$$

ეს არის წყლის სვეტის სიმაღლე, რომელსაც პიეზომეტრული სიმაღლე (დაწნევა) ეწოდება. ჭარბი პიეზომეტრული დაწნევა 2—2 კვეთში ნულის ტოლია, ვინაიდან დაწნევა H (პოტენციალური ენერჯია) მთლიანად იხარჯება 2—2 კვეთში v_2 სიჩქარის განვითარებაზე. ამრიგად, წნევის წირი იქნება abc .

ამოცანა № 33. მოცემულია წყალსაცავი აუზი A . წყალი აუზიდან მოედინება ჰორიზონტალური მილით, რომლის დიამეტრი $d_1=0,15$ მ. შემდეგ წყალი გადადის მილში, რომლის დიამეტრი $d_2=0,45$ მ. ბოლოს ისეთ მილში, რომლის დიამეტრი $d_3=0,08$ მ. ბოლო მილიდან წყალი გამოედინება ატმოსფეროში (იხ. ნახ. 22).



ნახ. 22.

განესაზღვროთ სიჩქარე v_3 , წყლის ხარჯი Q მილსადენის ბოლო კვეთში (3—3) და ავგოთ პიეზომეტრული დაწნევის წირი, თუ დაწნევა $H=15$ მ (ვიხილავთ ისევ იდეალურ სითხეს).

ამოხსნა. ამოცანის პირობის გადასაწყვეტად დავწეროთ ბერნულის განტოლება 0—0 და 3—3 კვეთებისათვის ა—ა საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3,$$

სადაც

$$v_0 \approx 0; p_0 = p_3 = p_{at}; z_0 = H \text{ და } z_3 = 0$$

რის გამოც ბერნულის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$H = \frac{v_3^2}{2g},$$

აქედან

$$v_3 = \sqrt{2g \cdot H} = \sqrt{19,62 \cdot 15,0} = 17,12 \text{ მ/წმ},$$

ხოლო წყლის ხარჯი

$$Q = \omega_3 \cdot v_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot v_3 = 0,0856 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 85,6 \text{ ლიტრ/წმ}.$$

ახლა ავაგოთ პიეზომეტრული წირი. ვინაიდან 3—3 კვეთში დაწნევა H უკვე მთლიანად დახარჯულია წყლის ნაკადის v_3 სიჩქარის განვითარებისათვის, ამიტომ ნაკადის ერთეული წონის პოტენციალური ენერგია (კუთრი პოტენციალური ენერგია) მთლიანად გადადის ხვედრით კინეტიკურ ენერგიაში, რის გამო პიეზომეტრიული სიმაღლე 3—3 კვეთში $\frac{p_3 - p_{at}}{\gamma}$ უდრის ნულს.

ახლა ვიანგარიშოთ პიეზომეტრიული სიმაღლეები 1—1 და 2—2 კვეთებისათვის. რისთვისაც ჯერ განვსაზღვროთ 1—1 და 2—2 კვეთებში v_1 და v_2 სიჩქარეები, შემდეგ კი სათანადო ხვედრით კინეტიკურ ენერგიათა სიდიდეები (სიჩქარის დაწნევათა სიმაღლეები).

სითხის უწყვეტობის განტოლების თანახმად

$$Q = \omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 = \omega_3 \cdot v_3;$$

აქედან 1—1 კვეთში სიჩქარე

$$v_1 = \frac{\omega_3}{\omega_1} \cdot v_3 \quad \text{და} \quad v_2 = \frac{\omega_3}{\omega_2} \cdot v_3,$$

ხოლო მათი შესაბამისი კინეტიკური ენერგიები

$$\frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 \cdot \frac{v_3^2}{2g},$$

$$\frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 \cdot \frac{v_3^2}{2g}.$$

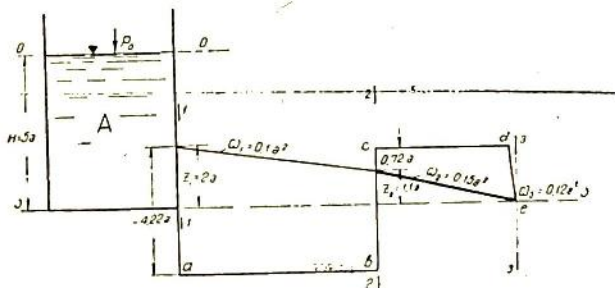
სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმისა და გამოთვლის შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{v_1^2}{2g} = 1,215 \text{ მ}, \quad \text{ხოლო} \quad \frac{v_2^2}{2g} = 0,015 \text{ მ}.$$

ახლა $\frac{v_1^2}{2g}$ და $\frac{v_2^2}{2g}$ მნიშვნელობები გადავზომოთ 0—0 სიბრტყის ქვემოთ დინების ღერძის მართობულად და მიღებული წერტილების შეერთების შედეგად მივიღებთ საძიებელ პიეზომეტრულ წირს (abcdef).

ამოცანა № 34. *A* აუზიდან წყალი გამოედინება მილით, რომლის კვეთის ფართი $\omega_1 = 0,10 \text{ მ}^2$, მილის გაფართოებული ნაწილის კვეთის ფართი $\omega_2 = 0,15 \text{ მ}^2$ (იხ. ნახ. 23). მილის ბოლო ნაწილი შევიწროებულია (კონუსურია) და გამოსასვლელი კვეთის ფართი $\omega_3 = 0,12 \text{ მ}^2$, აუზის განივი კვეთის ფართი $\omega_0 = 1,2 \text{ მ}^2$, დაწნევა $H = 5 \text{ მ}$, 1—1 კვეთისათვის $z_1 = 2 \text{ მ}$, ხოლო 2—2 კვეთისათვის $z_2 = 1,1 \text{ მ}$ ა—ა საფარდი სიბრტყე გატარებულია 3—3 კვეთის სიმძიმის ცენტრში.

განვსაზღვროთ წყლის ხარჯი Q და ავაგოთ მოცემული კვეთებისათვის პიეზომეტრული დაწნევის წირი (ვიგულისხმობთ, რომ სითხე იდეალურია).



ნახ. 23.

ამოხსნა. შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 0—0 და 3—3 კვეთებისათვის ა—ა საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3.$$

ვინაიდან

$$z_3 = 0, z_0 = H, p_0 = p_3 = p_{at} \text{ და } v_0 = 0,$$

ამიტომ ბერნულის განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{v_0^2}{2g} + H = \frac{v_3^2}{2g}. \quad (1)$$

ახლა, თუ გამოვიყენებთ უწყვეტობის განტოლებას, მივიღებთ:

$$\frac{v_3^2}{2g} = H + \frac{v_3^2}{2g} \left(\frac{\omega_3}{\omega_0} \right)^2,$$

საიდანაც

$$H = \left[1 - \left(\frac{\omega_3}{\omega_0} \right)^2 \right] \cdot \frac{v_3^2}{2g},$$

ამიტომ სიჩქარე

$$v_3 = \sqrt{\frac{2gH}{1 - \left(\frac{\omega_3}{\omega_0} \right)^2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 5}{1 - \left(\frac{0,12}{1,2} \right)^2}} = 9,954 \text{ მ/წმ.}$$

ხოლო წყლის ხარჯი

$$Q = \omega_3 \cdot v_3 = 0,12 \cdot 9,954 = 1,194 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ახლა ავაგოთ პიეზომეტრული დაწნევის წირი. ჰარბი (ხალასი) წნევა 3—3 კვეთში იქნება ნულის ტოლი. 2—2 კვეთში პიეზომეტრული დაწნევის გამოსარკვევად დაეწეროთ ბერნულის განტოლება 2—2 და 3—3 კვეთისათვის ა—ა საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3,$$

სადაც

$$z_3 = 0, \quad p_3 = p_{\text{ატ.}}$$

წვერების გადაჯგუფების შემდეგ ეს განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{p_2 - p_{\text{ატ.}}}{\gamma} = \frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - z_2.$$

ზემოაღნიშნულ ტოლობაში სითხის უწყვეტობის განტოლების საფუძველზე v_2 სიჩქარე გამოვხატოთ v_3 და სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{p_2 - p_{\text{ატ.}}}{\gamma} = 0,72 \text{ მ.}$$

1—1 კვეთში პიეზომეტრული დაწნევის განსაზღვრისათვის ისევ ვწერთ ბერნულის განტოლებას 1—1 და 3—3 კვეთებისათვის:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3,$$

სადაც

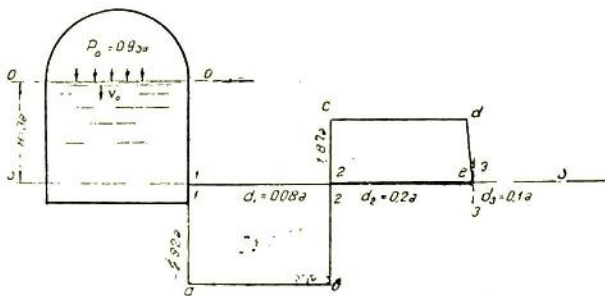
$$z_3 = 0; \quad p_3 = p_{\text{ატ.}}$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\frac{p_1 - p_{\text{ატ.}}}{\gamma} = \left[1 - \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 \right] \cdot \frac{v_3^2}{2g} - z_1 = -4,22 \text{ მ.}$$

დაწნევის ეს სიდიდე გამოხატავს წნევის დეფიციტს 1-1 კვეთში ატმოსფერულ წნევამდე და მას ვაკუუმის უწოდებენ. ამრიგად, 1-1 კვეთში განვითარებულია ვაკუუმი რომლის სიდიდე მილსადენის კვეთის ფართის (ω_1 -ის) შემცირებასთან ერთად გაიზრდება და პირიქით. პიეზომეტრული დაწნევის წირი წარმოადგენს $abcde$ ტეხილს.

ამოცანა № 35. გერმეტულად დახშულ ქურქელში წყლის თავისუფალ ზედაპირზე (0^1-0^1 სიბრტყე) წნევა $p_0=0,9$ ატ (იხ. ნახ. 24). ქურქლიდან სითხე გამოედინება მილსადენით, რომლის პირველი უბნის



ნახ. 24.

დიამეტრი $d_1=0,08$ მ, მილის გაფართოებული ნაწილის (მეორე უბნის) დიამეტრი $d_2=0,20$ მ, ხოლო გამოსასვლელი კვეთის დიამეტრი $d_3=0,10$ მ. სიმაღლე წყლის ზედაპირიდან მილის ღერძამდე $H=3$ მ ($a-a$ საფარდი სიბრტყე გატარებულია მილის ღერძზე).

განვსაზღვროთ მილსადენიდან გამოდინებული წყლის ხარჯი Q და პიეზომეტრული დაწნევის წირის მდებარეობა; მხედველობაში ნუ მივიღებთ ენერგიის დანაკარგს.

აღოხსნა. ამოცანის ამოხსნის მიზნით დავწეროთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და $3-3$ კვეთებისათვის $a-a$ საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g},$$

სადაც

$$z_0 = H; v_0 \approx 0; p_0 < p_{at} \text{ და } z_3 = 0;$$

ამიტომ

$$H + \frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}$$

$$H = \frac{p_{\text{ატ}} - p_0}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}$$

საიდანაც ნაკადის გამოდინების სიჩქარე

$$v_3 = \sqrt{2g \left(H - \frac{p_{\text{ატ}} - p_0}{\gamma} \right)} = \sqrt{19,62 \left(3 - \frac{10000 - 9000}{1000} \right)} = \\ = \sqrt{39,3} = 6,28 \text{ მ/წმ,}$$

წყლის ხარჯი

$$Q = v_3 \cdot \omega_3 = 6,28 \cdot 0,00786 = 0,0493 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 49,3 \text{ ლ/წმ.}$$

1—1 კვეთში პიეზომეტრული დაწნევის განსაზღვრის მიზნით, შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 1—1 და 3—3 კვეთებისათვის ა—ა საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}$$

ზემოთ მოყვანილი განტოლებიდან გამომდინარე

$$h_1 = h_{3\text{ატ}} = \frac{p_{\text{ატ}} - p_1}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_3^2}{2g} = \left[\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 - 1 \right] \cdot \frac{v_3^2}{2g} = \\ = \left[\left(\frac{0,00786}{0,00503} \right)^2 - 1 \right] \cdot 2,0 = 2,92 \text{ მ.}$$

ახლა განვსაზღვროთ პიეზომეტრული დაწნევის სიმაღლე 2—2 კვეთში. ამ მიზნით შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 2—2 და 3—3 კვეთებისათვის ა—ა საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}$$

სადაც

$$z_2 = z_3 = 0, \quad p_3 = p_{\text{ატ}}$$

რის გამოც

$$h_2 = \frac{p_2 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = \frac{v_3^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = \left[1 - \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 \right] \cdot \frac{v_3^2}{2g} = \\ = \left[1 - \left(\frac{0,00786}{0,0314} \right)^2 \right] \cdot 2,0 = 1,87 \text{ მ.}$$

როგორც ვიცი, 3-3 კვეთში ჰარბი (ხალასი) წნევა

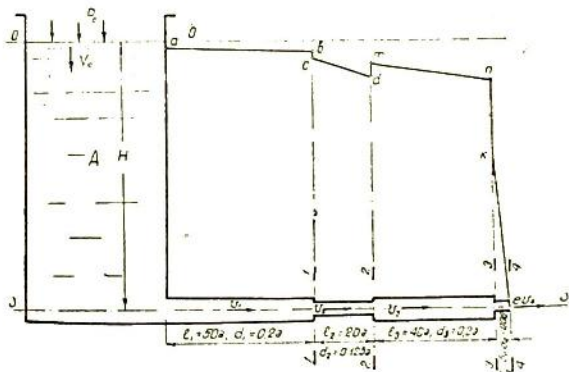
$$h_3 = \frac{p_3 - p_{at}}{\gamma} = \frac{p_{at} - p_{at}}{\gamma} = 0.$$

პიეზომეტრული დაწნევის წირი წარმოადგენს *abcde* ტეხილს (იხ. ნახ. 24).

ამოცანა № 36. წინა ამოცანების (1, 2, 3, 4) ამოხსნის დროს მხედველობაში არ ვღებულობდით სითხის ენერგიის დანაკარგს ჰიდრაულიკურ წინაღობათა გადალახვაზე, ე. ი. ვიხილავდით იდეალურ სითხეს. ეს ჩვენ დავუშვით, მხოლოდ მეთოდური თვალსაზრისით, იმისათვის, რომ რეალური სითხის განხილვის შემთხვევაში გვქონოდა შედარების საშუალება.

პრაქტიკული ამოცანების გადაჭრის დროს საჭიროა გამოყენებულ იქნეს ბერნულის განტოლება რეალური სითხისათვის. ამ შემთხვევაში სიჩქარის, ხარჯის და წნევის განსაზღვრისათვის, როგორც თეორიიდან ცნობილია, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წინაღობათა პარამეტრების დადგენას.

შეთქვათ, *A* აუზიდან გამოყვანილია მილი (იხ. ნახ. 25), რომლის სიგრძე $l_1 = 50$ მ, დიამეტრი $d_1 = 0,20$ მ. მილსადენი შემდეგ ვიწროვდება და მეორე უბნისათვის $l_2 = 20$ მ, ხოლო



ნახ. 25.

$d_2 = 0,125$ მ მილსადენის მესამე უბნის სიგრძე;

$l_3 = 40$ მ, დიამეტრი $d_3 = 0,20$ მ მილსადენის ბოლო უბნის სიგრძე;

$l_4 = 5,0$ მ, დიამეტრი $d_4 = 0,06$ მ. გამოსასვლელ 4-4 კვეთიდან წყალი გამოედინება ატმოსფეროში. დაწნევა მილსადენზე $H = 25$ მ

განვსაზღვროთ გამოდინების სიჩქარე v_4 , ხარჯი Q და ავაგოთ პიეზომეტრული დაწნევის წირი.

ამოხსნა. ამოცანის გადასაწყვეტად დავწეროთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და $4-4$ კვეთებისათვის $a-a$ საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_4^2}{2g} + \frac{p_4}{\gamma} + z_4 + \Sigma h_e,$$

სადაც

$$v_0 \approx 0; p_0 = p_4 = p_{at}, z_0 = H \text{ და } z_4 = 0.$$

ამ მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ ბერნულის განტოლებიდან მივიღებთ:

$$H = \frac{v_4^2}{2g} + \Sigma h_e. \quad (1)$$

როგორც ვიცი, Σh_e წვერი გამოხატავს მილში სითხის მოძრაობის დროს ყველა სახის წინააღმდეგობებზე დახარჯულ ენერჯიათა ჯამს (ენერჯიის დანაკარგებს მილსადენის სიგრძეზე და ადგილობრივ წინააღმდეგობათა გადალახვაზე) ან სხვანაირად, — ყველა სახის და წნევის დანაკარგების ჯამს.

განვიხილოთ დაწნევის დანაკარგები ჩვენი შემთხვევისათვის (იხ. ნახ. 25). სახელდობრ განვსაზღვროთ ცალკეული სახის დაწნევის დანაკარგები:

1. დაწნევის დანაკარგი მილში წყლის შესვლის დროს

$$h_{e1} = \xi_1 \frac{v_1^2}{2g} = 0,50 \cdot \frac{v_1^2}{2g};$$

2. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის l_1 სიგრძეზე

$$h_{e2} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,0224 \cdot \frac{50}{0,2} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 5,04 \frac{v_1^2}{2g};$$

λ_1 კოეფიციენტი გამოთვლილია დარსის ცორომულით: $\lambda_1 = 0,02 \left(1 + \frac{1}{40d_1} \right);$

3. მილის უეცარი შევიწროებით გამოწვეული დაწნევის დანაკარგები

$$h_{e3} = \xi_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,335 \cdot \frac{v_2^2}{2g},$$

სადაც

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0,40$$

და შესაბამისად $\xi_1 = 0,535^2;$

აქ და გვემოთ წინააღმდეგობის კოეფიციენტების მნიშვნელობებს ვიღებთ ცნობარიდან.

4. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის l_2 სიგრძეზე

$$h_{e_4} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,0241 \cdot \frac{20}{0,125} \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 3,86 \frac{v_2^2}{2g};$$

5. 2-2 კვეთში უეცარი გაფართოებით გამოწვეული დაწნევის დანაკარგი

$$h_{e5} = \xi_3 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = \frac{(v_2 - v_3)^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 2,44 \frac{v_3^2}{2g};$$

6. დაწნევის დანაკარგი მილის l_3 სიგრძეზე

$$h_{e_6} = \lambda_3 \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 0,0224 \cdot \frac{40}{0,20} = 4,48 \cdot \frac{v_3^2}{2g}.$$

7. 3-3 კვეთში ნაკადის შევიწროებით გამოწვეული დაწნევის დანაკარგი

$$h_{e_7} = \xi_4 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,5 \cdot \frac{v_4^2}{2g},$$

სადაც

$$\frac{\omega_4}{\omega_3} = 0,09 \text{ და } \xi_4 = 0,5;$$

8. დაწნევის დანაკარგი მილის l_4 სიგრძეზე

$$h_{e_8} = \lambda_4 \cdot \frac{l_4}{d_4} \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,0224 \cdot \frac{5,0}{0,06} \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 1,867 \frac{v_4^2}{2g};$$

დაწნევის დანაკარგების ჯამი

$$\begin{aligned} \Sigma h_e &= h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + h_{e_4} + h_{e_5} + h_{e_6} + h_{e_7} + h_{e_8} = \\ &= (0,5 + 5,04) \frac{v_1^2}{2g} + (0,335 + 3,86) \frac{v_2^2}{2g} + (2,50 + 4,48) \frac{v_3^2}{2g} + \\ &+ (0,5 + 1,867) \frac{v_4^2}{2g} = 5,54 \frac{v_1^2}{2g} + 4,20 \frac{v_2^2}{2g} + 6,92 \frac{v_3^2}{2g} + 2,367 \frac{v_4^2}{2g}. \end{aligned} \quad (2)$$

სითხის უწყვეტობის განტოლების საფუძველზე v_1 , v_2 და v_3 სიჩქარეები გამოვხატოთ v_4 :

$$v_1 = \frac{\omega_4}{\omega_1} \cdot v_4, \quad v_2 = \frac{\omega_4}{\omega_2} \cdot v_4, \quad v_3 = \frac{\omega_4}{\omega_3} \cdot v_4.$$

სათანადო სიჩქარის დაწნეგები ტოლია:

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_1^2}{2g} &= \left(\frac{\omega_1}{\omega_1}\right)^2 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = \left(\frac{d_4^2}{d_1^2}\right)^2 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,0081 \cdot \frac{v_4^2}{2g}, \\ \frac{v_2^2}{2g} &= \left(\frac{\omega_2}{\omega_2}\right)^2 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = \left(\frac{d_4^2}{d_2^2}\right)^2 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,0225 \frac{v_4^2}{2g}, \\ \frac{v_3^2}{2g} &= \left(\frac{\omega_3}{\omega_3}\right)^2 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = \left(\frac{d_4^2}{d_3^2}\right)^2 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,0081 \cdot \frac{v_4^2}{2g}. \end{aligned} \right\} (3)$$

ამ მნიშვნელობების (2) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \Sigma h_e &= (5,54 \cdot 0,0081 + 4,20 \cdot 0,0225 + 6,92 \cdot 0,0081 + 2,367) \frac{v_4^2}{2g} = \\ &= (0,0448 + 0,0945 + 0,056 + 2,367) \frac{v_4^2}{2g} = 2,562 \frac{v_4^2}{2g}. \end{aligned} \quad (4)$$

ახლა დაწნევის დანაკარგების (Σh_e) ეს მნიშვნელობა (1) განტოლებაში ჩავსვათ და მივიღებთ:

$$H = \frac{v_4^2}{2g} + \Sigma h_e = \frac{v_4^2}{2g} + 2,56 \frac{v_4^2}{2g} = 3,56 \frac{v_4^2}{2g}. \quad (5)$$

აქედან:

4—4 კვეთიდან წყლის გამოდინების სიჩქარე

$$v_4 = \sqrt{\frac{2gH}{3,56}} = 11,73 \text{ მ/წმ},$$

ხარჯი

$$Q = \omega_4 \cdot v_4 = 0,033 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 33 \text{ ლიტ/წმ},$$

სადაც

$$\omega_4 = \frac{\pi d_4^2}{4} = 0,00282 \text{ მ}^2.$$

ახლა ავაგოთ პიეზომეტრული დაწნევის წირი. ამ მიზნით დავწეროთ ბერნულის განტოლება 0—0 და ნებისმიერი X—X კვეთისათვის 0—0 საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} + z_x + \Sigma h_{e,x},$$

სადაც

$$v_0 \approx 0, p_0 = p_{at}, z_0 = H, z_x = 0.$$

წევრების ჩასმისა და გადაჯგუფების შემდეგ, მივიღებთ:

$$\frac{P_r - P_{\text{ახ}}}{\gamma} = H - \left(\frac{v_z^2}{2g} + \sum h_{\text{ერ}} \right). \quad (6)$$

ამ განტოლების მიხედვით შეგვიძლია მილსადენის ნებისმიერ კვეთ-ში განვსაზღვროთ პიეზომეტრული დაწნევა.

წინასწარ გამოვარკვიოთ სიჩქარის დაწნევა სათანადო კვეთე-ბისათვის:

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{H}{3,56} = \frac{25,0}{3,56} = 7,0 \text{ მ,}$$

$$\frac{v_3^2}{2g} = 0,0081 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,0081 \cdot 7,0 = 0,0567 \text{ მ,}$$

$$\frac{v_2^2}{2g} = 0,0225 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,0225 \cdot 7,0 = 0,1575 \text{ მ,}$$

$$\frac{v_4^2}{2g} = 0,0081 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,0081 \cdot 7,0 = 0,0567 \text{ მ.}$$

ახლა ცალ-ცალკე გამოვთვალოთ დაწნევის დანაკარგების რიცხვი-თი მნიშვნელობები:

$$h_{\text{ერ}1} = 0,5 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \cdot 0,0567 = 0,0283 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}2} = 5,54 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 5,54 \cdot 0,0567 = 0,3141 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}3} = 0,335 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,335 \cdot 0,1575 = 0,0562 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}4} = 3,86 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 3,86 \cdot 0,1575 = 0,6079 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}5} = 2,50 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 2,50 \cdot 0,0567 = 0,1417 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}6} = 4,48 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 4,48 \cdot 0,0567 = 0,2540 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}7} = 0,5 \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,5 \cdot 7,0 = 3,50 \text{ მ,}$$

$$h_{\text{ერ}8} = 1,867 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 1,867 \cdot 7,0 = 13,069 \text{ მ.}$$

ამ სიდიდეთა გამორკვევის შემდეგ აღვილდება პიეზომეტრული წილის აგება.

როგორც ვიცით, (6) განტოლებით შეიძლება პიეზომეტრული დაწნევის განსაზღვრა ნებისმიერ კვეთში.

პიეზომეტრული დაწნევის სიმაღლეები სათანადო კვეთებში აღვნიშნოთ შემდეგნაირად:

$$h_i = \frac{p_i - p_{at}}{\gamma}$$

მაშინ (6) განტოლებიდან:

$$\begin{aligned} h_1 &= H - \left(\frac{v_1^2}{2g} + h_{e_1} \right) = 25,0 - (0,05670 + 0,02835) = \\ &= 25,0 - 0,08505 = 24,915 \text{ მ (წერტილი a),} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= H - \left(\frac{v_1^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} \right) = 25,0 - (0,05670 + 0,02835 + 0,31412) = \\ &= 25,0 - 0,39917 = 24,60 \text{ მ (წერტილი b),} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_3 &= H - \left(\frac{v_2^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} \right) = 25,0 - (0,15750 + 0,02835 + \\ &+ 0,31412 + 0,05286) = 25,0 - 0,55283 = 24,447 \text{ მ (წერტილი c),} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_4 &= H - \left(\frac{v_2^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + h_{e_4} \right) = 25,0 - (0,55283 + 0,60795) = \\ &= 25,0 - 1,16078 = 23,839 \text{ მ (წერტილი d),} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{e5} &= H - \left(\frac{v_3^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + h_{e_4} + h_{e_5} \right) = \\ &= 25,0 - (0,0567 + 0,60795 + 0,14175) = 25,0 - 0,7564 = \\ &= 24,243 \text{ (წერტილი m),} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_6 &= H - \left(\frac{v_3^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + h_{e_4} + h_{e_5} + h_{e_6} \right) = \\ &= 25,0 - (0,7564 + 0,2540) = 25,0 - 1,0104 = 23,9896 \text{ მ (წერტილი n),} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_7 &= H - \left(\frac{v_4^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + h_{e_4} + h_{e_5} + h_{e_6} + h_{e_7} \right) = \\ &= 14,46903 \text{ მ (წერტილი k),} \end{aligned}$$

$$h_8 = H - \left(\frac{v_4^2}{2g} + h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + h_{e_4} + h_{e_5} + h_{e_6} + h_{e_7} + h_{e_8} \right) =$$

$$= H - \left(\frac{v_1^2}{2g} + \Sigma h_e \right) = 25,0 - (7,0 + 17,96903) =$$

$$= 25,0 - 24,96903 \approx 0 \text{ (წერტილი 1).}$$

შევეერთოდ აღნიშნული წერტილები და მივიღებთ პიეზომეტრული დაწნევის $abcdmnlk$ ტეხილ წირს.

სრული ენერჯიის მრუდის აგებისათვის (თუ ამას მოითხოვს საჭიროება) მილის თითოეული ნაწილის პიეზომეტრულ წირს ზემოთ უნდა აიზომოს სათანადო სიჩქარის დაწნევა და გატარდეს პიეზომეტრული წირის პარალელური ჰიდროდინამიკური დაწნევის წირი მილის სათანადო უბნების ფარგლებში.)

ამოცანა № 37. განვიხილოთ ორი დახშული A და B რეზერვუარი (იხ. ნახ. 26). რეზერვუარიდან გამოდის მილსადენი, რომლის პირველი უბნის სიგრძე $l_1 = 7000$ მ, დიამეტრი $d_1 = 0,2$ მ, 1—1 კვეთში მილის დიამეტრი იზრდება $d_2 = 0,3$ მ, მილსადენის მეორე უბნის სიგრძე $l_2 = 500$ მ, რომელიც უერთდება B რეზერვუარს. რეზერვუარების დონეთა სხვაობა $H = 20$ მ. მოხვეული უბნის რადიუსი $R = 0,8$ მ, $h = 1,5$ მ. A და B რეზერვუარში წყლის ზედაპირებზე სხვადასხვა შემთხვევებში განვიხილავთ სხვადასხვა შესაძლო წნევებს.

განვსაზღვროთ მილსადენის წყლის ხარჯი და ავაგოთ პიეზომეტრული დაწნევის წირი.

ამოხსნა. განვიხილოთ რამდენიმე საანგარიშო შემთხვევა.

1 შემთხვევა. ვიკულისხმობთ, რომ A და B რეზერვუარები ღიაა. შევადგინოთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და 0^1-0^1 კვეთებისათვის ა—ა საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{(v_0')^2}{2g} + \frac{p_0'}{\gamma} + z_0' + \Sigma h_e, \quad (1)$$

სადაც

$$v_0 \approx 0, p_0 = p_0' = p_a, v_0' \approx 0, z_0 = H, z_0' = 0.$$

ამ მნიშვნელობის (1) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ:

$$H = \Sigma h_e.$$

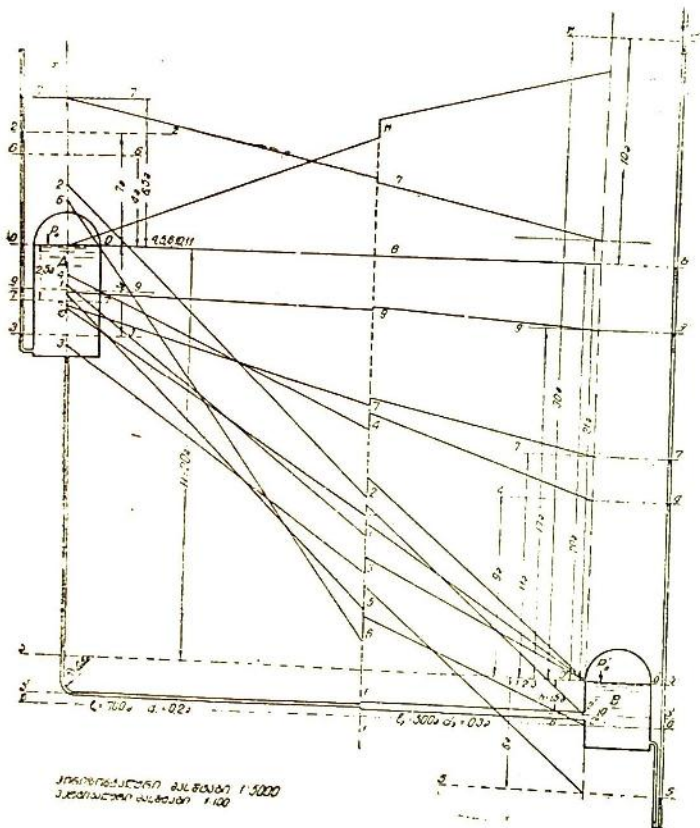
განვსაზღვროთ ყველა სახის დაწნევის დანაკარგი:

1. დაწნევის დანაკარგი მილში შესვლაზე

$$h_{e1} = \xi_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g};$$

2. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მოხვეულ უბანზე ($R=0,8$ მ),

$$h_{\xi 2} = \xi_2 \cdot \frac{v_1^2}{2g};$$



ნახ. 26.

3. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის l_1 სიგრძეზე

$$h_{\xi 3} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g};$$

4. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის უეცარ გაფართოებაზე

$$h_{e_4} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \frac{\left(v_1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot v_1\right)^2}{2g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2g};$$

5. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის l_2 სიგრძეზე

$$h_{e_5} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g};$$

6. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მეორე უბნიდან წყლის შესვლაზე B აუზში

$$h_{e_6} = \xi_6 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}; \quad (\xi_6 = 1).$$

ამ მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$\Sigma h_e = \left[\xi_1 + \xi_2 + \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} + \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \right] \frac{v_1^2}{2g} + \left(\lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} + \xi_6 \right) \frac{v_2^2}{2g}.$$

v_1 სიჩქარე გამოვხატოთ v_2 :

$$v_1^2 = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot v_2 \right)^2$$

და

$$\Sigma h_e = \left\{ \left[\left(\xi_1 + \xi_2 + \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} + \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \right) \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} + \xi_6 \right] \frac{v_2^2}{2g} \right\}.$$

დავადგინოთ წინალობის კოეფიციენტთა მნიშვნელობანი (ცნობარიდან):

$$\xi_1 = 0,5, \quad \xi_2 = 0,134, \quad \lambda_1 = 0,0224, \quad \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} = 78,4;$$

$$\left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 = 0,309,$$

$$\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 = 5,06, \quad \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} = 36,0, \quad \xi_6 = 1,0.$$

კოეფიციენტების ეს მნიშვნელობანი ჩავსვათ ბოლო განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\Sigma h_e = 438,98 \frac{v_2^2}{2g}$$

ან

$$H = 438,98 \frac{v_2^2}{2g}$$

აქედან, B რეზერვუარში წყლის შესვლის სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot H}{438,98}} = 0,945 \text{ მ/წმ},$$

ხოლო წყლის ხარჯი

$$Q = \omega \cdot v_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{2} \cdot v_2 = 0,067 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 67 \text{ ლიტ/წმ}.$$

2. შემთხვევა A აუზი დახშულია და წყლის ზედაპირზე წნევა $p_0 = 1,5$ ატმ. დანარჩენი პირობები იგივეა რაც 1. შემთხვევაში.

(1) განტოლებიდან ამ შემთხვევისათვის მივიღებთ:

$$H + \frac{p_0 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = \Sigma h_e. \quad (2)$$

იგივე იქნება აგრეთვე Σh_e შემაჯალ კოეფიციენტთა მნიშვნელობა, ასე რომ

$$H + \frac{p_0 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = 438,98 \cdot \frac{v_2^2}{2g},$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \left(H + \frac{p_0 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} \right)}{438,98}},$$

სადაც

$$\frac{p_0 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = 5,0 \text{ მ},$$

და

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = 20 + 5 = 25 \text{ მ};$$

ამიტომ სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g H_0}{438,98}} = 1,06 \text{ მ/წმ},$$

წყლის ხარჯი

$$Q = 0,0742 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 74,2 \text{ ლიტ/წმ}.$$

3 შემთხვევა. A აუზი დახშულია და $p_0 = 0,6$ ატმ. = $0,6 \text{ კგ/სმ}^2$ დანარჩენი პირობები იგივეა.

ასეთ პირობებში:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_{\text{ატ}}}{\gamma} = 20 + \frac{6000 - 10000}{1000} = 20 - 4 = 16 \text{ მ},$$

სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0}{438,98}} = 0,84 \text{ მ/წმ},$$

წყლის ხარჯი

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 0,84 = 0,0588 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 58,8 \text{ ლიტ/წმ}.$$

4 შემთხვევა. A რეზერვუარი ღიაა, ხოლო B რეზერვუარი დახშულია და $p_0' = 1,8$ ატ. დანარჩენი პირობები იგივეა.

ამ შემთხვევაში (1) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_0'}{\gamma},$$

სადაც

$$\frac{p_0 - p_0'}{\gamma} = \frac{10000 - 18000}{1000} = -8,0 \text{ მ}.$$

მიღებული მონაცემის ჩასმით მივიღებთ:

$$H_0 = H - 8,0 = 12 \text{ მ} = \Sigma h_{\Sigma},$$

სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0}{438,98}} = 0,748 \text{ მ/წმ},$$

წყლის ხარჯი

$$Q = 51,36 \text{ ლიტ/წმ}.$$

5 შემთხვევა. A რეზერვუარი ღიაა, ხოლო B რეზერვუარი დახშულია და $p_0' = 0,4$ ატ.

ამ შემთხვევაში:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_0'}{\gamma} = 26 \text{ მ}$$

ან

$$H_0 = \Sigma h_{\Sigma} = 438,98 \frac{v_2^2}{2g},$$

სადაც სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g H_0}{438,98}} = 1,08 \text{ მ/წმ},$$

წყლის ხარჯი

$$Q = 0,07 \cdot 1,08 = 0,0756 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 75,6 \text{ ლიტ/წმ}.$$

6 შემთხვევა. ორივე რეზერვუარი დახშულია. A რეზერვუარში წნევა $p_0 = 1,4$ ატმ, B რეზერვუარში კი $p_0' = 0,8$ ატმ.

(1) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_0'}{\gamma} = 20 + \frac{14000 - 8000}{1000} = 26 \text{ მ,}$$

სადაც სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gH_0}{438,98}} = 1,08 \text{ მ/წმ,}$$

წყლის ხარჯი

$$Q = 75,6 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

7 შემთხვევა. ორივე რეზერვუარი დახშულია. A რეზერვუარში წნევა $p_0 = 0,75$ ატ., ხოლო B რეზერვუარში $p_0' = 2,1$ ატ.

ამ შემთხვევისათვის მოქმედი დაწნევა ტოლია:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_0'}{\gamma} = 20 + \frac{7500 - 2100}{1000} = 20 - 13,5 = 6,5 \text{ მ,}$$

ხოლო სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gH_0}{438,98}} = 0,458 \text{ მ/წმ,}$$

წყლის ხარჯი

$$Q = 0,07 \cdot 0,458 = 32 \text{ ლიტ/წმ.}$$

8 შემთხვევა. A რეზერვუარი ღიაა, ხოლო B დახშული და წნევა მასში $p_0' = 3$ ატ.

ამ შემთხვევისათვის:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_0'}{\gamma} = 20 + \frac{10000 - 30000}{1000} = 20 - 20 = 0.$$

როგორც ვხედავთ, დაწნევა ნულის ტოლია და, მაშასადამე, მოძრაობასაც არ ექნება ადგილი.

9 შემთხვევა. ორივე რეზერვუარი დახშულია. A რეზერვუარში წნევა $p_0 = 0,8$ ატ., ხოლო B რეზერვუარში $p_0' = 1,7$ ატ.

მივიღებთ:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_0'}{\gamma} = 11,0 \text{ მ,}$$

სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0}{438,98}} = 0,7 \text{ მ/წმ,}$$

წყლის ხარჯი

$$Q = \omega_2 \cdot v_2 = 49 \text{ ლიტ/წმ.}$$

10 შემთხვევა. *A* რეზერვუარი ღიაა. *B* რეზერვუარი არ არსებობს და გამოდინება მილის ბოლოდან (კვეთი 2'-2') პირდაპირ ატმოსფეროში ხდება.

აქ ბურნულის განტოლება უნდა შევადგინოთ 0-0 და 2'-2' კვეთებისათვის ა'-ა' საფარდ სიბრტყის მიმართ.

მივიღებთ:

$$H_0 = H + h = \frac{v_2^2}{2g} + \Sigma h_e \quad (3)$$

ვინაიდან

$$v_0 \approx 0, \quad z_0 = H + h, \quad p_0 = p_2 = p_{at},$$

v_2 საძიებელი სიჩქარეა, ხოლო

$$z_2 = 0.$$

Σh_e მნიშვნელობა აქ შემცირდება

$$h_{e_6} = \xi_6 \cdot \frac{v_2^2}{2g}$$

სიდიდით, რადგანაც გამოდინება ატმოსფეროში ხდება და არა ღონის ქვეშ, როგორც ეს წინა შემთხვევებში იყო.

ვინაიდან $\xi_6 = 1$ ამიტომ მივიღებთ:

$$\Sigma h_e = 437,98 \cdot \frac{v_2^2}{2g},$$

ხოლო (3) განტოლებიდან გამომდინარე

$$H_0 = (1 + 437,98) \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 438,98 \frac{v_2^2}{2g} = 21,5 \text{ მ,}$$

სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0}{438,98}} = 0,98 \text{ მ/წმ,}$$

ხოლო ხარჯი

$$Q = \omega_2 \cdot v_2 = 68,60 \text{ ლიტ/წმ.}$$

11 შემთხვევა. *A* რეზერვუარი ღიაა, ხოლო *B* რეზერვუარში წნევა $p_0' = 4$ ატ. ასეთ პირობებში

$$H_0 = H + \frac{p_{at} - p_0'}{\gamma} = 20 + \frac{10000 - 40000}{1000} = -10 \text{ მ.}$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ დინება მოხდება B რეზერვუარიდან A რეზერვუარისაკენ $H_0 = 10$ მ. დაწნევით. ამ შემთხვევაში სიჩქარე

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0}{438,98}} = 0,669 \text{ მ/წმ,}$$

ხოლო წყლის ხარჯი

$$Q = 0,07 \cdot 0,669 = 46,83 \text{ ლიტ/წმ.}$$

პიეზომეტრული დაწნევის წირის ასაგებად შევადგინოთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და ნებისმიერ $X-X$ კვეთებისათვის $a-a$ საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} + z_x + \Sigma h_{ex}$$

აქედან (რადგანაც $v_0 \approx 0$; $z_0 = H$)

$$\frac{p_x - p_0}{\gamma} = (H - z_x) - \left(\frac{v_x^2}{2g} + \Sigma h_{ex} \right). \quad (4)$$

ამ განტოლებით შეიძლება ავაგოთ პიეზომეტრული დაწნევის მრუდი (მე-5 ამოცანის მსგავსად).

1 შემთხვევისათვის $a-a$ სიბრტყიდან მოვზომოთ

$$H - \left(\frac{v_1^2}{2g} + \Sigma h_{e0-a} \right)$$

სიდიდე სადაც Σh_{e0-a} წარმოადგენს დაწნევის დანაკარგების ჯამს $0-0$ ზედაპირიდან მილსადენის შვეული ნაწილისა და $a-a$ სიბრტყის გადაკვეთამდე.

მილსადენის $1-1$ კვეთამდე დაწნევის დანაკარგი აღვნიშნოთ Σh_{e0-1} და $a-a$ სიბრტყიდან მოვზომოთ პიეზომეტრული დაწნევის $H - \left(\frac{v_1^2}{2g} + \Sigma h_{e0-1} \right)$ სიმაღლე.

$1-1$ კვეთში მილსადენის გაფართოების გარდა მხედველობაში უნდა მივიღოთ დაწნევის დანაკარგი ნაკადის უეცრივ გაფართოებაზე (h_e)_{ა.ბ.} პიეზომეტრული სიმაღლის წარმოსადგენად $1-1$ კვეთში მილსადენის გაფართოების შემდეგ $a-a$ სიბრტყის ზემოთ უნდა მოიზომოს მონაკვეთი:

$$H - \left[\frac{v_2^2}{2g} + \Sigma h_{e0-1} + (h_e)_{ა.ბ.} \right].$$

B აუზის ზედაპირისათვის, რომელზედაც დამთხვეულია ა-ა სა-
ფარდი სიბრტყე

$$\frac{P_z - P_0}{\gamma} = 0,$$

ვინაიდან

$$P_z = P_0 = P_{ატ.}$$

დაწნევის წირი (მრული) მიიღებს (1) სახეს (იხ. ნახ. 26).

მე-2 შემთხვევისათვის პიეზომეტრული დაწნევის წირის ასაგებად ანალოგიურად მოვიქცეთ, ოღონდ H დაწნევის ნაცვლად, მეორე შემთხვევის თავისებურების გამო, უნდა განვიხილოთ დაწნევა:

$$H_0 = H + \frac{P_0 - P_{ატ.}}{\gamma} = 20 + 5 = 25 \text{ მ.}$$

ანალოგიური აგების საფუძველზე პიეზომეტრული დაწნევის წირი მიიღებს (2) სახეს (იხ. ნახ. 26).

მე-3 შემთხვევისათვის ვინაიდან

$$P_0 < P_{ატ.},$$

ამიტომ

$$\frac{P_0 - P_{ატ.}}{\gamma} = -4 \text{ მ.}$$

ხოლო წინა შემთხვევების ანალოგიურად H ნაცვლად მივიღებთ:

$$H_0 = H + \frac{P_0 - P_{ატ.}}{\gamma} = 20 - 4 = 16 \text{ მ.}$$

პიეზომეტრული დაწნევის წირი მიიღებს (3) სახეს.

მე-4 შემთხვევისათვის ვინაიდან

$$\frac{P_{ატ.} - P_0'}{\gamma} = \frac{10000 - 18000}{1000} = -8 \text{ მ,}$$

ამიტომ დაწნევა H შემცირდება 8 მეტრით, ე, ი.

$$H_0 = H + \frac{P_{ატ.} - P_0'}{\gamma} = 12 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, B აუზის ზედაპირიდან პიეზომეტრული დაწნევა უნდა მოიზომოს 8 მეტრის სიმაღლეზე (იხ. ნახ. 26). წირი მიიღებს (4) სახეს.

მე-5 შემთხვევისათვის

$$H_0 = H + \frac{P_{ატ.} - P_0'}{\gamma} = 20 + 6 = 26 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, B რეზერვუარის ვაკუუმეტრში წყლის ზედაპირი დაიწვეს 6 მეტრით. პიეზომეტრული დაწნევის წირი მიიღებს (5) სახეს.

მე-6 შემთხვევისათვის A რეზერვუარის ზედაპირიდან მოვზომოთ $\frac{P_0 - P_{აბ}}{\gamma} = 4$ მ. სიმაღლე, ხოლო B რეზერვუარის ზედაპირიდან კი

$$\frac{P_{აბ} - P'_0}{\gamma} = 2,0 \text{ მ.}$$

მოქმედი დაწნევა ამ შემთხვევაში

$$H_0 = H + \frac{P_0 - P_{აბ}}{\gamma} + \frac{P_{აბ} - P'_0}{\gamma} = 26 \text{ მ.}$$

ე. ი. მივიღებთ იგივე დაწნევას, რაც მე-5 შემთხვევაში გვქონდა.

პიეზომეტრული წირის აგება წინა შემთხვევების ანალოგიურია, ოღონდ იმ განსხვავებით, რომ სათანადო დაწნევის სიმაღლეები 6—6 კვების ზემოთ უნდა გადავზომოთ. პიეზომეტრული წირი მიიღებს (6) სახეს (იხ. ნახ. 26).

მე-7 შემთხვევისათვის A რეზერვუარის ზედაპირიდან ქვემოთ მოვზომოთ $\frac{P_{აბ} - P_0}{\gamma} = 2,5$ მ სიმაღლე, B აუზის ზედაპირიდან კი

$$\frac{P'_0 - P_{აბ}}{\gamma} = 11 \text{ მ.}$$

ამ შემთხვევაში

$$H_0 = H + \frac{P_0 - P_{აბ}}{\gamma} + \frac{P_{აბ} - P'_0}{\gamma} = 20 - 2,5 - 11 = 6,5 \text{ მ.}$$

დაწნევის წირის აგება მოხდება ანალოგიურად, ოღონდ სათანადო პიეზომეტრული სიმაღლეები, ამ შემთხვევაში, 7—7 სიბრტყის ზემოთ უნდა გადავზომოთ. დაწნევის წირი მიიღებს (7) სახეს.

მე-8 შემთხვევისათვის

$$H_0 = H + \frac{P_{აბ} - P'_0}{\gamma} = 20 - 20 = 0.$$

მაშასადამე, მოქმედი წნევა ნულის ტოლია. პიეზომეტრული წირი იქნება ა—ა საფარდი სიბრტყის სწვრივი წირი 8—8; იგი წარმოადგენს ჰიდროსტატიკური წნევის წირს (იხ. ნახ. 26).

მე-9 შემთხვევისათვის დაწნევის წირის აგების წესი მე-7 შემთხვევის ანალოგიურია.

მე-10 შემთხვევისათვის

$$H = \frac{v_1^2}{2g} + \Sigma h_e.$$

წირის აგების წესი წინა ამოცანის ანალოგიურია.

2'-2' კვეთისათვის:

$$\frac{p_0 - p_2}{\gamma} = 0.$$

ვინაიდან

$$p_0 = p_2 = p_{at}$$

წირი მიიღებს (10) სახეს.

მე-11 შემთხვევისათვის დაწნევის წირი აივება შემდეგი წესით: B აუზის ზედაპირიდან მოვზომოთ $\frac{p_0' - p_{at}}{\gamma} = 30$ მ. სიმაღლე. ამ სიმაღლეზე მიღებული 11—11 სიბრტყიდან ცნობილი წესით ავაგოთ წნევის წირი (იხ. ნახ. 26, წირი 11), ან რაც იგივეა, 0—0 ზედაპირიდან ზემოთ გადავზომოთ

$$H_0 = \frac{p_0' - p_{at}}{\gamma} - H = 10 \text{ მ.}$$

წყლის მოძრაობა H_0 დაწნევით B აუზიდან A აუზისაკენ წარიმართება.

დაწნევის წირის აგების წესი აღრე განხილული მაგალითების ანალოგიურია, ოღონდ პიეზომეტრიული დაწნევის სიმაღლეები უნდა გადავზომოთ 0—0 სიბრტყის ზემოთ B რეზერვუარის მხრიდან.

ამოცანა № 38. მოცემულია დახშული კურკელი. მის თავისუფალ ზედაპირზე ხელოვნურად განვითარებულია წნევა $p_0 = 1,6$ ატ. რეზერვუარიდან გამოყვანილია იელადი კვეთის მილსადენი. მილსადენის პირველი უბნის დიამეტრი $d_1 = 0,40$ მ, სიგრძე $l_1 = 50$ მ. 1—1 კვეთის შემდეგ მილის დიამეტრი იცვლება და უდრის: $d_2 = 0,10$ მ, მეორე უბნის სიგრძე $l_2 = 20$ მ, 2—2 კვეთიდან აილის დიამეტრი $d_3 = 0,30$ მ, მესამე უბნის სიგრძე $l_3 = 40$ მ, დაწნევა რეზერვუარში $H = 4,0$ მ. (იხ. ნახ. 27).

განვსაზღვროთ გამოდინების სიჩქარე v_3 , წყლის ხარჯი Q და ავაგოთ პიეზომეტრიული დაწნევის წირი მილსადენის მთელ სიგრძეზე.

ამოხსნა. შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 0—0 და 3—3 კვეთებისათვის ა—ა სათარღი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3 + \sum h_{\Sigma}$$

სადაც

$$v_0 \approx 0; z_0 = H; z_3 = 0; p_3 = p_{at}$$

შემომოყვანილ მნიშვნელობათა ფორმულაში ჩასმის შედეგად მივიღებთ:

$$H_0 = H + \frac{p_0 - p_{at}}{\gamma} = \frac{v_3^2}{2g} + \sum h_{\Sigma} \quad (1)$$

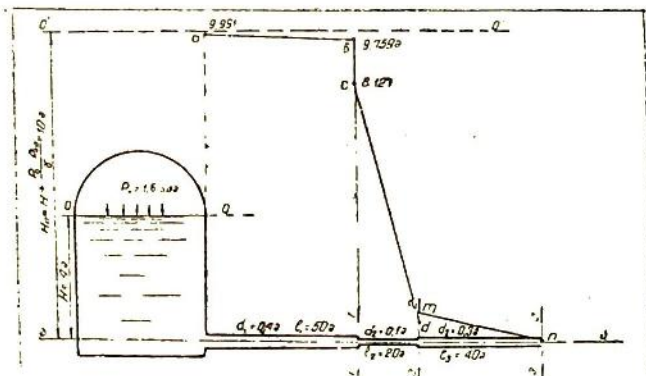
ახლა გავარკვეით დაწნევის დანაკარგების ჯამი.

1. დაწნევის დანაკარგი ნაკადის შესვლაზე მილსადენში

$$h_{e_1} = \xi_1 \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \frac{v_1^2}{2g}$$

2. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის l_1 სიგრძეზე

$$h_{e_2} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 0,213 \cdot \frac{50}{0,4} \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 2,662 \cdot \frac{v_1^2}{2g}$$



ნახ. 27.

3. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის პირველი უბნიდან მეორე უბანში გადასვლაზე

$$h_{e_3} = \xi_2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,25 \cdot \frac{v_2^2}{2g}$$

4. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის l_2 სიგრძეზე

$$h_{e_4} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 0,025 \cdot \frac{20}{0,10} \cdot \frac{v_2^2}{2g} = 5,0 \frac{v_2^2}{2g}$$

5. დაწნევის დანაკარგი ნაკადის შეცვარ გაფართოებაზე მილსადენის მეორე უბნიდან მესამე უბანზე გადასვლის დროს

$$h_{e_5} = \frac{(v_2 - v_3)^2}{2g} = \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_3}\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = 0,79 \frac{v_2^2}{2g}$$

6. დაწნევის დანაკარგები მილსადენის l_3 სიგრძეზე

$$h_{e_6} = \lambda_3 \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 0,022 \cdot \frac{40}{0,30} \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 2,93 \frac{v_3^2}{2g}$$

ყველა სახის დანაკარგების ჯამი

$$\Sigma h_{\text{გ}} = (0,5 + 2,66) \frac{v_1^2}{2g} + (0,25 + 5,00 + 0,79) \frac{v_2^2}{2g} + 2,93 \frac{v_3^2}{2g}.$$

ამ ტოლობაში v_1 და v_2 სიჩქარეები გამოვხატოთ v_3 სიჩქარით და დაწინევის დანაკარგების ჯამის მიღებული მნიშვნელობა შევიტანოთ (1) განტოლებაში:

$$\begin{aligned} H_0 &= \frac{v_3^2}{2g} + \left[3,16 \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + 6,04 \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + 2,93 \right] \cdot \frac{v_3^2}{2g} = \\ &= (1 + 544,34) \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 545,34 \cdot \frac{v_3^2}{2g}, \end{aligned}$$

აქედან

$$v_3 = \sqrt{\frac{2g \cdot H_0}{545,34}} = 0,60 \text{ მ/წმ},$$

სადაც

$$H_0 = H + \frac{P_0 - P_{\text{ატ}}}{\gamma} = 4 + \frac{16000 - 10000}{1000} = 10 \text{ მ}.$$

გამოდინებული ნაკადის ხარჯი

$$Q = \omega_3 \cdot v_3 = 0,042 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 42 \text{ ლ/წმ}.$$

პიეზომეტრული დაწინევის წირის ასაგებად საჭიროა წინასწარ-ვიანგარიშით სათანადო სიჩქარის დაწინეები:

$$\frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 0,0058 \text{ მ}.$$

ანალოგიურად:

$$\frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 1,486 \text{ მ},$$

სადაც

$$\frac{v_3^2}{2g} = 0,0183 \text{ მ}.$$

პიეზომეტრული დაწინევის სიმაღლეების საანგარიშით მილსადენის ნებისმიერ კვეთში, გამოვიყენოთ შემდეგი გამოსახულება:

$$h_i = \frac{P_i - P_{\text{ატ}}}{\gamma} = H_0 - \left(\frac{v_i^2}{2g} + \Sigma h_{\text{გ}i} \right).$$

პიეზომეტრული დაწინევის სიმაღლეები გამოვთვალოთ შემდეგი კვეთებისათვის:

1. მილსადენის შესასვლელი კვეთისათვის

$$h_1 = H_0 - \left(\frac{v_1^2}{2g} + h_{e1} \right) = 10 - (1,0 + 0,5) \frac{v_1^2}{2g} = 9,991 \text{ მ.}$$

2. 1-1 კვეთისათვის მილსადენის პირველი უბნის ბოლოში

$$h_2 = H_0 - \left(\frac{v_1^2}{2g} + h_{e1} + h_{e2} \right) = H_0 - (1,0 + 0,5 + 2,662) \frac{v_1^2}{2g} = 9,758 \text{ მ.}$$

3. 1-1 კვეთისათვის მილსადენის მეორე უბნის მხრიდან (ნაკადის შევიწროების შემდეგ)

$$\begin{aligned} h_3 &= H_0 - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \Sigma h_e \right) = H_0 - \frac{v_2^2}{2g} - 0,5 \frac{v_1^2}{2g} - 2,66 \frac{v_1^2}{2g} - 0,25 \frac{v_2^2}{2g} = \\ &= H_0 - 1,25 \frac{v_1^2}{2g} - 3,16 \frac{v_1^2}{2g} = 10 - 1,855 - 0,0183 = 8,127 \text{ მ.} \end{aligned}$$

4. 2-2 კვეთისათვის მილსადენის მეორე უბნის ბოლოში

$$h_4 = H_0 - \left[\frac{v_2^2}{2g} + h_{e1} + h_{e2} + h_{e3} + h_{e4} \right] = 10,0 - 9,31 = 0,69 \text{ მ.}$$

5. 2-2 კვეთისათვის მილსადენის მესამე უბნის დასაწყისში

$$\begin{aligned} h_5 &= H_0 - \left(\frac{v_3^2}{2g} + \Sigma h_{e1-5} \right) = H_0 - \left(\frac{v_3^2}{2g} + h_{e1} + h_{e2} + h_{e3} + h_{e4} + h_{e5} \right) = \\ &= 10 - (0,0183 + 0,0029 + 0,0154 + 0,372 + 7,43 + 1,172) = \\ &= 10 - 9,011 = 0,989 \text{ მ.} \end{aligned}$$

6. 3-3 კვეთში წნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია და ამიტომ $h_6 = 0$. პიეზომეტრული დაწნევის წირი წარმოადგენს *abcdmn* ტეხილს.

ამოცანა № 39. ნაკადის ხარჯის განსაზღვრას მილსადენში დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ნაკადის ხარჯის განმსაზღვრელ მოწყობილობას (იხ. ნახ. 28) ვენტურის წყალმზომი ეწოდება.

d_1 დიამეტრის მილი ორი კონუსური უბნის საშუალებით უერთდება მოკლე ცილინდრულ მილს (ჩანადგარს), რომლის დიამეტრი d_2 ტოლია. ამავე დროს $d_1 > d_2$.

გულისხმობენ, რომ ჩანადგარში დაწნევის დანაკარგი მეტად მცირეა და ამიტომ მას მხედველობაში არ ღებულობენ.

განსახილველი მილსადენები აღჭურვილია *A* და *B* პიეზომეტრული მილაკებით (იხ. ნახ. 28). ამ პიეზომეტრების ჩვენების მიხედვით განვსაზღვროთ მილსადენის ხარჯი. თუ მოცემულია: $d_1 = 0,40$ მ, $d_2 = 0,10$ მ, $h = 0,50$ მ. მილსადენი ჰორიზონტალურია.

ამოხსნა. ამოცანის გადასაწყვეტად დავწეროთ ბერნულის განტოლება 1-1 და 2-2 კვეთებისათვის ა-ა საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2,$$

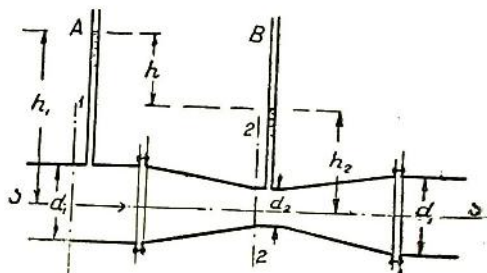
ხოლო ვინაიდან

$$z_1 = z_2 = 0,$$

ამიტომ

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h_1 - h_2 =$$

$$= h = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}, \quad (1)$$



ნახ. 28.

სადაც

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma} \quad \text{და} \quad h_2 = \frac{p_2}{\gamma}.$$

პიეზომეტრული სიმაღლეებია სათანადო კვეთებში. სიჩქარე v_2 გამოვხატოთ v_1 :

$$v_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} \cdot v_1 = v_1 \cdot \frac{d_1^2}{d_2^2}.$$

მაშინ

$$h = \frac{v_1^2}{2g} \left[\left(\frac{d_1^2}{d_2^2} \right)^2 - 1 \right],$$

სიჩქარე

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh}{\frac{d_1^4}{d_2^4} - 1}}.$$

წყლის ხარჯი

$$Q = k \cdot \omega_1 \sqrt{2gh},$$

სადაც

$$k = \frac{1}{\sqrt{\frac{d_1^4}{d_2^4} - 1}} = \frac{1}{\sqrt{a^4 - 1}} \quad \text{და} \quad a = \frac{d_1}{d_2}.$$

k ეწოდება ვენტურის წყალმზომის მუდმივა.

წყლის ხარჯი შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:

$$Q = k_0 \cdot \sqrt{h},$$

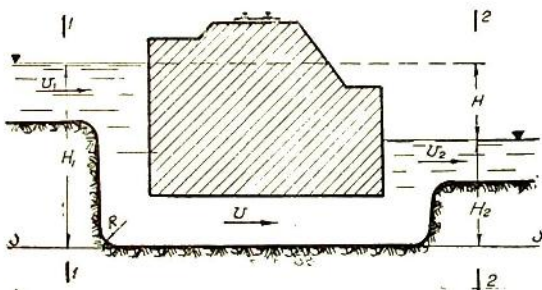
სადაც $k_0 = k \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2g} = 0,0352$

$$Q = 0,0352 \cdot \sqrt{0,5} = 0,0249 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 24,9 \text{ ლიტ}/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 40. არხის ტრასა იკვეთება რკინიგზის ხაზთან. საჭიროა წყლის დიუქერის საშუალებით გაყვანა რკინიგზის ქვეშ.

არხში წყლის ხარჯი ტოლია $Q = 2,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$, დიუქერის (მილის) სიგრძე $L = 20 \text{ მ}$, დაწნევის დანაკარგი დიუქერში H არ უნდა აღემატებოდეს $0,10 - 0,08 \text{ მ}$.

ვიზოვით მილის დიამეტრი D და ნაკადის სიჩქარე v , თუ დასაშვები სიჩქარე დიუქერში $v \leq 1,20 \text{ მ}/\text{წმ}$ (იხ. ნახ. 29).



ნახ. 29.

ამოხსნა. საკითხის გადასაწყვეტად დავწეროთ ბერნულის განტოლება არხში წყლის ზედა და ქვედა დონეთა 1-1 და 2-2 კვეთებისათვის ა-ა საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \Sigma h_r.$$

შემოაღნიშნულ განტოლებაში $v_1 = v_2$ ვინაიდან არხის მთელ სიგრძეზე სიჩქარეები მუდმივია; გარდა ამისა:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = H_1, \quad z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = H_2,$$

ხოლო

$$H_1 - H_2 = H.$$

მიღებულ მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ, მივიღებთ:

$$H = \Sigma h_e. \quad (1)$$

ახლა ვიანგარიშოთ სათანადო დაწნევის დანაკარგები:

1. დაწნევის დანაკარგი ნაკადის შესვლაზე მილში

$$h_{e1} = \xi_1 \cdot \frac{v^2}{2g},$$

2. დაწნევის დანაკარგი დიუქერის ორ მოხვეულ უბანზე ($R=0,5$ მ)

$$h_{e2} = 2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{v^2}{2g},$$

3. ხახუნით გამოწვეული დაწნევის დანაკარგი მილის მთელ სიგრძეზე

$$h_{e3} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

4. დაწნევის დანაკარგი, რომელიც დაკავშირებულია ნაკადის დიუქერიდან გამოსვლასთან

$$h_{e4} = \frac{(v - v_2)^2}{2g} \approx 0,$$

ვინაიდან

$$v \approx v_2.$$

ახლა ეს მნიშვნელობები (1) განტოლებაში ჩავსვათ და მივიღებთ (ξ_1 , ξ_2 და λ გაირკვევა ჩვეულებრივი წესით):

$$H = \left(0,5 + 0,5 + \frac{0,40}{D} \right) \frac{v^2}{2g}. \quad (2)$$

ამ განტოლების მიხედვით ანგარიში მოვახდინოთ შემდეგი წესით: ვთქვათ მილის დიამეტრი $D=1,0$ მ. დიამეტრის ამ მნიშვნელობისათვის, როდესაც Q წინასწარ ცნობილია გავარკვიოთ v და H :

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi D^2} = 2,548 \text{ მ/წმ},$$

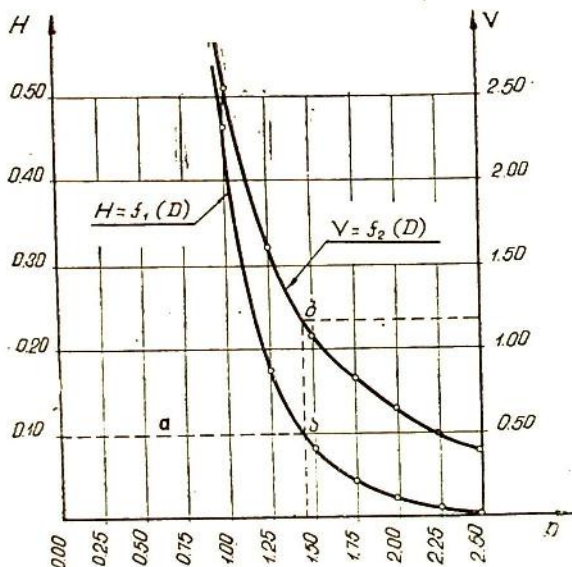
$$H = \left(1 + \frac{0,40}{D} \right) \frac{v^2}{2g} = 1,40 \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,465 \text{ მ}.$$

მაშასადამე, ჩვენთვის უკვე ნათელია, რომ H დაწნევა და v სიჩქარე, როდესაც $D=1,0$ მ ვერ აკმაყოფილებს პირობას ($0,465 > 0,10$ და $2,548 > 1,2$), ე. ი. საჭიროა დიამეტრის იმდენად გადიდება, რომ დაკმაყოფილდეს ამოცანის პირობა.

გამოთვალეთ ω , v და H სიდიდეები დიამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის და ანგარიშის შედეგი მოვათავსოთ სათანადო ცხრილში.

№№	D მ	ω მ ²	v მ/წმ	H მ
1	1.00	0.785	2,548	0.465
2	1.25	1.227	1,630	0.176
3	1.50	1.767	1,180	0.083
4	1.75	2.405	0,832	0.044
5	2.00	3.142	0,632	0.025
6	2.25	3.976	0.503	0.013
7	2.50	4.908	0.408	0.0085

ზემოთ მოცემული ცხრილიდან უკვე აღვიღია სასურველი სიჩქარის შესაბამისი D და H დადგენა.



ნახ. 30.

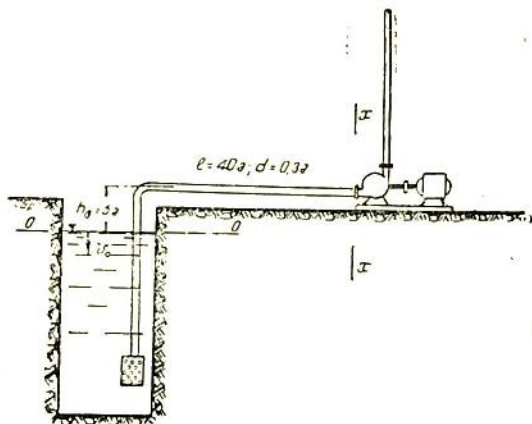
ზუსტი მნიშვნელობების მისაღებად სასურველია ავაგოთ მრუდები: $H = f_1(D)$, $v = f_2(D)$ (იხ. ნახ. 30).

მაგალითად $H=0,10$ მ მნიშვნელობისათვის განვსაზღვროთ შესაბამისი ψ და D .

ამისათვის $H=0,10$ მ მნიშვნელობიდან გავატაროთ აბსცისთა ღერძის სწვრივი ხაზი (იხ. ნახ. 30), ვიდრე არ გადაიკვეთება $H=f_1(D)$ მრუდი. გადაკვეთის წერტილი (ა) დავაგეგმილოთ აბსცისთა ღერძზე და ამოვიკითხოთ შესაბამისი მნიშვნელობა $D=1,45$ მ. იმავე (ა) წერტილიდან აღვმართოთ შვეული წირი, ვიდრე იგი (ბ) წერტილში არ გადაკვეთავს $\psi=f_2(D)$ მრუდს. ამ წერტილიდან გავატაროთ აბსცისთა ღერძის სწვრივი წირი, ვიდრე არ გადაკვეთავთ (ψ) ორდინატთა ღერძს. გადაკვეთის წერტილი მოგვცემს: $\psi=1,175$ მ/წმ.

როგორც ვხედავთ, მიღებული დიამეტრის დროს, მილში განვითარებული სიჩქარე არ აღემატება დასაშვებ მნიშვნელობას ($1,175 < < 1,20$ მ/წმ).

ამოცანა № 41. მოცემულია ტუმბოს შემწოვი მილი, რომლის დიამეტრი $d=0,30$ მ, მილის სიგრძე $l=40$ მ, წყლის ხარჯი $Q=0,120$ მ³/წმ. ტუმბოს ღერძი მდებარეობს ჭაში წყლის დონიდან $h_0=5,0$ მ სიმაღლეზე (იხ. ნახ. 31), ვაკუუმის დასაშვები სიმაღლე $h_{\text{ვაკ}}=7,0$ მ.



ნახ. 31.

გავარკვიოთ სამი მთავარი საკითხი:

1. ვაკუუმის სიდიდე შემწოვი მილის ნებისმიერ X—X კვეთში;
2. ტუმბოს ღერძის მდებარეობა, როდესაც ცნობილია ვაკუუმის

სიმაღლე და

3. გავიანგარიშოთ მილის დიამეტრი D .

ნ. პ. ჯიქია

ამოხსნა. 1. ვაკუუმის სიმაღლის საანგარიშოდ დაწვეროთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და $X-X$ კვეთებისათვის იმავე $0-0$ საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} + z_x + \Sigma h_{\ell}$$

ხოლო რადგან

$$v_0 \approx 0, v_x = v, z_0 = 0, z_x = h_{\delta}, p_0 = p_{at},$$

ამიტომ

$$h_{\text{ვაკ.}} = \frac{p_{at} - p_x}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} + h_{\delta} + \Sigma h_{\ell}$$

ვიანგარიშით სხვადასხვა სახის დაწნევის დანაკარგები:

ა) წყლის შესვლაზე მიღში (ბადის გავლით)

$$h_{\ell_1} = \xi_1 \cdot \frac{v^3}{2g} = 5 \cdot \frac{v^2}{2g}$$

სადაც $\xi_1 = 5$ (იხ. ცნობარი),

ბ) მილსადენის მოხვეულ უბანზე

$$h_{\ell_2} = \xi_2 \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,138 \frac{v^2}{2g}$$

გ) მილსადენის l სიგრძეზე

$$h_{\ell_3} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,0216 \cdot \frac{40}{0,3} \cdot \frac{v^2}{2g} = 2,88 \frac{v^2}{2g}$$

სხვადასხვა სახის დანაკარგების შეჯამების შემდეგ მივიღებთ:

$$\Sigma h_{\ell} = 8,018 \frac{v^2}{2g}$$

სიჩქარე მილსადენში

$$v = \frac{Q}{\omega} = 1,7 \text{ მ/წმ,}$$

ვაკუუმის სიმაღლე

$$h_{\text{ვაკ.}} = h_{\delta} + (1 + 8,018) \cdot \frac{v^2}{2g} = 6,33 \text{ მ.}$$

მიღებული ვაკუუმის სიმაღლე დასაშვებია.

2. გავარკვიოთ ტუმბოს ღერძის მდებარეობა, როდესაც წინასწარ მოცემულია $h_{\text{ვაკ.}} = 6,0$ მ:

$$h_{\text{ვაკ.}} = \frac{p_{at} - p_x}{\gamma} = \frac{v^2}{2g} + h_{\delta} + \Sigma h_{\ell}$$

აქნდან

$$h_{\delta} = h_{\text{ვკ}} - \left(\frac{v^2}{2g} + \Sigma h_{\Sigma} \right) = h_{\text{ვკ}} - 9,018 \frac{v^2}{2g} = 4,67 \text{ მ.}$$

ამრიგად, ტუმბოს ღერძი უნდა დავაყენოთ ქაში წყლის ზედაპირიდან 4,67 მ სიმაღლეზე.

3. დიამეტრის ანგარიში უნდა ჩატარდეს შემდეგი წესით: დავწეროთ გამოსახულება ვაკუუმის სიმაღლისათვის

$$h_{\text{ვკ}} = \frac{v^2}{2g} + h_{\delta} + \Sigma h_{\Sigma} = h_{\delta} + \left(1 + \xi_1 + \xi_2 + \lambda \frac{l}{d} \right) \cdot \frac{v^2}{2g},$$

ამიტომ სიჩქარე

$$v = \sqrt{\frac{2g(h_{\text{ვკ}} - h_{\delta})}{1 + \xi_1 + \xi_2 + \lambda \cdot \frac{l}{d}}},$$

ხარჯი

$$Q = \omega \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_1 + \xi_2 + \lambda \cdot \frac{l}{d}}} \cdot \sqrt{2g(h_{\text{ვკ}} - h_{\delta})},$$

მაგრამ თუ აღვნიშნავთ:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_1 + \xi_2 + \lambda \cdot \frac{l}{d}}},$$

მაშინ საბოლოოდ

$$Q = \varphi \cdot \omega \cdot \sqrt{2g(h_{\text{ვკ}} - h_{\delta})}. \quad (1)$$

დიამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ვიანგარიშოთ φ , ω და Q . მიღებული მონაცემებით შევადგინოთ ცხრილი (ქვემოთ მოცემული ფორმის მიხედვით).

№№	d	φ	v	ω	Q

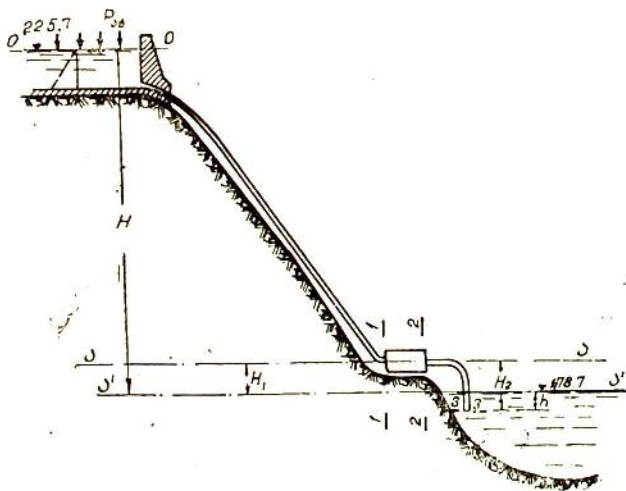
ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგოთ მრუდი:

$$d = f(Q),$$

ხოლო ამ მრუდიდან უკვე შეგვიძლია ვიპოვოთ დიამეტრის ის მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამება მოცემულ წყლის ხარჯს $Q=0,12$ მ³/წმ.

სათანადო რიცხვითი ანგარიშების წარმოებას ცხრილის შესადგენად და საკითხის ამოსახსნელად ვანდობთ მკითხველს.

ამოცანა № 42. ჰიდროელსადგურის სადაწნეო მილსადენის სიგრძე $L=160$ მ, დიამეტრი $D=1,60$ მ. მილსადენით მიწოდებული ნაკადი ამოდრავებს თარაზულღერძიან ტურბინს. ტურბინის მუშა თვლის გავლით წყლის ნაკადი გადადის შემწოვ მილში და შემდეგ უერთდება სადგურის ქვედა წყლის დონეს; შემწოვი მილის სიგრძე $L_1=6,15$ მ, შესასვლელი კვეთის დიამეტრი $D_1=1,30$ მ, გამოსასვლელი კვეთისაკი $D_2=2,10$ მ. საწნეო აუზის წყლის ზედაპირის აბსოლუტური ნიშნული $225,7$ მ ტოლია, ქვედა დონის $178,7$ მ, $H=47$ მ, $H_2=4,5$ მ, $h=0,5$ მ, წყლის ხარჯი $Q=6,66$ მ³/წმ, სიჩქარე მილსადენში $v=3,30$ მ/წმ (იხ. ნახ. 32).



ნახ. 32.

ვიანგარიშოთ:

1. დაწინევის სიდიდე, რომელიც გამოიყენება ტურბინის მიერ ჰიდროავლიკურ წინაღობათა მხედველობაში მიუღებლად და ფაქტიური დაწინევა;
2. ვაკუუმის სიდიდე შემწოვ მილში.

ამოხსნა. დაწნევის სიდიდის დასადგენად შევადგინოთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და $1-1$ კვეთებისათვის $a-a$ საფარდი სიბრტყის მიმართ (წინალობას მხედველობაში არ ვიღებთ). საწნეო აუზი ამ შემთხვევაში წარმოვიდგინოთ სასრულო ზომის რეზერვუარის სახით. მაშინ ბერნულის განტოლება დაიწერება შემდეგნაირად:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1. \quad (1)$$

ბერნულის განტოლება დაეწეროთ აგრეთვე $2-2$ და $3-3$ კვეთებისათვის $a'-a'$ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3. \quad (2)$$

(1) განტოლების წევრი $z_1=0$, რადგან $a-a$ სიბრტყე ემთხვევა $1-1$ კვეთის სიმძიმის ცენტრს; $z_0=H-H_1$; $v_0 \approx 0$. (1) განტოლების მარჯვენა ნაწილი გამოხატავს ნაკადის სრულ ხვედრით ენერგიას $1-1$ კვეთში

$$\left(\mathcal{E}_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} \right).$$

(2) განტოლებაში $z_2=H_1$; $z_3=-h$; ასე რომ (2) განტოლება შემდეგნაირად დაიწერება:

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} - (H_1+h). \quad (2)$$

ამ განტოლების მარცხენა ნაწილი წარმოადგენს სრულ ხვედრით ენერგიას $2-2$ კვეთში

$$\left(\mathcal{E}_2 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \right).$$

$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2$ სხვაობა გამოხატავს კუთრი ენერგიის იმ ნაწილს, რომელიც იდეალური სითხის შემთხვევაში გადაეცემა ნაკადიდან ტურბინის ფრთებს (ჩიხბებს). თუ ამ სხვაობას აღვნიშნავთ $\Delta \mathcal{E}$ -თი, მაშინ

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + (H-H_1) - \left[\frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} - (H_1+h) \right] = \\ &= \frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + H - H_1 - \frac{v_3^2}{2g} - \frac{p_3}{\gamma} + H_1 + h. \end{aligned}$$

აქ მივიღოთ $v_0 \approx 0$; $v_3 \approx 0$; $p_3 = p_{ატ.} + \gamma h$; $\frac{p_3}{\gamma} = \frac{p_{ატ.}}{\gamma} + h$ და $p_0 = p_{ატ.}$ ახლა ჩავსვათ ეს მნიშვნელობანი ბოლო განტოლებაში და მივიღებთ:

$$\Delta y = \frac{P_{\text{ახ}}}{\gamma} + H - H_1 - \frac{P_{\text{ახ}}}{\gamma} - h + H_1 + h = H,$$

მ. ი.

$$\Delta y = H.$$

როგორც ვხედავთ, იდეალური სითხის შემთხვევაში ტურბინა იყენებს ჰეს-ის ძალოვანი კვანძის სრულ დაწნევას H , რომელიც წარმოადგენს საწნეო აუზისა და ქვედა წყლის დონეთა შორის ვერტიკალურ მანძილს.

ტურბინის ფაქტიური დაწნევის გამოსარკვევად, რომელიც საჭიროა სადგურის სიმძლავრის საანგარიშოდ, მხედველობაში უნდა მივიღოთ დაწნევის დანაკარგები არსებულ ჰიდროავლიკურ წინაღობათა გადალახვაზე.

1. დაწნევის დანაკარგი ნაკადის გავლის დროს გისოსში (საწნეო აუზში, მილსადენში შესვლამდე):

$$h_{e1} = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g},$$

სადაც v_0 არის ნაკადის ე. წ. მოსვლის სიჩქარე, ხოლო v_1 — გისოსში განვითარებული სიჩქარე და იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$v_1 = \frac{a+d}{d} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{Q}{h \cdot l},$$

სადაც a არის გისოსის ღეროებს შორის მანძილი და 0,10 მ უდრის,

d — გისოსის ღეროს დიამეტრი, $d=0,04$ მ,

η — მარგი ქმედების კოეფიციენტი, $\eta=0,811$,

Q — გისოსში გავლილი წყლის ხარჯი, $Q=6,66$ მ³/წმ.

l — გისოსის ღეროების სიგრძე, $l=3,98$ მ.

ამრიგად ანგარიშის შედეგად მივიღებთ: $v_1=2,045$ მ/წმ და $v_0 = \frac{Q}{\omega} = 0,523$ მ/წმ, ხოლო საბოლოოდ:

$$h_{e1} = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g} = 0,20 \text{ მ.}$$

ჰიდროენერგეტიკული პრაქტიკის უმეტეს შემთხვევებში ჰეს-ის საწნეო მილსადენს არ გააჩნია მოხვეული უბნები, ან სხვა რაიმე მნიშვნელოვანი ადგილობრივი წინაღობა, ამიტომ ასეთ შემთხვევებში ნ. ჰავლოვსკის რჩევით, საკმარისია გამოვთვალოთ დაწნევის დანაკარგები მილსადენის სიგრძეზე:

$$h_{e2} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,11 \text{ მ.}$$

ნაკადის ჯამური დაწნევის დანაკარგი საწნეო მილსადენში

$$\Sigma h_e = h_{e_1} + h_{e_2} = 1,31 \text{ მ.}$$

ნაკადის ფაქტიური მოქმედი დაწნევა, რომელიც გამოიყენება სადგურის ძალოვან დანადგარზე

$$H' = H - \Sigma h_e = 47,0 - 1,31 = 45,69 \text{ მ.}$$

ჩვენს მიერ ზემოთ განხილული დაწნევის დანაკარგების ანგარიშის დროს მხედველობაში არ მიგვიღია დანაკარგები ტურბინაში, შემწვოვ მილში და სხვა. ეს დანაკარგები მხედველობაში მიიღებინა სადგურის სიმძლავრის გაანგარიშების დროს, რომელსაც ამ ამოცანაში არ ვიხილავთ.

ახლა გავარკვიოთ, არსებობს თუ არა შემწვოვ მილში ვაკუუმი და თუ არსებობს, სცილდება თუ არა იგი დასაშვებ ზღვარს.

ამ მიზნით შევადგინოთ ბერნულის განტოლება ნაკადის 2-2 და 3-3 კვეთებისათვის ა'-ა' საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + z_3 + \Sigma h_e,$$

სადაც

$$z_2 = H; \quad z_3 = -h.$$

ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + H_1 = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} - h + \Sigma h_e.$$

აქედან:

$$\frac{p_3 - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_3^2}{2g} + H_1 + h - \Sigma h_e,$$

ხოლო როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ:

$$\frac{p_3}{\gamma} = \frac{p_{at}}{\gamma} + h$$

და ამიტომ:

$$\frac{p_{at} - p_2}{\gamma} + h = \frac{v_2^2 - v_3^2}{2g} + H_1 + h - \Sigma h_e,$$

ანუ, ვაკუუმის სიმაღლე 2-2 კვეთში

$$\frac{p_{at} - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_3^2}{2g} + H_1 - \Sigma h_e. \quad (3)$$

როგორც ვხედავთ, ამ განტოლების მარჯვენა ნაწილი დადებითი

სიდიდეა, რადგანაც H_1 დადებითია, $v_2 > v_3$ და Σh_e შედარებით მცირე სიდიდეა.

ვიანგარიშით Σh_e .

1. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მოხვეულ უბანზე (მოხვეულობის რადიუსი $R=0,50$ მ)

$$h_{e1} = \xi \frac{v_2^3}{2g} = 0,170 \text{ მ,}$$

სადაც:

$$v_2 = \frac{Q}{\omega} = \frac{6,66}{4,3} = 5 \text{ მ/წმ,}$$

ხოლო

$$\xi = 0,133$$

2. დაწნევის დანაკარგი შემწოვ მილში ვიანგარიშით პროფ. ი. ესმანის ფორმულით:

$$h_{e2} = 0,008 \left(\frac{1}{D_1^4} - \frac{1}{D_2^4} \right) \frac{Q^2}{\text{tg} \frac{d}{2}},$$

სადაც

D_1 არის შემწოვი მილის შესასვლელი დიამეტრი, $D_1 = 1,31$ მ,

D_2 — შემწოვი მილის გამოსასვლელი დიამეტრი, $D_2 = 2,10$ მ,

α — მილის კონუსური განშლის კუთხე, $\alpha = 7^\circ 20'$

Q — წყლის ხარჯი რომელიც 6,66 მ/წმ უდრის.

ამ მნიშვნელობების საანგარიშო ფორმულაში ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$h_{e2} = 1,526 \text{ მ,}$$

ხოლო დაწნევის დანაკარგების ჯამი

$$\Sigma h_e = h_{e1} + h_{e2} = 0,173 + 1,526 = 1,70 \text{ მ.}$$

ებლა გავიგოთ გამოსასვლელი სიჩქარე v_3 :

$$v_3 = \frac{Q}{\omega_3} = 1,92 \text{ მ/წმ.}$$

შესაბამისი წევრების მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ (3) განტოლებაში ვიპოვნით შემწოვ მილში ვაკუუმის სიდიდეს:

$$h_{3\text{ვ.}} = \frac{p_{at} - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_3^2}{2g} + H_1 - \Sigma h_e = 3,41 \text{ მ.}$$

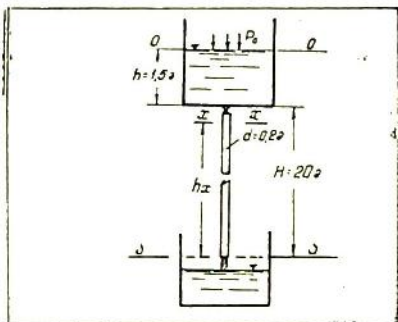
როგორც ვხედავთ ფაქტიურად განვითარებული ვაკუუმის სიდიდე არ აღემატება დასაშვებ (ზღვრულ) მნიშვნელობას, რადგანაც

$$h_{\text{ვაკ.}} = 3,71 < 7,0 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 43. ღია აუზიდან შვეული მილით წყალი გაედინება ქვემოთ განლაგებულ აუზში (იხ. ნახ. 33). მილის სიგრძე $H=20$ მ, წყლის სიღრმე აუზში $h=1,5$ მ. მილის დიამეტრი $d=0,20$ მ. მილის დასაწყისში ჩართულია ონკანი.

საჭიროა დავადგინოთ მილში წყლის მოძრაობის ხასიათი, მისი სიჩქარე და ხარჯი.

ამოხსნა. შვეადგინოთ ბერნულის განტოლება აუზის თავისუფალი ზედაპირის 0-0 და მილსადენის გამოსასვლელ ა-ა კვეთებისათვის, იმავე ა-ა საფარდ სიბრტყის მიმართ:



ნახ. 33.

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z + \Sigma h_e$$

რადგანაც

$$v_0 \approx 0, p_0 = p = p_{\text{ატ}}, z_0 = h + H \text{ და } z = 0$$

ბერნულის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$h + H = \frac{v^2}{2g} + \Sigma h_e. \quad (1)$$

ახლა ვიანგარიშოთ დაწნევის დანაკარგების ჯამი.

1. დაწნევის დანაკარგი ბილსადენის დასაწყისში მოწყობილი ონკანის ფარგლებში

$$h_{e_1} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

2. დაწნევის დანაკარგი განსახილველი მილსადენის სიგრძეზე

$$h_{e_2} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

სადაც ჩვენს შემთხვევაში $L=H$.

ჩავსვათ ეს მნიშვნელობები (1) განტოლებაში და მივიღებთ:

საიდანაც

$$h+H = \left(1 + \xi + \lambda \cdot \frac{L}{d}\right) \frac{v^2}{2g},$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{h+H}{1 + \xi + \lambda \cdot \frac{H}{d}}. \quad (2)$$

ებლა განვსაზღვროთ ვაკუუმის სიდიდე, რომელიც შეიძლება წარმოიშვას მილსადენის რომელიმე კვეთში.

შევადგინოთ ბერნულის განტოლება მილსადენის ნებისმიერ $x-x$ და $a-a$ კვეთებისათვის იგივე $a-a$ საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} + z_x = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z + \Sigma h_r.$$

ამ გამოსახულებაში

დაწნევის დანაკარგი $z_x = h_x$, $z = 0$ $p = p_a$ და $v_x = v$.

$$h_r = \lambda \cdot \frac{h_x}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

ამრიგად,

$$\frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} + h_x = \frac{v^2}{2g} + \frac{p_a}{\gamma} + \lambda \cdot \frac{h_x}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

აქედან ვაკუუმის სიმაღლე

$$h_{\text{ვაკ.}} = \frac{p_a - p_x}{\gamma} = h_x - \lambda \cdot \frac{h_x}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = h_x \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}\right).$$

ამ განტოლებაში (2) განტოლებიდან $\frac{v^2}{2g}$ მნიშვნელობა ჩავსვათ და მივიღებთ;

$$h_{\text{ვაკ.}} = h_x \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{h+H}{1 + \xi + \lambda \cdot \frac{H}{d}}\right). \quad (3)$$

როგორც ვხედავთ h_x -ის გაზრდასთან ერთად იზრდება $h_{\text{ვაკ.}}$ შესაძლოა სიდიდე და თუ $h_x = H$ მაშინ $h_{\text{ვაკ.}}$ მაქსიმალური იქნება. (3) განტოლების მარჯვენა ნაწილის ფრჩხილებში მოცემული წილადის მრიცხველი და მნიშვნელი გაყვით λ -ზე, და მივიღოთ, რომ $h_x = H$:

$$(h_{\text{ვაკ.}})_{\text{max}} = H \cdot \left[1 - \frac{1}{d} \cdot \frac{h+H}{\left(\frac{1+\xi}{\lambda} + \frac{H}{d}\right)}\right]. \quad (4)$$

ბოლო განტოლებიდან ირკვევა, რომ ონკანის ადგილობრივი დანაკარგის კოეფიციენტის (ξ) გადიდებით, $h_{3\alpha}$ -ის სიდიდე იზრდება, ხოლო h -ის და d გადიდებით ვაკუუმში მცირდება. თეორიულად უდიდესი ვაკუუმში იმ შემთხვევაში შეიქმნება, როდესაც

$$\lambda = 0 \text{ (მაშინ } h_{3\alpha} = H).$$

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ონკანის წინააღმდეგობის კოეფიციენტის (ξ) სიდიდე დამოკიდებულია ონკანის მობრუნების კუთხეზე.

მაგალითისათვის ონკანის მობრუნების კუთხე β მივიღოთ 20° ტოლი. ამ შემთხვევაში $\xi = 1,54$.

(2) განტოლებიდან ვიანგარიშოთ:

სიჩქარე

$$v = \sqrt{\frac{2g(h+H)}{1+\xi+\lambda \cdot \frac{H}{d}}} = 9,17 \text{ მ/წმ}$$

და ხარჯი

$$Q = \omega \cdot v = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v = 0,288 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ვაკუუმის სიმაღლე (4) განტოლებიდან

$$(h_{3\alpha})_{\max} = 9,4 \text{ მ.}$$

ვაკუუმის სიმაღლე 1—1 კვეთისათვის, როდესაც $h_x = 15$ მ (3) განტოლების თანახმად $h_{3\alpha} = 7,06$ მ.

დიამეტრის შემცირებით, ვაკუუმშიც მცირდება. მაგალითად, თუ $d = 0,12$ მ, მაშინ $(h_{3\alpha})_{\max} = 8,2$ მ, ხოლო თუ $d = 0,10$ მ, მაშინ $(h_{3\alpha})_{\max} = 6,0$ მ. და ა. შ.

მილსადენის დიამეტრის მნიშვნელობისათვის $d = 0,1$ მ. ვიანგარიშოთ სათანადო სიჩქარე v და ხარჯი Q . ვღებულობთ $v = 7,47$ მ/წმ და ხარჯი $Q = 0,056$ მ³/წმ. შვეული მილის პრაქტიკული გამოყენების შემთხვევაში შეიძლება საჭირო გახდეს ონკანის მობრუნების β კუთხის ისეთი მნიშვნელობის პოვნა, რომლის დროსაც მივიღებთ $h_{3\alpha}$ -ის სასურველ სიდიდეს.

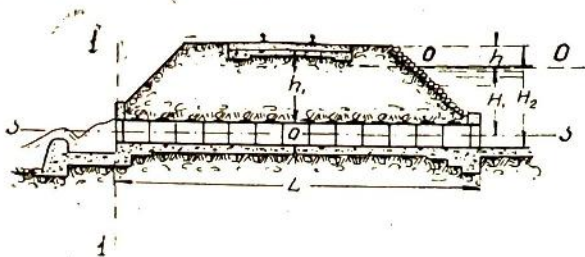
დაუშვათ $d = 0,10$ მ და $\lambda = 0,023$.

მილსადენის მოცემული ზომებისათვის ვცვალოთ ონკანის მობრუნების კუთხე: $\beta = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ და ვიანგარიშოთ შესაბამისი ξ და $h_{3\alpha}$ (იხ. ქვემოთ მოცემული ცხრილი).

№№	1	2	3	4	5	6	7
β	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°
ξ	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22
$h_{\text{ვკ}}$	6,0	7,0	8,2	9,8	11,5	13,1	14,8

ცხრილიდან ვასკვნით, რომ როდესაც $d=0,10$, $\lambda=0,023$ და $\beta=10^\circ$ ვღებულობთ ვაკუუმის პრაქტიკულად დასაშვებ სიდიდეს $h_{\text{ვკ}}=7,0$ მ. მაშასადამე, შვეული მილის გამოყენების დროს, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ვაკუუმის სიდიდის დადგენას.

ამოცანა № 44. რკინიგზის ლიანდაგს ჰყვეთს წყლის ნაკადი (ღე-ლე), რომლის ხარჯი ნიაღვრის დროს $Q_{\text{max}}=15,0$ მ³/წმ. ნაკადი უნდა ვავატაროთ რკინიგზის ქვეშ მილით (იხ. ნახ. 34).



ნახ. 34.

ვიანგარიშით მილის დიამეტრი D , თუ დასაშვები სიჩქარე მილში $v=7,0$ მ/წმ, მილის სიგრძე $L=60,0$ მ. და $H_2=6,8$ მ. დიამეტრი უნდა შეირჩეს ისე, რომ ლიანდაგის შემადგენელი წყლის ჰორიზონტის ზემოთ მილის წინ 1 მ ნაკლები არ იყოს, ე. ი. დავაკმაყოფილოთ პირობა $h \geq 1,0$ მ.

ამოხსნა ერთის მხრივ მილსადენის კვეთის ფართი

$$\omega = \frac{Q}{v} = 2,14 \text{ მ}^2,$$

მეორეს მხრივ

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4} = 2,14 \text{ მ}^2,$$

სადაც

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega}{\pi}} = 1,65 \text{ მ,}$$

ხოლო თუ ავიღებთ, რომ $D = 1,70$ მ მაშინ:

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4} = 2,27 \text{ მ}^2,$$

მიღებული დიამეტრის შესაბამისი სიჩქარე კი

$$v = \frac{Q}{\omega} = 6,6 \text{ მ/წმ.}$$

ახლა გავიგოთ წყლის მაქსიმალური დონე H_1 მილსადენის წინ მიღებული დიამეტრის შემთხვევაში.

ამ მიზნით დავწეროთ ბერნულის განტოლება წყლის ზედა დონისა და მილის გამოსასვლელი კვეთისათვის ა—ა საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \Sigma h_e,$$

სადაც

$$v_0 \approx 0, p_0 = p_1 = p_a, z_0 = H_1 \text{ და } z_1 = 0$$

ამ მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ

$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \Sigma h_e. \quad (1)$$

ახლა დავადგინოთ წინალობის სათანადო კოეფიციენტები:

1. წინალობის კოეფიციენტი ნაკადის შესვლაზე მილში:

$$\xi_1 = 0,50,$$

2. მილის სიგრძეზე ხახუნის კოეფიციენტი

$$\xi_2 = \lambda \cdot \frac{L}{D} = 0,776,$$

სადაც

$$\lambda = 0,022,$$

ხოლო კოეფიციენტთა ჯამი

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 = 0,50 + 0,776 = 1,276.$$

ახლა ჩავსვათ ეს მნიშვნელობა (1) განტოლებაში და მივიღებთ:

$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + 1,276 \frac{v_1^2}{2g} = (1 + 1,276) \cdot \frac{v^2}{2g} = 5,05 \text{ მ.}$$

H_1 -ის ეს მნიშვნელობა ვერ აკმაყოფილებს პირობას, რადგანაც

$$H_1 = 5,05 > \left(H_2 - h - \frac{D}{2} \right) = 4,95,$$

ხოლო

$$h = 0,9 < 1,0 \text{ მ.}$$

ამიტომ საჭიროა გავადიდოთ დიამეტრი, კერძოდ თუ მივიღებთ, რომ $D = 1,80 \text{ გ}$ მაშინ:

$$\omega = 2,545 \text{ მ}^2; v_1 = \frac{Q}{\omega} = 5,9 \text{ მ/წმ},$$

$$\Sigma \xi = \left(0,50 + 0,022 \cdot \frac{60}{1,8} \right) = 1,23,$$

$$H_1 = (1 + 1,23) \cdot \frac{v^2}{2g} = 4,007 \text{ მ.} < \left(H_2 - h - \frac{D}{2} \right) = 4,90 \text{ მ.}$$

ამრიგად, პირობა დაკმაყოფილებულია გარკვეული მარაგით და საბოლოოდ D უნდა ავიღოთ $1,8 \text{ მ}$ ტოლი.

ამოცანა № 45. არხი ჰყვეთს ღრმა ხევს. საჭიროა არხის გადაყვანა ხევზე და ხევის მაქსიმალური ხარჯის ბეტონის მილით არხის ქვეშ ვატარება. მილის სიმაღლე მილის ზემოთ $h_1 = 5,0 \text{ მ}$, წყლის სიღრმე არხში $h_2 = 3,0 \text{ მ}$, ბეტონის მილის სიგრძე $L = 60,0 \text{ მ}$. იმისათვის, რომ არხის კედლებზე არ განვითარდეს ხევის ფილტრაციული წყლის წნევა, საჭიროა მილის დიამეტრი ისე შევარჩიოთ, რომ წყლის სიღრმე მილის წინა კმაყოფილებს პირობას: $H = D + h_1 - 2$.

ამ სიღრმის მიხედვით უნდა გავამაგროთ მილის შესავალი ნაწილი. ხევის მაქსიმალური ხარჯი $Q = 10,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$. სიჩქარე მილში არ უნდა აღემატებოდეს $8,5 \text{ მ/წმ}$ (იხ. ნახ. 35).

ამოხსნა. განვიხილოთ ორი საანგარიშო შემთხვევა:

1. მილის ბოლოში წყლის სიღრმე $h < D$ და
2. მილის ბოლოში წყლის სიღრმე $h > D$.

იმ შემთხვევაში, როდესაც სიჩქარე წინასწარ ცნობილი არ არის, ამოცანის ამოხსნა უნდა მოვახდინოთ დიამეტრის შერჩევის საფუძველზე. ამოცანა გადავწყვიტოთ ბერნულის განტოლების გამოყენების გარეშე.

მილის წინაღობისა და ხარჯის კოეფიციენტები ξ და μ დამოკიდებული არიან დიამეტრზე, და ამიტომ წინასწარ უნდა დავუშვათ დიამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობანი და მათ მიხედვით გამოვთვალოთ შესაბამისი ჰიდრაულიკური ელემენტები: ξ , μ , ω , H , Q და v .

ავიღოთ:

$$D = 1,00 \text{ მ,}$$

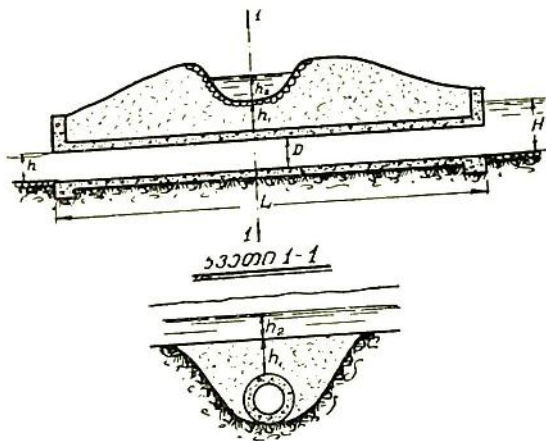
მაშინ,

$$H = 1 + 5 - 2 = 4,0 \text{ მ}$$

და

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 = \xi_1 + \lambda \frac{L}{D} = 2,0,$$

სადაც ξ_1 არის წინალობის კოეფიციენტი ნაკადის მილში შესვლაზე,
 ξ_2 —მილის სიგრძეზე.



ნახ. 35.

აქედან ხარჯის კოეფიციენტი, როდესაც წყლის დონე მილიდან გამოსვლის დროს დაბალია

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{1 + \Sigma \xi}} = 0,58,$$

ხარჯი

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_1} = 6,507 \text{ მ}^3/\text{წმ.},$$

იგულისხმება, რომ $\mu = \varepsilon \varphi$, სადაც $\varepsilon = 1$ ხოლო დაწნევა მილის წინ

$$H_1 = H - \frac{D}{2} = 4,0 - 0,5 = 3,5 \text{ მ},$$

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \text{ მ}^2,$$

სიჩქარე

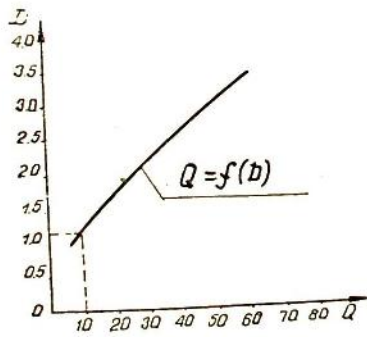
$$v = \frac{Q}{\omega} = 8,29 \text{ მ/წმ.}$$

როგორც ვხედავთ დიამეტრის მიღებული მნიშვნელობა $D=1,0$ მ ვერ აკმაყოფილებს მაქსიმალური ხარჯის გატარების პირობას, ამიტომ განხილული წესით გამოთვალეთ ყველა პიდრაველიკური ელემენტი დიამეტრის შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: $D=1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$ და $3,5$ მ. ანგარიშის შედეგები შევიტანოთ 1 ცხრილში.

ცხრილი 1

№№	D მ	ξ	μ	ω მ²	H₁ მ	Q მ³/წმ	v მ/წმ
1	1,0	2,000	0,580	0,785	3,50	6,507	8,29
2	1,5	1,428	0,263	1,767	3,25	14,101	8,02
3	2,0	1,172	0,211	3,142	3,00	24,099	7,67
4	2,5	1,028	0,223	4,909	2,75	36,081	7,35
5	3,0	0,952	0,225	7,069	2,50	49,483	7,00
6	3,5	0,867	0,231	9,621	2,25	57,152	5,93

ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგოთ მრუდი $Q=f(D)$ (იხ.



ნახ. 36.

ნახ. 36), რომლის მიხედვით შეგვიძლია დავადგინოთ, რომ მაქსიმალური ხარჯს $Q=10$ მ³/წმ, შეესაბამება მილის დიამეტრი $D=1,22$ მ.

2 შემთხვევა. წყლის სიღრმე მილის გამოსასვლელი ქვეთის ქვემოთ $h=2,0$ მ $> D=1,22$ მ, სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს $5,0$ მ/წმ.

ანგარიში იმავე წესით ჩავატაროთ როგორც პირველ შემთხვევაში, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ წინაღობის კოეფიციენტი

ჯამში დამატებით შევიტანოთ მილიდან წყლის ქვეშ გამოღინების წინაღობის კოეფიციენტი $\xi_3=1,0$.

საანგარიშო დაწნევა ამ შემთხვევაში

$$H_2 = H - h,$$

ბარჯის კოეფიციენტი

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \xi}} = \sqrt{\frac{1}{\xi_1 + \xi_2 + \lambda \frac{L}{D}}} = 0,632,$$

სანგარიშო დაწნევა

$$H_2 = H - h = 2,0 \text{ მ},$$

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4} = 1,17 \text{ მ}^2,$$

ბარჯი

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \cdot H_2} = 13,108 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სიჩქარე

$$v = \frac{Q}{\omega} = 4,17 \text{ მ/წმ}.$$

დაუშვათ დიამეტრის შემდეგი მნიშვნელობანი $D=1,0; 1,5; 2,0; 2,5$ და შევადგინოთ ცხრილი (იხ. ცხრილი 2).

ცხრილი 2

№.№	D	ξ	μ	ω	H	Q	v
1	1,00	3,00	0,574	0,785	2,00	3,823	4,87
2	1,50	2,50	0,632	1,767	2,00	6,992	4,00
3	2,00	2,25	0,667	3,140	2,00	13,108	4,17
4	2,50	2,10	0,690	4,909	2,00	21,196	4,31

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ $Q=10$ მ³/წმ. ბარჯის დროს $D=1,70$ მ.

ამ შემთხვევაშიაც საჭიროა მკითხველმა ააგოს მრუდი $Q=f(D)$.

ამოცანა № 46. წყალშემკრებ A ქიდან მილსადენის საშუალებით წყალი B აუზს ისე უნდა მივაწოდოთ, რომ მილსადენის ტრასა გადაყვანილი იქნეს გამყოფ გორაკზე. ეს უკანასკნელი საჭიროა, რათა დიდი მოცულობის მიწის სამუშაოები თავიდან ავიცილოთ. ამ საკითხის გადაწყვეტა შესაძლებელია ენერგიის ძირითადი კანონის საფუძველზე, იმ შემთხვევისათვის როდესაც მილსადენში არსებობს ვაკუუმი, ანუ როდესაც, მილსადენი შეასრულებს სიფონის როლს.

წყაროს წყლის შემავროვებელ A ქიდან (იხ. ნახ. 37) აუზამდე გადაყვანილია მილი, რომლის სიგრძე $L=1200$ მ.

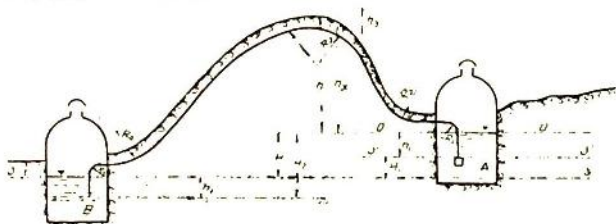
განვიხილოთ სამი ძირითადი სანგარიშო შემთხვევა:

1 შემთხვევა. მოცემულია A და B აუზების წყლის დონეთა სხვაობა $H=20$ მ და მილის დიამეტრი $d=0,20$ მ.

ვიანგარიშით მიღში განვითარებული სიჩქარე v და ხარჯი Q ;

2. მოცემულია ხარჯი $Q = 0,05 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

დავადგინოთ მილის დიამეტრი d და შევამოწმოთ სიფონში (მილსადენში) ვაკუუმის სიდიდე;



ნახ. 37.

3. გამოვარკვეოთ რა გავლენას მოახდენს ხარჯის ტრანსპორტირებაზე A აუზში $h_1 = 0,8$ მ-ით ღონის დაწვევა, ან პირიქით, ჭის უცვლელი ღონის დროს B აუზის $h_2 = 1,0$ მ-ით ღონის დაწვევა, თუ მილსადენის დიამეტრი $d = 0,10$ მ.

განსახილველი მილსადენის მოხვეული უბნების რადიუსები ტოლია: $R_1 = 0,2$ მ; $R_2 = 5,0$ მ; $R_3 = 1,5$ მ; $R_4 = 2,0$ მ და $R_5 = 0,8$ მ.

ამოხსნა. 1 შემთხვევა. შევადგინოთ ბერნულის განტოლება (A) ჭისა და B აუზის წყლის ღონეებისათვის ა—ა საფარდ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \sum h_e.$$

v_0 და v_1 სიჩქარეები შეიძლება მივიღოთ ნულის ტოლი:

$$z_0 = H, \quad p_0 = p_1 = p_{at}, \quad z_1 = 0.$$

სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ, ბერნულის განტოლებიდან მივიღებთ:

$$H = \sum h_e. \quad (1)$$

როგორც ვხედავთ მთელი მოქმედი დაწვევა (H) იხარჯება მილში განვითარებული წინაღობის გადასალახავად.*

ვიანგარიშით ცალკეული სახის დაწვევის დანაკარგები:

1. დაწვევის დანაკარგები შემწოვი მილის ბადეში

$$h_{e1} = \xi_1 \frac{v^2}{2g} = 5 \cdot \frac{v^2}{2g},$$

* დაწვევის დანაკარგები R_2 , R_3 და R_4 რადიუსების მქონე მოხვეულ უბნებზე სიმეირის გამო უგულვლყოფილია.

2. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის მოხვეულ უბანზე, რომლის რადიუსი $R=0,2$

$$h_{e_2} = \xi_2 \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,294 \frac{v^2}{2g},$$

3. დაწნევის დანაკარგი R_3 რადიუსის მქონე მოხვეულ უბანზე

$$h_{e_3} = \xi_3 \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,15 \frac{v^2}{2g},$$

4. დაწნევის დანაკარგი მილის L სიგრძეზე

$$h_{e_4} = \lambda \frac{L}{\alpha} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,0224 \frac{1200}{0,20} \cdot \frac{v^2}{2g} = 134,2 \frac{v^2}{2g},$$

5. წყლის შესვლით გამოწვეული დაწნევის დანაკარგი (B) აუზში

$$h_{e_5} = \xi_4 \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,0 \frac{v^2}{2g},$$

შადაც

$$\xi_4 = 1.$$

შვეიტანოთ ეს მნიშვნელობები საანგარიშო განტოლებაში და მივიღებთ:

$$H = \sum h_e = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \lambda \frac{L}{d} \right) \frac{v^2}{2g} = 20 \text{ მ.}$$

აქედან, წყლის მოძრაობის სიჩქარე მილსადენში

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{\left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \lambda \frac{L}{d} \right)}} = 1,67 \text{ მ/წმ,}$$

ხარჯი

$$Q = v \cdot \omega = 1,67 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1,67 \cdot \frac{3 \cdot 14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,54 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

II შემთხვევა. მოცემული ხარჯი ($Q=0,05$ მ³/წმ. დავადგინოთ მილის (სიფონის) დიამეტრი d , ვაკუუმის სიდიდე $x-x$ კვეთში, და მილის ჩადების სიღრმე (h_3) იმავე კვეთში.

ამოცანის პირობის გადასაწყვეტად წინა შემთხვევაში მიღებული საანგარიშო განტოლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$H = \sum h_e = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2g},$$

და

$$Q = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \xi}} \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \cdot H} = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH},$$

სადაც

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \xi}}.$$

ვგულისხმობთ, რომ $\varepsilon = 1$. გამოვთვალოთ ნამრავლი:

$$\mu \cdot \omega = \frac{Q}{\sqrt{2gH}} = \frac{0,05}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20}} = 0,0025.$$

ახლა დავუშვათ მილსადენის დიამეტრის რიგი მნიშვნელობანი და გამოვთვალოთ შესაბამისი დაწნევის დანაკარგების კოეფიციენტები და სიდიდეები μ და Q . ანგარიში ვაწარმოოთ მანამ, სანამ არ დავაკმაყოფილებთ ზემოთ მოყვანილ პირობას ($\mu \cdot \omega = 0,0025$).

დავუშვათ $d = 0,10$ მ,

მაშინ

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = 0,008 \text{ მ}^2.$$

ამ შემთხვევაში

$$\xi_1 = 5, \quad 3\xi_2 = 0,75, \quad \lambda \frac{L}{d} = 0,025 \cdot \frac{1200}{0,1} = 300, \quad \xi_4 = 1,$$

ჯამი

$$\Sigma \xi = 5,0 + 0,75 + 300 + 1 = 306,75,$$

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \xi}} = \frac{1}{\sqrt{306,75}} = 0,057.$$

ამიტომ

$$\mu \cdot \omega = 0,057 \cdot 0,008 = 0,00046.$$

ამოცანა რომ არ გადაიტვიტოს ზედმეტი გამოთვლებით d სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის ჩატარებული ანგარიშები შევიტანოთ ცხრილში.

ც ხ რ ი ლ ი

d მ	ω მ ²	$\Sigma \xi$	μ	$\omega \cdot \mu$
0.10	0.008	306.75	0.057	0.00046
0.15	0.018	206.75	0.070	0.00126
0.20	0.031	156.75	0.075	0.00233
0.25	0.049	126.75	0.089	0.00436

როგორც ცხრილიდან ვხედავთ ამოცანის პირობის მიხედვით გამოთვლილი ნამრავლის სიდიდეს $\mu \cdot \omega = 0,0025$ შეესაბამება მილსადენის დიამეტრის შემდეგი მნიშვნელობა: $d = 0,20$ მ.

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} = 0,00233 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 20} = 0,046 = 0,05 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სიჩქარე

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,046}{0,031} = 1,484 \text{ მ/წმ},$$

სიფონში ნაკადის სიჩქარე მივიღეთ დასაშვებზე ნაკლები; სახელდობრ, $v_{\text{დასაშ.}} = 1,5 > v = 1,484$.

სიჩქარის დადგენის შემდეგ, შეგვიძლია ვიპოვოთ ღონეთა სხვაობა H :

$$H = \Sigma \xi \cdot \frac{v^2}{2g} = 156,7 \cdot \frac{1,482}{16,62} = 17,6 \text{ მ.}$$

ახლა გავარკვეოთ $x-x$ კვეთში მაქსიმალური ვაკუუმის სიდიდე.

ამ მიზნით შევადგინოთ ბერნულის განტოლება $0-0$ და $x-x$ კვეთებისათვის (სიფონის უმაღლესი კვეთისათვის იმავე $0-0$ საფარდი სიბრტყის მიმართ):

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} + z_x + \Sigma h_{\text{ღ-x}}$$

$$v_0 = 0; z_0 = 0; z_x = h_x; p_0 = p_{\text{ატ.}}$$

$\Sigma h_{\text{ღ-x}}$ არის დაწნევის დანაკარგების ჯამი შემწოვის მილის დასაწყისიდან $x-x$ კვეთამდე.

სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{p_{\text{ატ.}} - p_x}{\gamma} = \frac{v_x^2}{2g} + h_x + \Sigma h_{\text{ღ-x}} = (1 + \Sigma \xi_x) \frac{v_x^2}{2g} + h_x,$$

სადაც $\Sigma \xi_x$ არის დაწნევის დანაკარგების კოეფიციენტების ჯამი აღნიშნულ კვეთებს შორის (მივიღეთ აღნიშვნა $v = v_x$).

h_x დასადგენად საჭიროა ვიცოდეთ h_3 ხაღრმავება რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია ნიადაგის გაყინვის სიღრმეზე.

ჩვენ შემთხვევაში h_3 მივიღოთ 1,0 მ ტოლი, მაშინ:

$$h_x = h - h_3 = 6 - 1 = 5 \text{ მ.}$$

ვაკუუმის დასადგენად საჭიროა აგრეთვე $\Sigma \xi_x$ გაანგარიშება (მილის დასაწყისიდან $x-x$ კვეთამდე):

$$\Sigma\xi = 5 + 0,2 + 0,025 \cdot \frac{150}{0,20} = 24,$$

$l = 150$ მ არის მილის სიგრძე $x-x$ კვეთამდე.
ამრიგად, ვაკუუმის სიღიღე

$$h_{333} = \frac{p_{at} - p_x}{\gamma} = (1 + 24) \frac{v^2}{2g} + 5 = 7,8 \text{ მ.}$$

ამოცანის პირობის თანახმად, თუ ვაკუუმის სიღიღე მეტია მის პრაქტიკულად დასაშვებ სიღიღეზე ($\sim 7,0$ მ.), მაშინ წყლის ნაკადი სიფონში წყვეტას განიკდის და მოძრაობასაც არ ექნება ადგილი.

ვინაიდან ჩვენ შემთხვევაში h_{333} დასაშვებ სიღიღეზე მეტია, საჭიროა შევარჩიოთ h_x ისეთი მნიშვნელობა, რომელიც დააკმაყოფილებს აღნიშნულ პირობას.

საანგარიშო განტოლებიდან

$$h_x = h_{333} - (1 + \Sigma\xi_x) \frac{v^2}{2g} = 7,0 - 2,8 = 4,20 \text{ მ,}$$

სადაც (h_{333}) დას. = $7,0$ არის დასაშვები ვაკუუმის სიმაღლე.

ამრიგად, მილის ჩადების სიღრმე $h_3 = h - h_x = 6,0 - 4,20 = 1,8$ მ ტოლი უნდა ავიღოთ.

ამ პირობების შესრულების შედეგად სიფონი იმუშავებს ნორმალურად და მასში განვითარებული სიჩქარე ტოლი იქნება I შემთხვევაში გამოთვლილი სიჩქარისა.

III შემთხვევა. თუ (A) ჭის დონე $h_1 = 0,8$ მ დაიწვეს მაშინ ეს გამოიწვევს H დაწნევის შემცირებას. მოქმედი დაწნევა ამ შემთხვევაში $H_1 = H - h_1$, ხოლო ნაკადის სიჩქარე მილსადენში

$$v = \sqrt{\frac{2gH_1}{\Sigma\xi}} = 1,612 \text{ მ/წმ,}$$

სადაც

$$H_1 = 20,00 - 0,80 = 19,2 \text{ მ,}$$

ხარჯი

$$Q = v \cdot \omega = 1,612 \cdot \frac{3 \cdot 14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,050 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

როგორც ვხედავთ დონის დაწევა ხარჯს $53 - 50 = 3$ ლიტ/წმ ამცირებს.

თუ ჭის დონე უცვლელია ხოლო აუზის დონე $h_2 = 1,0$ მ დაიწვეს, მაშინ მოქმედი დაწნევაც გადიდება ($H_2 = H + h_2 = 21$ მ.). ამავე დროს სიჩქარე

$$v = \sqrt{\frac{2gH_2}{\Sigma\xi}} = 1,702 \text{ მ}$$

ლა

$$Q = \omega \cdot v = 0,054 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

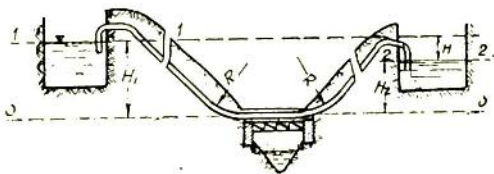
როგორც ვრწმუნდებით ხარჯი გაიზარდა.

სიფონის გამოყენება, იქ, სადაც ამისათვის სათანადო პირობებია, მეტად მიზანშეწონილია, როგორც ტექნიკურად ისე ეკონომიური თვალსაზრისით. ექსპლუატაციის ხარჯები უმნიშვნელოა, იგი მოქმედებს ავტომატიურად წყლის დონეების ცვალებადობის მიხედვით და მას ფართოდ იყენებენ პრაქტიკაში.

ამოცანა № 47. ხევის ერთი ნაპირიდან მეორე ნაპირზე გადავიყვანოთ წყალი, რომლის ხარჯი $Q = 0,030 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

ვიანგარიშოთ მილის დიამეტრი d , ისე, რომ განსაზღვრული აუზების წყლის დონეთა სხვაობა $H = 2,0 \text{ მ}$ ნაკლები არ იყოს.

შემაერთებელი მილის (დიუქერის) სიგრძე $L = 800 \text{ მ}$ (იხ. ნახ. 38).



ნახ. 38.

ამოხსნა. მოქმედი დაწნევის საანგარიშოდ საჭიროა მილის დიამეტრის დადგენა. შევადგინოთ ბერნულის განტოლება 1—1 და 2—2 კვეთებისათვის ა—ა საფარლ სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \Sigma h_{\xi}$$

სადაც

$$v_1 = v_2 = 0 \quad z_1 = H_1 \quad z_2 = H_2 \quad \text{და} \quad p_1 = p_2 = p_{\text{ატ}}$$

მათი ფორმულაში ჩასმის შედეგად მივიღებთ:

$$H = H_1 - H_2 = \Sigma h_{\xi}$$

ახლა გავიგოთ დაწნევის დანაკარგები:

1. დაწნევის დანაკარგი მილსადენში წყლის შესვლაზე

$$h_{e_1} = \xi_1 \frac{v^2}{2g} = 0,5 \frac{v^2}{2g},$$

2. დაწნევის დანაკარგი მილის 2 მოხვეულ უბანზე (დანარჩენ მოხვეულ უბნებს მხედველობაში არ ვიღებთ)

$$h_{e_2} = 2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{v^2}{2g} = 2 \cdot 0,25 \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,5 \frac{v^2}{2g},$$

3. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის სიგრძეზე

$$h_{e_3} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,025 \cdot \frac{800}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{20}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

4. დაწნევის დანაკარგი ნაკადის მილიდან აუზში შესვლაზე

$$h_{e_4} = \xi_3 \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} (\xi_3 = 1).$$

მაშასადამე,

$$H = \sum h_e = \left(2,0 + \frac{20}{d} \right) \frac{v^2}{2g}. \quad (1)$$

დაეუშვათ დიამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობანი და გამოვთვალოთ შესაბამისი სიჩქარეები:

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{2 + \frac{20}{d}}}$$

და ხარჯი

$$Q = \omega \cdot v.$$

ანგარიშის შედეგები მოვათავსოთ ცხრილში.

d მ	v მ/წმ	ω მ ²	Q მ ³ /წმ
0.15	0.542	0.018	0.0098
0.20	0.622	0.031	0.0193
0.25	0.692	0.049	0.0339

ამ ცხრილიდან გამომდინარე ჩვენ შემოხვევისათვის შეგვიძლია $d=0,25$ მ ავიღოთ, რადგანაც მილის ამ დიამეტრისა და მოცემული H

სიმაღლის დროს ხარჯი $Q=0,0339$ მ³/წმ. როგორც ვხედავთ ხარჯის გატარების პირობა მისაღებია ვინაიდან ამოცანის პირობის თანახმად $Q=0,030$ მ³/წმ.

თუ საკიროა ისეთი d დადგენა, რომელიც ზუსტად გაატარებს $0,03$ მ³/წმ ხარჯს, მაშინ ცხრილის მიხედვით უნდა აიგოს $Q=f(d)$ მრუდი და ამ მრუდით მოიძებნოს d სათანადო მნიშვნელობა.

თუ პირობის მიხედვით ცნობილია d და Q , მაშინ H ვიანგარიშებთ (1) განტოლებით.

სითხის მოძრაობა მილსადენებში

ამოცანა № 48* მოცემულია ლითონის მილსადენი, რომლის სიგრძე $l=1,5$ კმ, დიამეტრი $D=0,20$ მ, მოქმედი დაწნევა $H=30,0$ მ.

განვსაზღვროთ წყლის ხარჯი მილსადენში (Q).

ამოხსნა. ამოცანის პირობის დასაკმაყოფილებლად გამოვიყენოთ შეზის ფორმულა. გავარკვიოთ ამ ფორმულაში შემავალი წევრების მნიშვნელობანი. ანგარიშის დროს გამოვიყენოთ აგრეთვე ხარჯის მოდულის ან ხარჯის მახასიათებლის ცნება:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R},$$

სადაც ω არის მილსადენის განივი კვეთის ფართი.

მილსადენის ჰიდრაულიკური ქანობი

$$i = \frac{H}{l} = \frac{30}{1500} = 0,02,$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{D}{4} = 0,05 \text{ მ} \left(R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi D^2}{4 \cdot \pi D} = \frac{D}{4} \right),$$

ხარჯი

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} = 47,19 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} \cdot \sqrt{0,05 \cdot 0,02} = 0,047 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

C კოეფიციენტი განსაზღვრულია კუტტერის ცნობილი ფორმულით. ამავე შედეგს მივიღებთ, თუ ვისარგებლებთ ცხრილით (იხ. ცხრილი 24 დამატებაში).

როდესაც $D=0,2$ მ, $k=331,7$ მ³/წმ,

ხარჯი

$$Q = K \sqrt{i} = K \sqrt{\frac{H}{l}} = 331,7 \cdot \sqrt{\frac{30}{1500}} = 0,047 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 49. განვსაზღვროთ მოძრავი ნაკადის ხარჯი, Q

* იხ. პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა. 1947 წ. 431—433 გვ.

მილსადენში რომლის სიგრძე $l=1000$ მ, დიამეტრი $D=0,15$ მ, მოქმედობა დაწნევა $H=20,0$ მ. მილსადენი ძველია და გაქუქვიანებული.
 ამოხსნა. წინალობის კოეფიციენტი ხმარებაში მყოფი მილსადენისათვის $\lambda=0,0441$.

მაშინ:

$$C = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,81}{0,0441}} = 42,2 \text{ მ}^2/\sqrt{\text{მ}},$$

ხარჯი

$$Q = \omega C \sqrt{R \cdot i} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} \cdot 42,2 \sqrt{\frac{0,15}{4} \cdot \frac{20}{1000}} =$$

$$= 0,0204 \frac{\text{მ}^3}{\sqrt{\text{მ}}} = 20,4 \text{ ლიტ}/\sqrt{\text{მ}}.$$

ჰიდრავლიკური რადიუსი

$$R = \frac{D}{4} = \frac{0,15}{4} = 0,0375 \text{ მ},$$

ქანობი

$$i = \frac{20}{1000} = 0,02.$$

ამოცანა № 50. ა) განვიხილოთ მილსადენი რომლის სიგრძე $l=2,5$ კმ, ხარჯი $Q=0,014$ მ³/წმ. მილსადენზე მოქმედი დაწნევა H მთლიანად იხარჯება ჰიდრავლიკურ წინალობათა გადალახვაზე და იგი $H=h_e=5,0$ მ.

განვსაზღვროთ მილსადენის დიამეტრი D .

ამოხსნა. დაწნევის დანაკარგი მილსადენში შეიძლება ვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$h_e = \beta \frac{Q^2 l}{D^5},$$

საიდანაც

$$D = \sqrt[5]{\frac{\beta Q^2 l}{h_e}} = \sqrt[5]{\frac{0,0025 \cdot 0,014^2 \cdot 2500}{5}} = 0,26 \text{ მ}.$$

ბ) მოცემულია მილსადენი, რომლის სიგრძე $L=2,5$ კმ, ხარჯი $Q=0,25$ მ³/წმ, დაწნევა $H=10,0$ მ.

განვსაზღვროთ მილსადენის დიამეტრი D .

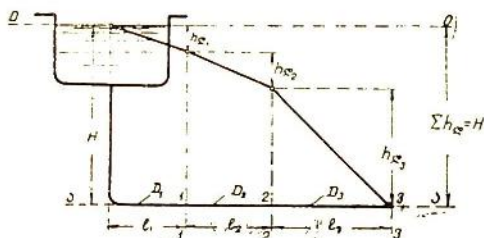
ამოხსნა. ამოცანის პირობის დასაკმაყოფილებლად წინასწარ განვსაზღვროთ ხარჯის მოდული:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{Q}{\sqrt{\frac{H}{L}}} = \frac{250}{\sqrt{0,004}} = 4000 \text{ ლიტ}/\sqrt{\text{მ}}.$$

შემდეგ, ცხრილის საშუალებით, შეგვიძლია დავადგინოთ, რომ ხარჯის მოდულის ამ მნიშვნელობას შეესაბამება მილის $D=500$ მმ დიამეტრი. (დანართი, იხ. ცხრილი 24).

ამოცანა № 51. მოცემულია სადაწნეო აუზი. აუზის ფსკერიდან სათავეს იღებს ცვლადი კვეთის მილსადენი. მილსადენის პირველი უბნის დიამეტრი $D_1=0,30$ მ, სიგრძე $l_1=500$ მ; მეორე უბნისათვის $D_2=0,25$ მ, $l_2=300$ მ; მესამე უბნისათვის კი $D_3=0,20$ მ, $l_3=250$ მ.

მილსადენმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q=0,050$ მ³/წმ (იხ. ნახ. 39).



ნახ. 39.

განესაზღვროთ მილსადენის დაწნევა H , რომელიც უზრუნველყოფს ჰიდრაულიკურ წინაღობათა გადალახვას მილსადენის სიგრძეზე.

ამოხსნა. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის პირველ უბანზე გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$h_{с1} = \frac{Q^2 \cdot l_1}{K_1^2},$$

მეორე უბანზე

$$h_{с2} = \frac{Q^2 \cdot l_2}{K_2^2},$$

მესამე უბანზე

$$h_{с3} = \frac{Q^2 \cdot l_3}{K_3^2}.$$

სამივე უბანზე დაწნევის დანაკარგების ჯამი მილსადენის სრული დაწნევის ტოლი უნდა იყოს:

$$H = h_{с1} + h_{с2} + h_{с3} = Q^2 \sum \frac{l}{K^2}$$

ბოლო თუ C განსაზღვრისათვის ვისარგებლებთ მანინგის ფორმულით, მაშინ ბოლო გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$H = Q^2 \cdot \Sigma \frac{l}{K^2} = 50^2 \cdot \left(\frac{250}{116000} + \frac{300}{3774000} + \frac{500}{100000} \right) = 8,63 \text{ მ}$$

(დანართი, იხ. ცხრილი 23).

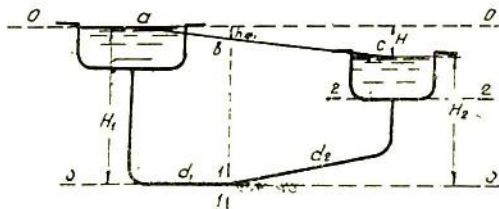
როგორც ვხედავთ მილსადენის სრული დაწნევა, რომელიც მთლიანად იხარჯება ჰიდრავლიკურ წინაღობათა გადასალახავად ტოლია:

$$H = 8,63 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 52. ორი რეზერვუარი შეერთებულია ცვლადი კვეთის მილსადენით (იხ. ნახ. 40). მილსადენის პირველი უბნისათვის $l_1 = 200$ მ, $d_1 = 150$ მმ, მეორე უბნისათვის $l_2 = 400$ მ, $d_2 = 125$ მმ.

მოცემულია რეზერვუარებში თავისუფალი ზედაპირების შემდეგი სიმაღლეები: $H_1 = 50,0$ მ, $H_2 = 25,0$ მ.

განესაზღვროთ წყლის ხარჯი Q და აევაგოთ ჰიდროდინამიკური დაწნევის წირი.



ნახ. 40.

ამოხსნა. დაწნევის დანაკარგები მილსადენის ცალკეული უბნებისათვის გამოისახებიან შემდეგნაირად:

$$h_{e_1} = \frac{Q^2 l_1}{K_1^2}, \quad h_{e_2} = \frac{Q^2 l_2}{K_2^2}.$$

მოკმედი დაწნევა, რომელიც დაწნევის დანაკარგების ჯამის ტოლი უნდა იყოს

$$H = h_{e_1} + h_{e_2} = Q^2 \left(\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} \right) = Q^2 \Sigma \frac{l}{K^2}.$$

სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ ამ განტოლებიდან მივიღებთ (დანართი, იხ. ცხრილი 25):

$$H = H_1 - H_2 = 25 = Q^2 \left(\frac{200}{24600} + \frac{400}{9250} \right) = 0,05133 \cdot Q^2,$$

საიდანაც ხარჯი

$$Q = \sqrt{\frac{25,0}{0,05133}} = 22,0 \text{ ლიტ/წმ.}$$

ჰიდროდინამიკური დაწნევის წირის აგების მიზნით გამოეთვალოთ დაწნევის დანაკარგები მილსადენის ცალკეულ უბნებზე:

$$h_{e_1} = Q^2 \frac{l_1}{K_1^2} = 22^2 \cdot \frac{200}{24600} = 3,92 \text{ მ,}$$

$$h_{e_2} = Q^2 \frac{l_2}{K_2^2} = 22^2 \cdot \frac{400}{9250} = 21,1 \text{ მ.}$$

გამოწმებთ:

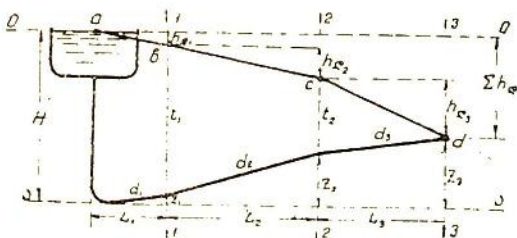
$$H = h_{e_1} + h_{e_2} = 3,92 + 21,1 = 25 \text{ მ.}$$

abc ტეხილი წარმოადგენს ჰიდროდინამიკურ დაწნევის წირს.

ამოცანა № 53. განვიხილოთ ცვლადი კვეთის მაგისტრალური მილსადენი, რომლის ცალკეული უბნების კვანძებში ადგილი აქვს წყლის ხარჯის გაცემას. წყალსადენის პირველი უბნის სიგრძე $L_1 = 500$ მ, დიამეტრი $d_1 = 0,25$ მ, უბნის ბოლოში (პირველ კვანძში) გაცემული ხარჯი $q_1 = 0,025$ მ³/წმ. მეორე უბნისათვის $L_2 = 1000$ მ, $d_2 = 0,30$ მ, უბნის ბოლოში გაცემული ხარჯი $q_2 = 0,03$ მ³/წმ; მესამე უბნისათვის $L_3 = 175$ მ, $d_3 = 0,175$ მ, $q_3 = 0,015$ მ³/წმ.

კვანძები განლაგებულია საფარდ სიბრტყიდან შემდეგ სიმაღლეებზე (იხ. ნახ. 41):

$$z_1 = 5,0 \text{ მ; } z_2 = 12,0 \text{ მ და } z_3 = 25,0 \text{ მ.}$$



ნახ. 41.

ვიანგარიშით აღნიშნული ხარჯების გატარებისათვის საჭირო წყლის დაწნევა.

ამოხსნა. დავადგინოთ:

საანგარიშო ხარჯები კვანძებში

და $Q_3 = q_3 = 0,015 \text{ მ}^3/\text{წმ}$, $Q_2 = Q_3 + q_2 = 0,015 + 0,03 = 0,045 \text{ მ}^3/\text{წმ}$

$$Q_1 = Q_2 + q_1 = 0,045 + 0,025 = 0,07 \text{ მ}^3/\text{წმ};$$

დაწნევის დანაკარგები მილსადენების ცალკეულ უბნებზე (დანართი, იხ. ცხრილი 25)

$$h_{e_1} = Q_1^2 \frac{L_1}{K_1^2} = 4,93 \text{ მ},$$

$$h_{e_2} = Q_2^2 \frac{L_2}{K_2^2} = 1,56 \text{ მ},$$

$$h_{e_3} = Q_3^2 \frac{L_3}{K_3^2} = 2,10 \text{ მ};$$

დაწნევის დანაკარგების ჯამი

$$\Sigma h_e = h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} = H - \chi_3,$$

ანუ

$$H = \Sigma h_e + \chi_3 = 4,93 + 1,56 + 2,10 + 25,0 = 33,59 \text{ მ}.$$

ახლა ავავიკოთ ჰიდროდინამიკური დაწნევის წირი (იხ. ნახ. 41):

$$t_1 = H - (h_{e_1} + \chi_1) = 33,59 - (4,93 + 5) = 23,66 \text{ მ},$$

$$t_2 = H - (h_{e_1} + h_{e_2} + \chi_2) = 33,59 - 18,49 = 15,10 \text{ მ},$$

$$t_3 = H - (h_{e_1} + h_{e_2} + h_{e_3} + \chi_3) = 33,59 - (4,93 + 1,56 + 2,10 + 25) = 33,59 - 33,59 = 0.$$

მაშასადამე, ჰიდროდინამიკური დაწნევის წირი წარმოგვიდგება *abcd* ტეხილის სახით.

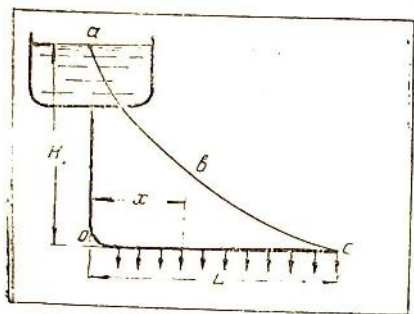
ამოცანა № 54. (მეთოდური მითითებანი) ზემოთ განხილულ ამოცანაში ნაგულისხმები იყო, რომ ხარჯის გაცემა სწარმოებს წყალსადენის სისტემის გარკვეულ წერტილებში, სახელდობრ 1,2 და 3 კვანძებში. იმ შემთხვევაში, როდესაც ხარჯის გაცემა მომხმარებლებისათვის მცირე მანძილზე განლაგებულ წერტილებში სწარმოებს, პრაქტიკულად სთვლიან, რომ ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს ხარჯის განუწყვეტელ გაცემას განსახილველი მილსადენების სიგრძეზე (იხ. ნახ. 42).

ამოხსნა. თუ მილსადენის გასწვრივ ადგილი აქვს ხარჯის განუწყვეტელ გაცემას, მაშინ მილსადენის განსახილველი უბნის სიგრძის გადიდებასთან ერთად ხარჯი მცირდება. თუ მილსადენის მთელ სიგრძეს *L* ავლნიშნავთ, მაშინ მილსადენის ნებისმიერ *x* კვეთში ხარჯი

$$Q_x = \frac{q(L-x)}{L}, \quad (1)$$

სადაც x არის მილსადენის დასაწყისიდან განსახილველ კვეთამდე მანძილი, q — საწყისი ხარჯი.

ამ გამოსახულების მიხედვით $Q_{x=0}=q$, თუ $x=0$ და $Q=0$, როდესაც $x=L$ (ანუ ხარჯი მილსადენის ბოლოში ნულის ტოლია).



ნახ. 42.

(1) განტოლების მიხედვით შეგვიძლია შევადგინოთ გამოსახულება ჰიდრაულიკურ ქანობისათვის მილსადენის ნებისმიერ კვეთში:

$$i_x = \frac{h_x}{L_x} = \frac{Q_x}{K^2} = \frac{q^2 \cdot (L-x)^2}{L^2 K^2} \quad (2)$$

სადაც k არის ხარჯის მოდული. დაწნევის დანაკარგი მილსადენის დასაწყისიდან dx მანძილზე

$$dh_{e_x} = i_x \cdot dx = \frac{q^2(L-x)^2}{L^2 K^2} \cdot dx \quad (3)$$

ზემოაღნიშნული განტოლების ინტეგრირების შედეგად მივიღებთ:

$$h_e = \int_0^L \frac{q^2(L-x)^2}{L^2 K^2} dx = \frac{Lq^2}{3K^2} \quad (4)$$

როგორც ვხედავთ დაწნევის დანაკარგები მილსადენში ხარჯის განუწყვეტელი გაცემის დროს სამჯერ უფრო მცირეა, ვიდრე ჩვეულებრივ სატრანზიტო მილებში.

თუ (3) განტოლების ინტეგრირებას მოვახდენთ 0-დან ნებისმიერ x კვეთამდე, მაშინ მიღებული გამოსახულებით შესაძლებელი იქნება დაწნევის წირის აგება განსახილველი მილსადენის გასწვრივ.

$$h_{e_x} = \frac{q^2}{3L^2 K^2} \cdot (3L^2 x - 3Lx^2 + x^3) \quad (5)$$

თუ დაუშვებთ x რიგ ნიშვნელობას მაშინ (5) განტოლების საშუალებით შეგვიძლია ვიანგარიშოთ დაწნევის დანაკარგების სათანადო ნიშვნელობანი h_{e_x} და ავაგოთ დაწნევის abc მრუდი (იხ. ნახ. 42).

მაგალითად, მილის ბოლო წერტილისათვის $L=1500$ მ, $d=0,30$ მ, $q=50,0$ ლ/წმ, ხოლო დანაკარგი

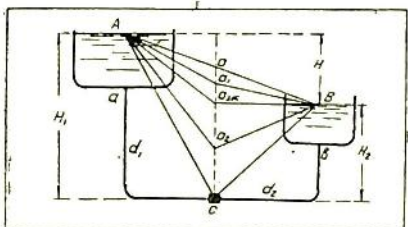
$$h_e = \frac{L \cdot q^2}{3k^2} = \frac{1500 \cdot 50^2}{3 \cdot 8820^2} = 14,18 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 55. წყალსადენის გაყვანის პრაქტიკაში წყლის ტრანსპორტირების რეგულიაციის მიზნით წყალმომარაგების ქსელის ტერიტორიაზე აწყობენ რამდენიმე სადაწნეო აუზს.

ჩვენ განვიხილოთ მხოლოდ ორი მარეგულირებელი აუზის შემთხვევა, ვინაიდან აუზების რიცხვს არ შეუძლია არსებითი ცვლილება შეიტანოს სისტემის ანგარიშის პრინციპში.

ორი სადაწნეო აუზი შეერთებულია მილსადენით (იხ. ნახ. 43). მილსადენის AC ნაწილის სიგრძე $L_1=1500$ მ, დიამეტრი $d_1=0,25$ მ;

CB ნაწილის სიგრძე $L_2=1200$ მ, დიამეტრი $d_2=0,20$ მ, დაწნევა $H_1=60$ მ, $H_2=35$ მ. C წერტილში დადგმულია ონკანი, რომლის მეშვეობით სწარმოებს წყლის მიწოდება მომხმარებლისადმი.



ნახ. 43.

წყლის ხარჯი, რომელიც მოედინება A აუზიდან

აღენიშნოთ q_1 , ხოლო B აუზიდან — q_2 . წყლის ხარჯი, რომელიც გაედინება C ონკანიდან აღენიშნოთ q_3 .

დავადგინოთ თანაფარდობა აღნიშნულ ხარჯებს შორის და ავაგოთ პიდროდინამიკური დაწნევის წირი.

ამოხსნა 1. დავუშვათ, რომ C წერტილში ონკანი დაკეტილია, მაშინ $q_3=0$ და A აუზიდან წყალი დაიწყებს B აუზში გადაღინებას. ამ შემთხვევაში $q_1=q_2$. განვსაზღვროთ დაწნევა, რომელიც უზრუნველყოფს ამ ხარჯს:

$$H = H_1 - H_2 = \frac{q_1^2 \cdot L_1}{K_1^2} + \frac{q_1^2 \cdot L_2}{K_2^2} = q_1^2 \left(\frac{L_1}{K_1^2} + \frac{L_2}{K_2^2} \right), \quad (1)$$

საიდანაც

$$q_1 = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{\frac{L_1}{K_1^2} + \frac{L_2}{K_2^2}}} = \sqrt{\frac{60 - 35}{\frac{1500}{374000} + \frac{1200}{116000}}} = 41,65 \text{ ლიტ/წმ.}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 25).

პიეზომეტრული დაწნევა C წერტილში შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგნაირად:

$$h_c = H_1 - \frac{q_1^2 \cdot L_1}{K_1^2} = 60 - \frac{41,65 \cdot 1500}{374000} = 53,04 \text{ მ}$$

თუ h_c ავმართავთ C წერტილში, მივიღებთ დაწნევის AaB წირს (იხ. ნახ. 43).

2. თუ ონკანი C წერტილში გახსნილია, მაშინ ადგილი ექნება q_3 ხარჯის გამოდინებას. ონკანის გარკვეულ სიდიდეზე გაღების დროს, ჰიდროდინამიკური დაწნევა C წერტილში შეიძლება გახდეს H_2 დაწნევის ტოლი, რაც იმას ნიშნავს, რომ გამოდინებული ნაკადი იკვებება მხოლოდ A რეზერვუარიდან. ამრიგად, ონკანის გაღებას რომლის დროსაც $h_c = H_2$ უწოდებენ განსაკუთრებულ გაღებას, ხოლო დაწნევას C წერტილში—კრიტიკულ დაწნევას (დაწნევის წირი წარმოგვიდგება Aa_3B ტეხილის სახით).

განსახილველ შემთხვევაში B აუზი არ ახდენს წყლის არც მიღებას, არც გაცემას, ე. ი. $q_2 = 0$. A აუზის ხარჯი მთლიანად გაედინება C ონკანში და მაშასადამე, $q_1 = q_3$ (კრიტიკული ხარჯის შემთხვევა).

ზემონათქვამის გათვალისწინებით ადვილად დავრწმუნდებით, რომ

$$H_1 - h_c = H_1 - H_2 = \frac{q_{1,3}^2 \cdot L_1}{K_1^2},$$

საიდანაც

$$q_{1,3} = \sqrt{\frac{(H_1 - H_2) \cdot K_1^2}{L_1}} = \sqrt{\frac{25 \cdot 374000}{1500}} = 78,94 \text{ ლიტ/წმ.}$$

3. იმ შემთხვევაში, როდესაც $q_2 = q_1 < q_{1,3}$, $h_c > h_{c,3}$ ანუ $h_c > H_2$ (იხ. ნახ. 43).

ამ შემთხვევაში დაწნევის წირი წარმოგვიდგება Aa_1B ტეხილის სახით.

A აუზიდან მოდინებული წყლის ხარჯის ნაწილი გაედინება C ონკანიდან, ხოლო მისი დარჩენილი ნაწილი კვებავს B აუზს, ე. ი. $q_1 = q_2 + q_3$.

4. როდესაც $q_2 > q_{1,3}$, $h_c < h_{c,3}$ და $h_c < H_2$, მაშინ დაწნევის წირი წარმოგვიდგება Aa_2B ტეხილის სახით. ცხადია, ამ შემთხვევაში C ონკანი იღებს წყალს ორივე A და B აუზებიდან.

$$q_3 = q_1 + q_2.$$

5. უდიდეს ხარჯს C წერტილიდან იმ შემთხვევაში ექნება ადგილი, როდესაც ონკანი იქნება მთლიანად გაღებული. ამ შემთხვევაში $h_c = 0$ და დაწნევის წირი მიიღებს ACB სახეს.

მაქსიმალური ხარჯი ონკანიდან ტოლია:

$$(q_3)_{max} = (q_1)_{max} + (q_2)_{max} = \sqrt{\frac{H_1 \cdot K_1^2}{L_1}} + \sqrt{\frac{H_2 \cdot K_2^2}{L_2}} = \\ = \sqrt{\frac{60 \cdot 374000}{1500}} + \sqrt{\frac{35 \cdot 116000}{1200}} = 135,5 \text{ ლიტ/წმ.}$$

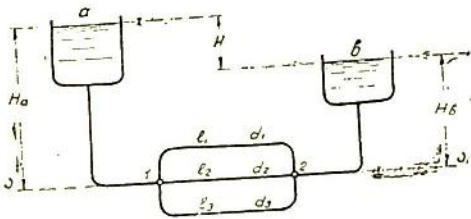
ამოცანა № 56. წყალსადენის სისტემებში ხშირია შემთხვევები, როდესაც ორი კვანძი შეერთებულია განშტოებული მილსადენებით, ანუ პარალელურად ჩართული რამდენიმე მილსადენით.

განვიხილოთ *a* და *b* რეზერვუარები, რომელთა მაგისტრალები განიცილიან განშტოებას და უერთდებიან ერთმანეთს სამი პარალელურად ჩართული მილსადენის საშუალებით (იხ. ნახ. 44).

იმის გამო, რომ განშტოების წერტილებში დაწნევები თითოეულ მილსადენისათვის ერთი და იგივეა (საერთო), ამიტომ ერთი და იგივე იქნება აგრეთვე მოქმედი დაწნევა თვითეული მილსადენის ფარგლებში.

განსახილველ განშტოებათა სიგრძეებია: l_1 , l_2 და l_3 . მოქმედი დაწნევა $H = H_a - H_b$ ყველა მილებისათვის მუდმივი სიდიდეა.

იმისდა მიხედვით თუ რა სიგრძე ექნება მილსადენებს (l_1 , l_2 და l_3) მუდმივი დაწნევის დროს, მათი ჰიდრავლიკური ქანობები განისაზღვრებიან შემდეგი გამოსახულებით:



ნახ. 44

$$i = \frac{H_a - H_b}{l} = \frac{H}{l}$$

ახლა განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი.

მოცემულია ხარჯი სისტემაში $Q = 100$ ლიტ/წმ, პირველი მილსადენის სიგრძე $l_1 = 600$ მ, მეორე

მილსადენის $l_2 = 280$ მ, მესამე — $l_3 = 550$ მ. მილსადენების დიამეტრები შესაბამისად უტოლდებიან: $d_1 = 0,15$ მ; $d_2 = 0,20$ მ და $d_3 = 0,10$ მ.

გამოვთვალოთ ხარჯი თითოეულ განშტოებაში q_1 , q_2 , q_3 და მოქმედი დაწნევა H .

ამოხსნა. როგორც ვიცით წნევათა სხვაობა განშტოების კვანძებში მუდმივი იქნება ყველა მილებისათვის და ამიტომ:

$$H = \frac{q_1^2 \cdot l_1}{K_1^2} = \frac{q_2^2 \cdot l_2}{K_2^2} = \frac{q_3^2 \cdot l_3}{K_3^2} \quad (1)$$

ზემოაღნიშნული განტოლებიდან

$$q_1 = \sqrt{\frac{H \cdot K_1^2}{l_1}} = K_1 \cdot \sqrt{\frac{H}{l_1}} = K_1 \cdot \sqrt{i_1}.$$

ახლა q_2 და q_3 გამოვხატოთ q_1 -ით.

(1) განტოლებიდან (იხ. დანართი, ცხრილი 24)

$$q_2 = q_1 \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot \sqrt{\frac{l_1}{l_2}} = q_1 \cdot \frac{331,7}{149,37} \cdot \sqrt{\frac{600}{800}} = 3,15 \cdot q_1,$$

$$q_3 = q_1 \cdot \frac{K_3}{K_1} \cdot \sqrt{\frac{l_1}{l_3}} = q_1 \cdot \frac{48,1}{149,37} \cdot \sqrt{\frac{600}{550}} = 0,363 \cdot q_1,$$

სისტემის ხარჯი

$$Q = 100 = q_1 + q_2 + q_3 = q_1 + 3,15 \cdot q_1 + 0,363 \cdot q_1 = 4,513 \cdot q_1.$$

საიდანაც

$$q_1 = \frac{Q}{4,513} = 22,158 \text{ ლიტ/წმ},$$

$$q_2 = 3,15 \cdot q_1 = 3,15 \cdot 22,158 = 69,798 \text{ ლიტ/წმ}$$

და

$$q_3 = 0,363 \cdot q_1 = 0,363 \cdot 22,158 = 8,04 \text{ ლიტ/წმ}.$$

სისტემის ხარჯი ანგარიშის მიხედვით გაუტოლდება:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = 22,158 + 69,798 + 8,04 = 99,996 \text{ ლიტ/წმ} \approx 100 \text{ ლიტ/წმ}.$$

მოქმედი დაწნევა H შეგვიძლია ადვილად ვიანგარიშოთ (1) განტოლების საშუალებით.

გამოდინება ხვრეებიდან და ნამაჯებიდან

ამოცანა № 57. მოცემულია ჭურჭელი, რომლის ფსკერში მოწყობილია მცირე ზომის ხვრეტი. ხვრეტიდან ხდება წყლის გამოდინება.

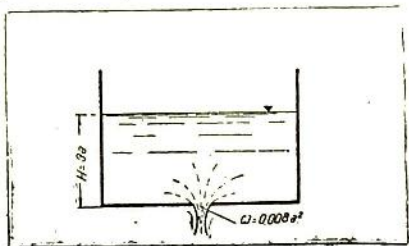
გამოვიანგარიშოთ წყლის ხარჯი Q და სიჩქარე v თუ ხვრეტის ფართობი $\omega = 0,008 \text{ მ}^2$, დაწნევა $H = 3,0 \text{ მ}$. ნაკადის კოეფიციენტი $\mu = 0,60$ (იხ. ნახ. 45).

ამოხსნა. ხვრეტის ხარჯი ვიანგარიშოთ ცნობილი ფორმულით:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} = 0,037 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

გამოდინების სიჩქარე ტოლია:

$$v = \frac{Q}{\omega} = 7,7 \text{ მ/წმ}.$$

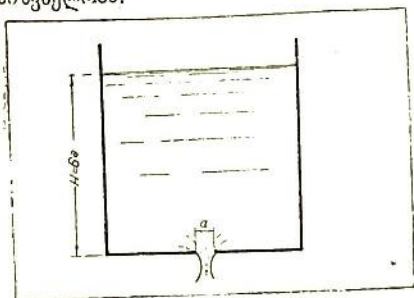


ნახ. 45.

სიჩქარე შეგვიძლია განვსაზღვროთ აგრეთვე ქვემოთ მოყვანილი ფორმულითაც:

$$v = \varphi \sqrt{2gH}$$

თუ, რასაკვირველია, წინასწარ ცნობილია სიჩქარის φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა.



ნახ. 46.

ამოცანა № 58. ჭურჭლის ფსკერში მოწყობილია კვადრატული კვეთის ხვრეტი.

ვიანგარიშოთ გამოდინებული წყლის ხარჯი, თუ კვადრატის გვერდის სიგრძე $a = 0,30 \text{ მ}$, ხოლო დაწნევა $H = 6,0 \text{ მ}$ (იხ. ნახ. 46).

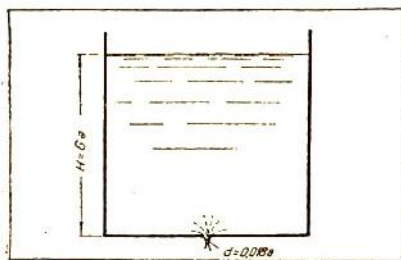
ამოხსნა. საანგარიშო განტოლებაში შემავალი ხარჯის კოეფიციენტი μ ავიღოთ ცხრილიდან (იხ. ცხრილი 3).

ცხრილის მიხედვით, როდესაც დაწნევა $H = 6 \text{ მ}$ სიგრძე და $a = 0,3 \text{ მ}$, ხარჯის კოეფიციენტი $\mu = 0,602$.

ამიტომ

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g \cdot H} = 0,607 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 59. ცილინდრის ფსკერში, რომლის დიამეტრი $D=1,5$ მ, მოწყობილია მრგვალი ხვრეტი. ხვრეტის დიამეტრი $d=0,018$ მ, დაწნევა $H=6,0$ მ.



ნახ. 46ა

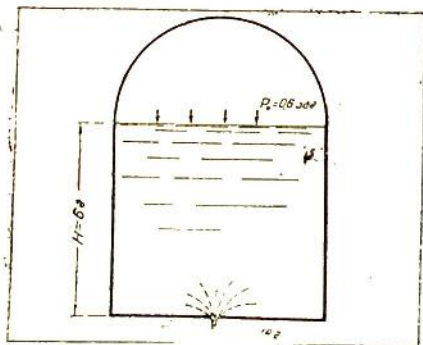
განვსაზღვროთ ხვრეტის ხარჯი Q , თუ გამოდინება ატმოსფეროში ხდება (იხ. ნახ. 45).

ამოხსნა. ხარჯის ფორმულაში μ მნიშვნელობა ავიღოთ ცხრილიდან (იხ. ცხრილი 4). ცხრილიდან: $d=0,018$ მ, $H=6,0$ მ შეესაბამება ხარჯის კოეფიციენტი $\mu=0,596$.

ამიტომ, წყლის ხარჯი

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} = 0,596 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,018^2}{4} \cdot \sqrt{19,62,6} = 0,00165 \text{ მ}^3/\text{წმ.} = 1,65 \text{ ლ/წმ.}$$

ამოცანა № 60. წინა ამოცანის პირობებისაგან განსხვავებით დავუშვათ, რომ ცილინდრი დახურულია და წყლის ზედაპირზე წნევა $p_0=0,6$ ატმ. (იხ. ნახ. 47).



ნახ. 47.

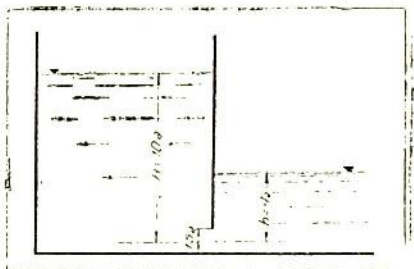
ამოხსნა. ვინაიდან წყლის ზედაპირზე განვითარებულია ვაკუუმი, ამიტომ შეიცვლება ხვრეტზე მოქმედი დაწნევა. ხვრეტზე მოქმედი დაწნევა ტოლია:

$$H' = H - \left(\frac{p_0 - p_0}{\gamma} \right) = 6 - 4 = 2 \text{ მ,}$$

ხარჯი კი

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g \left[H - \left(\frac{p_0 - p_0}{\gamma} \right) \right]} = 0,00095 \text{ მ}^3/\text{წმ.} = 0,95 \text{ ლ/წმ.}$$

ამოცანა № 61. მოცემულია აუზი, რომლის გვერდით კედელში ფსკერთან მოწყობილია კვადრატული კვეთის ხვრეტი (იხ. ნახ. 48). წყლის სიღრმე აუზში (ხვრეტის სიმაღლის ცენტრის ზემოთ) მუდმივია და $H=10$ მ. წყლის სიღრმე აუზიდან გამოსვლის შემდეგ თავისუფალი ზედაპირიდან ხვრეტის სიმაღლის ცენტრამდე მუდმივია და $h=4$ მ. თავისუფალი ზედაპირის ფართი აუზში $\omega_0 = 4,5$ მ². ხვრეტის ზომებია: $\omega = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25$ მ².



ნახ. 48.

გამოვთვალოთ ხვრეტიდან გამოდინებული წყლის ხარჯი Q და სიჩქარე v .

ამოხსნა. ხვრეტზე მოქმედი დაწნევა $h_2 = H - h$. მოცემულ შემთხვევაში ადგილი აქვს არასრულ კუმშვას და ამიტომ ხარჯის კოეფიციენტი

$$\mu_1 = \mu(1 + \epsilon) = 0,62 \cdot (1 + 0,134) = 0,703,$$

სადაც ცხრილის მიხედვით $\epsilon = 0,134^*$, ვინაიდან

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{1,5 \cdot 1,5}{4,5} = 0,5.$$

წყლის ხარჯი

$$Q = \mu_1 \cdot \omega \sqrt{2g(H-h)} = 0,703 \cdot 2,25 \sqrt{19,62 \cdot 6} = 17,15 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სიჩქარე

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{17,15}{2,25} = 7,62 \text{ მ/წმ}.$$

ამოცანა № 62. კაშხლის ზემო ნაწილში მოწყობილია წყალგასაშვები ხვრეტი (მილი), რომელიც წყალდიდობის დროს ზედმეტ წყალს კაშხლის ქვედა ბიეფში აგდებს. დავუშვათ, რომ დაწნევა ხვრეტის ღერძზე $H=3$ მ და ვგულისხმობთ, რომ ეს დაწნევა მუდმივია. ხვრეტის დიამეტრი $d=1,5$ მ, კაშხლის სისქე (მილის სიგრძე) $l=2,5$ მ (იხ. ნახ. 49).

განვსაზღვროთ ხვრეტიდან გამოდინებული წყლის ხარჯი Q .

ამოხსნა. უპირველეს ყოვლისა, დავადგინოთ გამოდინების ხასიათი. ჩვენ ვიცით რომ, თუ $l = (3,0 \div 4,0) d$, მაშინ გამოდინება ხვრეტი-

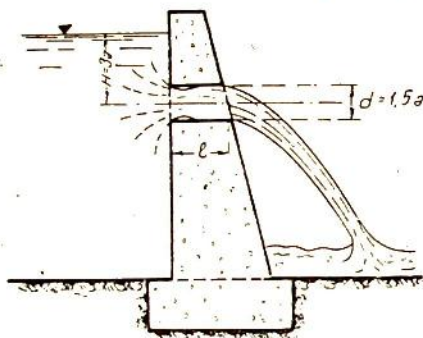
* იხ. Н. Павловский, гидравлический справочник, 1937, стр. 336

დან ვენტურის ნამატიდან გამოდინების ანალოგიურია და თუ $l < 3d$ გამოდინება თხელკედლიანი ხერტის ანალოგიური იქნება.

ჩვენს შემთხვევაში $l = 2,5 < 3,0d = 4,5$ მ. მაშასადამე, გამოდინება თხელკედლიანი ხერტის ანალოგიურია და $\mu = 0,60$.

მაშინ გამოდინებული წყლის ხარჯი

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} = 0,60 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot \sqrt{19,62 \cdot 3} = 8,132 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$



ნახ. 49

სიჩქარე

$$v = \frac{Q}{\omega} = 4,602 \text{ მ/წმ}.$$

ახლა დავეშვათ $l = (3,0 \div 4,0) \cdot d$, მაშინ გამოდინება ხერტიდან ვენტურის ნამატიდან გამოდინების ანალოგიური იქნება. თუ მილის შესასვლელი კვეთი არ არის მორგავლებული (ე. ი. თუ იგი მახვილია), მაშინ

$$\mu = 0,82,$$

ხარჯი

$$Q = 0,82 \cdot 1,767 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 3} = 10,94 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

თუ მილის შესასვლელი კვეთი ძაბრისებრია (კონოიდალურია), მაშინ

$$\mu = 0,97,$$

წყლის ხარჯი

$$Q = 13,13 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამრიგად, ხერტიდან გამოდინებული ხარჯის სიდიდზე, ერთსა და იმავე H და ω შემთხვევაში, დიდ გავლენას ახდენს როგორც კედლის სისქე ასევე შესასვლელი ნაწილის მოხაზულობა.

საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ გამოდინებული ხარჯის მიღებული მნიშვნელობანი:

1. თხელკედლიან ხერტიდან გამოდინების დროს $Q = 8,132 \text{ მ}^3/\text{წმ}$,
2. ვენტურის ნამატიდან გამოდინების დროს, როდესაც შესავალი ნაწილი მახვილია $Q = 10,94 \text{ მ}^3/\text{წმ}$,
3. როდესაც ვენტურის ნამატიდან გამოდინების დროს შესავალი ნაწილი კონოიდალურია $Q = 13,13 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

როგორც ვხედავთ, თხელკედლიან ხვრეტიდან გამოდინებასთან შედარებით, კონოიდალური ნამატიდან გამოდინების დროს ხარჯი 4,998 მ³/წმ იზრდება, ე. ი. 61,4%. მახვილ კუთხოვანი შესავალი კვეთის მქონე ნამატი კი ხარჯს 32% ზრდის.

ამოცანა № 63. ვიანგარიშით წყლის ხარჯი, რომელიც გამოედინება რეზერვუარის ფსკერის ხვრეტიდან, თუ დაწნევის სიმაღლე $H=5,0$ მ, ხვრეტის ფართობი $\omega=0,15$ მ², ხოლო ფსკერის ფართობი $\omega_0=1,15$ მ² (იხ. ნახ. 50).

ამოხსნა. ვინაიდან

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{0,15}{1,15} = 0,130 > 0,05,$$

ამიტომ საქმე გვაქვს არასრულ კუმშვასთან და ამ შემთხვევაში ხარჯის კოეფიციენტს ვიპოვით ფორმულით:

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + k) = 0,62(1 + 0,013) = 0,628.$$

k კოეფიციენტის სიდიდეს ცხრილიდან* ვიღებთ.

წყლის ხარჯი

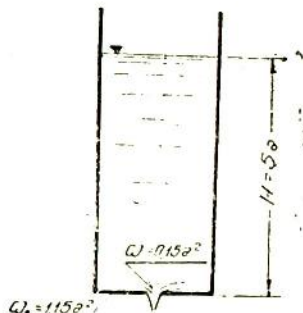
$$Q = 0,628 \cdot 0,15 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 5} = 0,934 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 64. მოცემულია აუზი (იხ. ნახ. 51), რომელიც ორი ტიხარის საშუალებით გაყოფილია სამ ნაწილად. პირველ ტიხარში მოწყობილია ω_1 ფართის მქონე ხვრეტი, რომლის საშუალებით წყალი გაედინება აუზის პირველ განყოფილებიდან მეორეში. მეორე ტიხარში მოწყობილია ω_2 ფართის მქონე ხვრეტი რომლის საშუალებით წყალი 2 განყოფილებიდან გადადის 3 განყოფილებაში; ამ უკანასკნელიდან კი წყალი აუზის გვერდითი კედლის ω_3 ხვრეტის საშუალებით გამოედინება ატმოსფეროში.

განესაზღვროთ წყლის დონეთა სხვაობა აუზის ცალკეულ განყოფილებებში (h_1 , h_2 და h_3) და გამოდინებული წყლის ხარჯი Q , თუ წყლის საწყისი დაწნევა $H=5$ მ. ხვრეტების ფორმა მრგვალია და მათი ფართობი სათანადოდ ტოლია:

$$\omega_1 = 0,10 \text{ მ}^2, \quad \omega_2 = 0,12 \text{ მ}^2, \quad \omega_3 = 0,08 \text{ მ}^2.$$

ამოხსნა. განვიხილოთ ამოცანის გადაწყვეტის პირველი ხერხი. იმის გამო რომ დაწნევა მუდმივია შეგვიძლია დავუშვათ, რომ წყლის



ნახ. 50.

* Н. Павловский, Гидравлический справочник, 1987 г, стр. 336.

ძრაობა დამყარებულია და ხარჯი ყველა კვეთში ტოლია. წყლის ხარჯი სათანადო კვეთებში შეგვიძლია გამოვსახოთ ცნობილი ფორმულის საშუალებით:

$$Q_1 = \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{2gh_1}, \quad Q_2 = \mu_2 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{2gh_2}$$

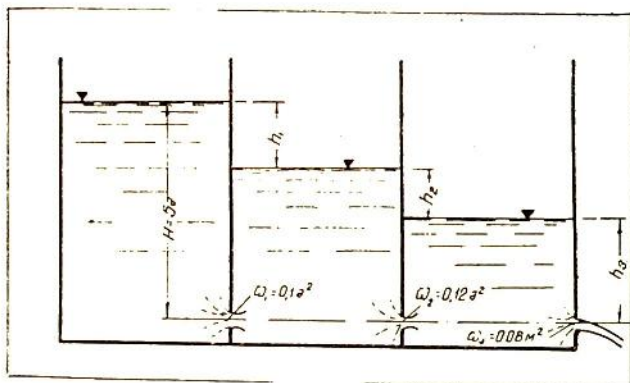
და

$$Q_3 = \mu_3 \cdot \omega_3 \cdot \sqrt{2gh_3}.$$

სრული დაწნევა კი

$$H = h_1 + h_2 + h_3.$$

ამ ოთხი განტოლებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ ოთხი უცნობი: h_1 , h_2 , h_3 და Q .



ნახ. 51.

იმის გამო, რომ $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$ არის სისტემის მუდმივი ხარჯი, ანიტომ

$$\mu_1 \cdot \omega_1 \sqrt{2gh_1} = \mu_2 \cdot \omega_2 \sqrt{2gh_2} = \mu_3 \cdot \omega_3 \sqrt{2gh_3}. \quad (1)$$

ჩვენ შემთხვევაში $\mu_1 \approx \mu_2 \approx \mu_3$, რადგან სამივე ხერტში წყლის გამოდინების პირობები თითქმის ერთნაირია.

(1) განტოლების ტოლი ელემენტების შეკვეცის შემდეგ მივიღებთ:

$$\omega_1 \sqrt{h_1} = \omega_2 \sqrt{h_2} = \omega_3 \sqrt{h_3},$$

საიდანაც

$$h_2 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \cdot h_1 \quad \text{და} \quad h_3 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right) \cdot h_1.$$

ახლა, თუ ამ მნიშვნელობებს შევიტანთ H გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$H = h_1 \left[1 + \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2 \right],$$

საიდანაც

$$h_1 = \frac{H}{1 + \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 + \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2} = 1,535 \text{ მ.}$$

ახლა უკვე ადვილად განისაზღვრება h_2 და h_3 :

$$h_2 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \cdot h_1 = 1,066 \text{ მ.}$$

$$h_3 = \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2 h_1 = 2,399 \text{ მ.}$$

განსაზღვრეთ აგრეთვე რეზერვუარიდან გამოდინებული წყლის ხარჯი ($\mu=0,6$):

$$Q = \mu \cdot \omega_1 \sqrt{2g h_1} = 0,3288 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

იგივე ამოცანა შეგვიძლია გადავწყვიტოთ სხვა გზითაც. კერძოდ, (1) განტოლების თანახმად:

$$h_1 = \frac{Q^2}{\mu_1^2 \cdot \omega_1^2 \cdot 2g}, \quad h_2 = \frac{Q^2}{\mu_2^2 \cdot \omega_2^2 \cdot 2g}, \quad h_3 = \frac{Q^2}{\mu_3^2 \cdot \omega_3^2 \cdot 2g}. \quad (2)$$

დაწნევათა ეს მნიშვნელობები შევიტანოთ H გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$$H = \frac{Q^2}{\mu_1^2 \omega_1^2 \cdot 2g} + \frac{Q^2}{\mu_2^2 \omega_2^2 \cdot 2g} + \frac{Q^2}{\mu_3^2 \omega_3^2 \cdot 2g},$$

ხოლო, ვინაიდან $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$, ამიტომ

$$H = \left(\frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \frac{1}{\omega_3^2} \right) \cdot \frac{Q^2}{\mu^2 \cdot 2g},$$

საიდანაც

$$Q = \frac{\mu \sqrt{2gH}}{\sqrt{\frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} + \frac{1}{\omega_3^2}}} = 0,329 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

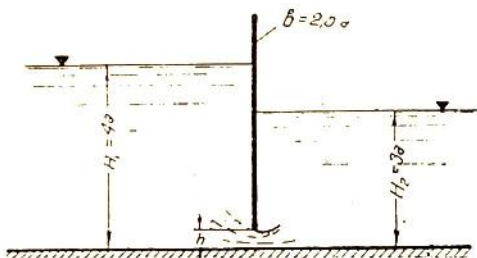
ხარჯის განსაზღვრის შემდეგ h_1 , h_2 და h_3 სიღიდეების ანგარიშში ადვილად შეგვიძლია ჩავატაროთ (2) განტოლებით.

ამოცანა № 65. სწორკუთხა კვეთის არხზე აგებულია ფარი. ფარის სიგანე $b=2,5$ მ, დაწნევა ფარის წინ $H_1=4$ მ, ფარის ქვემო მხარეზე წყლის სიღრმე $H_2=3,0$ მ (იხ. ნახ. 52).

განესაზღვროთ, რა სიმაღლეზე უნდა აიწიოს ფარი, რომ გამოდინებული წყლის ხარჯი $Q=3,0$ მ³/წმ.

ამოხსნა. გამოდინება ფარის ხერტიდან არასრულია, რადგანაც სამი მხრიდან ხერტი შემოფარგლულია არხის მიმმართველი კედლებით და ფსკერით.

ხარჯის μ კოეფიციენტის მნიშვნელობა ვიანგარიშით ფორმულით:



ნახ. 52

$$\mu = \mu_0 (1 + 0,4 n) = 0,60 \left(1 + 0,4 \cdot \frac{10,5}{13,0} \right) = 0,792$$

(n არის ფარდობა ხერტის იმ პერიმეტრისა, რომლის გასწვრივ ქავლს არ გააჩნია კუმშვა სრულ პერიმეტრთან).

აღნიშნოთ: $h_1 = H_1 - H_1$, მაშინ ხარჯი

$$Q = \mu \cdot a \sqrt{2gh_1}$$

საიდანაც

$$a = \frac{Q}{\mu \cdot \sqrt{2gh_1}} = 0,857 \text{ მ}.$$

ხერტი სწორკუთხოვანია და $a = bh$, ამიტომ ფარის საძიებელი ვალემა

$$h = \frac{a}{b} = 0,342 \text{ მ}.$$

შევამოწმოთ ხარჯი:

$$Q = \mu \cdot a \sqrt{2gh_1} = 2,997 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 3,00 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 66. განესაზღვროთ ხარჯი და სიქარე წყალში ჩაძირული კურკლის ხერტიდან გამოდინების დროს, თუ მოძრაობა დამფარებულია ($H = \text{const}$) და ხერტის ფართობი a საკმაოდ მცირეა კურკლის განივკვეთის ფართთან (a_0) შედარებით (იხ. ნახ. 53).

მოცემულია: $H_1 = 5,50$ მ, $h_1 = 1,50$ მ, $H = 4,0$ მ, $a_1 = 0,11$ მ².

ამოხსნა. ხერტიდან გამოდინების სიჩქარის გასარკვევად დავწეროთ ბერნულის განტოლება 0-0 და 1-1 კვეთებისათვის ა-ა საფარდი სიბრტყის მიმართ:

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 =$$

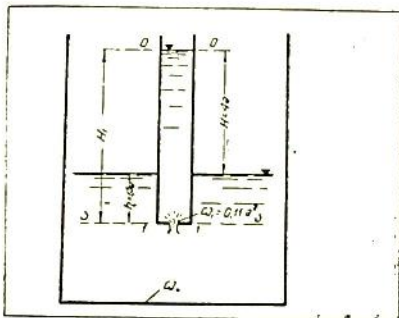
$$= \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \Sigma h_e,$$

სადაც

$$v_0 \approx 0, z_0 = H_1, z_1 = 0,$$

$$\Sigma h_e = \xi \frac{v_1^2}{2g}.$$

უკანასკნელ განტოლებიდან მივიღებთ:



ნახ. 53.

$$(1 + \xi) \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_0 - p_1}{\gamma} + H_1 \text{ და } v_1 = \sqrt{\frac{2g \left(H_1 + \frac{p_0 - p_1}{\gamma} \right)}{1 + \xi}},$$

სადაც

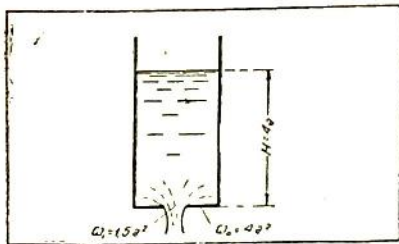
$$p_1 = p_0 + \gamma h_1.$$

ამ მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} \sqrt{2g(H_1 - h_1)} = \varphi \sqrt{2gH},$$

ბარჯი

$$Q = \mu \omega_1 \cdot \sqrt{2gH} = 0,60 \cdot 0,11 \cdot 4,43 \cdot 2 = 0,584 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$



ნახ. 54.

ქურჭლის დაცლის დრო იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

ამოცანა № 67. მოცემულია ქურჭელი, რომლის ხერტზე დაწნევა $H=4$ მ, სითხის ზედაპირის ფართობი $\omega_0=4$ მ², ხერტის ფართობი $\omega_1=1,5$ მ². წყლის მოდინებას ქურჭლის ადგილი არა აქვს.

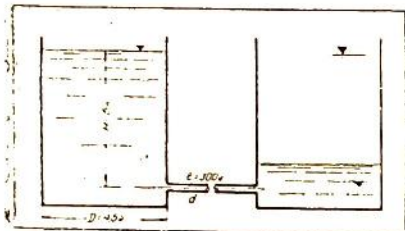
განესაზღვროთ რა დროის განმავლობაში დაიცლება ქურჭელი (იხ. ნახ. 54).

$$t = \frac{2\omega_0 \sqrt{H}}{\mu \cdot \omega_1 \sqrt{2g}} = 40,1 \text{ წამი,}$$

სადაც

$$\mu = 0,60$$

ამოცანა № 68. მოცემულია მილით შეერთებული ორი ცილინდრული აუზი. 1 აუზის დიამეტრი $D=4,5$ მ, შემაერთებელი მილის სიგრძე $L=300$ მ, საწყისი დაწნევა $H=5$ მ.



ნახ. 55.

განვსაზღვროთ მილის ისეთი დიამეტრი, რომლის დროსაც 5 წუთის განმავლობაში წყლის დონე ორივე აუზში გათანასწორდება. პირველ აუზში წყლის მოდინება სწარმოებს მუდმივად (იხ. ნახ. 55).

ამოხსნა. იმისათვის რომ 2 აუზში წყლის დონემ H სიმაღლეზე აიწიოს საჭიროა გა-

ვიდეს გარკვეული დროის მონაკვეთი t . ეს დრო შეგვიძლია ვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით:

$$t = \frac{2\omega_0 \sqrt{H}}{\mu \omega_1 \sqrt{2g}}; \text{ საიდანაც } \mu \omega_1 = \frac{2\omega_0 \sqrt{H}}{t \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot \pi D^2 \sqrt{H}}{4 \cdot 5 \cdot 60 \sqrt{2g}} = 0,053.$$

μ და ω_1 მნიშვნელობები დამოკიდებული არიან მილის დიამეტრის მნიშვნელობაზე.

ჯერ განვსაზღვროთ μ :

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{\xi_1 + \xi_2 + \lambda \frac{L}{d}}}$$

სადაც $\xi_1 = 0,5$ (წინააღმდეგობის კოეფიციენტი მილში შესვლაზე), λ არის გარსის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი ($\lambda = 0,023$), $\xi_2 = 1$ (წინააღმდეგობის კოეფიციენტი ნაკადის შესვლაზე 2 აუზში).

ასე რომ

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{1,5 + \frac{7,5}{d}}}, \quad \omega_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

ამ გამოსახლებათა საშუალებით ვიპოვით μ , ω_1 და $\mu \omega_1$ მნიშვნელობებს.

დავუშვათ d -ს რიგი მნიშვნელობა და გამოვთვალოთ შესაბამისი μ , ω და $\mu \cdot \omega_1$ მნიშვნელობები. მიღებული შედეგები შევიტანოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

№№	d	μ	ω_1	$\mu \cdot \omega_1$
1	0,10	0,115	0,0078	0,00089
2	0,15	0,130	0,0196	0,00255
3	0,20	0,160	0,0314	0,0050
4	0,25	0,178	0,0504	0,00897
5	0,30	0,193	0,0707	0,01360
6	0,35	0,207	0,0988	0,02450
7	0,40	0,220	0,1260	0,0655

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს ჩვენთვის საჭირო დიამეტრი დაახლოებით 0,4 მ ტოლია.

თუ დავიცავთ მეტ სიზუსტეს, მაშინ საჭირო იქნება აიგოს $d = f(\mu \omega_1)$ მრუდი და ამ მრუდის საშუალებით განისაზღვროს $\mu \omega_1 = 0,053$ მნიშვნელობის შესატყვისი დიამეტრი.

ამოცანა № 69. დიდი ქანობის მქონე მდინარეებზე ნაოსნობის განხორციელების მიზნით აგებენ რაბებს. რაბის მოქმედების პრინციპი ძირითადად შემდეგში მდგომარეობს. იხურება რაბის ქვემო ფარი და ზემო წყალგასაშვები ხერცების გაღებით წყალი მდინარის ზედა დონიდან შემოედინება რაბში მანამ, ვიდრე ზედა და ქვედა დონეები არ გათანაბრდება. ამის შემდეგ იღება რაბის ზემო ფარი. რაბში შემოდის გემი და იხურება რაბის ზემო ფარი და ხერცების საკეტები. შემდეგ, ქვემო ხერცების საკეტების გაღებით რაბში წყლის დონე დაიწევს და გაუტოლდება მდინარის ქვედა დონეს. იღება რაბის ქვემო ფარი, გემი გამოდის რაბიდან და განაგრძობს გზას. რაბის მუშაობის აღნიშნული პროცესი შეიძლება ჩატარდეს შებრუნებული მიმართულებითაც, ანუ მდინარის ქვედა დონიდან ზედა დონისაკენ (იხ. ნახ. 56).

მოცემულია: $H = 9,0$ მ, $H_1 = 17,0$ მ, $H_2 = 12,0$ მ, $H_3 = 8,0$ მ, $H_4 = 4,0$ მ, $H_5 = 9,0$ მ, რაბის სიგრძე $L = 80,0$ მ, რაბის სიგანე $b = 15,0$ მ, ზედა და ქვედა წყალგაშვები ხერცების დიამეტრი $d = 2,2$ მ.

განვსაზღვროთ t დრო, რომელიც საჭიროა კამერის ასავსებად და დასაცლელად.

ამოხსნა. I შემთხვევა. წარმოვიდგინოთ, რომ კამერა ავსებულია წყლით და მისი დონე ეთანაბრება მდინარის ზედა დონეს ($H_4 + H_1$).

განვსაზღვროთ დრო, რომელიც საჭიროა კამერაში წყლის დონის დასაწევად მდინარის ქვედა დონემდე (H_5 სიმაღლემდე).

აღნიშნული დროის შუალედი იანგარიშება შემდეგი ცნობილი ფორმულით:

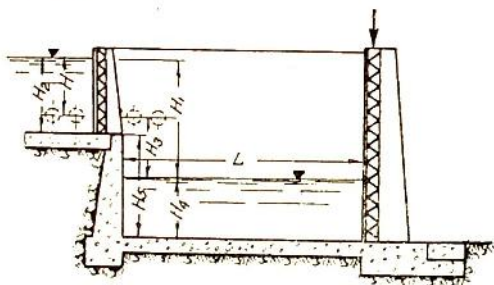
$$t = \frac{2\omega_0 \cdot \sqrt{H_1}}{\mu \omega \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot L \cdot b \cdot \sqrt{H_1}}{\mu \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 15 \cdot \sqrt{17}}{0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,22}{4} \sqrt{19,62}} =$$

$$= 979 \text{ წმ} = 16,317 \text{ წთ},$$

სადაც ω_0 არის წყლის თავისუფალი ზედაპირის ფართი რაბის კამერაში.

II შემთხვევა. კამერაში წყლის სიმაღლე $H_3 = 4$ მ.

განვსაზღვროთ დრო, რომელიც საჭიროა კამერაში წყლის დონის $H_3 + H_1$ სიმაღლემდე ასაწევად.



ნახ. 56.

რაბის ზედა ხვრეტებიდან გამოდინების დროს ადგილი ექნება წყლის მოძრაობის ორ სახეს:

1. ვიდრე კამერის ქვედა წყლის დონე მიაღწევს ზემო ხვრეტების სიმაღლის ცენტრს, დინება დამყარებული იქნება ($H_3 + H_2$ სიღრმემდე);

2. აღნიშნული ხვრეტების სიმაღლის ცენტრის ზემოთ წყლის დონის აწევისას დაწნევა H თანდათანობით მცირდება და წყლის გამოდინება ხვრეტიდან არადამყარებული იქნება.

განვსაზღვროთ t_1 დრო, რომლის განმავლობაში წყლის დონე რაბში ზემო ხვრეტების სიმაღლის ცენტრს მიაღწევს (II-შემთხვევის 1 ფაზა).

წყლის მოცულობა, რომელსაც მიიღებს რაბის კამერა ზედა ხვრეტების სიმაღლის ცენტრამდე ტოლია $\omega_0 \cdot H_3$. ზემო ხვრეტიდან გამოდინებული წყლის ხარჯი t_1 დროის განმავლობაში, რომელიც აღნიშნული წყლის მოცულობის ($\omega_0 \cdot H_3$) ტოლია გამოისახება შემდეგნაირად:

$$\mu \cdot \omega \sqrt{2gH} \cdot t_1 = \omega_0 \cdot H_3,$$

ბოლო

$$t_1 = \frac{\omega_0 H_3}{\mu \omega \sqrt{2gH}} = \frac{L \cdot b \cdot H_3}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2gH}} = \frac{80 \cdot 15 \cdot 8}{0,6 \cdot 9,8 \cdot 4,43 \cdot 3,0} = 318 \text{ წმ} = 5,30 \text{ წთ.}$$

სადაც ω არის წყალგასაშვები ხერცების განივკვეთის ფართი.

ახლა განვსაზღვროთ t_2 დრო, რომლის განმავლობაში წყლის დონე კამერაში აიწვევს ხერცების სიმძიმის ცენტრიდან რაბის ზემო დონემდე (H სიმაღლემდე).

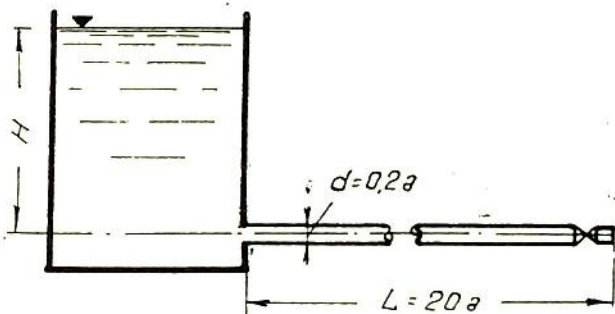
$$t_2 = \frac{2 \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{H}}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 15 \cdot \sqrt{9}}{0,60 \cdot \frac{3 \cdot 14 \cdot 2,2^2}{4} \cdot 4,43} = 712,8 \text{ წმ} = 11,8 \text{ წთ.}$$

ამრიგად, კამერის ავსების სრული დრო ტოლია:

$$t = t_1 + t_2 = 318 + 712 = 1030,8 \text{ წმ} = 17,20 \text{ წთ.}$$

ამოცანა № 70. მოცემულია წყლით სავსე კურკელი. ამ კურკელის წყლის დონიდან $H=3$ მ სიღრმეზე გამოყვანილია მილი, რომლის სიგრძე $L=20$ მ, დიამეტრი $d=0,2$ მ, აუზის სიგრძე $l=5$ მ, სიგანე $b=4$ მ. მილის ბოლოს ონკანია (იხ. ნახ. 57).

ვიანგარიშოთ დროის მონაკვეთი t , რომლის განმავლობაშიც აუზი დაიცილება.



ნახ. 57.

ამოხსნა. დავადგინოთ წინაღობის კოეფიციენტი მნიშვნელობანი და ამასთან დაკავშირებით ხარჯის კოეფიციენტი:

1. წინაღობის კოეფიციენტი, რომელიც დაკავშირებულია ნაკადის შესვლასთან მილში $\xi_1 = 0,5$,

8. პ. ჯიქია

2. წინალობის კოეფიციენტი ონკანისათვის $\xi_2 = 0,40$ (როდესაც მობრუნების კუთხე $\beta = 14^\circ$),

3. ხახუნით გამოწვეული წინალობის კოეფიციენტი

$$\xi_3 = \lambda \cdot \frac{L}{d} = 2,24,$$

ხარჯის კოეფიციენტი

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 + 0,40 + 2,24}} = 0,564.$$

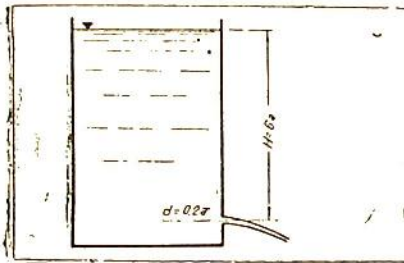
დრო, რომლის განმავლობაში დაიცლება აუზი ტოლია:

$$t = \frac{2\omega_0 \sqrt{H}}{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}} = 882,65 \text{ წთ},$$

სადაც

$$\omega_0 = b \cdot l = 4,0 \cdot 5 = 20 \text{ მ}^2.$$

ამოცანა № 71. რეზერვუარის კედელში მოწყობილია მრგვალი კვეთის ხვრეტი, წყლის დაწნევა ხვრეტზე $H = 6,0$ მ, ხოლო დიახეტრი $d = 0,2$ მ. ხვრეტზე შეიძლება მოვაწყოთ სხვადასხვა ტიპის ნამატები (იხ. ნახ. 58).



ნახ. 58.

განვსაზღვროთ გამოდინებული ხარჯი ცალკეულ შემთხვევებში.

ამოხსნა I შემთხვევა. ხარჯი თხელკედლიან ხვრეტიდან გამოდინების დროს

$$Q = \mu_1 \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH} = 0,204 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სადაც

$$\mu_1 = 0,60^*.$$

II შემთხვევა. განვსაზღვროთ ხარჯი ხვრეტზე მოწყობილი ცილინდრული ნამატიდან.

ნამატის სიგრძე

$$l = 3,5 d = 3,5 \cdot 0,2 = 0,7 \text{ მ},$$

ხარჯის კოეფიციენტი

$$\mu_2 = 0,82,$$

წყლის ხარჯი

$$Q = \mu_2 \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH} = 0,82 \cdot 0,0314 \cdot 10,85 = 0,297 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

* იხ. ცხრილები №№ 3, 4, 5, 6, 7 დანართში.

III შემთხვევა. ხარჯი კონოიდალური ნამატიდან ($\mu_3=0,97$)

$$Q = \mu_3 \cdot a \cdot \sqrt{2gH} = 0,97 \cdot 0,0314 \cdot 10,85 = 0,330 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

IV შემთხვევა. ხარჯი შინაგან (ბორდას) ნამატიდან ($\mu_4=0,71$)

$$Q = \mu_4 \cdot a \cdot \sqrt{2gH} = 0,71 \cdot 0,0314 \cdot 10,85 = 0,241 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

V შემთხვევა. ხარჯი ბოლოგაშლილ ნამატიდან, როდესაც ნამატის გამოსასვლელი დიამეტრი $d_1=0,30$ მ ($\beta=7^\circ$ და $\mu_5=0,50$)

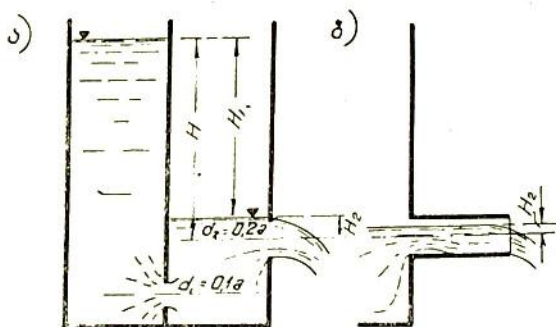
$$Q = \mu_5 \cdot a \cdot \sqrt{2gH} = 0,60 \cdot 0,071 \cdot 10,85 = 0,382 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

VI შემთხვევა. ხარჯი ბოლო შევიწროებული ნამატიდან, როდესაც $\beta=13^\circ 24'$ და $\mu_6=0,95$

$$Q = \mu_6 \cdot a \cdot \sqrt{2gH} = 0,95 \cdot 0,0314 \cdot 10,85 = 0,326 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

მოყვანილი სიდიდეები ცხადყოფენ ცალკეული სახის ნამატების უპირატესობას (ხარჯის გატარების თვალსაზრისით) თხელკედლიან ხვრეტთან შედარებით.

ამოცანა № 72. წყლის ნაკადის ხარჯის გასაზომ კურკელს გააჩნია $d_2=0,2$ მ დიამეტრის ხვრეტი (იხ. ნახ. 59 ა). ღინების შესანელებლად



ნახ 59.

(დასაწყენარებლად) კურკელის შიგნით მოწყობილია ტიხარი, რომლის ხვრეტის დიამეტრი $d_1=0,1$ მ, დაწნევა $H=2,0$ მ.

გამოთვალეთ ხარჯი Q და H_1 და H_2 დაწნევები.

მივიღოთ ორი საანგარიშო შემთხვევა:

- 1) გამოდინება სწარმოებს თხელკედლიან ხვრეტიდან,
- 2) გამოდინება სწარმოება ცილინდრულ ნამატიდან.

ამოხსნა. I შემთხვევა. დამყარებული მოძრაობის დროს
 ორივე ხერხეთის ხარჯი ერთი და იგივეა, $Q_1 = Q_2$.
 განვსაზღვროთ ხარჯი ტიხარის ხერხეტიდან:

$$Q_1 = \mu_1 \cdot a_1 \sqrt{2gH_1},$$

საიდანაც

$$H_1 = \frac{Q_1^2}{\mu_1^2 \cdot a_1^2 \cdot 2g}.$$

ხარჯი თხელკედლიან ხერხეტიდან ატმოსფეროში ტოლია:

$$Q_2 = \mu_2 \cdot a_2 \sqrt{2gH_2},$$

საიდანაც

$$H_2 = \frac{Q_2^2}{\mu_2^2 \cdot a_2^2 \cdot 2g}.$$

ნახაზიდან გამომდინარე

$$H = H_1 + H_2.$$

ჩავსვათ ამ უკანასკნელში H_1 და H_2 მნიშვნელობანი და მივიღებთ:

$$H = \frac{Q_1^2}{\mu_1^2 a_1^2 2g} + \frac{Q_2^2}{\mu_2^2 \cdot a_2^2 \cdot 2g} = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{\mu_1^2 \cdot a_1^2} + \frac{1}{\mu_2^2 \cdot a_2^2} \right),$$

სადაც

$$Q = Q_1 = Q_2.$$

გამოვთვალოთ H გამოსახულებაში შემავალი წევრები:

$$\frac{1}{\mu_1^2 \cdot a_1^2} = \frac{1}{0,6^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 14 \cdot 0,12}{4} \right)^2} = 44634,$$

$$\frac{1}{\mu_2^2 \cdot a_2^2} = \frac{1}{0,6^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 14 \cdot 0,2^2}{4} \right)^2} = 2817.$$

შეშასაღამე,

$$H = \frac{Q^2}{2g} (44634 + 2817) = 47451 \cdot \frac{Q^2}{2g} = 2,0 \text{ მ},$$

საიდანაც

$$Q = \sqrt{\frac{2g \cdot H}{47451}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81}{47451}} = 0,0288 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ახლა ვიანგარიშოთ H_1 და H_2 დაწინეები:

$$H_1 = \frac{Q_1^2 \cdot \frac{1}{\mu_1^2 \cdot \omega_1^2}}{2g} = 1,881 \text{ მ,}$$

$$H_2 = \frac{Q_2^2 \cdot \frac{1}{\mu_2^2 \cdot \omega_2^2}}{2g} = 0,119 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ

$$H = H_1 + H_2 = 1,881 + 0,119 = 2,0 \text{ მ.}$$

II შემთხვევა. იგივე პირობების მიხედვით ვიანგარიშით H_1 , H_2 და Q როდესაც ატმოსფეროში გამოდინება სწარმოებს ცილინდრული ნამატიდან (იხ. ნახ. 59 ბ).

ტიხარის ხვრეტიდან და ნამატიდან გამოდინებული ხარჯები ტოლი უნდა იყოს ($Q_1 = Q_2$).

სათანადო დაწნევები:

$$H_1 = \frac{Q_1^2}{\mu_1^2 \cdot \omega_1^2 \cdot 2g},$$

$$H_2 = \frac{Q_2^2}{\mu_2^2 \cdot \omega_2^2 \cdot 2g}.$$

$$H = H_1 + H_2 = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{\mu_1^2 \cdot \omega_1^2} + \frac{1}{\mu_2^2 \cdot \omega_2^2} \right).$$

მივიღოთ, რომ $\mu_1 = 0,60$, $\mu_2 = 0,82$. სათანადო გაანგარიშების შედეგად მივიღებთ:

$$H = 46151 \frac{Q^2}{7g} = 2,0 \text{ მ და } Q = \sqrt{\frac{2 \cdot 2g}{46151}} = 0,0292 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

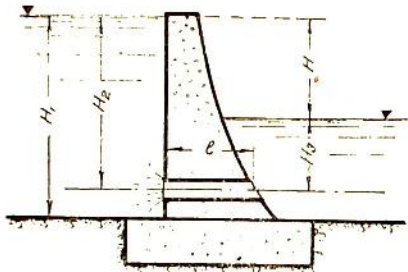
სათანადო დაწნევები კი

$$H_1 = 1,934 \text{ მ, } H_2 = 0,064 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ, თხელკედლიან ხვრეტიდან ნამატზე გადასვლის შედეგად გამოდინებული ხარჯი გაიზარდა. დაწნევა H_1 იზრდება, ხოლო H_2 მცირდება და ნამატი დაიწყებს მუშაობას არასრული კვეთით.

ამოცანა № 73. საჭიროა წყალსაცავიდან გადაევაღოთ წყლის ხარჯი $Q = 40,0$ მ³/წმ. წყალსაცავი შექმნილია კაშხალის მეშვეობით, რომელიც კეტავს ხეობას. კაშხალის სიმაღლე $H_1 = 18,0$ მ. აღნიშნული ხარჯის გასატარებლად კაშხალის ტანში მოწყობილია მრგვალი ხვრეტი. განვსაზღვროთ ხვრეტის საჭირო ფართი და მისი ცენტრის დაცილება წყალსაცავის თავისუფალ ზედაპირიდან.

ჰიდრავლიკურად აღნიშნულ შემთხვევაში საქმე გვაქვს სქელკედლიან ხერტიან, რომლის სიგრძე $l=8,0$ მ (იხ. ნახ. 60).



ნახ. 60.

ამოხსნა. სქელკედლიანი ხერტისა და გარეგანი ცილინდრული ნამატის მოქმედების პრინციპი ერთი და იგივეა.

დაუშვათ $H_2=15,0$ მ, მაშინ ხარჯი

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_2},$$

ხოლო

$$\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH_2}} = 2,84 \text{ მ}^2,$$

სადაც

$$\mu = 0,82.$$

განვახორციელოთ ორი მილი. თითოეული მილის განიკვეთის ფართი:

$$\omega_1 = \frac{\omega}{2} = \frac{2,84}{2} = 1,42 \text{ მ}^2,$$

დიამეტრი

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_1}{3,14}} = 1,35 \text{ მ}.$$

შევამოწმოთ ეს მილი ვაკუუმის წარმოშობაზე. ვაკუუმის სიმაღლე

$$h_{\text{ვაკ.}} = 0,75 \cdot H_2 = 0,75 \cdot 15,0 = 11,25 \text{ მ}.$$

როგორც ვხედავთ მილში ვითარდება ვაკუუმის დაუშვებელი სიდიდე, რაც გამოიწვევს მის მოწყვეტას და კაშხლის ხერტი იმუშავებს, როგორც ჩვეულებრივი თხელკედლიანი ხერტი.

ახლა დავსახოთ ღონისძიებანი, რომელთა საშუალებით შესაძლებელი იქნება მილის ფარგლებში განვაფითაროთ ზღვრულ მნიშვნელობაზე ნაკლები სიდიდის ვაკუუმი.

1. კაშხლის ხერტის ქვემოთ შევარჩიოთ ისეთი დაწნევა (H_3), რომელიც უზრუნველყოფს ხერტის ფარგლებში ვაკუუმის დასაშვებ სიდიდეს. ამ მიზნით შევადგინოთ შემდეგი ტოლობა:

$$(h_{\text{ვაკ.}})_{\text{დას.}} = 0,75 (H_2 - H_3),$$

საიდანაც

$$H_3 = H_2 - \frac{(h_{\text{ვაკ.}})_{\text{დას.}}}{0,75} = 15 - \frac{7}{0,75} = 5,65 \text{ მ}.$$

დასაშვები ვაკუუმის სიმაღლე მივიღეთ $(h_{\text{ვ.კ.}})_{\text{ღ.ს.}} = 7,0$ მ. ამ შემთხვევაში, ე. ი. როდესაც $H_3 = 5,65$ მ, მილი იმუშავებს, როგორც ნამატო და გაატარებს შესაბამის ხარჯს.

2. იმ შემთხვევაში, როდესაც მილის ქვემოთ შეუძლებელია განვახორციელოთ $H_3 = 5,65$ მ ტოლი შეტბორვა, მაშინ საჭიროა მილის ღერძი მოვათავსოთ წყლის ზედაპირიდან $H_2' = H_2 - H_3 = 9,35$ მ სიღრმეზე. ამ დაწნევისათვის გამოვთვალოთ ხერტის განიკვეთის ფართობი შემდეგი განტოლებიდან:

$$\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH_2'}} = \frac{40,0}{0,82 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 9,35}} = \frac{40,0}{11,12} = 3,60 \text{ მ}^2.$$

ტექნიკურად ხელსაყრელია მოეწვოს ორი წყალგასაშვები მილი. მაშინ ერთი მილის განიკვეთის ფართობი

$$\omega' = \frac{3,60}{2} = 1,80 \text{ მ}^2 \quad \text{და} \quad d = \sqrt{\frac{1,80 \cdot 4}{3,14}} = 1,51 \text{ მ.}$$

ამრიგად, ორი მილით გატარებული ხარჯი ტოლია:

$$Q = 2\mu\omega' \cdot \sqrt{2gH_2'} = 2 \cdot 0,82 \cdot 1,80 \cdot \sqrt{183,2} = 40,0 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

რაც ხარჯის გატარების პირობას აკმაყოფილებს.

შევამოწმოთ ვენტურის ნამატის პირობა $L_{\text{ღ.ს.}} = (3,0 \div 4,0) d$, სახელდობრ: $L_{\text{ღ.ს.}} = 3,5 \cdot 2,16 = 7,56$, რაც აკმაყოფილებს ნამატის პირობას:

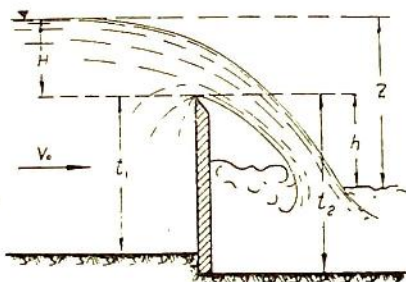
$$l = 8,0 > L_{\text{ღ.ს.}} = 7,56 \text{ მ.}$$

წყალსაშვები

ამოცანა № 74. სარწყავ არხზე ირიგაციული მიზნით დაყენებულია სწორკუთხოვანი კვეთის სრულქმნილი თხელკედლიანი წყალსაშვები.

წყალსაშვის სიმაღლე $t_1=0,5$ მ, გეომეტრიული სიგანე $b=2,0$ მ, დაწნევა წყალსაშვის წინ $H=0,40$ მ (იხ. ნახ. 61).

ამოხსნა. ა) განვსაზღვროთ წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ხარჯი, რისთვისაც გამოვიყენოთ წყალსაშვის ხარჯის განტოლება:



ნახ. 61.

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}.$$

ხარჯის კოეფიციენტი m ვიანგარიშოთ ბაზენის ფორმულით:

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{H} \right),$$

$$\left[1 + 0,55 \frac{H^2}{(t_1 + H)^2} \right] = 0,458.$$

m დადგენა შეიძლება აგრეთვე ცხრილებით (იხ. დანართი, ცხრილი 8 და 9).

წყალსაშვის ხარჯი:

$$Q = 0,458 \cdot b \sqrt{19,62} \cdot 0,40^{3/2} = 1024 \text{ ლიტ/წმ.} = 1,024 \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

(დაწნევის $3/2$ ხარისხში საანგარიშოდ ვისარგებლეთ მე-11 ცხრილით, იხ. დანართი).

უნდა აღინიშნოს, რომ ნაკადის ე. წ. მოსვლის სიჩქარის მხედველობაში მიღების შედეგად, გადადინებული ხარჯის მნიშვნელობა რამდენადმე გაიზრდება ($Q=1,082$ მ³/წმ).

ბ) განვსაზღვროთ დაწნევა წყალსაშვის წინ H (იხ. იგივე ნახაზი) და წყალსაშვზე ჰაერის შეკუმშული სიგანე $b_{\text{შკ}}$, თუ წყალსაშვის სიმაღლე $t_1=1,0$ მ, გეომეტრიული სიგანე $b=1,5$ მ, გადადინებული ხარჯი $Q=1,8$ მ³/წმ და ხარჯის კოეფიციენტი $m=0,42$.

წყალსაშვზე გადადინებული ნაკადის შევიწროვებული სიგანე, რომელიც წყალსაშვის ფარგლებში გვერდითი კუმშვის შედეგია, შემდეგი ფორმულით იანგარიშება:

$$b_{\text{შკ}} = b - 0,1 \cdot n \cdot H,$$

სადაც n არის გვერდითი კუმშვის გამომწვევი ადგილების რიცხვი.

ვინაიდან დაწნევა H უცნობია, ამიტომ ჯერ განვსაზღვროთ წყლის ხარჯი და დაწნევა წყალსაშვის გეომეტრიული სიგანის მიხედვით (გვერდითი კუმშვის გარეშე):

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2},$$

საიდანაც

$$H^{3/2} = \frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} = 0,65,$$

ხოლო

$$H = 0,65^{2/3} = 0,75$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 12).

ახლა გავარკვიოთ წყალსაშვზე გადაღინებული ნაკადის შეკუმშული სიგანე:

$$b_{შვ} = 1,5 - 0,1 \cdot 2 \cdot 0,75 = 1,35 \text{ მ},$$

სადაც $n=2$ (ნაკადი წყალსაშვზე განიცილის ორმხრივ კუმშვას).

ნაკადის შეკუმშული სიგანის მიხედვით განმეორებით ვიანგარიშოთ დაწნევა H , რომელიც საჭიროა მოცემული წყლის ხარჯის გასატარებლად:

$$H^{3/2} = \frac{1,80}{0,42 \cdot 1,35 \cdot 4,43} = 0,72,$$

სადაც

$$H = 0,72^{2/3} = 0,80 \text{ მ}.$$

H დაწნევის შემდგომი დაზუსტება პრაქტიკულ აუცილებლობას არ წარმოადგენს.

გ) განვსაზღვროთ თხელკედლიან სრულქმნილ წყალსაშვზე გადაღინებული ხარჯი Q .

წყალსაშვის სიმაღლე $t_1 = 0,8$ მ, არხისა და წყალსაშვის სიგანე $b = 1,5$ მ, დაწნევა $H = 0,35$ მ.

ამოხსნა. ამოცანა გადავწყვიტოთ თანდათანობითი მიახლოების წესით (იხ. ნახ. 61).

პირველ მიახლოებისას წყალსაშვზე ნაკადის მოსვლის სიჩქარეს (v_0) მხედველობაში არ ვიღებთ.

გადაღინებული ხარჯი

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}.$$

ხარჯის კოეფიციენტი ბაზენის მიხედვით

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{0,35} \right) \cdot \left[1 + 0,55 \frac{0,35^2}{(0,8 + 0,35)^2} \right] = 0,435,$$

ხარჯი

$$Q = 0,435 \cdot 1,5 \cdot 4,43 \cdot 0,35^{3/2} = 0,60 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

ნაკადის, ე. წ. მოსვლის სიჩქარე

$$v_0 = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{b \cdot (H + t_1)} = \frac{0,60}{1,5(0,35 + 0,80)} = 0,348 \text{ მ/წმ}$$

მოსვლის სიჩქარეზე შესწორებული დაწნევა

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} = 0,35 + \frac{0,348^2}{19,62} = 0,356 \text{ მ},$$

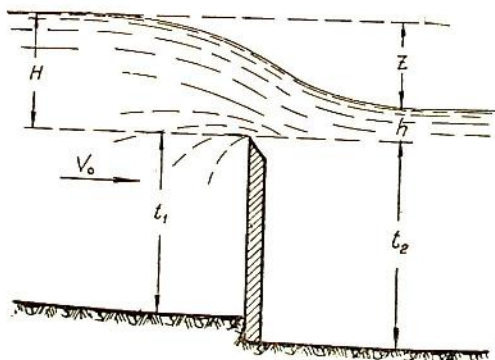
ხარჯის კოეფიციენტი

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{0,356} \right) \cdot \left[1 + 0,55 \frac{(0,356)^2}{1 \cdot 156^2} \right] = 0,436,$$

საბოლოოდ ხარჯი

$$Q = 0,436 \cdot 1,5 \cdot 4,43 \cdot 0,356^{3/2} = 0,614 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 75. განვსაზღვროთ თხელკედლიან არასრულქმნილ წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ხარჯი, როდესაც წყალსაშვის სიმაღლე $t_2 = 1,0$ მ, სიგანე $b = 10$ მ, დაწნევა $H = 1,5$ მ და ქვედა ბიეფის დონის შემალეება წყალსაშვის ქიმის მიმართ $h = 0,5$ მ (იხ. ნახ. 62).



ნახ. 62.

ამოცანის პირობის მიხედვით, აღნიშნული წყალსაშვი შეტბორილია (დაძირულია) ქვედა ბიეფის მხრიდან.

ამოხსნა. თუ ცნობილია შეტბორავე წყალსაშვის ხარჯის კო-

ეფიციენტი $m=0,43$, მაშინ შეტბორილი წყალსაშვის ხარჯის კოეფიციენტი $m'=m \cdot \sigma_{\text{პაბ}}$, სადაც $\sigma_{\text{პაბ}}$ არის წყალსაშვის ე. წ. ტბორვის კოეფიციენტი რომლის დადგენა მე-10 ცხრილიდან შეიძლება (იხ. დანართი).

ჩვენ შემთხვევაში

$$\sigma_{\text{პაბ}} = \left(1 + 0,2 \frac{h}{t_2}\right)^3 \sqrt{\frac{z}{H}} = 0,953,$$

$$\text{ვინაიდან } z = H - h = 1,0 \text{ მ.}$$

ამრიგად, ხარჯის კოეფიციენტი განსახილველი წყალსაშვისათვის:

$$m' = m \cdot \sigma_{\text{პაბ}} = 0,43 \cdot 0,953 = 0,41,$$

ხარჯი

$$Q = 0,41 \cdot 10 \cdot 4,43 \cdot 1,5^{3/2} = 33,3 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

ნაკადის მოსავლის სიჩქარე

$$v_0 = \frac{Q}{\omega} = \frac{33,3}{(H+t_1) \cdot b} = 1,33 \text{ მ/წმ},$$

შესწორებული დაწნევა

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} = 1,59 \text{ მ},$$

ხარჯის კოეფიციენტი მეორე შიახლოებაში ტოლია:

$$m' = 0,43 \left(1 + 0,2 \frac{0,5}{1,0}\right)^3 \sqrt{\frac{1,09}{1,59}} = 0,417,$$

ხარჯი

$$Q = 0,417 \cdot 10 \cdot 4,43 \cdot 1,59^{3/2} = 37,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 76. თხელკედლიანმა წყალსაშვმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q = 5,0 \text{ მ}^3/\text{წ}$ ისე, რომ დაწნევა $H = 0,5 \text{ მ}$. მოცემულია წყალსაშვის სიმაღლე $t_1 = 1,50 \text{ მ}$.

განვსაზღვროთ წყალსაშვის ისეთი სიგანე b , რომელიც დააკმაყოფილებს აღნიშნულ პირობებს.

ამოხსნა. ხარჯის განტოლებიდან გვაქვს:

$$b = \frac{Q}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}}.$$

ხარჯის კოეფიციენტი $m = 0,45$.

საბოლოოდ

$$b = \frac{5,0}{0,45 \cdot 4,43 \cdot 0,353} = 28,09 \text{ მ.} = 28,1 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 77. მდინარის დინების მართობულად აგებულია თხელ-
კედლიანი სრულქმნილი წყალსაშვი.

წყალსაშვის სიგანე $b=25,0$ მ, ე. ი. მდინარის სიგანის ტოლია
(გვერდით კუმშვას ადგილი არა აქვს), წყალსაშვის სიმაღლე $t_1=1,5$ მ.
ვიანგარიშით წყალსაშვის გამტარიანობა ორი შემთხვევისათვის,
როდესაც მაქსიმალური დაწნევა წყალსაშვის ქიშხე $H_1=0,70$ მ და რო-
დესაც მდინარის მინიმალური ხარჯის დროს დაწნევა $H_2=0,20$ მ.

ამოხსნა. ამოცანის ამოსახსნელად გამოვიყენოთ დანართში მო-
ყვანილი ცხრილები.

უპირველეს ყოვლისა დაწნევისა და წყალსაშვის სიმაღლის მიხე-
დვით მე-8 ცხრილიდან დავადგინოთ შესაბამისი ხარჯის კოეფიციენტი.

ასე მაგალითად, $H_1=0,7$ მ და $t_1=1,5$ მ მნიშვნელობებს შეესაბა-
მება ხარჯის კოეფიციენტი $m=0,430$.

ახლა განვსაზღვროთ ხარჯი ცხრილის საშუალებით (იხ. დანართი,
ცხრილი 9).

ვინაიდან $m=0,43$ მნიშვნელობის შესაბამისი ხარჯი ცხრილში არ
არის მოყვანილი ამიტომ მივმართოდ ინტერპოლაციის ხერხს.

როდესაც $H_1=0,70$ მ, ხოლო $m=0,40$, მაშინ ხვედრითი ხარჯი
(ანუ ხარჯი წყალსაშვის ერთი მეტრის სიგრძეზე) $q'=1,036$ მ³/წმ, ხვედ-
რითი ხარჯი კი (როდესაც $m=0,43$)

$$q = 1,036 \cdot \frac{0,43}{0,40} = 1,113 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სრული ხარჯი წყალსაშვის მთელ სიგრძეზე

$$Q_1 = q \cdot b = 1,113 \cdot 25,0 = 27,83 \text{ მ}^3 = 27830 \text{ ლიტ}/\text{წმ}.$$

მეორე შემთხვევაში, როდესაც დაწნევა $H_2=0,2$ მ. ხარჯის კო-
ეფიციენტი იმავე ცხრილიდან განისაზღვრება. თუ $m=0,425$, სრული
ხარჯი

$$Q_2 = \frac{158 + 178}{2} \cdot 25 = 4,20 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 4200 \text{ ლიტ}/\text{წმ}.$$

ამ ხარჯის განსაზღვრის დროს გამოვიყენეთ ცხრილის შემდეგი
მონაცემები:

$m=0,400$	მნიშვნელობას	შესაბამება	ხვედრითი ხარჯი	$q_1=158$ ლ/წმ,
$m=0,450$	"	"	"	$q_2=178$ ლ/წმ,
$m=0,425$	"	"	"	$q_3 = \frac{158 + 178}{2}$ ლ/წმ.

ახლა დამატებით ვიანგარიშით წყალსაშვზე გადადენილი ნაკადის
სიჩქარე:

პირველ შემთხვევაში

$$v_1 = \frac{Q_1}{\omega_1} = \frac{27,83}{25 \cdot 0,7} = 1,59 \text{ მ/წმ},$$

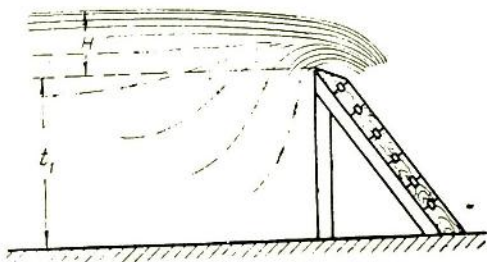
მეორე შემთხვევაში

$$v_2 = \frac{Q_2}{\omega_2} = \frac{4,20}{25 \cdot 0,2} = 0,84 \text{ მ/წმ}.$$

საორიენტაციო ანგარიშის დროს უკვე ჩატარებული ჰიდრაული-კური ანგარიშის შესამოწმებლად გაანგარიშება ცხრილების მიხედვითა ფრიად მიზანშეწონილია.

ამოცანა № 78. წყალსაშვის ზღურბლის დახრა დინების მიმართულებით 1:2 ტოლია.

განვსაზღვროთ წყალსაშვის ხარჯი. დაწნევა $H=0,5$ მ, წყალსაშვის სიმაღლე $t_1=1,0$ მ და სიგანე $b=5,0$ მ (იხ. ნახ. 63).



ნახ. 63.

ამოხსნა. ამოცანის ამოსახსნელად კვლავ ვისარგებლოთ ცხრილებით.

განსახილველ შემთხვევაში ხარჯის კოეფიციენტი

$$m_1 = \lambda \cdot m,$$

სადაც λ არის შემასწორებელი კოეფიციენტი.

ჯერ განვსაზღვროთ m მნიშვნელობა, როდესაც $H=0,5$ მ, და $t_1=1,0$ მ (იხ. დანართი, ცხრილი 8),

$$m = 0,437.$$

λ მნიშვნელობა, როდესაც წყალსაშვის დახრა დინების მიმართულებით 1:2 ტოლია*

$$\lambda = 1,12.$$

* პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა. 1947 წ., გვ. 314.

ასე რომ

$$m_1 = \lambda \cdot m = 1,12 \cdot 0,437 = 0,49.$$

წყლის ხარჯი (როდესაც $m_1 = 0,50$, იხ. დანართი, ცხრილი 9)

$$Q_1 = 785,0 \text{ ლიტ/წმ.}$$

ხარჯი (როდესაც $m = 0,49$)

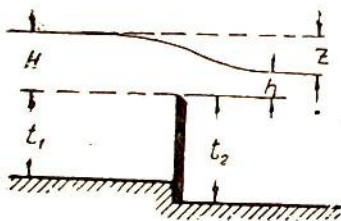
$$Q = 785,0 \cdot \frac{0,49}{0,50} = 0,759 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

იგივე წესით იანგარიშება ხარჯი წყალსაშვზე, როდესაც წყალსაშვი დაქანებულია დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ამოცანა № 79. ზოგჯერ არხზე ან ძდინარეზე მათი გრძივი ქანობისა და წყლის დონის აწევის სიმცირის გამო, აწყობენ მცირე დაწნევის მქონე წყალსაშვებს. ამ შემთხვევაში წყალსაშვის ანგარიში უნდა ჩატარდეს გარკვეული წესით.

განვიხილოთ თხელკედლიანი წყალსაშვი რომლის სიმაღლე $t_1 = 1,20$ მ, სიგანე $b = 5,00$ მ, ხოლო დაწნევა ქიშზე უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $H \leq 1,2$ მ.

ვინაგარიშოთ ხარჯი Q თუ $h = 0,4$ (იხ. ნახ. 64).



ნახ. 64.

ამოხსნა. შევამოწმოთ წყლის გადადინების ხასიათი განსახილველ წყალსაშვზე. შემოწმებისას ვრწმუნდებით, რომ განსახილველი წყალსაშვი არის არასრულქმნილი (შეტბორილი გადადინებით), ვინაიდან დაცულია შემდეგი პირობები:

$$h = 0,40 > 0 \text{ და}$$

$$\frac{z}{t_1} = \frac{H-h}{t_1} = 0,67 < 0,70,$$

სადაც კრიტერიუმი 0,70 დადგენილია ბაზენის ცდების მიხედვით.

როგორც ვიცით შეტბორილი გადადინების დროს ქვედა ბიფეის წყლის დონე გავლენას ახდენს წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ხარჯზე, სახელდობრ, ამცირებს გადადინებული წყლის ხარჯს წყლის დონის მომატებასთან ერთად.

განვიხილოთ არასრულქმნილი წყალსაშვის განტოლება:

$$Q = m' \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}.$$

ამ განტოლებაში შემავალი ხარჯის კოეფიციენტი

$$m' = 1,05 \cdot m \cdot \sigma_{3/2},$$

სადაც კოეფიციენტი 1,05 (ნ. პავლოვსკის მონაცემებით) გადადინებულ ხარჯზე იმ გავლენას გულისხმობს, რომელიც დაკავშირებულია ჰაერის შეღწევის ხარისხთან წყალსაშვზე გადადინებული ჰაერის ქვეშ.

ცხრილის მიხედვით $m=0,43$ (ეს მნიშვნელობა ზუსტად გაირკვევა ბაზენის ფორმული სრულქმნილი წყალსაშვისათვის).

წყალსაშვის შეტბორვის კოეფიციენტი

$$\sigma_{\text{შვ}} = \left(1 + \frac{h}{H}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{\chi}{H}} = \left(1 + \frac{0,40}{1,20}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{0,80}{1,20}} = 0,90.$$

ზედა და ქვედა ბიფფებს შორის დონეთა სხვაობა

$$z = H - h = 1,20 - 0,40 = 0,80 \text{ მ}$$

ასე, რომ

$$m' = 1,05 \cdot 0,43 \cdot 0,90 = 0,406.$$

ამიტომ ხარჯი

$$Q = 0,406 \cdot 5 \cdot 0,4 \cdot 43 \cdot 1,2^{3/2} = 11,63 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ბოლო გამოსახულებაში $H^{3/2} = 1,2^{3/2} = 1,313$ (იხ. დანართი ცხრილი 11).

მოსვლის სიჩქარის სიმციროს გამო გვერდით კუმშვას მხედველობაში არ ვიღებთ.

ახლა შევამოწმოთ დაწინევა H :

$$H^{3/2} = \frac{Q}{m' \cdot b \cdot \sqrt{2g}} = \frac{11,64}{0,40 \cdot 5 \cdot 0,4 \cdot 43} = 1,31,$$

საიდანაც

$$H = (1,31)^{2/3} = 1,192 \text{ მ. (იხ. ცხრილი 12).}$$

ამრიგად,

$$H = 1,192 < 1,2 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ ამოცანის პირობა დაკმაყოფილებულია.

ახლა დაუშვათ, საჭიროა წყალსაშვმა გაატაროს ხარჯი $Q=20,0$ მ³/წმ. ამოცანის დანარჩენი პირობები იგივეა რაც წინა ამოცანაში.

დაუშვათ $H=1,0$ მ მაშინ, წყალსაშვის საჭირო სიგანე

$$b = \frac{20,0}{0,40 \cdot 4,43 \cdot 1} = 11,1 \text{ მ.}$$

არასრულქმნილი წყალსაშვის ანგარიშის დროს მიზანშეწონილია ცხრილებით სარგებლობა (იხ. დანართი, ცხრილი 10).

ამოცანა № 80. ვიანგარიშოთ ფართობლურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ხარჯი, თუ $t_2=1,00$ მ, $t_{\text{კ.}}=1,20$ მ, წყალსაშვის სიგანე $b=4$ მ, ხოლო ნაკადის მოსვლის სიჩქარე $v_0=1,0$ მ/წმ (იხ. ნახ. 65).

ამოხსნა. ხარჯის ანგარიშისათვის საჭიროა ვიცოდეთ მოსვლის სიჩქარეზე შესწორებული დაწნევა H_0 . თეორიულად ცნობილია, რომ დაწნევა წყალსაწვის წინ

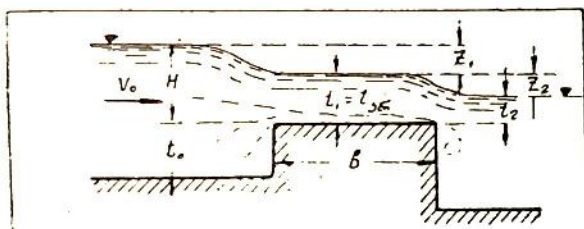
$$H = k' \cdot t_{36} = 1,71 \cdot t_{36},$$

სადაც

$$k' = \sqrt[3]{\frac{1}{2m^2}} = 1,71.$$

ზემოაღნიშნულ ტოლობაში ხარჯის კოეფიციენტი $m = 0,32$. ამრიგად,

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} = 1,7 \cdot 1,20 + \frac{1}{19,62} = 2,1 \text{ მ.}$$



ნახ. 65.

წყლის ხარჯი, როდესაც წყალსაწვის შესასვლელი ნაწილი მომრგვალებულია

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} = 0,35 \cdot 4 \cdot \sqrt{19,62} \cdot 2,1^{3/2} = 18,86 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სადაც ცხრილის მიხედვით $m = 0,35$, ხოლო $\varphi = 0,92$. სიჩქარე ზღურბლზე

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{18,86}{4 \cdot 1,2} = 3,93 \text{ მ/წმ}.$$

ახლა ფართოზღურბლიანი წყალსაწვის სიგანე ავიღოთ $b = 8,0$ მ, ხარჯი წყალსაწვზე $Q = 40,0$ მ³/წმ, $t_0 = 1,0$ მ. ზღურბლის შესავალი ნაწილი სწორკუთხოვანია.

ვიანგარიშოთ დაწნევა წყალსაწვის ზღურბლის წინ H (იხ. ნახ. 65).

დაწნევის მნიშვნელობა ვიანგარიშოთ მიახლოებითი წესით ხარჯის ვანტოლებიდან ($m = 0,32$):

$$H_0 = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 2,82^{2/3} = 2,0 \text{ მ.}$$

ნაკადის მოსავლის სიჩქარე

$$v_0 = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{b(t_0 + H_0)} = 1,66 \text{ მ/წმ.}$$

მოსვლის სიჩქარის დაწნევა

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{1,66^2}{19,62} = 0,14 \text{ მ.}$$

საძიებელი დაწნევა პირველ მიახლოებაში

$$H = H_0 - \frac{v_0^2}{2g} = 2,00 - 0,14 = 1,86 \text{ მ.}$$

ახლა ვიანგარიშობთ v_0 ისე, რომ მხედველობაში მივიღოთ H მიღებული მნიშვნელობა:

$$v_0 = \frac{Q}{b(t_0 + H)} = \frac{40}{8(1 + 1,86)} = 1,75 \text{ მ,}$$

ხოლო

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{1,75^2}{19,62} = 0,157 \text{ მ.}$$

საძიებელი დაწნევის მნიშვნელობა საბოლოოდ იქნება:

$$H = H_0 - \frac{v_0^2}{2g} = 1,844 \text{ მ.}$$

ნაკადის სიღრმე წყალსაშვზე, რომელიც დაახლოებით კრიტიკული სიღრმის ტოლია

$$t_1 \approx t_{36} = \frac{H}{1,71} = 1,08 \text{ მ.}$$

ნაკადის სიჩქარე წყალსაშვის ზღურბლზე

$$v = \frac{Q}{b \cdot t_{36}} = 4,63 \text{ მ/წმ.}$$

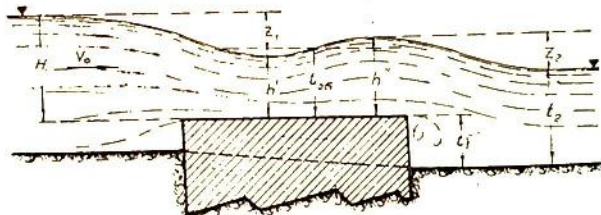
ამოცანა № 81. ვიანგარიშობთ ფართეზღურბლიანი წყალსაშვის ხარჯი Q . წყალსაშვის სიგანე წინასწარ მოცემულია, $b=4,0$ მ. დაწნევა $H=1,5$ მ, ნაკადის მოსვლის სიჩქარე $v_0=1,1$ მ/წმ, წყალსაშვის ზღურბლის სიმაღლე $t_1=0,56$ მ, წყლის სიღრმე გამყვან არხში $t_2=1,5$ მ. წყალსაშვი განიციდის გვერდით კუმშვას. წყალსაშვის ხვრეტი სწორკუთხოვანია და ზღურბლი არ არის მომრგვალებული (იხ, ნახ. 66).

ამოხსნა. ვიდრე შეუდგებოდეთ ხარჯის ანგარიშს საკიროა დავადგინოთ ნაკადის გადადინების ხასიათი წყალსაშვზე.

ჩვენი შემთხვევისათვის სიჩქარის კოეფიციენტი შეგვიძლია მივიღოთ $\varphi = 0,90$ ტოლი, მაშინ ხარჯის კოეფიციენტი $m = 0,344$ და გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტი $\varepsilon = 0,80$.

სიჩქარის კოეფიციენტი პროფ. აგროსკინის მიხედვით, როდესაც წყალსაშვებს გვერდითი კუმშვა გააჩნია, იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$\varphi_c = \frac{\varepsilon \varphi}{\sqrt{1 - \varphi^2(1 - \varepsilon^2)}} = \frac{0,80 \cdot 0,90}{\sqrt{1 - 0,9^2(1 - 0,8^2)}} = 0,857.$$



ნახ. 66

ჰიდრაულიკური ნახტომის მეორე შეუღლებული სიღრმე, რომელიც ფართობლურბლიანი წყალსაშვის ზღურბლზე მყარდება ტოლია:

$$h'' = k'' \cdot H_0 = 0,73 \cdot 1,562 = 1,34 \text{ მ,}$$

სადაც

$$k'' = \frac{2\varphi_c^2}{1 + 2\varphi_c^2(2\varphi_c^2 - 1)} = \frac{2 \cdot 0,857}{1 + 2 \cdot 0,857^2(2 \cdot 0,857^2 - 1)} = 0,73,$$

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} = 1,5 + \frac{1,1^2}{19,62} = 1,562 \text{ მ.}$$

ახლა შევამოწმოთ წყალსაშვზე გადაღინების ხასიათი:

$$h'' + t_1 = 1,34 + 0,56 = 1,9 > t_2 = 1,5 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ წყალსაშვი შეუტბორავია და ამიტომ გადაღინებული ხარჯი

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} = 0,34 \cdot 4,0 \cdot 4,43 \cdot 1,6^{3/2} = 10,72 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 82. ფართობლურბლიანი წყალსაშვის წინ დაწნევა $H = 2,0$ მ.

მოცემულია: $t_0 = 1,5$ მ, $t_2 = 1,5$ მ, წყალსაშვის სიგანე $b = 10,0$ მ (იხ, ნახ. 67).

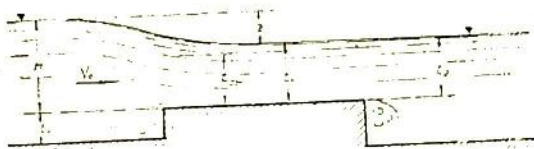
ვიანგარიშოთ წყალსაშვზე გადადენილი წყლის ხარჯი.

ამოხსნა. გავარკვევით ნაკადის გადაღინების ხასიათი წყალსა-
შვზე (მივილოთ: $\varphi=1$, $m=0,385$). წინასწარი ანგარიშების ჩატარების
შემთხვევაში წყლის სიღრმე წყალსაშვის ზღურბლზე t_1 შეუტბორავი გა-
დაღინების დროს დაახლოებით შეიძლება კრიტიკული სიღრმის $t_{3,6}$ ტო-
ლი მივილოთ:

$$t_1 = t_{3,6} = \frac{2}{3}H = 1,33 \text{ მ.}$$

რადგან

$$t_{3,6} = 1,33 < t_2 = 1,5,$$



ნახ. 67.

ამიტომ წყალსაში შეტბორილია და წყლის საანგარიშო სიღრმე ზღურ-
ბლზე t_2 ტოლი იქნება, ე. ი.

$$t_1 = t_2 = 1,5 \text{ მ.}$$

t_2 სიღრმე ყოველთვის დამოკიდებულია გამყვანი არხის განიკვე-
თის ფართზე, მის გრძივ ქანობზე და არხის ანგარიშის მიხედვით უნ-
და დადგინდეს.

მაშასადამე, ხარჯი

$$Q = \varphi \cdot b \cdot t_1 \sqrt{2g\zeta},$$

სადაც ვარდნილი

$$\zeta = H - t_1 = 2,0 - 1,5 = 0,50 \text{ მ,}$$

$$w = b \cdot t_1; \varphi = 0,92.$$

როდესაც წყალსაშვის შესასვლელი ნაწილი სწორკუთხოვანია და $t_1 =$
 $= 1,5$ მ, ნაკადის ხარჯი პირველ მიახლოებაში

$$Q = 0,92 \cdot 10 \cdot 1,5 \cdot 4,43 \cdot 0,707 = 43,22 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

მოსვლის სიჩქარე

$$v_0 = \frac{Q}{w} = \frac{Q}{b(H+t_1)} = 1,24 \text{ მ/წმ.}$$

მოსვლის სიჩქარის დაწნევა

$$\frac{v_0^2}{2g} = 0,078 \text{ მ.}$$

საბოლოოდ ხარჯი

$$Q = \varphi \cdot b \cdot t_1 \cdot \sqrt{2g \left(z + \frac{v_0^2}{2g} \right)} = 46,4 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 83. ვიანგარიშით ფართეზღურბლიანი წყალსაშვის ხარჯი, რომლის სიგანე $b=4,0$ მ, კალაპოტის სიგანე $B=5,0$ მ, წყალსაშვის ზღურბლის სიმაღლე $t_1=1,5$ მ, დაწნევა $H=1,5$ მ.

ამოხსნა. ამოცანის ამოხსნისათვის ხარჯის კოეფიციენტი ვიანგარიშით ა. ბერეზინსკის ფორმულით.

გვერდითი კუმშვის პირობებში წყლის ხარჯი იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$Q = \varepsilon \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{0,5},$$

სადაც ε არის გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტი და მისი დადგენა შეგვიძლია ცხრილის საშუალებით*. ცხრილის მიხედვით, როდესაც

$$\frac{t_1}{H} = 1 \text{ და } \frac{b}{B} = 0,80, \text{ მაშინ } \varepsilon = 0,94.$$

ხარჯის კოეფიციენტი m , როდესაც წყალსაშვის შესასვლელი ზღურბლი სწორკუთხოვანია იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$m = 0,32 + 0,01 \cdot \frac{3 - \frac{t_1}{H}}{0,46 + 0,75 \cdot \frac{t_1}{H}} = 0,32 + 0,01 \cdot \frac{3 - 1}{0,46 + 0,75 \cdot 1} = 0,337.$$

შესატყვის მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ პირველ მიახლოებაში მივიღებთ:

$$Q = 0,94 \cdot 0,337 \cdot 4,0 \cdot 4,43 \cdot 1,5^{0,5} = 10,25 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია ხარჯის მიღებული მნიშვნელობის შემდგომი კორექტირება ნაკადის მოსვლის სიჩქარისა და მოსვლის სიჩქარეზე შესწორებული H_0 დაწნევის დადგენის გზით.

ამოცანა № 84. ხევის ნიაღვრის წყლის გატარების მიზნით, გზატკეცილის ყრილის ქვეშ მოწყობილია სწორკუთხოვანი ბეტონის მილი. ყრილის გზატკეცილის უმაღლესი წერტილი (სავალი ნაწილი) დაცილებულია მილის ფსკერიდან $H_1=4,0$ მ მანძილზე. ნიაღვრული ხასიათის წვიმის დროს წყლის ხარჯი ხევიში $Q_{max}=15,0$ მ³/წმ, წყლის სიღრმე

* ლატიშენკოვი გვ. 337, ცხრ. 10-5.

ხევში მილის ქვემოთ $t_2 = 0,8$ მ, ნაკადის დასაშვები სიჩქარე მილში $v = 3,25$ მ/წმ (იხ. ნახ. 68).

ვიანგარიშით მილსადენის ხერცის ისეთი სიგანე b და დაწნევა H , რომელიც დააკმაყოფილებს შემდეგ პირობას:

$$H_1 > (H + 1,5 \text{ მ}).$$

ამოხსნა. ჰიდრაულიკური თვალსაზრისით მილი ისე განვიხილოთ, როგორც ფართოზღურბლიანი წყალსაში. უპირველეს ყოვლისა გავიგოთ ნაკადის კრიტიკული სიღრმე მილში:

$$t_{36} = \frac{v^2}{g} = 1,076 \text{ მ},$$

სადაც

$$v = 3,25 \text{ მ/წმ}.$$

ცნობილი ხარჯის დროს t_{36} შეიძლება გავარკვიოთ სხვა ფორმულითაც:

$$t_{36} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}}.$$

როგორც ვხედავთ

$$t_{36} = 1,076 > t_2 = 0,80 \text{ მ}.$$

მაშასადამე, მილი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც სრულქმნილი (შეუტბორავი) წყალსაში თავისუფალი დინებით.

ხარჯი

$$Q = t_{36} \cdot b \cdot v,$$

აქედან, მილის ხერცის სიგანე

$$b = \frac{Q}{t_{36} \cdot v}.$$

ამ გამოსახულებაში ჩავსვით t_{36} . მნიშვნელობა, მივიღებთ:

$$b = \frac{g \cdot Q}{v^2 \cdot v} = \frac{g Q}{v^3} = 4,27 \text{ მ}.$$

დაწნევა მილის წინ აკად. პავლოვსკის მიხედვით (როდესაც $\varphi = 0,85$ და $m = 0,32$)

$$H = k' \cdot t_{36} = 1,7 \cdot 1,076 = 1,829,$$

სადაც

$$k' = \sqrt[3]{\frac{1}{2m^2}} = 1,7.$$

ახლა გავვიგოთ წყლის ღონეთა სხვაობა:

$$z_1 = H - t_{36} = 0,753 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ H დაწინევა და ხერეტის b სიგანე შერჩეულია სწორად:

$$H_1 = 4 > (H + 1,5) = 3,329 \text{ მ.}$$

ამრიგად, ამოცანის პირობა დაკმაყოფილებულია და გზატკეცილს არ მოელის ნიაღვრის წყლისაგან გადარეცხვის საშიშროება.

ამოცანა № 85. ვიანგარიშით ნაკადის ღონეთა სხვაობა მილის წინ (z_1) და ქვემოთ (z_2). წყლის ხარჯი $Q = 20,0$ მ³/წმ, მილის სიგანე $b = 5,0$ მ, წყლის სიღრმე მილის ქვემოთ $t_2 = 0,70$ მ (იხ. ნახ. 68).



ნახ. 68.

ამოხსნა. მოცემულ შემთხვევაში კრიტიკული სიღრმე შეგვიძლია ვიანგარიშით შემდეგი ფორმულით:

$$t_{36} = \sqrt[3]{\frac{\alpha(\gamma)^2}{\varepsilon b^2 \cdot g}} = 1,22 \text{ მ,}$$

სადაც

$$\alpha = 1, \text{ და } \varepsilon = 0,90 \text{ (კუმშვის კოეფიციენტი).}$$

ვინაიდან,

$$t_{36} = 1,22 > t_2 = 0,70,$$

ამიტომ დინება იქნება თავისუფალი (შეუტბორავი).

მილის წინ დაწინევა, როდესაც $m = 0,35$ ტოლია

$$H = k' \cdot t_{36} = 1,590 \cdot t_{36} = 1,94 \text{ მ,}$$

სადაც

$$k' = \sqrt[3]{\frac{1}{2m^2}} = 1,59.$$

ვიციტ რა, რომ

$$t_{36} = \frac{v^2}{g},$$

შეგვიძლია ვიანგარიშოთ ნაკადის სიჩქარე მილში:

$$v = \sqrt{t_{36} \cdot g} = 2,98 \text{ მ/წმ.}$$

ახლა გავიგოთ ზემო დონეთა სხვაობა (ვარდნილი):

$$z_1 = H - t_{36} = 0,72 \text{ მ,}$$

ხოლო მილის ქვემოთ

$$z_2 = t_{36} - t_2 = 0,52 \text{ მ.}$$

ვარდნილთა მიღებული მნიშვნელობანი შეესაბამებიან შეუტბორავ (თავისუფალ) გადადინების რეჟიმს, მილის (ფართეზლურბლიან წყალსაშვის) ფარგლებში. თუ ვიგულისხმებთ, რომ

$$t_{36} < t_2,$$

მაშინ მილის მოქმედება ჰიდრაულიკურად ნაკადის შეტბორილ (ართავისუფალ) ფართეზლურბლიან წყალსაშვზე გადადენის ანალოგიური იქნება.

დაუშვათ, მილის ქვემოთ, გამყვან კალაპოტში მოძრაობის თავისებური პირობების გამო $t_2 = 1,30$ მ, მაშინ

$$t_{36} = 1,22 < t_2 = 1,30.$$

ამ შემთხვევაში წყლის სიღრმე მილის ფარგლებში t_2 ტოლი ვახდება.

z_1 ვარდნილის საანგარიშოთ მილის წინ შეგვიძლია გამოვიყენოთ შემდეგი განტოლება:

$$z_1 = \frac{v^2 - v_0^2}{2g\varphi^2},$$

სადაც v_0 არის ნაკადის სიჩქარე მილის წინ. თუ მას სიმციობის გამო მხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ

$$z_1 = \frac{v^2}{2g\varphi^2} = 0,537 \text{ მ.}$$

სადაც

$$v = \frac{Q}{b \cdot t_2} = 3,08 \text{ მ/წმ.}$$

მილის წინ დაწნევა კი

$$H = t_2 + z_1 = 1,837 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 86. დავადგინოთ სწორკუთხოვანი მილის კვეთის ზომები, რომელმაც უნდა გაატაროს ხარჯი $Q = 50,0$ მ³/წმ, თუ მილის წინ დაწნევა $H = 3,0$ მ და მის ქვემოთ მყარდება სიღრმე $t_2 = 1,20$ მ (იხ. ნახ. 68).

ამოხსნა. კრიტიკული სიღრმე მილში, როდესაც φ ტოლია 0,95 მ

$$t_{კრ.} = k' \cdot H = 1,950 \text{ მ,}$$

სადაც

$$k' = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2} = 0,65 \text{ მ.}$$

იმის გამო რომ

$$t_{კრ.} = 1,95 > t_2 = 1,20,$$

ამიტომ წყლის დინება მილში შეუტბორავი იქნება (თავისუფალი) და წყლის ვარდნილი მილის წინ

$$z_1 = H - t_{კრ.} = 1,050 \text{ მ.}$$

ნაკადის სიჩქარე

$$v = \sqrt{t_{კრ.} \cdot g} = 4,35 \text{ მ/წმ.}$$

ასეთი სიჩქარე მილში დასაშვებია, თუ იგი მოპირკეთებულია ქვით.

მილის კვეთის სიგანის გასაგებად, წინასწარ დავწეროთ ხარჯის განტოლება:

$$Q = \varepsilon \cdot \omega \cdot v = \varepsilon \cdot b \cdot t_{კრ.} \cdot v,$$

საიდანაც

$$b = \frac{Q}{\varepsilon \cdot t_{კრ.} \cdot v} = 6,61 \text{ მ.}$$

$\varepsilon = 0,90$ გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტია (....).

მეორე ვარდნილი (მილის ქვემოთ)

$$z_2 = t_{კრ.} - t_2 = 0,732 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 87. დავადგინოთ სწორკუთხოვანი მილის კვეთის სიგანე, რომელმაც უნდა გაატაროს ხარჯი, $Q = 20,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

მოცემულია: $H = 2,0 \text{ მ}$, $t_2 = 1,50 \text{ მ}$.

ამოხსნა. ნაკადის სიღრმე მილში (რომელიც მიახლოებით კრიტიკული სიღრმის ტოლია)

$$t_{კრ.} = 0,650 \cdot H = 1,300 \text{ მ (იხ. ამოცანა 73).}$$

ვინაიდან

$$t_{კრ.} = 1,30 < t_2 = 1,50 \text{ მ}$$

დინება მილში შეტბორილია და ვარდნილი მილის წინ

$$z_1 = H - t_2 = 0,50 \text{ მ,}$$

ნაკადის სიჩქარე მილში (თუ მივიღებთ $\varphi = 1$)

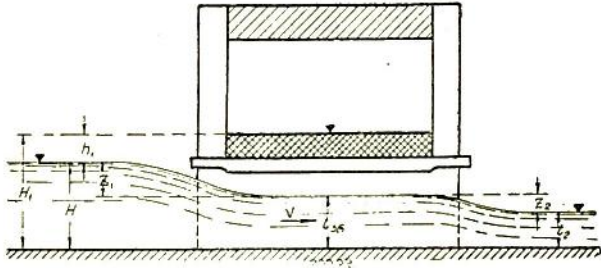
$$v = \sqrt{2gz_1} = 2,97 \text{ მ/წმ,}$$

ხერეთის სიგანე

$$b = \frac{Q}{z \cdot t_2 \cdot v} = 5,30 \text{ მ,}$$

სადაც კუმშვის კოეფიციენტი $\varepsilon = 0,85$.

ამოცანა № 88. ვიანგარიშით თაღოვანი ხიდის ხერეთი, რომელიც წყალდიდობის დროს ატარებს ხარჯს, $Q = 800,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$. ნაკადის დასაშვები სიჩქარე ხიდის ქვეშ $v = 6,0 \text{ მ/წმ}$ (იხ. ნახ. 69).



ნახ. 69.

ამოცანის პირობის თანახმად h_1 მანძილი წყლის დონიდან ხიდის სავალ ნაწილამდე არ უნდა იყოს $0,5-1,0$ მ-ზე ნაკლები. ხიდის ქვემოთ მყარდება სიღრმე $t_2 = 3,0$ მ. ხიდის სავალი ნაწილის სიმაღლე ფსკერიდან $H_1 = 6,0$ მ.

ამოხსნა. ამოცანის პირობის თანახმად, დასაშვები სიჩქარე ხიდის ქვეშ $v = 6,0 \text{ მ/წმ}$ და ამიტომ კრიტიკული სიღრმე

$$t_{კრ.} = \frac{v^2}{g} = 3,67 \text{ მ.}$$

დაწნევა ხიდის წინ (როდესაც $\varphi = 0,95$)

$$H = \frac{t_{კრ.}}{k'} = \frac{1+2\varphi^2}{2\varphi^2} \cdot t_{კრ.} = 1,54 \cdot t_{კრ.} = 5,7 \text{ მ (ვინაიდან } t_{კრ.} = k' \cdot H).$$

როგორც ვხედავთ

$$H = 5,7 > (H_1 - h_1) = 5,0,$$

ე. ი. ხიდის წინ წყლის სიღრმე დასაშვებზე მეტია და ამოცანის პირობას არ აკმაყოფილებს.

როგორც ვიციით დასაშვები დაწნევა ხიდის წინ

$$H = H_1 - h_1 = 5,0 \text{ მ.}$$

მიეჩინოთ იგი საფუძვლად და დავადგინოთ სათანადო კრიტიკული სიღრმე:

$$t_{36} = 0,650 \cdot H = 3,25 \text{ მ.}$$

განვიხილოთ ორი შემთხვევა: 1) როდესაც $t_2 = 3,0$ მ და 2) როდესაც $t_2 = 3,5$ მ.

პირველ შემთხვევაში

$$t_{36} = 3,25 > t_2 = 3,0$$

დინება ხიდის ქვეშ შეუტბორავი (თავისუფალი) იქნება და ხერცტის სიგანე

$$b = \frac{Q}{\varepsilon \cdot t_{36} \cdot v} = 46,0 \text{ მ.}$$

მეორე შემთხვევაში

$$t_{36} = 3,25 < t_2 = 3,5$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ ხიდის ქვეშ დინება შეტბორილია (არათავისუფალი) და ნაკადის სიღრმე

$$t_2 = 3,5 \text{ მ.}$$

ახლა დაახლოებით დავადგინოთ ნაკადის სიჩქარე ხიდის ქვეშ:

$$v = \sqrt{2g(H - t_2)} = 0,95 \cdot \sqrt{19,62(5 - 3,5)} = 5,15 \text{ მ/წმ.}$$

ხერცტის სათანადო სიგანე კი

$$b = \frac{Q}{\varepsilon \cdot t_2 \cdot v} = \frac{800}{0,89 \cdot 3,5 \cdot 5,15} = 50 \text{ მ.}$$

ამოცანის პირობა ორივე განხილულ შემთხვევაში დაცულია.

ამოცანა № 89. ვიანგარიშით ყრილის ქვეშ მოწყობილი სწორკუთხოვანი წყალგასასვები ბეტონის მილის კვეთის ზომები, რომლებიც დააკმაყოფილებენ მაქსიმალური ხარჯის ($Q = 25,0$ მ³/წმ) გატარების პირობას.

გარკვეული ტექნიკური მიზეზების გამო დაწინევა მილის წინ და ნაკადის სიჩქარე მილში შესაბამისად უნდა აკმაყოფილებდენ შემდეგ პირობებს: $H \leq 3,0$ მ, $v \leq 3,0$ მ/წმ.

ნაკადის სიღრმე მილის გავლის შემდეგ (მილის ქვემოთ) $t_2 = 2,0$ მ.

დავადგინოთ ნაკადის სიღრმე მილის ფარგლებში t_1 და მილის კვეთის სიგანე b .

ამოხსნა. ნაკადის მაქსიმალური ხარჯისა და მილის წინ მაქსიმალური დაწინევის დროს ვიანგარიშით ნაკადის კრიტიკული სიღრმე მილში:

$$t_{36} = k \cdot H = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2} \cdot H = 0,65 \cdot 3,0 = 1,95 \text{ მ,}$$

სადაც

$$\varphi = 0,96.$$

იმის გამო, რომ $t_{36} < t_2$ ამიტომ მილი ქვედა ბიეფიდან შეტბორილია და ნაკადის სიღრმე მილში $t_1 = t_2 = 2,0$ მ.

ვარდნილი მილის წინ

$$z_1 = H - t_1 = 3,0 - 2,0 = 1,0 \text{ მ,}$$

ნაკადის სიჩქარე მილში

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot z_1} = 4,21 \text{ მ/წმ,}$$

სადაც

$$\varphi = 0,95.$$

როგორც ვხედავთ ნაკადის სიჩქარე მილში დასაშვებ მნიშვნელობას აღემატება და ამიტომ გავიანგარიშოთ ისეთი ვარდნილი z_1 , რომელიც უზრუნველყოფს მაქსიმალურ დასაშვებ სიჩქარეს მილში ($v = 3,0$ მ/წმ).

ნაკადის მოსვლის სიჩქარის (v_0) სიმციროს გამო, ნაკადის სიჩქარესთან შედარებით მილსადენში შეგვიძლია დავწეროთ:

$$z_1 = \frac{v^2 - v_0^2}{\varphi^2 \cdot 2g} \approx \frac{v^2}{\varphi^2 \cdot 2g} = \frac{3,0^2}{0,95^2 \cdot 19,62} = 0,51 \text{ მ,}$$

ხერტიის საჭირო სიგანე კი

$$b = \frac{Q}{\varepsilon \cdot t_1 \cdot v} = \frac{25}{0,95 \cdot 2,0 \cdot 3,0} = 4,4 \text{ მ.}$$

ნაკადის სიღრმე (დაწნევა) მილის წინ

$$H = t_1 + z_1 = 2,51 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ ამოცანის პირობა აქაც დაცულია. დაწნევა მილის წინ დასაშვებ სიდიდეს ($H < 3,0$ მ) არ აღემატება.

ამოცანა № 90. პრაქტიკული პროფილის მქონე წყალსაშვის სიგანე $b = 40,0$ მ, სიმაღლე $t_1 = 7,0$ მ, დასაშვები დაწნევა წყალსაშვის წინ $H = 1,5$ მ. წყალსაშვი შეუტბორავია, რადგანაც წყლის სიღრმე ქვედა ბიეფში $h_0 < t_1$. მდინარის სიგანე $B = 40,0$ მ (იხ. ნახ. 70).

ამოცანა. ვიგულისხმოთ მოსვლის სიჩქარე $v_0 \approx 0$ და პირველადვიანგარიშოთ წყალსაშვის ხარჯი. ხარჯის კოეფიციენტი კრივეროფიციეროვის პროფილის წყალსაშვისათვის ნორმების მიხედვით მივიღოთ, $m = 0,49$. მაშინ

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}} = 160,0 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

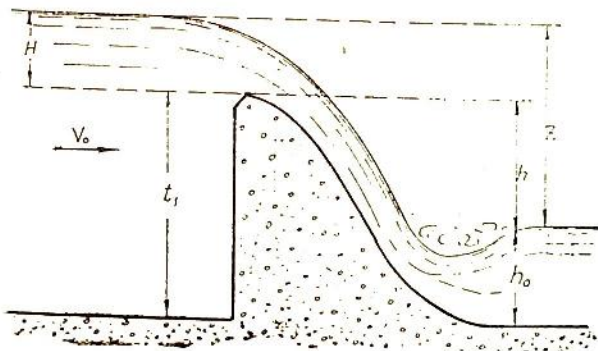
ახლა ვიანგარიშოთ მოსვლის სიჩქარე v_0 და შესაბამისი სიჩქარის დაწნევა.

მოსვლის სიჩქარე

$$v_0 = \frac{Q}{B(H + t_1)} = 0,47,$$

ხოლო შესაბამისი სიჩქარის დაწნევა

$$\frac{v_0^2}{2g} = 0,11 \text{ მ.}$$



ნახ. 70.

მოსვლის სიჩქარეზე შესწორებული დაწნევა წყალსაშვის წინ

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} = 1,5 + 0,11 = 1,61 \text{ მ,}$$

დაზუსტებული ხარჯი

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} = 0,49 \cdot 40 \cdot 4,43 \cdot 1,61^{3/2} = 178,0 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 91. ვიანგარიშოთ წინა ამოცანაში განხილული წყალსაშვის დაწნევა H , თუ $t_1 = 5,0$ მ, $Q = 20,0$ მ³/წმ, $b = 10,0$ მ, ხარჯის კოეფიციენტი $m = 0,49$, მდინარის კალაპოტის სიგანე წყალსაშვის სიგანის ტოლია, ე. ი. $B = 10,0$ მ.

ამოხსნა. ხარჯის განტოლებიდან გამომდინარე

$$H_0 = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 0,95 \text{ მ}$$

(იხ. დანართი ცხრილი № 12).

მოსვლის სიჩქარე პირველ მიახლოებაში ტოლია:

$$v_0 = \frac{Q}{B(t_1 + H_0)} = 0,336 \text{ მ/წმ,}$$

მოსვლის სიჩქარის დაწინევა

$$\frac{v_0^2}{2g} = 0,057 \text{ მ,}$$

ამიტომ დაწინევა წყალსაშვზე ტოლია:

$$H = H_0 - \frac{v_0^2}{2g} = 0,95 - 0,057 = 0,893 \text{ მ.}$$

დაწინევის მიღებული მნიშვნელობის შემდგომი დაზუსტება პრაქტიკულ საჭიროებას არ შეადგენს.

ამოცანა № 92. დავადგინოთ ზემოთ განხილული წყალსაშვის სიგანე b ისე, რომ შესწორებული დაწინევა წყალსაშვის წინ აკმაყოფილებდეს პირობას, $H_0 \leq 1,5$ მ, თუ წყალსაშვის სიმაღლე $t_1 = 5,0$ მ, ხოლო ხარჯი $Q = 30,0$ მ³/წმ.

ამოხსნა. წყალსაშვის ხარჯის განტოლებიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ წყალსაშვის სიგანე:

$$b = \frac{Q}{m \cdot \sqrt{2g \cdot H_0^{3/2}}} = 7,65 \text{ მ.}$$

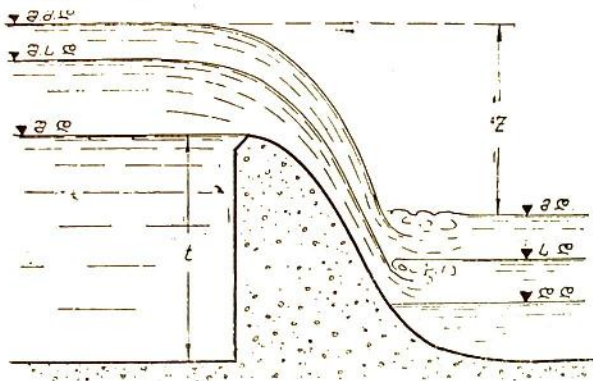
თუ წყალსაშვის სიგანეს b ავიღებთ $10,0$ მ ტოლს, მაშინ გატარებული ხარჯი $Q = 0,49 \cdot 10,0 \cdot 4,43 \cdot 1,84 = 40,0$ მ³/წმ.

პრაქტიკული პროფილის მქონე წყალსაშვის ანგარიშის დროს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ნაკადის დინების სხვადასხვა დამახასიათებელი დონეების დადგენას. დონის საგრძნობი ცვლებადობა განსაკუთრებით დამახასიათებელია მთის მდინარეებისათვის. მდინარის დამახასიათებელ დონეებისათვის შემოვიღოთ შემდეგი პირობითი (შემოკლებული) აღნიშვნები:

1. დაბალი დონე—დ. დ.,
2. საშუალო დონე—ს. დ.,
3. მაღალი დონე—მ. დ.

ნაგებობის (კაშხლის) აგების შედეგად მდინარის დონეები შეიცვლება ნაგებობის გაბარიტებისა და ხარჯის გამტარუნარიანობის შესაბამისად, სახელდობრ წყალსაგდებ ნაგებობათა (წყალსაშვები, გამრეცხი ხერცები და სხვ.) ტიპისა და ზომების მიხედვით. შემოვიღოთ შემდეგი შემოკლებული აღნიშვნები:

1. წყალსაშვის ქიმის სიმაღლის ტოლი შეგუბებული (შეტბორილი) დონე აღნიშნოთ—შ. დ.,
 2. შეგუბებული (შეტბორილი) საშუალო დონე—შ. ს. დ.,
 3. " " " " მაღალი " —შ. მ. დ.
- ნაკადის დანარჩენი შუალედი დონეების პირობით აღნიშნებს გავცნობით ქვემოთ (იხ. ნახ. 71).



ნახ. 71.

ამოცანა № 19. მდინარეზე აგებულია წყალსაშვიანი ტიპის კაშხალი გამრეცი ხერტების და სხვა რაიმე მოწყობილობის გარეშე. აგებული კაშხალის განივკვეთის პროფილი პრაქტიკული მოხაზულობისაა. წყლის მ. დ. დამყარების შემთხვევაში ქვედა ბიეფში წყალსაშვიანი უნდა გაატაროს მაქსიმალური ხარჯი $Q=250,0$ მ³/წმ. წყალსაშვის სიგანე $b=56,0$ მ, წყალსაშვის ქიმის ნიშნული 112 მ ტოლია, მისი სიმაღლე $t_1=8,0$ მ, წყლის დ. დ. ნიშნული 106 მ ტოლია, მ. დ. ნიშნული კი—109 მ.

მოცემული ხარჯის გატარებისათვის ვიანგარიშით მაქსიმალური ხარჯი $Q=250$ მ³/წმ. შესაბამისი შ. მ. დ.-ის ნიშნული, ანუ დავადგინოთ ის დაწინევა H , რომელიც უზრუნველყოფს მოცემული ხარჯის გატარებას მდინარის ქვედა ბიეფში.

ამოხსნა. უპირველეს ყოვლისა გამოვარკვიოთ ნაკადის გადადინების ხასიათი განსახილველ წყალსაშვიანზე. იმის გამო, რომ მ. დ. ნიშნული მდინარის ქვედა ბიეფში ნაკლებია კაშხლის ქიმის ნიშნულზე, სახელდობრ $112-109=3,0$ მ, ამიტომ გადადინება იქნება შეუტბორავი (თავისუფალი) და შეიძლება გამოვიყენოთ ხარჯის ცნობილი განტოლება:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2},$$

სადაც მივიღოთ, რომ $m = 0,45$.

დაწნევა კაშხლის ქიმზე

$$H_0 = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{250}{0,45 \cdot 56 \cdot 5,43} \right)^{2/3} = 2,28^{2/3} = 1,73 \text{ მ}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 12). თუ მხედველობაში არ მივიღებთ მოსვლის სიჩქარის დაწნევის მცირე სიდიდეს შეგვიძლია განვსაზღვროთ 'ძ' მ. დ. ნიშნულით, რომელიც უდრის:

$$\nabla \text{შ. მ. დ.} = \nabla \text{ქიმის} + H = 112,0 + 1,73 = 113,73 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 94. განვიხილოთ 2 სახის პრაქტიკული პროფილის მქონე წყალსაშვი:

ა) მოცემულია კრივერ-ოფიცეროვის 1 პროფილის მქონე წყალსაშვი.

განვსაზღვროთ ამ წყალსაშვზე გადადინებული მაქსიმალური ხარჯის სიდიდე თუ წყალსაშვის სიგანე $b = 120,0$ მ, წყალსაშვის ქიმის ნიშნული $\nabla \text{შ. დ.} = 20,0$ მ, $\nabla \text{შ. მ. დ.} = 21,5$ მ და $\nabla \text{მ. დ.} = 11,0$ მ. განსახილველი წყალსაშვის წყობა შესრულებულია გადადენილი ქაველის მოხაზულობის მიხედვით წყალსაშვის შესაძლო მაქსიმალური დაწნევის, H_{max} დროს. ჩვენ შემთხვევაში ვიგულისხმობთ, რომ $(\nabla \text{მ. შ. დ.})_{max} = 22,5$ მ ანუ $H_{max} = 22,5 - 20,0 = 2,5$ მ.

ამოხსნა. საანგარიშო დაწნევა წყალსაშვის ქიმზე ტოლია:

$$H = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla \text{შ. დ.} = 21,5 - 20,0 = 1,50 \text{ მ.}$$

მოსვლის სიჩქარის დაწნევას, მისი სიმცირის გამო, მხედველობაში არ ვღებულობთ.

დაუშვათ, რომ წყალსაშვი განიცდის გვერდით კუმშვას, რისთვისაც განვსაზღვროთ წყალსაშვზე გადადინებული ნაკადის შეკუმშული განი შემდეგი ცნობილი ფორმულით:

$$b_{შვკ} = b - 0,1 \cdot \xi \cdot n \cdot H = 120,0 - 0,1 \cdot 0,40 \cdot 2 \cdot 1,5 = 119,88 \text{ მ,}$$

სადაც $\xi = 0,40$ ჩვენს შემთხვევაში წარმოადგენს კაშხლის სანაპირო კედლების მოხაზულობის კოეფიციენტს (მათი წინალობის კოეფიციენტს), ხოლო $n = 2$ გამოხატავს გვერდითი კუმშვის ადგილების რიცხვს.

პავლოვსკის მიხედვით ხარჯი

$$Q = m'' \cdot \sigma_j \cdot \sigma_{ღან} \cdot \sigma_{შვკ} \cdot b_{შვკ} \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2},$$

სადაც ხარჯის კოეფიციენტი განსახილველი პროფილისათვის $m'' = 0,49$,

ნაგებობის მოხაზულობის კოეფიციენტი $\sigma_f = 1$; $\sigma_{\text{ბაბ}} = 1$,
დაწნევის სისრულის კოეფიციენტი

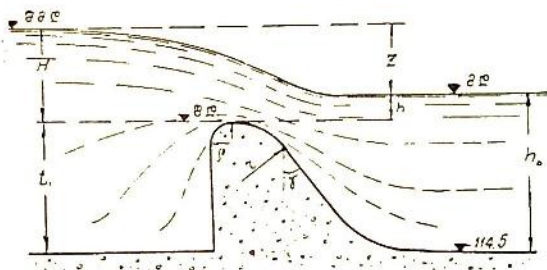
$$\sigma_{\text{ღაწ}} = 0,785 + 0,25 \frac{H}{H_{\text{max}}} = 0,935.$$

ამრიგად ხარჯი

$$Q = 0,49 \cdot 0,935 \cdot 119,88 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 1,5^3} = 446,95 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ბ) დაუშვათ წყალსაშვის პროფილი მოხაზულია პავლოვსკის კლასიფიკაციის ნე-2 სახის მიხედვით*.

ვიანგარიშით წყალსაშვის ხარჯი, თუ წყალსაშვის სიგანე $b = 80,0$ მ, ნიშნული შ. დ. = 121,0 მ, ნიშნული შ. მ. დ. = 125,0 მ, მ. დ. = 123,0 მ, დ. დ. = 117,0. მდინარის ფსკერის ნიშნული 114,5 მ უდრის, (∇ შ. მ. დ.) $_{\text{max}} = 128,0$ მ (იხ. ნახ. 72).



ნახ. 72

ამოხსნა. უპირველეს ყოვლისა გავარკვიოთ ნაკადის გადაღინების ხასიათი წყალსაშვზე (ჩვენ შემთხვევაში ∇ მ. დ. $>$ ∇ შ. დ.), მაგრამ ეს პირობა არასაკმარისია, რათა წყალსაშვი განვიხილოთ, როგორც შეტბორილი, ვინაიდან ქვედა ბიეფში შეუღლება შეიძლება განხორციელებული იყოს განდევნილი ნახტომის სახით. ამიტომ დამატებით უნდა შევამოწმოთ ჭავლის დაძირული ნახტომით შეუღლებების პირობა ქვედა ბიეფში, რისთვისაც უნდა დავიკვათ შემდეგი უტოლობა:

$$\frac{\tilde{z}}{t_1} < 0,70.$$

ჩვენ შემთხვევაში:

$$\tilde{z} = \nabla \text{ შ. მ. დ.} - \nabla \text{ მ. დ.} = 2,0 \text{ მ}, \quad t_1 = \nabla \text{ შ. დ.} - \nabla \text{ ფსკერისა} = 121,0 - 114,5 = 6,5 \text{ მ},$$

* იხ. Н. Н. Павловский Гидравлический справочник, 1937, стр. 397.

ხოლო მათი ფარდობა

$$\frac{\bar{\zeta}}{t_1} = \frac{2,0}{6,5} = 0,308.$$

როგორც ვხედავთ დატულია შეტბორილი წყალსაშვის პირობები:

$$\frac{\bar{\zeta}}{t_1} = 0,308 < 0,70 \text{ და } h_0 > t_1.$$

ვინაიდან წყალსაში შეტბორილია, ამიტომ საჭიროა განვსაზღვროთ კოეფიციენტი

$$\sigma_{\text{შ.ბ.}} = \left(1 + 0,2 \frac{h}{t_1} \right) \sqrt{\frac{\bar{\zeta}}{H}},$$

სადაც

$$h = \nabla \text{მ. დ.} - \nabla \text{შ. დ.} = 123,0 - 121,0 = 2,0 \text{ მ,}$$

$$H = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla \text{შ. დ.} = 125,0 - 121,0 = 4,0 \text{ მ,}$$

სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ მივიღებთ:

$$\sigma_{\text{შ.ბ.}} = \left(1 + 0,2 \cdot \frac{2,0}{6,5} \right) \sqrt{\frac{2,0}{4,0}} = 0,84.$$

6. პავლოვსკის 2-სახის პროფილისათვის $m'' = 0,49$, $\sigma_f = 0,97$ და

$$\sigma_{\text{დ.წ.}} = 0,785 + 0,25 \frac{H}{H_{\text{max}}} = 0,93,$$

სადაც

$$H_{\text{max}} = (\nabla \text{შ. მ. დ.})_{\text{max}} - \nabla \text{შ. დ.} = 128,0 - 121,0 = 7,0 \text{ მ,}$$

ასე რომ

$$Q = 0,49 \cdot 0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,84 \cdot 80 \cdot 4,43 \cdot 4,0^{3/2} = 1052 \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 11).

ამოცანა № 95. ზოგ შემთხვევაში წყლის შეგუბებული უმაღლესი დონის ნიშნული წინასწარ არის დადგენილი და საჭიროა მოცემული ხარჯის გატარებისათვის დავადგინოთ წყალსაშვის ქიმის ნიშნული.

დაუშვათ $\nabla \text{შ. მ. დ.} = 120,0 \text{ მ}$, $\nabla \text{შ. ს. დ.} = 119,48 \text{ მ}$, $\nabla \text{მ. დ.} = 110,0 \text{ მ}$, $\nabla \text{ს. დ.} = 108,0 \text{ მ}$ და $\nabla \text{დ. დ.} = 106,5 \text{ მ}$. წყლის ხარჯი, როდესაც ჰორიზონტის ნიშნული ზედა ბიეფში გაუტოლდება $\nabla \text{შ. მ. დ. } Q = 400,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ტოლი ავიღოთ, $\nabla \text{შ. ს. დ.}$ დროს კი $Q = 100,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ტოლი. წყალსაშვის სიგანე $b = 90,0 \text{ მ}$.

განვსაზღვროთ წყალსაშვის ქიმის შესაბამისი საძიებელი ნიშნულები (ან რაც იგივეა $\nabla \text{შ. დ.}$) ორივე განსახილველი შემთხვევისათვის.

10. 3. ჯიქია

ამოხსნა. დავადგინოთ წყალსაშვის ქიმის ნიშნული, როდესაც ზედა ბიფეში წყლის ჰორიზონტი ∇ შ. ს. დ. ტოლია.

პირველ მიახლოებაში ვიგულისხმობთ, რომ წყალსაში შეუტბორავია. წყალსაშვის დაწნევა ტოლია:

$$H_1 = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 0,679 \text{ მ.}$$

ამიტომ წყალსაშვის ქიმის ნიშნული

$$\nabla \text{შ. დ.} = \nabla \text{შ. ს. დ.} - H_1 = 119,486 - 0,679 = 118,807 \text{ მ.}$$

ვინაიდან წყალსაშვის ქიმის ნიშნული (∇ შ. დ.) მეტია ∇ ს.დ.-ზე, ამიტომ წყალსაში შეუტბორავია:

$$\nabla \text{შ. დ.} = 118,807 \text{ მ.} > \nabla \text{ს. დ.} = 108,00 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, H_1 დაწნევა სწორად იყო განსაზღვრული.

ახლა დავადგინოთ დაწნევა წყალსაშვზე H_2 და წყალსაშვის ქიმის ნიშნული, როდესაც ზედა ბიფეში ჰორიზონტი ∇ შ. მ. დ. ტოლია, ხოლო ხარჯი $Q = 400$ მ³/წმ:

$$H_2 = \left(\frac{400}{2,90} \right)^{2/3} = 1,7 \text{ მ.}$$

წყალსაშვის ქიმის ნიშნული ∇ შ. დ. = ∇ შ. მ. დ. - $H_2 = 120,0 - 1,70 = 118,3$ მ.

ვინაიდან ∇ შ. დ. = 118,3 $>$ ∇ შ. მ. დ. = 110,0, ამიტომ წყალსაში არაა შეტბორილი და დაწნევა H_2 განსაზღვრულია სწორად.

თუ მდინარის ფსკერის ნიშნული 104,0 მ ტოლია, მაშინ შეგვიძლია განვსაზღვროთ აგრეთვე წყალსაშვის სიმაღლე:

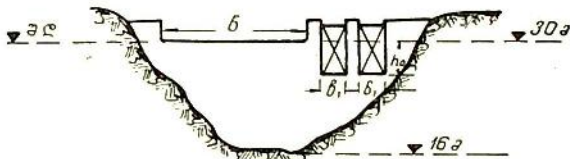
$$t_1 = 118,30 - 104,00 = 14,30 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 96. მდინარეზე აგებულია ბეტონის კაშხალი. წყლის მაღალი დონის დროს მდინარის წყალდიდობის ხარჯი $Q_{max} = 220,0$ მ³/წმ. სათავე ნაგებობათა კვანძის შემადგენლობაში შემავალმა წყალმიმღებმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q' = 20,0$ მ³/წმ. კაშხლის წყალსაშვმა და ორი მაღლისაგან შემდგარმა ნახევრად დასაშლელმა ნაწილებმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q = 220,0 - 20,0 = 200,0$ მ³/წმ. ადგილობრივი პირობების შესაბამისად კაშხლის წყალსაში ნაწილის სიგანე $b = 75,0$ მ. კაშხლის ნახევრად დასაშლელი ნაწილის წყალსაშვის ქიმი ჩაღრმავებულია წყალსაშვიანი ნაწილის ქიმის მიმართ $h_0 = 1,5$ მეტრით. ნახევრად დასაშლელი ნაწილის თითოეული მაღის (ხერტის) სიგანე $b_1 = 10,0$ მ. მო-

ცემულია აგრეთვე: ∇ შ.დ.=30,0 მ, ∇ მ.დ.=19,0 მ, მდინარის ფსკერის ნიშნული 16,0 მ ტოლია (იხ. ნახ. 73).

დავადგინოთ ∇ შ.მ.დ. სათავე კვანძის ზედა ბიეფში.

ამოხსნა. განსახილველ შემთხვევაში, როგორც კაშხლის წყალსაში, ასევე ნახევრად დასაშლელი ნაწილების ზღურბლის ნიშნულები გაცილებით მაღალია, ვიდრე ∇ მ.დ. ნაგებობის ქვედა ბიეფში. ამიტომ კაშხლის წყალსაში და ნახევრად დასაშლელი ნაწილები, ფარების მთლიანი გალების დროს ჰიდრაულიკურად შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც პრაქტიკული პროფილის შეუტბორავი წყალსაშვები.



ნახ. 73.

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ ნაკადის მოსვლის სიჩქარეს ზედა ბიეფში, კაშხლის წყალსაშვის ნაწილის ხარჯი შეგვიძლია ვიანგარიშოთ შემდეგი ცნობილი ფორმულით:

$$Q_1 = m'' \cdot \sigma_f \cdot \sigma_{\text{ღაწ.}} \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2},$$

სადაც პავლოვსკის მიხედვით მივიღებთ:

$$m'' = 0,48, \quad \sigma_f = 1,$$

ხოლო

$$\sigma_{\text{ღაწ.}} = \sqrt{\frac{20}{\frac{H}{H_{\text{max}}}}}.$$

იმის გამო, რომ დაწინევა წყალსაშვის ქიმზე არ არის ცნობილი, ამიტომ წინასწარ მივიღოთ $\sigma_{\text{ღაწ.}} = 0,97$, მაშინ

$$Q_1 = 0,48 \cdot 0,97 \cdot 75 \cdot 4,43 \cdot H^{3/2} = 154,7 \cdot H^{3/2}.$$

კაშხალის ნახევრად დასაშლელი ნაწილის 2 მალის ხარჯი

$$Q_2 = 2 \cdot m'' \cdot \sigma_f \cdot \sigma_{\text{ღაწ.}} \cdot b_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot (H+1,5)^{3/2}.$$

მივიღოთ:

$$m = 0,47, \quad \sigma_f = 1 \quad \text{და} \quad \sigma_{\text{ღაწ.}} = 1.$$

ზაზასადამე,

$$Q_2 = 2 \cdot 0,47 \cdot 10 \cdot 4,43 (H+1,5)^{3/2} = 41,64 (H+1,5)^{3/2}.$$

შთელი ხარჯი, რომელიც უნდა გაატაროს კაშხალმა

$$Q = Q_1 + Q_2 = 154,7 \cdot H^{3/2} + 41,64 (H+1,5)^{3/2} = 200,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ზემოაღნიშნული გამოსახულებიდან უკვე შესაძლებელია საძიებელი H განსაზღვრა.

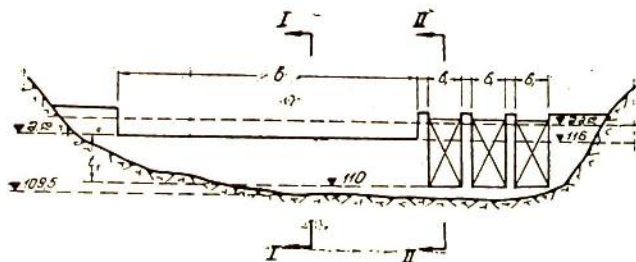
დაეუშვათ H რიგი მნიშვნელობა და განსახილველი განტოლების მიხედვით გამოვთვალოთ ხარჯის შესაბამისი მნიშვნელობანი.

ანგარიშის შედეგები მოვათავსოდ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

H მ	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
Q მ ³ /წმ.	106,15	148,19	172,44	226,46	255,73	319,30	387,84	724,35

თუ ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგებთ მრუდს $Q = f(H)$, მაშინ მისი საშუალებით ვიპოვნით $Q = 200,0$ მ³/წმ, ხარჯის შესაბამის დაწინევას $H = 0,602$ მ. საძიებელი ნიშნული კი ∇ შ. მ. დ. = ∇ შ. მ. დ. + $H = 30,000 + 0,602 = 30,602$ მ.

მკითხველს ვთხოვთ აავსოს მრუდი $Q = f(H)$ და შეამოწმოს ჩვენს ზეირ მიღებული შედეგი.



ნახ. 74.

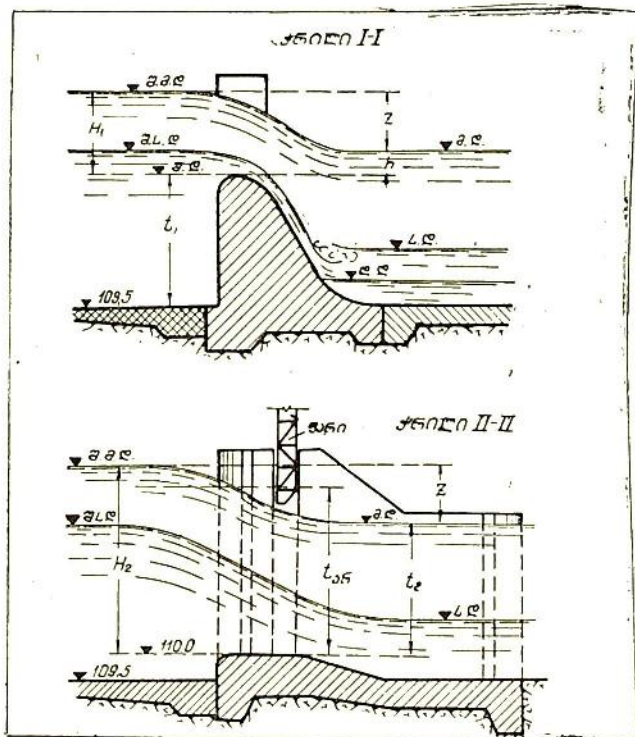
ამოცანა № 97. მდინარეზე აგებულია წყალსაშვიანი კაშხალი სამი ფსკერული გამრეცხით. გამრეცხი ხვრეტების სიგანე თანასწორია და $b_1 = 5,0$ მ (იხ. ნახ. 74, 75).

კაშხლის დაგეგმარების საფუძველზე დადგენილია შემდეგი პარამეტრები: ∇ დ. = 112,0 მ, ფსკერის ნიშნული = 109,5 მ.

▽ს. დ. = 113,8 მ. ▽მ. დ. = 117,0 მ, ▽შ. დ. = 116,0 მ,

▽შ. ს. დ. = 116,3:

▽შ. მ. დ. = 118,0 მ, ფსკერული გამრეცხის ზღურბლის ნიშნული = 110,0 მ, კაშხლის წყალსაში ნაწილის სიგანე = 60,0 მ, მდინარის სიგანე $B = 90,0$ მ.



ნახ. 75

ნახ. 75.

წყალსაში შესრულებულია პავლოვსკის კლასიფიკაციის მე-2 სახის პროფილის მიხედვით.

ვიანგარიშით კაშხალზე გადადინებული ხარჯი, როგორც მდინარის საშუალო, ასევე მაღალი დონის დროს.

ამოხსნა. ვიანგარიშით კაშხლის წყალსაშვ ნაწილზე გადადინებული წყლის ხარჯი Q_1 მდინარის ს. დ. დროს. ვინაიდან ∇ ს. დ. $< \nabla$ შ. დ., ამიტომ წყალსაშვი შეუტბორავი იქნება და ხარჯი შეგვიძლია ვიანგარიშით შემდეგი განტოლებით (იხ. ნახ. 75, კრილი I—I):

$$Q = m'' \cdot \sigma_f \cdot \sigma_{\text{გან.}} \cdot \sigma_{\text{შვ.}} \cdot b_{\text{შვ.}} \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{3/2},$$

განსახილველი პროფილის წყალსაშვისათვის პავლოვსკის მონაცემების მიხედვით შეგვიძლია მივიღოთ:

$$m'' = 0,49, \sigma_f = 0,97, \sigma_{\text{შვ.}} = 1,$$

$$\sigma_{\text{გან.}} = 0,785 + 0,25 \frac{H_1}{H_{\text{max}}} = 0,785 + 0,25 \cdot 0,60 = 0,935,$$

სადაც

$$H_1 = \nabla \text{ შ. ს. დ.} - \nabla \text{ შ. დ.} = 117,2 - 116,0 = 1,2 \text{ მ,}$$

ხოლო

$$H_{\text{max}} = \nabla \text{ შ. მ. დ.} - \nabla \text{ შ. დ.} = 118,0 - 116,0 = 2,0 \text{ მ.}$$

ახლა ვიანგარიშით წყალსაშვის შეკუმშული განი კრიგერ-ოფიცეროვის ფორმულით:

$$b_{\text{შვ.}} = b - 0,1 \cdot \xi \cdot n \cdot H_{\text{max}} = 60,0 - 0,1 \cdot 1,0 \cdot 2 \cdot 2 = 59,6 \text{ მ,}$$

სადაც წინაღობის კოეფიციენტი $\xi = 1,0$ ტოლი ავიღოთ. ამრიგად, კაშხლის წყალსაშვიან ნაწილზე გადადინებული ხარჯი

$$Q_1 = 0,49 \cdot 0,97 \cdot 0,935 \cdot 59,6 \cdot 4,43 \cdot 1,2^{3/2} = 155,98 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ფსკერული გამრეცხები ჰიდრავლიკურად შეგვიძლია როგორც ფართულურბლიანი წყალსაშვები ისე განვიხილოთ (იხ. ნახ. 75, კრილი II—II). წყლის დონის შემალღება გამრეცხის ზღურბლის მიმართ ქვედა ბიფეის მხრიდან

$$t_2 = \nabla \text{ ს. დ.} - \nabla 110,0 = 113,8 - 110,0 = 3,8 \text{ მ,}$$

წყლის დაწნევა გამრეცხის ზღურბლის წინ

$$H_2 = \nabla \text{ შ. ს. დ.} - \nabla 110,0 = 116,3 - 110,0 = 6,30 \text{ მ.}$$

ნაკადის კრიტიკული სიღრმე გამრეცხის ზღურბლზე, როდესაც მისი შესასვლელი ნაწილი მომრგვალებულია

$$t_{36} = k' \cdot H_2 = 0,63 \cdot 6,3 = 3,97 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ $t_{36} = 3,97 \text{ მ} > t_2 = 3,80 \text{ მ}$ და ამიტომ წყალსაშვი შეუტბორავი იქნება.

გამრეცხზე გადადინებული ხარჯი Q' იანგარიშება შემდეგი ცნობილი ფორმულით:

$$Q_2' = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_2^{3/2}.$$

როდესაც სიჩქარის კოეფიციენტი $\varphi = 0,92$, მაშინ ხარჯის კოეფიციენტი $m = 0,35$. მოსვლის სიჩქარეს მისი სიმცირის გამო მხედველობაში არ ვღებულობთ.

$$Q_2' = 0,35 \cdot 5 \cdot 4,43 \cdot (6,3)^{3/2} = 122,53 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

სამივე ფსკერული გამრეცხი გაატარებს ხარჯს:

$$Q_2 = 3 \cdot 122,53 = 367,59 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

კაშხალზე გადადინებული სრული ხარჯი მდინარის საშუალო დონის დროს იქნება:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 155,98 + 367,59 = 523,57 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ახლა გამოვარკვიოთ კაშხალზე გადადინებული ხარჯი მდინარის მაღალი დონის (მ. დ.) დროს.

წყლის დონის შემალღება ქვედა ბიეფში კაშხლის წყალსაშვის ნაწილის ქიმის მიმართ ტოლია:

$$h = \nabla \text{ მ. დ.} - \nabla \text{ შ. დ.} = 117,0 - 116,0 = 1,0 \text{ მ}.$$

ნაკადის დაწნევა კი წყალსაშვის ქიმზე

$$H_1 = \nabla \text{ შ. მ. დ.} - \nabla \text{ შ. დ.} = 118,0 - 116,0 = 2,0 \text{ მ}.$$

ვიციტ აგრეთვე, რომ $t_1 = \nabla \text{ შ. დ.} - \nabla 109,5 = 116,0 - 110,0 = 6,5 \text{ მ}$ და ვარდნილი $z = \nabla \text{ შ. მ. დ.} - \nabla \text{ მ. დ.} = 118,0 - 117,0 = 1,0 \text{ მ}$ (იხ. ნახ. 75,

ქრილი I—I). ფარდობა $\frac{z}{t_1} = \frac{1}{6,5} = 0,155$. ვინაიდან $\frac{z}{t_1} = 0,155 < 0,70$

და $\nabla \text{ მ. დ.} > \nabla \text{ შ. დ.}$, ამიტომ წყალსაშვი იქნება შეტბორილი.

წყლის ხარჯი წყალსაშვიან ნაწილზე მდინარის მაღალი დონის დროს

$$Q_1 = 0,49 \cdot 0,97 \cdot 0,937 \cdot 59,6 \cdot 4,43 \cdot 2^{3/2} = 333,97 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

სადაც პავლოვსკის მიხედვით მივიღეთ:

$$m'' = 0,49, \sigma_{\text{მგ.}} = 0,937, \sigma_f = 0,97, \sigma_{\text{ნაწ.}} = 1.$$

ახლა ვიანგარიშოთ ფსკერული გამრეცხიდან გადადინებული ხარჯი.

წყლის დონის შემალღება გამრეცხის ზღურბლის მიმართ ქვედა ბიეფის მხრიდან უდრის:

$$t_2 = \nabla \text{ მ. დ.} - \nabla 110,0 = 117,0 \text{ მ} - 110,0 \text{ მ.} = 7,0 \text{ მ}.$$

წყლის დაწნევა გამრეცხის ზღურბლის წინ

$$H_2 = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla 110,0 = 118,0 - 110,0 = 8,0 \text{ მ.}$$

ხოლო კრიტიკული სიღრმე გამრეცხის ზღურბლზე ტოლია:

$$t_{კ.} = k' \cdot H_2 = 0,63 \cdot 8,0 = 5,04 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ $t_{კ.} = 5,04 \text{ მ} < t_2 = 7,0 \text{ მ}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფსკერული გამრეცხები მუშაობენ როგორც შეტბორილი ფართეზღურბლიანი წყალსაშვებები.

წყლის სიღრმე გამრეცხის ზღურბლზე ამ შემთხვევაში $t_2 = 7,0 \text{ მ}$. წყლის ხარჯი გამრეცხზე შეგვიძლია ვიანგარიშოთ ფორმულით:

$$Q_2' = \varphi \cdot b_1 \cdot t_2 \sqrt{2g \cdot \chi},$$

სადაც

$$\chi = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla \text{მ. დ.} = 118,0 - 117,0 = 1,0 \text{ მ.}$$

ამრიგად, ერთი გამრეცხის ხარჯი

$$Q_2' = 0,95 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 43 = 147,3 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

აქ, სიმცირის გამო, მხედველობაში არ მიგვიღია ნაკადის მოსვლის სიჩქარე და გვერდითი კუმშვა (გამრეცხი ხვრეტების გამყოფი ბურჯების კეთილშემოვლითი გაფარების შემთხვევაში).

სამივე ფსკერული გამრეცხი გაატარებს ხარჯს:

$$Q_2 = 3 \cdot 147,3 = 441,9 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

კაშხალზე გადადინებული სრული ხარჯი მდინარის მ.დ. დროს იქნება:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 523,57 + 441,9 = 964,47 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 98. განვსაზღვროთ შეტბორილი საშუალო დონის ნიშნული ($\nabla \text{შ. ს. დ.}$) კაშხლის წყალსაშვიანი ნაწილის წინ, თუ წყალსაშვზე გადადენილი ხარჯი $Q = 500,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$, წყალსაშვის სიგანე $b = 70,0 \text{ მ}$, $\nabla \text{ს. დ.} = 23,75 \text{ მ}$, $\nabla \text{შ. დ.} = 23,50 \text{ მ}$. მდინარის ფსკერის ნიშნული $18,00 \text{ მ}$ ტოლია. წყალსაშვი მრუდი მოხაზულობისა და მისი ხარჯის კოეფიციენტი $m = 0,45$.

ამოხსნა. დაეუშვათ წყალსაშვი შეუტბორავია და ხარჯის განტოლებიდან განვსაზღვროთ დაწნევა წყალსაშვის წინ:

$$H = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 = 2,33 \text{ მ.}$$

ამიტომ შეტბორილი საშუალო დონის ნიშნული პირველ მიახლოებაში

$$\nabla \text{შ. ს. დ.} = \nabla \text{შ. დ.} + H = 23,50 + 2,33 = 25,83 \text{ მ.}$$

ზედა და ქვედა ბიეფების დონეთა შორის ვარდნილი

$$z = \nabla \text{შ. ს. დ.} - \nabla \text{ს. დ.} = 25,83 - 23,75 = 2,08 \text{ მ.}$$

წყალსაშვის სიმაღლე

$$l = \nabla \text{შ. დ.} - \nabla 18,00 = 23,50 - 18,0 = 5,5 \text{ მ.}$$

ახლა დავადგინოთ ნაკადის გადაღინების ხასიათი წყალსაშვზე:

$$\frac{\sqrt{l}}{l} = 0,378 < 0,70$$

და

$$\nabla \text{შ. დ.} = 23,5 \text{ მ} < \nabla \text{ს. დ.} = 23,75 \text{ მ}$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ ჩვენი დაშვება შეუტბორავი გადაღინების შესახებ (განსახილველ წყალსაშვზე) არ არის სწორი. ფაქტიურად ადგილი აქვს შეტბორილ გადაღინებას რისთვისაც საჭიროა შეტბორვის კოეფიციენტის $\sigma_{\text{შაბ.}}$ განსაზღვრა.

დავუშვათ შ. ს. დ. რიგი მნიშვნელობა და განვსაზღვროთ შესაბამისი z და H სიდიდეები. ეს სიდიდეები მოგვცემენ აგრეთვე $\sigma_{\text{შაბ.}}$ კოეფიციენტისა და გადაღინებული (q) ხარჯის მნიშვნელობათა განსაზღვრის საშუალებას. შემდგომ ჩატარებული ანგარიშების შედეგების მიხედვით შეგვიძლია ავაგოთ მრუდი, რომელიც $\nabla \text{შ. ს. დ.}$ -სა და გადაღინებულ ხარჯს შორის დამოკიდებულებას დაამყარებს. ხოლო მრუდის საშუალებით შეგვიძლია დავადგინოთ მოცემული ხარჯის შესაბამისი $\nabla \text{შ. ს. დ.}$ კერძოდ:

$$z = \nabla \text{შ. ს. დ.} - \nabla \text{ს. დ.} = \nabla \text{შ. ს. დ.} - 23,75,$$

ხოლო

$$H = \nabla \text{შ. ს. დ.} - \nabla \text{შ. დ.} = \nabla \text{შ. ს. დ.} - 23,50.$$

ხარჯისა და $\nabla \text{შ. ს. დ.}$ დამოკიდებულების მრუდის ასაგებად საჭირო ანგარიში მოვათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

№№	$\nabla \text{შ. ს. დ.}$ მ	z მ.	h მ.	l მ.	$\sigma_{\text{შაბ.}}$	მ ² ,წმ.
1	24,00	5,50	0,25	0,50	0,801	39,47
2	24,50	5,50	0,75	1,00	0,917	127,92
3	25,00	5,50	1,25	1,50	0,949	242,73
4	25,50	5,50	1,75	2,00	0,965	380,84
5	26,00	5,50	2,25	2,50	0,974	537,08
6	26,50	5,50	2,75	3,00	1,060	763,58

ანგარიშის მსვლელობის განმარტების მიზნით განვიხილოთ კონკრეტული შემთხვევა, როდესაც $\nabla \text{შ. ს. დ.} = 24,00$ მ.

მაშინ

$$z = \text{შ. ს. დ.} - \text{ს. დ.} = 24,00 - 23,75 = 0,25 \text{ მ,}$$

ხოლო

$$H = \text{შ. ს. დ.} - \text{შ. დ.} = 24,00 - 23,50 = 0,50 \text{ მ.}$$

წყალსაშვის სიმაღლე $t = 5,5$ მ, ხოლო

$$\sigma_{\text{გბ.}} = 1,05 \left(1 + 0,2 \frac{h}{t} \right) \sqrt{\frac{z}{H}} = 0,801,$$

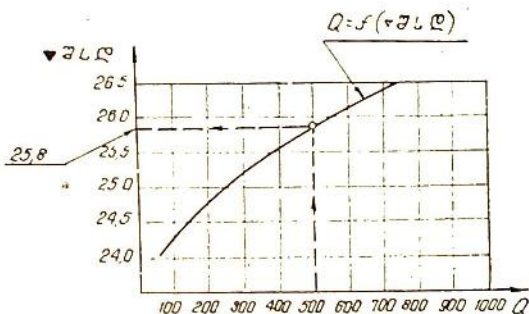
სადაც

$$h = \text{ს. დ.} - \text{შ. დ.} = 23,75 - 23,50 = 0,25 \text{ მ.}$$

ხოლო ხარჯი

$$Q = m \cdot \sigma_{\text{გბ.}} \cdot b \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} = 39,47 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

მოყვანილი წესით მოვახდენთ ანგარიშს ∇ შ.ს.დ. ყველა დაშვებული ნიშნელობისათვის. ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგებთ $Q = f(\nabla$ შ.ს.დ.) მრუდს (იხ. ნახ. 76).



ნახ. 76.

როგორც ვხედავთ ირკვევა როდესაც $Q = 500$ მ³/წმ, საძიებელი ∇ შ.ს.დ. ტოლია 25,8 მ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ნაკადის საძიებელი დონე ზედა ბიფში (∇ შ.ს.დ.) უზრუნველყოფს შეტბორილ გადადინებას წყალსაშვზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ ანგარიში ჩატარებულია სწორად.

ამოცანა 99. მდინარის მაღალი დონისა (მ.დ.) და წყალსაშვის ქიმის ნიშნულის დადგენა ხდება ჰიდრომეტრული მასალების დამუშავებისა და წყალსაშვის დაგეგმარების საფუძვლებზე. ხშირად ნაკადის რეგულირების მიზნით, წყალსაშვიან ნაწილთან ერთად კაშხალში აწყობენ ნახევრად დასაშლელ ხვრეტებს, რომელნიც წარმოადგენენ ზე-

მოდან ფარებით გადახურულ, შედარებით დაბალი პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვებს. ნახევრად დასაშლელი ტიპის კაშხლები მაშინაც ეწყობიან როდესაც კალაპოტის სიგანე ვერ აკმაყოფილებს წყალდიდობის ხარჯის გატარებას ქვედა ბიეფში კაშხლის წყალსაშვიანი ვარიანტით.

დაუშვათ მდინარეზე აგებულია ნახევრად დასაშლელი ტიპის კაშხალი (იხ. ნახ. 73). ვიგულისხმობთ, რომ იგი დაგეგმარებულია ზემოაღნიშნულ მოსაზრებათა საფუძველზე. კაშხლის წყალსაშვიანი ნაწილის სიგრძე $h=300,0$ მ, ორივე ნახევრად დასაშლელი ხერტის სიგანე ტოლია და $b_1=10,0$ მ, გამყოფი ბურჯების სიგანე $b'=2,0$ მ.

განვსაზღვროთ კაშხლის ნახევრად დასაშლელი ნაწილის წყალსაშვის ქიმის ჩაღრმავება წყალსაშვიანი ნაწილის ქიმის ქვემოთ h_0 , თუ მდინარის ხარჯი $Q=2000$ მ³/წმ. ზედა ბიეფის შეტბორილი მაღალი დონის ნიშნული 22,0 მ არ უნდა აღემატებოდეს. მოცემულია:

$$\nabla \text{შ. დ.} = 20,00 \text{ მ და } \nabla \text{მ. დ.} = 12,00 \text{ მ.}$$

ამოხსნა. იმის გამო, რომ კაშხლის წყალსაშვიანი ნაწილი შეუტბორავია, ამიტომ მასზე გადადინებული ხარჯი იანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$Q_1 = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2},$$

სადაც დაწინევა

$$H = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla \text{მ. დ.} = 22,0 - 20,0 = 2,0 \text{ მ.}$$

ამრიგად,

$$Q_1 = 0,45 \cdot 300 \cdot 4,43 \cdot 2^{3/2} = 1691,29 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

კაშხლის ნახევრად დასაშლელმა ნაწილმა უნდა გაატაროს ხარჯი:

$$Q_2 = Q - Q_1 = 2000 - 1691,29 = 308,71 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ვიგულისხმობთ, რომ ნახევრად დასაშლელი ნაწილის წყალსაშვები შეუტბორავია.

ნახევრად დასაშლელი ნაწილის ერთი მალის ხარჯი

$$Q_2' = \frac{Q_2}{2} = 155 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ნაკადის გვერდითი კუმშვის კოეფიციენტი მივიღოთ $\varepsilon=0,90$ ტოლი, აქედან გამომდინარე

$$Q_2' = m \cdot \varepsilon \cdot b_1 \cdot \sqrt{2g} \cdot (H + h_0)^{3/2},$$

საიდანაც

$$H + h_0 = \left(\frac{Q_2'}{m \cdot \varepsilon \cdot b_1 \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3},$$

ზოლო ნახევრად დასაშლელი ნაწილის ქიმის საძიებელი ჩაღრმავება

$$h_0 = \left(\frac{155,0}{0,45 \cdot 0,90 \cdot 10 \cdot 4,43} \right)^2 - H = 2,214 \text{ მ.}$$

იმის გამო, რომ ∇ შ. დ.— $h_0 = 17,786 \text{ მ} > \nabla$ მ. დ.— $12,0 \text{ მ}$, ამიტომ კაშხლის ნახევრად დასაშლელი ნაწილის წყალსაშვები შეუტბორავია და ჩვენი ვარაუდი სამართლიანია.

ზოგ შემთხვევაში, ტექნიკურ-ეკონომიური გაანგარიშების საფუძველზე, ზიზანშეწონილია h_0 სიმაღლის გაზრდა კაშხლის წყალსაშვიანი ნაწილის სიგანის შემცირების ხარჯზე.

ამოცანა № 100. განვსაზღვროთ შეგუბებული დონეები კაშხლის ზედა ბიეფში ორი შემთხვევისათვის: 1) როდესაც ხარჯი მდინარის მაღალი დონის დროს $Q = 6000 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ და 2) როდესაც მდინარის საშუალო დონის შესაბამისი ხარჯი $Q_0 = 1200 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

განსახილველ მდინარეზე დაგეგმარებულია წყალსაშვიანი ტიპის კაშხალი ექვსი გამრეცი ხერეტი. კაშხლის წყალსაშვიანი ნაწილის სიგრძე $b = 150 \text{ მ}$. თითოეული გამრეცი ხერეტის სიგანე $b_1 = 10 \text{ მ}$.

მოცემულია: ∇ შ. დ.— 1130 მ , ∇ მ. დ.— 1126 მ და ∇ ს. დ.— 1120 მ . ფსკერული გამრეცების ზღურბლის ნიშნული 1116 მ ტოლია, მდინარის სიგანე ∇ შ. დ. დროს $B = 220,0 \text{ მ}$.

ამოხსნა. შევამოწმოთ თუ რა ხარჯს გაატარებენ გამრეცი ხერეტები, როდესაც ზედა ბიეფში წყლის დონე ∇ შ. დ. ტოლია, ხოლო ქვედა ბიეფში— ∇ ს. დ.

დავადგინოთ შემდეგი სიდიდეები:

$$h = \nabla \text{ს. დ.} - \nabla 1116,0 = 1120,0 - 1116,0 = 4,0 \text{ მ.}$$

$$H = \nabla \text{შ. დ.} - \nabla 1116,0 = 1130,0 - 1116,0 = 14,0 \text{ მ.}$$

გამოვარკვიოთ კრიტიკული სიმაღლე ფსკერული გამრეცის ზღურბზე:

$$t_{კრ.} = k' \cdot H = 0,63 \cdot 14,0 = 8,82 > h = 4,0 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ წყალსაშვი არ არის შეტბორილი და ხარჯი, რომელსაც ექვსი გამრეცი გაატარებს ტოლია:

$$Q_1 = 6 \cdot m \cdot b_1 \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} = 4873 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

როგორც ვხედავთ გამრეცი ხერეტების მიერ გატარებული ხარჯი ∇ შ. დ. დროს დაახლოებით 4-ჯერ აღემატება მდინარის საშუალო დონის (∇ ს. დ.) შესაბამის ხარჯს: $Q_0 = 1200 \text{ მ}^3/\text{წმ}$.

ვიანგარიშით რა დაწინევით გაივლის ღია გამრეცებში მდინარის საშუალო დონის დროს ხარჯი Q_0 .

დაუშვათ, რომ გამრეცხი ხვრეტები შეუტბორავია. მაშინ დაწნევა-
იქნება ტოლი:

$$H = \left(\frac{Q_0}{6 \cdot m \cdot b_1 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 = 5,5 \text{ მ.}$$

კრიტიკული სიღრმე გამრეცხების ზღურბლზე

$$t_{კ.} = k' \cdot H = 0,63 \cdot 5,5 = 3,47 \text{ მ.}$$

რადგან $t_{კ.} < h$ ანიტომ გამრეცხის ზღურბლი შეტბორილი უოფილა.
და ზემოთ მიღებული დაშვება არ შეესაბამება სინამდვილეს. ანიტომ
ანგარიშისათვის გამოვიყენოთ შეტბორილი წყალსაშვის ხარჯის ფორ-
მულა და მისი საშუალებით განვსაზღვროთ ζ ვარდნილი გამრეცხის
ზღურბლზე. ნაკადის მოსვლის სიჩქარეს სიმციროს გამო მხედველობაში
არ ვღებულობთ.

მოცემული გვაქვს:

$$Q_0 = 6\varphi \cdot b_1 \cdot h \cdot \sqrt{2g\zeta},$$

საიდანაც

$$\zeta = \frac{Q_0^2}{6\varphi^2 (b_1 \cdot h)^2 \cdot 2g} = 1,49 \text{ მ.}$$

ამრიგად, მდინარის ს. დ. დროს ზედა ბიეფის ნიშნული

$$\nabla \text{ ზედა ბიეფისა} = \nabla \text{ ს. დ.} + 1,49 = 1120 + 1,49 = 1121,49 \text{ მ.}$$

ახლა დავადგინოთ ∇ შ. მ. დ., როდესაც მდინარის ხარჯი $Q =$
 $= 6000 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$

ვინაიდან, ∇ შ. დ. $>$ ∇ მ. დ., ანიტომ კაშხლის წყალსაშვიანი ნაწილი
შეუტბორავია და მასზე გადადინებული ხარჯი შეგვიძლია ვიანგარიშოთ
ფორმულით:

$$Q_1 = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^2 \cdot \zeta,$$

სადაც H არის დაწნევა წყალსაშვზე.

ახლა გავარკვეოთ ნაკადის გადადინების ხასიათი ფსკერული გამ-
რეცხების ზღურბლზე (წყალსაშვზე).

განვსაზღვროთ წყლის სიმაღლე:

$$h_1 = \nabla \text{ მ. დ.} - \nabla 1116 = 1126 - 1116 = 10,0 \text{ მ.}$$

შეუტბორავი გადადინების შემთხვევაში გამრეცხის ზღურბლზე
დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობა:

$$k' (H + t_1) > h_1 \text{ ან } H > \frac{h_1}{k'} - t_1 = \frac{10}{0,63} - 14 = 1,87 \text{ მ,}$$

სადაც

$$t_1 = \nabla \text{ შ. დ.} - \nabla 1116 = 14 \text{ მ.}$$

ჩვენ შემთხვევაში მივიღოთ:

$$H = 1,87 \text{ მ.}$$

კაშხლის სრული ხარჯი შეგვიძლია ვიანგარიშოთ შემდეგი განტოლებით:

$$Q = Q_1 + Q_2 = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} + 6 \cdot m \cdot b_1 \sqrt{2g} (h_1 + H)^{3/2} = 6601,65 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

სადაც Q_2 არის კაშხლის ფსკერული გამრეცხების ხარჯი.

როგორც ვხედავთ ∇ მ. დ. დროს მდინარის ხარჯის ($Q = 6000 \text{ მ}^3/\text{წმ}$) შესაბამისი დაწნევა 1,87 მ ნაკლებია, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ გამრეცხი ხვრეტები მუშაობენ როგორც შეტბორილი წყალსაშვები (იხ. ზემოთ მოყვანილი პირობა). ამ შემთხვევაში კაშხლის სრული ხარჯი

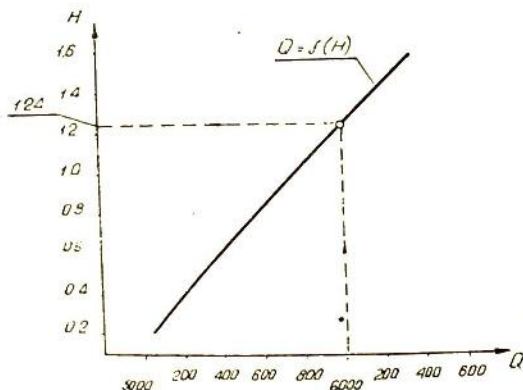
$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} + 6 \cdot \varphi \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot \sqrt{2g} z,$$

სადაც

$$z = (H + t_1) - h_1 = H + 4.$$

მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} Q &= 0,45 \cdot 150 \cdot 4,43 \cdot H^{3/2} + 6 \cdot 0,92 \cdot 10 \cdot 10 \cdot \sqrt{2g} (H + 4) = \\ &= 2,99 H^{3/2} + 552 \sqrt{2g} (H + 4). \end{aligned}$$



ნახ. 77.

ამ განტოლების მიხედვით შეიძლება დავადგინოთ მოცემული ხარჯის $Q = 6000 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ შესაბამისი დაწნევა H .

ანგარიში მიზანშეწონილია ჩავატაროთ გრაფო-ანალიზური წესით.

დავუშვათ H რიგი მნიშვნელობა და ანგარიშის შედეგები მოვათავსოდ ცხრილში.

ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავავთ $Q = f(H)$ მრუდი (იხ. ნახ. 77).

H	0,20	0,50	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00
Q	5038,79	5292,29	5570,54	5766,56	5967,79	6273,44	6834,77

მრუდიდან ვხედავთ, რომ $Q = 6000$ მ³/წმ ხარჯს შეესაბამება $H = 1,24$ მ დაწნევა. ამრიგად, მდინარის მაღალი დონის დროს (∇ მ. დ.), როდესაც მდინარის ხარჯი $Q = 6000$ მ³/წმ,

$$\nabla \text{ მ. დ.} = \nabla \text{ მ. დ.} + H = 1130 + 1,24 = 1131,24 \text{ მ.}$$

ასეთია ამოცანის პასუხი.

ამოცანა № 101. ჰიდროენერგომშენებლობის პრაქტიკაში ხშირია შემთხვევა, როდესაც კაშხალს აგებენ ცალკეულ ნაწილებად. სახელდობრ ასაგები კაშხლის კვეთში მდინარეზე ზღუდარის საშუალებით იქნება მშრალი ქვაბული, რომლის ფარგლებში აგებენ კაშხლის პირველ ნაწილს. მდინარის ხარჯი შევიწროებული კვეთით მიედინება ასაგები კაშხალის მეორე ნაწილის გავლით. ქვაბულში სამუშაოთა დამთავრების შემდეგ შლიან ზღუდარს და მდინარის ძირითად ხარჯს ატარებენ პირველი ნაწილის ხერტებით ქვედა ბიეფში. ამის შემდეგ ზღუდარის საშუალებით იქმნება კაშხლის მეორე ნაწილის ქვაბული და ხდება კაშხლის მშენებლობის დამთავრება. წყალდიდობის დროს შევიწროებული კვეთი შეიძლება საკმარისი არ აღმოჩნდეს ხარჯის გასატარებლად და ამიტომ კაშხლის პირველი ნაწილის ზღუდარში ხშირად აწყობენ დროებით წყალგასაშვებ ხერტს, რომელიც შეიძლება მოვათავსოთ სათავე ნაგებობათა კვანძის კომპლექსში.

საჭიროა ასეთი დროებითი ხერტის კვეთის ფართის გაგება, როდესაც ∇ მ. დ. დროს $Q = 120$ მ³/წმ, შ. მ. დ. ნიშნული 35,00 მ ტოლია, მდინარის ფსკერის ნიშნული კი—31,00 მ.

საჭიროა აგრეთვე ვიცოდეთ მდინარის დაბალი დონის (დ. დ.) დროს დაწნევა ხერტის წინ, თუ $Q = 60$ მ³/წმ.

∇ მ. დ. = 34,00 მ და ∇ დ. დ. = 31,50 მ, ხერტის ზღურბლის ნიშნული 30,50 მ ტოლია. მდინარეში დაბალი დონის დროს მდინარის განიკვეთის ფართობი (ხერტის წინ) $a_0 = 96,0$ მ² და კალაპოტის სიგანე $B = 100,0$ მ.

ამოხსნა. ხერტი რომელიც დარჩება კაშხალის ტანში მშენებლობის დამთავრებამდე შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც ფართოზღურბ-

ლიახი წყალსაში. დავადგინოთ ხერტის სიგანე, როდესაც ზედა ბიეფ-ში წყლის ჰორიზონტის ნიშნული ტოლია ∇ შ.მ.დ. დაწნევა ხერტის წინ

$$H = \nabla \text{შ.მ.დ.} - 30,50 \text{ მ.} = 35,50 - 30,50 = 5,0 \text{ მ.}$$

მდინარის განიკვეთის ფართობი ∇ შ.მ.დ. დროს

$$F = \omega_0 + 100 \cdot 2 = 296 \text{ მ}^2,$$

სადაც ∇ შ.მ.დ. შესაბამისი მდინარის სიღრმე საორიენტაციოდ 2 მ ტოლი ავიღეთ, ხოლო ზღურბლზე წყლის სიმაღლე,

$$t_2 = \nabla \text{შ.მ.დ.} - 30,50 = 33,00 - 30,50 = 3,50 \text{ მ.}$$

ნაკადის მოსვლის სიჩქარე

$$v_0 = \frac{Q}{F} = \frac{120}{296} = 0,405 \text{ მ/წმ.}$$

მოსვლის სიჩქარე სიმცირის გამო შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ.

გამოვარკვიოთ ნაკადის გადაღინების ხასიათი ხერტის ზღურბლზე ∇ შ.მ.დ. დროს:

$$t_{\text{კ.}} = k' \cdot H = 2,95 \text{ მ,}$$

სადაც $k' = 0,59$ (იხ. ზემოთ ამოცანა № 89).

როგორც ვხედავთ

$$t_{\text{კ.}} = 2,95 < t_2 = 3,50,$$

ამიტომ განსახილველი ხერტის ზღურბლი ∇ შ.მ.დ. დროს შეტბორდება ქვედა ბიეფთან და წყლის სიღრმე მასზე t_2 ტოლი უნდა მივიღოთ.

ზედა და ქვედა ბიეფების დონეთა სხვაობა, ანუ ვარდნილი ზღურბლზე

$$z = \nabla \text{შ.მ.დ.} - \nabla \text{შ.მ.დ.} = 35,00 - 34,00 = 1,0 \text{ მ.}$$

ახლა შესაძლებლობა გვაქვს გამოვარკვიოთ ხერტზე გადაღინებული ნაკადის შეკუმშული (შევიწროებული) განი:

$$b_{\text{შკ.}} = \frac{Q}{\varphi \cdot t_2 \cdot \sqrt{2gz}} = 9,15 \text{ მ.}$$

ხერტის განი b ავიღოთ 10 მ ტოლი.

ახლა გამოვარკვიოთ ხერტის წინ დაწნევის სიდიდე როდესაც ∇ შ.მ.დ. დროს ხარჯი $Q = 60 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$ ამ შემთხვევაში:

$$t_2 = \nabla \text{შ.მ.დ.} - 30,50 = 31,50 - 30,50 = 1,0 \text{ მ.}$$

კრიტიკული სიღრმე ხვრეტის ზღურბლზე

$$t_{კრ.} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = 1.64 \text{ მ,}$$

აქედან

$$t_{კრ.} = 1.64 > t_1 = 1.0 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, დინება შეუტბორავია.

გამოვარკვევით დაწნევა ხვრეტის წინ.

ვინაიდან

$$t_{კრ.} = 0.59 \cdot H,$$

ამიტომ

$$H = \frac{t_{კრ.}}{0.59} = 2.78 \text{ მ.}$$

მაშასადამე, საძიებელი ∇ შ. დ. იქნება:

$$\nabla \text{შ. დ.} = 30.50 + H = 30.50 + 2.78 = 33.28 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 102. მდინარეზე დაგეგმარებულია ბეტონის კაშხალი შემდეგ მოსაზრებათა საფუძველზე: წყალსაშვიან ნაწილზე დაწნევა არ უნდა აღემატებოდეს $H = 1.0$ მ, წყალსაშვის სიგანე $b = 20.0$ მ, ბურჯის სიგანე $b_1 = 2.0$ მ, წყალსაშვის ქიმის ნიშნული ∇ შ. დ. = 250.0 მ, ∇ შ. მ. დ. = 251.0, ∇ შ. დ. = 246.0, ხარჯი მდინარის მაღალი დონის დროს $Q = 150$ მ³/წმ.

საკიროა წყლის ხარჯის გატარება წყალსაშვისა და კაშხლის ნახევრად დასაშლელი ნაწილის ხვრეტით (იხ. ნახ. 78).

დავადგინოთ ნახევრად დასაშლელი ნაწილის ხვრეტის სიგანე (b_2), თუ მისი წყალსაშვის ზღურბლის ნიშნული 243.0 მ ტოლია, მდინარის ფსკერის ნიშნული კი — 240.0 მ.

პავლოვსკის კლასიფიკაციის წყალსაშვების პროფილი 4 სახისაა.

ამოხსნა. გამოვარკვევით წყლის ხარჯი წყალსაშვზე.

ვინაიდან ∇ შ. დ. < ∇ შ. დ., ამიტომ წყალსაშვი შეუტბორავია და ხარჯი შეიძლება განვსაზღვროთ შემდეგი ფორმულით:

$$Q_1 = m'' \cdot \sigma_f \cdot \sigma_{\text{დნ}} \cdot \sigma_{\text{შვ}} \cdot b_{\text{შვ}} \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}.$$

ვინაიდან წყალსაშვი 4 სახისაა ამიტომ:

$$m'' = 0.47; \sigma_f = 1.02 - 0.028 \cdot S - 0.02 \left(\frac{a}{r} - 1 \right).$$

ჩვენს შემთხვევაში

$$S = \frac{e}{d} = \frac{2}{1} = 2,$$

სადაც

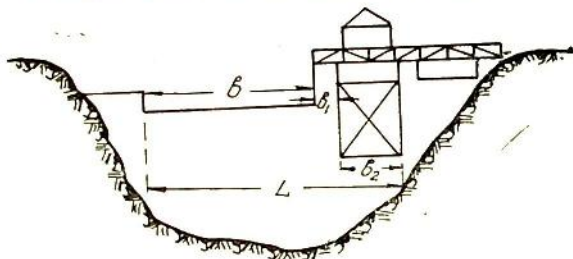
$$c=2 \text{ და } a=1; r=1 \text{ და } \frac{a}{r}=1,$$

ამრიგად,

$$\sigma_f = 1,02 - 0,028 \cdot 2 - 0,02(1-1) = 0,964,$$

$$\sigma_{\text{გაბ}} = \sqrt[20]{\frac{H}{H_{\text{max}}}} = 1,0$$

ვინაიდან H_{max} ჩვენს შემთხვევაში H ემთხვევა და $\sigma_{\text{გაბ}} = 1$.



ნახ. 78.

ვინაიდან წყალსაში შემუტბორავია

$$b_{\text{გაბ}} = b - 0,1 \cdot \xi \cdot n \cdot H = 20 - 0,1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 = 19,8 \text{ მ},$$

$$H = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla \text{შ. დ.} = 151 - 150 = 1,0 \text{ მ.}$$

ასე რომ

$$Q_1 = 0,47 \cdot 0,964 \cdot 19,8 \cdot 4,43 \cdot 1,0^{3/2} = 39,47 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ნახევრად დასაშლელმა ნაწილმა ამავე დონის დროს უნდა გაატაროს ხარჯი:

$$Q_2 = Q - Q_1 = 110,53 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

განესაზღვრეთ ხედრითი ხარჯი ნახევრად დასაშლელ ნაწილზე, რისთვისაც წინასწარ დავადგინოთ სიდიდე:

$$z = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla \text{შ. დ.} = 251,0 - 246,0 = 5,0 \text{ მ},$$

მაშინ ხედრითი ხარჯი

$$q = m \cdot \sigma_{\text{გაბ}} \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{3/2},$$

სადაც

$$H_1 = \nabla \text{შ. მ. დ.} - \nabla 243 = 151,0 - 243 = 8,0 \text{ მ.}$$

ამ შემთხვევაში ხვრეტის ერთეულ სიგანეზე ხარჯი იქნება:

$$q = 0,35 \cdot 0,95 \cdot 4,43 \cdot 8,0^{1,2} = 35,00 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ხვრეტის საკირო სიგანე

$$b_2 = \frac{Q_2}{q} = 3,14 \approx 3,20 \text{ მ.}$$

როგორც ვხედავთ, ერთი ხვრეტი სრულიად საკმარისია Q_2 ხარჯის გასატარებლად.

კაშხალის ძირითადი ნაწილის სიგრძე

$$L = b + b_1 + b_2 = 25,2 \text{ მ.}$$

ამრიგად, 5 მ. დ. დროს წყლის ხარჯის გატარების პირობა დაკმაყოფილებულია, ვინაიდან $H = 1,0$ მ.

ამოცანა 103. სათავე ნაგებობათა კვანძის წყალმიმღებს ხშირად თან ახლავს გვერდითი წყალსაშვი, რომელიც მუშაობს მხოლოდ წყალდიდობის დროს.

ეთქვათ, ასეთი წყალსაშვის სიგრძე $b = 40,0$ მ, წყალსაშვის ქიმის ნიშნული ტოლია 125,0, მ. დ. ნიშნული წყალმიმღებში 126,2 მ უდრის. გავარკვეოთ რა წყლის ხარჯის გატარება შეიძლება გვერდითი წყალსაშვით მ. დ. დროს.

მდინარის წყალდიდობის ხარჯი $Q = 1200$ მ³/წმ.

ამოხსნა. გამოვარკვეოთ დაწნევა წყალსაშვზე:

$$H = \nabla \text{ მ. დ.} - \nabla 125,0 = 126,0 - 125,0 = 1,20 \text{ მ.}$$

რადგან გვერდითი წყალსაშვის დაწნევა წინასწარ განსაზღვრულია და მისი სიგრძე $b = 40,0$ მ, შეგვიძლია ხარჯი შემდეგი განტოლებით განვსაზღვროთ:

$$Q_1 = 1,772 \sqrt[3]{b^{2,5} \cdot H^5} = 51,92 \text{ მ}^3/\text{წმ} \text{ (იხ. დანართი, ცხრილი 13, 14).}$$

კაშხალის დანარჩენი ხვრეტები უნდა დაგეგმარდეს წყლის შემდეგ ხარჯზე:

$$Q_2 = Q - Q_1 = 1148,08 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა 104. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით განვსაზღვროთ გვერდითი წყალსაშვის სიგანე b თუ წყალმიმღების ხარჯი $Q = 850,0$ მ³/წმ, გამრეცხი ხვრეტების ხარჯი $Q_2 = 620,0$ მ³/წმ, დაწნევა $H = 1,2$ მ.

ამოხსნა. Q და Q_2 მოცემულია. ხარჯი წყალსაშვზე $Q_1 = Q - Q_2 = 850,0 - 620,0 = 230,0$ მ³/წმ.

წყალსაშვის სიგანე:

$$\lg b = \frac{2 \lg N}{5} = \frac{2}{5} \lg \left(\frac{Q_1^3}{1,772^3 \cdot H^3} \right) = 2,378 \text{ მ,}$$

აქედან

$$b = 238,6 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 105. განვსაზღვროთ ტრაპეციული ხერტის მქონე წყალსაშვის ხარჯი თუ მისი ფუძის განი $b=2,5$ მ, დაწნევა $H=0,5$ მ.

ამოხსნა. ხარჯი ასეთ წყალსაშვზე ტოლია:

$$Q = 1,86 \cdot b \cdot H^{3/2} = 1,86 \cdot 2,5 \cdot 0,5^{3/2} = 1,86 \cdot 2,5 \cdot 0,3535 = 1,64 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 11).

ამოცანა № 106. განვსაზღვროთ დაწნევა ტრაპეციული ხერტის მქონე წყალსაშვზე H , რომელმაც უნდა გაატაროს ხარჯი $Q=2,0$ მ³/წუთში, თუ $b=0,75$ მ (იხ. დანართი, ცხრილი 17).

ამოხსნა. ამოცანა ცხრილით ამოვხსნათ. ცხრილში მოვძებნოთ ხარჯი ერთ წუთში, როდესაც $b=0,75$ მ. ეს იქნება ხარჯი $Q=2,008$ მ³/წუთში, რომელიც თითქმის ჩვენი ხარჯის ტოლია. ამ ხარჯის შესაბამის დაწნევას ავიღებთ ცხრილიდან, $H=82$ მმ $=0,082$ მ.

ამოცანა № 107. გამოსარკვევია ხარჯი თხელკედლიან ტრაპეციულ კვეთის მქონე წყალსაშვზე, თუ $b=1,25$ მ და $H=0,1$ მ.

ამოხსნა. ამოცანა მთლიანად ამოვხსნათ ცხრილით (იხ. დანართი, ცხრილი 12). ამ ცხრილში მოვძებნოთ ხარჯი, როდესაც $b=1,25$ მ და $H=100$ მმ:

$$Q_1 = 4,506 \text{ მ}^3/\text{წუთში,}$$

ხარჯი ერთ წამში

$$Q = \frac{Q_1}{60} = 0,0751 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 75,1 \text{ ლ/წმ.}$$

ამოცანა № 108. საჭიროა ვიანგარიშოთ ხარჯი სამკუთხოვან წყალსაშვზე, თუ $\alpha=90^\circ$ და $H=1,2$ მ.

ამოხსნა. რადგანაც $\alpha=90^\circ$, $Q=K \cdot H^{3/2} = 1,4 \cdot 1,2^{3/2} = 2,22$ მ³/წმ, სადაც $K=1,40$.

ამოცანა № 109. გამოვარკვიოთ ხარჯი სამკუთხოვან წყალსაშვზე, როდესაც კუთხე $\alpha=90^\circ$, $H=0,14$ მ $=140$ მმ.

ამოხსნა. ამოცანა გადავწყვიტოთ ცხრილის საშუალებით (იხ. დანართი, ცხრილი 18) როდესაც $\alpha=90^\circ$ და $H=140$ მმ, მაშინ ერთი წუთის განმავლობაში ხარჯი

$$Q_1 = 616,03 \text{ ლიტ/წუთში} = 0,616 \text{ მ}^3/\text{წუთში.}$$

ხარჯი ერთ წამში

$$Q = \frac{Q_1}{60} = 0,010 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

სითხის თანაბარი მოძრაობა ღია კალაპოჯებში

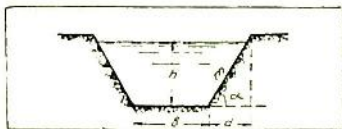
ამოცანა № 110. თიხოვან ნიადაგში უნდა აიგოს ტრაპეციული კვეთის არხი, რომლის ფსკერის სიგანე $b=10,0$ მ, წყლის ნორმალური ავსების სიღრმე $h=3,5$ მ, არხის ფერდობების ქანობი $m=1,5$. არხის ფსკერის გრძივი ქანობი $i=0,0004$.

დავადგინოთ არხში დინების სიჩქარე v და ხარჯი Q (იხ. ნახ. 79).

ამოხსნა. არხში მოძრაობის საშუალო სიჩქარის საანგარიშოთ გამოვიყენოთ შეზის განტოლება:

$$v = C \cdot V \overline{Ri},$$

სადაც C არის ე. წ. შეზის კოეფიციენტი, ხოლო R — ჰიდრაულიკური რადიუსი.



ნახ. 79.

სიჩქარის და ხარჯის საანგარიშოთ გამოვიარკვიოთ არხის შემდეგი ჰიდრაულიკური ელემენტები:

არხის ცოცხალი კვეთის ფართობი

$$\omega = (b + mh) \cdot h = (10,0 + 1,5 \cdot 3,5) 3,5 = 53,4 \text{ მ}^2,$$

არხის კვეთის სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 10,0 + 2 \cdot 3,5\sqrt{1+1,5^2} = 22,6 \text{ მ},$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{53,4}{22,6} = 2,36 \text{ მ}.$$

C კოეფიციენტის გასაგებად მივმართოთ სხვადასხვა ავტორების ემპირიკულ ფორმულებს და მიღებული შედეგები შევადაროთ ერთმანეთს.

1. პროფ. ნ. პავლოვსკის მიხედვით

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

სადაც

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R} \cdot (\sqrt{n} - 0,10) = 0,199.$$

n არის ხორკლიანობის კოეფიციენტი და განვილიე-კუტტერის ცხრილის მიხედვით $n=0,025$.

ამრიგად,

$$C = \frac{1}{0,025} \cdot 2,36 \cdot 0,199 = 47,36 \frac{\text{მ}^{\text{თ},5}}{\text{წმ}}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 19 და 20).

2. განგილიე-კუტტერის ფორმულით (როდესაც $n=0,025$)

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \right) \sqrt{\frac{n}{R}}} = 45,8 \frac{\text{მ}^{\text{თ},5}}{\text{წმ}}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 21).

3. განგილიე-კუტტერის შემოკლებული ფორმულით (როდესაც $n=0,025$)

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} = 43,6,$$

4. ბაზენის ფორმულით

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_{\text{ბ}}}{\sqrt{R}}} = 47,1,$$

სადაც ხორკლიანობის კოეფიციენტი $\gamma = 1,30$ და აღებულია 22-ე ცხრილიდან.

5. მანინგის ფორმულით (როდესაც $n=0,025$)

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} = 46,17$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 23).

როგორც ვხედავთ, C კოეფიციენტისათვის სხვადასხვა ავტორების ფორმულებით მიღებულია სხვადასხვა მნიშვნელობები.

გაეიგოთ, მაგალითად, საშუალო სიჩქარე და ხარჯი თუ C კოეფიციენტს გამოვთვლით ნ. პავლოვსკის ფორმულით:

$$v = C \sqrt{Ri} = 47,36 \cdot \sqrt{2,36 \cdot 0,0004} = 1,468 \text{ მ/წმ},$$

$$Q = \omega \cdot v = 53,4 \cdot 1,468 = 78,39 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ასეთივე წესით გამოვთვალოთ v და Q სხვა ავტორების ფორმულებით და შედეგი მოვათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

ჰიდრაული- კური ელემენტები	პავლოვსკით	განგილიე-კუტტერით		ბახენით	მანიჩით
		სრული	შემოკლებული		
<i>C</i>	47,36	45,8	45,8	47,10	46,17
<i>V</i>	1,47	1,42	1,40	1,46	1,43
<i>Q</i>	78,39	75,83	74,76	77,90	76,63

ამოცანა № 111. დაეუშვათ, რომ არხის ჰიდრაულიკური ელემენტები წინასწარ დადგენილია ადგილობრივი პირობების მიხედვით (არხი-უკვე არსებობს): $i=0,0002$, $b=5,0$ მ, $h=1,2$ მ. არხს გვერდი თიხის კაპოტი აქვს და ამის გამო $m=1$.

გავარკვიოთ რა ხარჯის გატარება შეუძლია არხს (იხ. ნახ. 79).

ამოხსნა. არხის განიკვეთის ფართობი

$$\omega = (b + mh)h = (5,0 + 1,12)1,2 = 7,44 \text{ მ}^2,$$

სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 5,38 \text{ მ},$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{7,44}{5,38} = 1,38 \text{ მ}.$$

C კოეფიციენტი ვიანგარიშით განგილიე-კუტტერის ფორმულით. ვისარგებლოთ ცხრილით (იხ. დანართი, ცხრილი 21), ცხრილიდან სჩანს, რომ მნიშვნელობებს $n=0,020$, $i=0,0002$ და $R=1,00$ მ, შეესაბამება *C* შემდეგი სიდიდე: $C=50$, თუ $R=2,00$ მ, მაშინ $C=56$. ჩვენ შემთხვევაში $R=1,38$ მ, ამიტომ *C* დასადგენად მოვახდინოთ წრფივი ინტერპოლაცია, რის შედეგად მივიღებთ: $C=52,28$.

წლის ხარჯი კი უდრის:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i} = 7,44 \cdot 52,28 \cdot \sqrt{1,38 \cdot 0,0002} = 6,46 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა 112. გასაყვანია არხი წყალსაცავ აუზიდან მომხმარებლამდე. დადგენილია, რომ ბეტონის არხის კვეთი უნდა იყოს სწორკუთხოვანი. მოცემულია: $b=1,0$ მ, $h=1,3$ მ. არხმა უნდა გაატაროს ხარჯი, $Q=2,0$ მ³/წმ (იხ. ნახ. 80). გავარკვიოთ არხის ის გრძივი ქანობი რომელიც დააკმაყოფილებს ამოცანის პირობას.

ამოხსნა. არხის გრძივი ქანობი შეზის ფორმულის მიხედვით

$$i = \frac{V^2}{C^2 \cdot R}.$$

საშუალო სიჩქარე

$$v = \frac{Q}{\omega} = 1,54 \text{ მ/წმ,}$$

სადაც

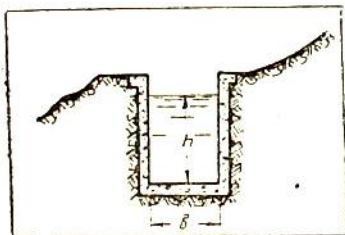
$$\omega = b \cdot h = 1 \cdot 1,3 = 1,3 \text{ მ}^2.$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 0,36 \text{ მ,}$$

ხოლო

$$\chi = 6 + 2 \cdot h = 1 + 2 \cdot 1,3 = 3,6 \text{ მ.}$$



ნახ. 80

ნახ. 80.

C ვიანგარიშით განგილიე-კუტტერის შემოკლებული ფორმულით, როდესაც $n = 0,012$ მივიღებთ: $C = 72,21$.

ჰიდრაულიკური ქანობი

$$i = \frac{1,54^2}{72,2^2 \cdot 0,36} = 0,00126.$$

ვინაიდან ქანობის მიღებული მნიშვნელობა $i = 0,00126 > 0,0005$, ამიტომ არ არის საჭირო ვანგილიე-კუტტერის სრული ფორმულის მიღებულ შედეგს ($i = 0,00126$) მივიღებთ.

გამოყენება და საბოლოოდ ზემოთ გამოყენებულ შედეგს ($i = 0,00126$) მივიღებთ.

შევამოწმოთ ხარჯი:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i} = 1,3 \cdot 72,21 \cdot \sqrt{0,36 \cdot 0,00126} = 1,999 \approx 2,0 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

როგორც ვხედავთ ამოცანის პირობა დაკმაყოფილებულია.

ამოცანა № 113. მოცემული არხისათვის განესაზღვროთ წყლის სიღრმე h , თუ $Q = 50,0 \text{ მ}^3/\text{წმ}$, $b = 10,0 \text{ მ}$, $m = 2$ და $i = 0,0002$ (იხ. ნახ. 79). ამოხსნა. საკითხი გადავწყვიტოთ შემდეგი მეთოდის მიხედვით. ხარჯის მახასიათებელი (ან ხარჯის მოდული) ჩვენს შემთხვევაში

$$K' = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{50,0}{\sqrt{0,0002}} = \frac{50,0}{0,0141} = 3546,1 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

დავუშვათ, h რიგი მნიშვნელობა და გამოვარკვიოთ არხის შესაბამისი ჰიდრაულიკური ელემენტები.

ვთქვათ $h = 1,0 \text{ მ}$, მაშინ

$$\omega = (b + mh)h = 12,0 \text{ მ}^2,$$

სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 14,47 \text{ მ,}$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 0,83 \text{ მ.}$$

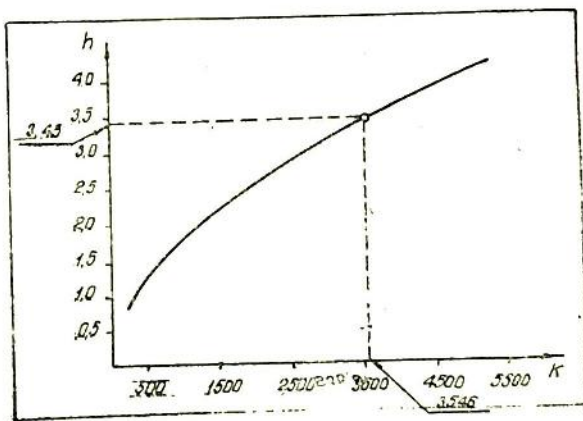
C კოეფიციენტი გამოვთვალოთ ბაზენის ფორმულით ($\gamma = 1,30$). ამიტომ გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი

$$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R} = 328,0 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ასეთივე წესით ვიანგარიშოთ ჰიდრაულიკური ელემენტები სიღრმის შემდეგი მნიშვნელობებისათვის: $h = 2,0, 3,0$ და $4,0$ მ ანგარიშის შედეგები იხილეთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

№№	h მ	ω მ ²	χ მ	b მ	\sqrt{R} მ ^{0,5}	C მ ³ /წმ ^{0,5}	K მ ³ /წმ
1	1,0	12,0	14,47	0,83	0,91	29,8	328,0
2	2,0	28,0	18,91	1,48	1,22	35,7	1220,0
3	3,0	48,0	23,42	2,05	1,43	39,2	2690,0
4	4,0	72,0	27,89	2,58	1,61	41,6	4822,0

ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავაგოთ მრული $K = f(h)$ (იხ. ნახ. 81).



ნახ. 81.

როგორც მრულიდან ჩანს, ჩვენ, კერძო შემთხვევაში $K' = 3546 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ მნიშვნელობას შეესაბამება $h = 3,45 \text{ მ}$ სიღრმე.

ნაკადის სიჩქარე არხში

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{b \cdot h} = 1,45 \text{ მ/წმ.}$$

ამოცანა № 114. მიწის ტრაპეციული არხი, რომლის სიგრძე $L = 5000$ მ აერთებს ორ წყალსაცავს. შათი დონეთა სხვაობა $H = 4,0$ მ, არხის ფერდობების ქანობი $m = 1,5$, ბაზენის ფორმულისათვის $\gamma = 1,3$, არხის ხარჯი $Q = 4,0$ მ³/წმ.

განესაზღვროთ არხის ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელი ცობალი კვეთის h და b ზომები (იხ. ნახ. 79).

ამოხსნა. არხის ჰიდრაულიკური ქანობი

$$i = \frac{H}{L} = \frac{4,0}{5000} = 0,0008.$$

უდიდესი გამტარუნარიანობის პროფილის ანუ ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელი პროფილისათვის, როდესაც $m = 1,5$ უნდა დავიცვათ პირობა:

$$\frac{h}{b} = 1,65^*.$$

ასეთი პირობების დროს ფუძის სიგანე

$$b = \frac{h}{1,65}.$$

დავუშვათ h რიგი მნიშვნელობა და განესაზღვროთ სათანადო ჰიდრაულიკური ელემენტები.

მაგალითად, თუ $h = 2,5$ მ, მაშინ

$$b = \frac{2,5}{1,65} = 1,51 \text{ მ,}$$

$$\omega = (1,51 + 1,5 \cdot 2,5) \cdot 2,5 = 13,15 \text{ მ}^2,$$

$$\chi = 1,51 + 2,5 \cdot 3,606 = 10,51 \text{ მ,}$$

$$R = \frac{13,15}{10,51} = 1,25 \text{ მ,}$$

$$K' = \frac{Q}{V i} = \frac{4,00}{\sqrt{0,008}} = 141,0 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{წმ.}}$$

იგივე ჰიდრაულიკური ელემენტები გამოვთვალოთ h -ის შემდეგ მნიშვნელობებისათვის: $h = 0,5$ მ, $1,0$ მ და $1,5$ მ.

* პ. ჯ. ი. ქი ა, ჰიდრაულიკა 1947, გვ. 377.

ხორკლიანობის კოეფიციენტი $n=0,025$, ხოლო K ვიანგარიშით ფორმულით:

$$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}.$$

კოეფიციენტი C ვიანგარიშით პავლოესკის ფორმულით. ანგარიშის შედეგები მოვათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

h მ	b მ	χ მ	ω მ ²	R მ	\sqrt{R} მ ^{1/2}	C მ ³ /წმ	K მ ³ /წმ
0,5	0,30	2,10	0,53	0,25	0,500	28,50	7,55
1,0	0,61	4,22	2,11	0,50	0,707	34,00	57,8
1,5	0,91	6,33	4,74	0,75	0,870	37,45	177,51
2,5	1,51	10,51	13,15	1,25	1,120	420,5	630,45

ცხრილის მონაცემების მიხედვით უნდა ავაგოთ მრუდი $K=f(h)$. მრუდიდან ვაპოვიოთ, რომ $K'=141,0$ მ³/წმ მნიშვნელობას შეესაბამება $h=1,45$ მ სიღრმე.

აღნიშნული მრუდის აგებას მკითხველს ვანდობთ.

არხის ფსკერის სიგანე

$$b = \frac{h}{1,65} = \frac{1,45}{1,65} = 0,873 \text{ მ.}$$

ამრიგად, განვსაზღვრეთ არხის უდიდესი გამტარუნარიანობის მქონე განივკვეთის ფართის ელემენტები (h , b).

თუ ადგილობრივი პირობების მიხედვით h განსაზღვრულია წინასწარ, მაშინ b უშუალოდ უდიდესი გამტარუნარიანობის ზემოთ მოყვანილი პირობიდან დავადგენთ.

იგივე ამოცანა შეიძლება გადავწყვიტოთ h მიმართ, რისთვისაც უნდა დავამყაროთ დამოკიდებულება და ავაგოთ $K=f(b)$ მრუდი.

ამ მრუდიდან შეგვიძლია განვსაზღვროთ K' კერძო მნიშვნელობის შესაბამისი სიგანე b და შესაბამისი აგების სიღრმე h .

ამოცანა № 115. ზოგიერთ შემთხვევაში ადგილობრივი პირობები არ იძლევიან საშუალებას არხის კვეთს, რომ უდიდესი გამტარუნარიანობა ჰქონდეს. ამ შემთხვევაში იძულებული ვართ არხის კვეთი დავადგინოთ ეკონომიური ანგარიშის საფუძველზე.

დავუშვათ საჭიროა გავიყვანოთ არხი დაქანებულ კლდოვან ფერდობზე. მოცემულია: $Q=5,0$ მ³/წმ, $i=0,001$.

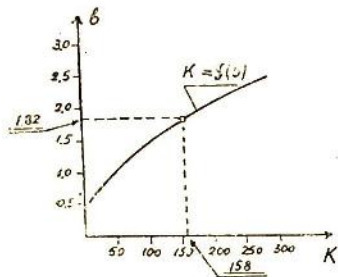
ბეტონის არხის კვეთი სწორკუთხოვანია ($m=0$).

ამოხსნა. მოცემულ პირობებში ეკონომიურობის თვალსაზრისით მიღებულია შემდეგი ფარდობა:

$$\frac{h}{b} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

$$K' = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{5,0}{\sqrt{0,001}} = 158,0 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{მ}}.$$

ვთქვათ $b=2,0$ მ, მაშინ $h=1,25$, ხოლო თუ $b=2,5$ მ, მაშინ



ნახ. 82.

$$a = b \cdot h = 2,0 \cdot 2,5 = 5,0 \text{ მ}^2,$$

$$\gamma = 2h + b = 2 \cdot 2,5 + 2,0 = 7,0 \text{ მ},$$

$$R = \frac{a}{\gamma} = \frac{5,0}{7,0} = 0,71 \text{ მ}.$$

C ვიანგარიშით ბაზენის ფორმულით, როდესაც $\gamma=0,46$. მივიღებთ:

$$C = 56,2.$$

ხოლო

$$K = a \cdot C \cdot \sqrt{R} = 5,0 \cdot 56,2 \cdot \sqrt{0,71} = 236,04 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{მ}}.$$

b მივცეთ შემდეგი მნიშვნელობანი: 1,5 მ, 1,0 მ, 0,5 მ.

ანალოგიური გამოთვლების შედეგები მოგათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

b მ	h მ	a მ ²	γ მ	R მ	\sqrt{R}	C	K მ ³ /√მ
0,5	0,63	0,32	1,76	0,18	0,42	42,2	5,67
1,0	1,25	1,25	2,50	0,50	0,71	52,8	36,86
1,5	1,88	2,82	5,26	0,51	0,73	53,7	110,55
2,0	2,50	5,00	7,00	0,71	0,84	56,2	236,04

ამ ცხრილით აგებული $K = f(b)$ მრუდის საშუალებით (იხ. ნახ. 82) ვანგაზრდით $K' = 158,0 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{მ}}$, შესაბამისი არხის ტსკერის განი $b = 1,82$ მ და წყლის სიღრმე არხში

$$h = 1,25 \cdot b = 1,25 \cdot 1,82 = 2,75 = 2,8 \text{ მ}.$$

საშუალო სიჩქარე არხში

$$v = \frac{Q}{a} = \frac{5,0}{1,82 \cdot 2,8} = 1,00 \text{ მ/წმ}.$$

ამოცანა № 116. ვიანგარიშით ტრაპეციული არხის განივკვეთის ფართი, თუ ხარჯი $Q = 20,0 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{მ}}$. ავსების სიღრმე უნდა აკმაყოფილებდეს პი-

რობას: $h \leq 3,0$ მ. გრძივი ქანობი $i = 0,002$ და ფერდობის კოეფიციენტი $m = 1$ (იხ. ნახ. 79).

ამოხსნა. ჩვენს შემთხვევაში ხარჯის მოდული

$$K' = \frac{Q}{V \cdot i} = 447,7 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

არხის კვეთის დადგენის მიზნით ჯერ ვიანგარიშოთ წყლის მაქსიმალური სიღრმის ($h = 3,0$) შესაბამისი ხარჯის მოდული K .

არხის ფსკერის სიგანე

$$b = k_1 \cdot h = 0,828 \cdot 3 = 2,484 \text{ მ,}$$

სადაც $k_1 = 0,828$, როდესაც $m = 1$ (იხ. დანართი, ცხრილი 26).

არხის ცოცხალი კვეთის ფართი

$$\omega = k_2 \cdot h^2 = 1,828 \cdot 3,0^2 = 16,452 \text{ მ}^2.$$

კოეფიციენტი k_2 შეგვიძლია დავადგინოთ იმავე ცხრილით. ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R^{**} = \frac{h}{2} = 1,5 \text{ მ.}$$

კოეფიციენტი C განვსაზღვროთ ბაზენის ფორმულით. ხორკლიანობის კოეფიციენტს $\gamma = 0,85$ შეესაბამება $C = 51,3$ მნიშვნელობა (იხ. დანართი, ცხრილი 22).

ხარჯის მოდული ან გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი ვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით:

$$K = A \cdot C \cdot h^{3/2},$$

სადაც A არის კოეფიციენტის მნიშვნელობა (იხ. პ. ჯიქია, „ჰიდრაულიკა“ 1947 წ. გვ. 379).

ამრიგად, $K = 1,293 \cdot 51,3 \cdot 3,0^{3/2} = 1033 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ (იხ. დანართი ცხრილი 26).

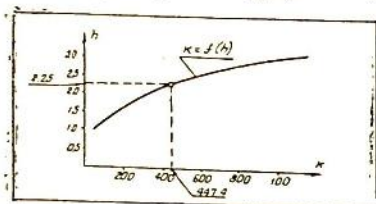
ვინაიდან $K > K'$ ეს ნიშნავს იმას, რომ მოცემული ხარჯის გატარება არხში შესაძლებელია $h < 3,0$ მ სიღრმით. h მივცეთ 3,0 ნაკლები მნიშვნელობები და გამოთვლის შედეგები მოვიყვანოთ ქვემოთ მოცემულ ცხრილში.

* პ. ი. ჯიქია, ჰიდრაულიკა. 1947 წ. გვ. 379.

** Н. Павловский, „Гидравлический справочник“, 1937. стр. 176.

h მ	$R = \frac{h}{2}$ მ	C მ ³ /წმ	k მ ³ /წმ
1,00	0,50	39,50	51,1
1,50	0,75	43,90	156,4
2,00	1,00	47,00	343,0
3,00	1,50	51,30	1033,0

ამ ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავგავთ $K = f(h)$ მრუდი.



ნახ. 83.

ამ მრუდის საშუალებით ვსაზღვრავთ $K' = 447,4$ შესაბამის სიღრმეს $h = 2,25$ მ (იხ. ნახ. 83). არხის ფსკერის სიგანე

$$b_1 = k_1 \cdot h = 0,828 \cdot 2,25 = 1,86 \text{ მ.}$$

საშუალო სიჩქარე არხში

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{20,0}{9,25} = 2,16 \text{ მ/წმ,}$$

სადაც

$$\omega = (b + mh) \cdot h = (1,862 + 1 \cdot 2,25) \cdot 2,25 = 9,25 \text{ მ}^2.$$

ამოცანა № 117. განვსაზღვროთ ყორე-ქვეით მოპირკეთებული არხის ჰიდრაულიკური ელემენტები, თუ არხმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q = 8,00$ მ³/წმ. მოცემულია: $i = 0,0002$. შევარჩიოთ კვეთი ისე, რომ საშუალო სიჩქარე $v = 1,0$ მ/წმ ნაკლები არ იყოს. არხის ფერდობების ქანობი $m = 1$.

ამოხსნა. ჯერ დავადგინოთ არხის გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი (ხარჯის მოღუდი)

$$K' = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{8,0}{\sqrt{0,0002}} = 567,4 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{წმ}}.$$

საანგარიშოდ მივიღოთ: $v = 1,0$ მ/წმ, მაშინ $\omega = 8,0$ მ². ვინაიდან

$$\omega = k_2 \cdot h^2 = 8,0 \text{ მ}^2,$$

ამიტომ

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{k_2}} = \sqrt{\frac{8,0}{1,828}} = 2,09 \text{ მ,}$$

ხოლო ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{h}{2} = \frac{2,09}{2} = 1,045 \text{ მ.}$$

კოეფიციენტი C განვსაზღვროთ განგილე-კუტტერის ფორმულით მე-20 ცხრილიდან, როდესაც $n=0,017$ და $R=1,045$ მ. ვპოულობთ $C=58$.

შეზის ფორმულიდან ქანობი

$$i = \frac{v^2}{C^2 R} = 0,000284.$$

როგორც ვხედავთ $i=0,000284 > 0,0002$, რაც ამოცანის პირობას აკმაყოფილებს.

~~ამოცანა № 118.~~ გავარკვეოთ ტრაპეციული არხის ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელი განივკვეთის ზომები, თუ $Q=5,0$ მ³/წმ, $i=0,00075$ და $m=1,5$. მინიმალური დასაშვები სიჩქარე არხში ვიანგარიშოთ კენნედის ცნობილი ფორმულით.

არხის სიგანე b როდესაც $m=1,5$ ტოლია:

$$b = \frac{h}{1,65},$$

$$\omega = (b + mh)h,$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \quad \text{და} \quad R = \frac{\omega}{\chi}.$$

წინასწარ დაუშვათ სიღრმის რიგი მნიშვნელობა: $h=0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6$ მ.

მინიმალური დასაშვები სიჩქარე ვიანგარიშოთ კენნედის ფორმულით:

$$v_{min} = 0,55 h^{0,64},$$

ქანობი

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}.$$

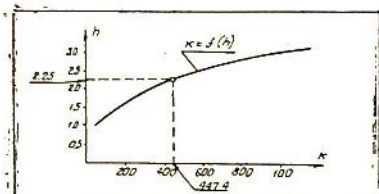
კოეფიციენტი C ვიანგარიშოთ ბაზენის ფორმულით, როდესაც ხორკლიანობის კოეფიციენტი $\gamma=1,30$.

გამოთვლების შედეგები ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში მოვათავსოთ.

h მ	b მ	ω მ ²	χ მ	v_{min} მ/წმ	R მ	C	i
0,6	0,36	0,76	2,52	0,40	0,30	25,8	0,00080
0,8	0,49	1,35	3,38	0,48	0,40	28,5	0,00071
1,0	0,61	2,11	4,22	0,55	0,50	30,6	0,000674
1,2	0,73	3,04	5,06	0,62	0,60	32,5	0,000608
1,6	0,97	5,40	6,74	0,74	0,80	35,5	0,000543

h მ	$R = \frac{h}{2}$ მ	C მ ³ /წმ	k მ ³ /წმ
1,00	0,50	39,50	51,1
1,50	0,75	43,90	156,1
2,00	1,00	47,00	343,0
3,00	1,50	51,30	1033,0

ამ ცხრილის მონაცემების მიხედვით ავგავთ $K = f(h)$ მრუდი.



ნახ. 83.

ამ მრუდის საშუალებით ვსაზღვრავთ $K' = 447,4$ შესაბამის სიღრმეს $h = 2,25$ მ (იხ. ნახ. 83). არხის ფსკერის სიგანე

$$b_1 = k_1 \cdot h = 0,828 \cdot 2,25 = 1,86 \text{ მ.}$$

საშუალო სიჩქარე არხში

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{20,0}{9,25} = 2,16 \text{ მ/წმ,}$$

სადაც

$$\omega = (b + mh) \cdot h = (1,862 + 1 \cdot 2,25) \cdot 2,25 = 9,25 \text{ მ}^2.$$

ამოცანა № 117. განვსაზღვროთ ყორე-ქვეით მოპირკეთებული არხის ჰიდრაული ელემენტები, თუ არხმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q = 8,00$ მ³/წმ. მოცემულია: $i = 0,0002$. შევარჩიოთ კვეთი ისე, რომ საშუალო სიჩქარე $v = 1,0$ მ/წმ ნაკლები არ იყოს. არხის ფერდობების კანონი $m = 1$.

ამოხსნა. ჯერ დავადგინოთ არხის გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი (ხარჯის მოდული)

$$K' = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{8,0}{\sqrt{0,0002}} = 567,4 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

საანგარიშოდ მივიღოთ: $v = 1,0$ მ/წმ, მაშინ $\omega = 8,0$ მ².

ვინაიდან

$$\omega = k_2 \cdot h^2 = 8,0 \text{ მ}^2,$$

ამიტომ

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{k_2}} = \sqrt{\frac{8,0}{1,828}} = 2,09 \text{ მ,}$$

ხოლო ჰიდრაული რადიუსი

$$R = \frac{h}{2} = \frac{2,09}{2} = 1,045 \text{ მ.}$$

კოეფიციენტი C განვსაზღვროთ განგილიე-კუტტერის ფორმულით მე-20 ცხრილიდან, როდესაც $n=0,017$ და $R=1,045$ მ. ვპოულობთ $C=58$.

შეზის ფორმულიდან ქანობი

$$i = \frac{v^2}{C^2 R} = 0,000284.$$

როგორც ვხედავთ $i=0,000284 > 0,0002$, რაც ამოცანის პირობას აკმაყოფილებს.

ამოცანა № 118. გავარკვეოთ ტრაპეციული არხის ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელი განივკვეთის ზომები, თუ $Q=5,0$ მ³/წმ, $i=0,00075$ და $m=1,5$. მინიმალური დასაშვები სიჩქარე არხში ვიანგარიშოთ კენნედის ცნობილი ფორმულით.

არხის სიგანე b როდესაც $m=1,5$ ტოლია:

$$b = \frac{h}{1,65},$$

$$\omega = (b + mh)h,$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \text{ და } R = \frac{\omega}{\chi}.$$

წინასწარ დაუშვათ სიღრმის რიგი მნიშვნელობა: $h=0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6$ მ.

მინიმალური დასაშვები სიჩქარე ვიანგარიშოთ კენნედის ფორმულით:

$$v_{min} = 0,55 h^{0,64},$$

ქანობი

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}.$$

კოეფიციენტი C ვიანგარიშოთ ბაზენის ფორმულით, როდესაც ხორკლიანობის კოეფიციენტი $\gamma=1,30$.

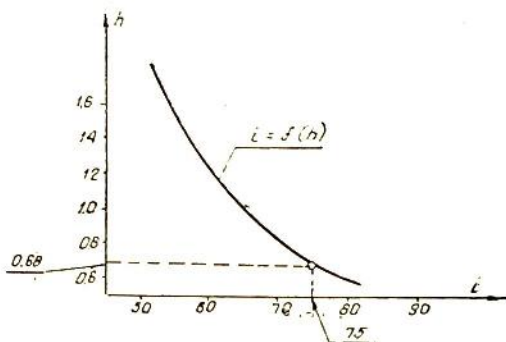
გამოთვლების შედეგები ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში მოვითავსოთ.

h მ	b მ	ω მ ²	χ მ	v_{min} მ/წმ	R მ	C	i
0,6	0,36	0,76	2,52	0,40	0,30	25,8	0,00080
0,8	0,49	1,35	3,38	0,48	0,40	28,5	0,00071
1,0	0,61	2,11	4,22	0,55	0,50	30,6	0,000674
1,2	0,73	3,04	5,06	0,62	0,60	32,5	0,000608
1,6	0,97	5,40	6,74	0,74	0,80	35,5	0,000543

ცხრილის მონაცემების საფუძველზე ავაგოთ $i=f(h)$ მრუდი (იხ. ნახ. 84).

მრუდიდან მივიღებთ, რომ მოცემულ ქანობს $i=0,00075$ შეესაბამება $h=0,68$ მ სიღრმე. h ამ მნიშვნელობის მიხედვით კი დავადგენთ არხის სიგანეს:

$$b = \frac{0,68}{1,65} = 0,412 \text{ მ.}$$



ნახ. 84.

ამრიგად, მივიღებთ არხის ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელ კვეთს, რომელიც აკმაყოფილებს მინიმალურად დასაშვებ სიჩქარეს.

ამოცანა № 119. მიწის არხმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q=4,0$ მ³/წ, როდესაც მისი გრძივი ქანობი $i=0,001$ და ფერდობების კოეფიციენტი $m=1,5$.

ტრაპეციული არხის განივკვეთის ფართის განსაზღვრის დროს დაცული უნდა იქნას შემდეგი პირობა:

$$v \leq 1,0 \text{ მ/წ და } h \leq 1,2 \text{ მ.}$$

ამოხსნა. არხის გამტარუნარიანობის კოეფიციენტი, განსახილველ შემთხვევაში

$$K' = \frac{Q}{\sqrt{i}} = 126,6 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{მ.}}$$

დაეუშვათ წყლის სიღრმის მაქსიმალური მნიშვნელობა $h=1,2$ და განესაზღვროთ ხარჯის მოდული K უდიდესი გამტარუნარიანობის პრინციპის საფუძველზე:

$$K = A \cdot C \cdot h^{5/2} = 1,49 \cdot c \cdot h^{5/2}$$

(იხ. დანართი, ცხრილი 26).

შემდეგ დავადგინოთ არხის ჰიდრავლიკური ელემენტები:
 არხის ფსკერის განი

$$b = 0,73 \text{ მ,}$$

განივკვეთის ფართობი

$$\omega = 3,04 \text{ მ}^2,$$

სველი პერიმეტრი

$$Z = 5,06 \text{ მ,}$$

ჰიდრავლიკური რადიუსი

$$R = 0,60 \text{ მ.}$$

C კოეფიციენტის მნიშვნელობა განვსაზღვროთ ნ. პავლოვსკის ფორ-
 მულით, როდესაც $n = 0,025$ და $R = 0,6$ მ. ანგარიშის შედეგად მივიღებთ:

$$C = 35,5 \cdot \text{მ}^{0,5} / \text{წმ}$$

და ამიტომ

$$K = A \cdot C \cdot h^{3/2} = 83,36 \text{ მ}^3 / \text{წმ.}$$

როგორც ვხედავთ,

$$K = 83,36 < K' = 126,6,$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ შეუძლებელია უდიდესი გამტარუნარიანობის
 მქონე კვეთის არჩევა.

ამ შემთხვევაში აუცილებელია, ან ქანობის გადიდება, ან არხის
 ხორკლიანობის შემცირება, რაც C გადიდებას გამოიწვევს.

ამოცანა № 120. საინჟინერო პრაქტიკის ზოგ შემთხვევაში მაგისტ-
 რალური არხების დაგეგმარებას და მშენებლობას აქვს ადგილი (სა-
 დერივაციო არხები, მაგისტრალური სარწყავი არხები, არხები წყალსა-
 დენის საჭიროებისათვის და სხვა). მაგრამ ხშირია შემთხვევები, როდესაც
 აგებენ არხების მთელ ქსელებს (სარწყავი ან ამოსაშრობი სისტე-
 მები და ქსელები). ისინი ჩვეულებრივ შედგებიან სხვადასხვა გამტარ-
 უნარიანობის მქონე ურთიერთ დაკავშირებული არხებისაგან.

ჩვენ მოგვყავს მხოლოდ მარტივი ქსელის ანგარიშის მაგალითი
 (იხ. ნახ. 85).

მოცემულია არხის ქსელის ცალკეული უბნების სიგრძე და ქანობი
 (ქსელის გენ. გეგმის მიხედვით):

km	უბნის სიგრძე = 2500 მ	და ქანობი $i = 0,0008,$
dk	" "	= 5000 მ " $i = 0,0004,$
df	" "	= 2000 მ " $i = 0,00075,$
bd	" "	= 1000 მ " $i = 0,0010,$
ce	" "	= 2000 მ " $i = 0,00125,$
be	" "	= 3000 მ " $i = 0,005,$
ab	" "	= 5000 მ " $i = 0,0006.$

წყლის ხარჯი კვანძებში დადგენილია წინასწარ:

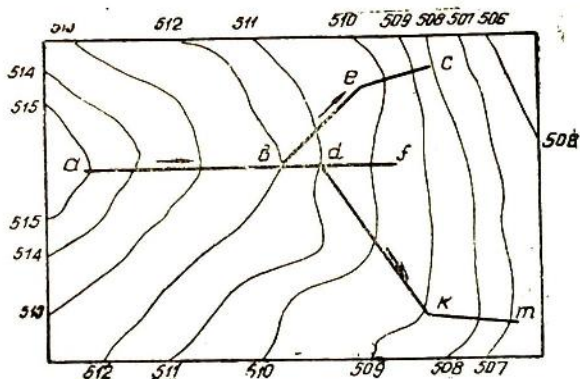
<i>b</i>	კვანძში ხარჯი	$Q=8,0$	მ ³ /წმ,
<i>d</i>	"	$Q=1,8$	"
<i>f</i>	"	$Q=1,0$	"
<i>k</i>	"	$Q=1,5$	"
<i>m</i>	"	$Q=1,2$	"
<i>l</i>	"	$Q=2,5$	"
<i>C</i>	"	$Q=1,1$	"

იმის გამო, რომ გრუნტი ყველა უბნისათვის თითქმის ერთნაირია, ამიტომ ფერლობების კოეფიციენტი ყველა უბნებისათვის მუდმივია და $m=1,5$.

ქსელში დაცული უნდა იქნეს პირობა:

$$h \leq 2,5 \text{ მ და } v = (0,6 \div 1,0) \text{ მ/წმ.}$$

ჩავატაროთ ქსელის ანგარიში აღნიშნული პირობების დაცვით.



ნაბ. 85.

ამოხსნა. ვიცით რა ქსელის თითოეული უბნის ხარჯი და ქანობი, გავარკვეოთ მათი გამტარუნარიანობის კოეფიციენტის მნიშვნელობანი.

$$1. km \text{ უბნისათვის } K' = \frac{1,20}{\sqrt{0,0008}} = 42,4 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

$$2. df \text{ " } K' = \frac{1,20 + 1,50}{\sqrt{0,0004}} = 135,0 \text{ მ}^3/\text{წმ},$$

$$3. \text{ } bd \text{ უბნისათვის } K' = \frac{1,00}{\sqrt{0,00075}} = 36,5 \text{ მ}^2/\text{წმ},$$

$$4. \text{ } bc \text{ ,, } K' = \frac{1,2+1,5+1,0+1,8}{\sqrt{0,001}} = 174,0 \text{ მ}^2/\text{წმ},$$

$$5. \text{ } ec \text{ ,, } K' = \frac{1,10}{\sqrt{0,00125}} = 31,4 \text{ მ}^2/\text{წმ},$$

$$6. \text{ } ab \text{ ,, } K' = \frac{1,2+1,5+1,0+1,8+1,1+2,5+8,0}{\sqrt{0,0006}} = 700,0 \text{ მ}^2/\text{წმ}.$$

გამოთვლილი და ცნობილი მასალები მოვათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (იხ. ცხრილი 1).

ცხრილი 1

№№	აბსოლუტ. ნიშნულთა სხვაობა უბნებისათვის	L კმ	i	Q მ ² /წმ	K' მ ² /წმ
km	2,0	2,5	0,0008	1,2	42,4
dk	2,0	5,0	0,0004	2,7	135,0
df	1,5	2,0	0,00075	1,0	36,5
Bd	1,0	1,0	0,001	5,6	174,0
ce	2,5	2,0	0,00125	1,1	31,4
bc	1,5	3,0	0,0005	3,3	160,0
ab	3,0	5,0	0,0006	17,1	700,0

ვიანგარიშოთ K მნიშვნელობა მაქსიმალურად დასაშვები h=2,5 მ სიღრმისათვის (იხ. დანართი, ცხრილი 25):

$$K = A \cdot C \cdot h^{5/2}.$$

ჩვენს შემთხვევაში

$$R = \frac{h}{2} = 1,25 \text{ მ},$$

შეზის კოეფიციენტი

$$C = 40,2.$$

ამ მნიშვნელობათა ჩასმის შედეგად მივიღებთ:

$$K = 1,49 \cdot 40,2 \cdot 2,5^{5/2} = 592,8 \text{ მ}^2/\text{წმ}.$$

უბნები, რომელთა ფარგლებში $K \leq K'$ -ზე უნდა იქნეს დაგეგმარებული უდიდესი გამტარუნარიანობის პრინციპის მიხედვით. ხოლო, როდესაც $K > K'$ -ზე, ეს იმას ნიშნავს, რომ ჰიდრაულიკურად უხელსაყრელესი კვეთის ფართი შეტია ვიდრე მოითხოვს ხარჯის გატარების პირობა

და ამიტომ h -ის მიხედვით ჩვეულებრივი წესით უნდა შევარჩიოთ არხის ფსკერის სიგანე b .

დავეშვათ h რიგი მნიშვნელობა და ვიანგარიშოთ შესაბამისი K . ანგარიშის შედეგები მოვათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (იხ. ცხრილი 2).

ცხრილი 2

h	$h^{3/2}$	R	C	K
0,5	0,18	0,25	21,2	6,49
1,0	1,00	0,50	30,6	53,60
1,5	2,76	0,75	34,8	143,11
2,0	5,65	1,00	37,8	318,80
2,5	9,88	1,25	40,2	592,81

ამ ცხრილის მონაცემების საფუძველზე შეიძლება ავაგოთ $K=f(h)$ მრუდი, რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია დავადგინოთ ცალკეული უბნების სიღრმე h .

1 ცხრილიდან ვხედავთ, რომ ab არხისათვის $K < K'$. მაშასადამე, ამ შემთხვევაში იძულებული ვართ გავადიდოთ b , რისთვისაც ჯერ გავიგოთ b მნიშვნელობა. როდესაც

$$h=2,5 \text{ მ და } m=1,5.$$

გვექნება:

$$\frac{h}{b}=1,65, \quad b=\frac{h}{1,65}=1,51 \text{ მ.}$$

ახლა ავიღოთ b რიგი მნიშვნელობა (1,50; 2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 4,00 მ. და გამოვთვალოთ ab არხისათვის K კოეფიციენტი. მაგალითად, როდესაც $b=2,0$ მ

$$a=(b+mh)h=14,38 \text{ მ}^2,$$

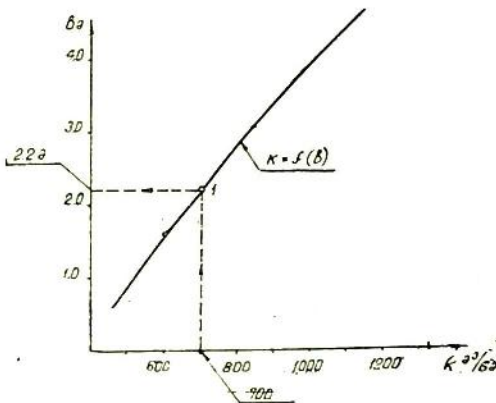
$$\chi=b+2h\sqrt{1+m^2}=11,0 \text{ მ, } R=\frac{a}{\chi}=1,14 \text{ მ,}$$

$$C=40,6 \text{ და } K=ac/\bar{i}=665,6 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამგვარი წესით ჩატარებული გამოთვლების შედეგები მოვათავსოთ ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში (იხ. ცხრილი 3).

h	b	ω	χ	R	\sqrt{R}	C'	K
2,50	1,50	13,13	10,53	1,25	1,12	40,2	591,16
2,50	2,00	14,38	11,03	1,30	1,14	40,6	665,60
2,50	2,50	15,63	11,53	1,36	1,17	41,1	751,60
2,50	3,00	16,88	12,03	1,40	1,18	41,4	824,62
2,50	3,50	18,13	12,53	1,45	1,20	41,8	909,40
2,50	4,00	19,38	13,03	1,49	1,22	42,1	995,40

ცხრილის მიხედვით ავაგებთ $K=f(b)$ მრუდს (იხ. ნახ. 86). მრუდიდან გავიგებთ ab არხის საჭირო სიგანეს: $b=2,20$ მ.



ნახ. 86

პირველი პირობა, რომლის მიხედვით არხში სიღრმე h არ უნდა აღემატებოდეს 2,5 მ, დაკმაყოფილებულია.

ახლა შევამოწმოთ მეორე პირობა, სახელდობრ, ისე შევარჩიოთ არხის პიდრავლიკური ელემენტები, რომ სიჩქარე არ აღემატებოდეს დასაშვებ მნიშვნელობას.

გავიგოთ არხის ფართობი:

$$\omega = K_2 h^2,$$

როდესაც $m = 1,5$, $K_2 = 2,107$ (იხ. დანართი, ცხრილი 25).

h მნიშვნელობა ნებისმიერ არხისათვის შეიძლება დავადგინოთ მე-2 ცხრილის მონაცემების მიხედვით აგებულ $K=f(h)$ მრუდიდან (მრუდის აგებას ვანდობთ მკითხველს).

მაგალითად, bc არხისათვის $K=K'=160,0$ და აღნიშნულ მრუდიდან ვღებულობთ სათანადო სიღრმეს $h=1,55$ მ.

შესაბამისი ფსკერის სიგანე

$$b = \frac{h}{1,65} = 0,933 \text{ მ,}$$

განიკვეთის ფართობი

$$\omega = K_2 h^2 = 2,197 \cdot 1,55^2 = 5,06 \text{ მ}^2.$$

განსახილველ უბნისათვის ხარჯი მოცემულია (იხ. ცხრილი 1) და ამიტომ შეგვიძლია გავიგოთ შესაბამისი სიჩქარე:

$$v = \frac{Q}{\omega} = 0,71 \text{ მ/წმ.}$$

იმავე წესით ვარკვევთ აღნიშნულ ელემენტებს სისტემის ყველა არხისათვის (იხ. ცხრილი 4).

ცხრილი 4

არხების დასახელება	h	b	ω	Q	v
km	0,94	0,570	1,85	1,20	0,650
dk	1,5	0,873	4,24	2,70	0,633
dj	0,89	0,542	1,66	1,00	0,600
$5d$	1,61	0,970	5,46	5,60	1,020
Cl	0,84	0,512	1,50	1,10	0,730
bc	1,55	0,933	5,06	3,60	0,710
ab	2,50	2,200	14,88	17,10	1,149

როგორც ცხრილიდან ირკვევა ab უბნის გარდა დასაშვები სიჩქარის პირობა დაკმაყოფილებულია სისტემის ყველა დანარჩენ უბნებში (ab არხში სიჩქარე $v=1,149 > v_{\text{დ.ა.}}=1,0$).

ab არხის დასაგეგმარებლად (აღნიშნული პირობების დაცვით) არსებობს მრავალი ხერხი: არხის გაგრძელებით ქანობის შემცირება, ვარდნილის მოწყობა და სხვა.

პირველი საშუალება საერთოდ არ არის მიზანშეწონილი, თუ გარკვეული სპეციფიკური პირობები არ გვიკარნახებენ ამის აუცილებლობას. ამიტომ ჩვენ შევჩერდებით მეორე საშუალებაზე, ანუ ვარდნილის მოწყობაზე.

დავუშვათ არხში მაქსიმალური სიჩქარე $v=1,00$ მ/წმ. გვაქვს $h=2,5$ მ.

არხის განივკვეთის ფართობი

$$\omega = \frac{Q}{v} = 17,10 \text{ მ}^2.$$

მეორეს მხრივ

$$\omega = (b + mh) h,$$

საიდანაც

$$b = \frac{\omega - ah^2}{h} = 5,34 \text{ მ.}$$

სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 14,37 \text{ მ.}$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 1,19 \text{ მ,}$$

ხოლო კოეფიციენტი

$$C = 39,6.$$

ახლა გამოვთვალოთ არხის ზღვრული ქანობი (შეზის ფორმულის მიხედვით):

$$i = \frac{v^2}{C^2 \cdot R} = 0,00054.$$

რადგან $0,00054 < 0,0006$, ამიტომ მოცემული ქანობი შეგვიძლია შევამციროდ სასურველ ქანობამდე ვარდნილის საშუალებით.

თუ შესამცირებელ ვარდნის სიდიდეს 1000 მეტრზე t_1 ავლნიშნავთ, მაშინ

$$t_1 = 1000 \cdot (0,0006 - 0,00054) = 1000 \cdot 0,00006 = 0,06 \text{ მ.}$$

არხის მთლიან სიგრძეზე კი ვარდნა უნდა შემცირდეს:

$$t = 5 \cdot 0,06 = 0,30 \text{ მ.}$$

ვარდნილების გაანგარიშებისა და მათი გეგმარების შესახებ სრული მასალა მოყვანილია სპეციალურ კურსებში*.

ამოცანა № 121. არხის ანგარიშის დროს გარდა ჰიდრაულიკური პირობების დაცვისა დიდი ყურადღება უნდა მიექცეს მის ეკონომიურ მიზანშეწონილობასაც. შესაძლებელია არხი ხასიათდებოდეს უდიდესი გამტარუნარიანობით, მაგრამ სიძვირის გამო მისი კონსტრუქციის განსახილველი გადაწყვეტა მიუღებელი იყოს. ამიტომ პროექტირების დროს იხილვენ დასაგეგმარებელი არხის რამდენიმე ვარიანტს, და ირჩევენ

* პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა, 1948 წ. (სპეციალური ნაწილი გვ. 215—226).

ისეთს, რომელიც ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია ტექნიკურ-ეკონომიური მონაცემების მიხედვით.

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც საჭიროა არხის გაყვანა 10 კმ მანძილზე. არხმა უნდა გაატაროს ხარჯი $Q=20,0$ მ³/წმ, ხოლო წყლის სიღრმე $h=1,5$ მ არ უნდა აღემატებოდეს. ტექნიკური მოსაზრების საფუძველზე არხის კვეთი ტრაპეციული ფორმის მივიღოთ.

განვიხილოთ ამ არხის სამი ვარიანტი:

1. არხი გაჭრილია თიხამიწიან გრუნტში და მისი ფერდობები და ფსკერი მოუპირკეთებელია (იხ. ნახ. 87). ნაკადის მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარე არხში $v=0,75$ მ/წმ.

2. არხის სველი პერიმეტრი მოპირკეთებულია მშრალი ქვის წყობით. მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარე მასში $v=1,8$ მ/წმ (იხ. ნახ. 88).

3. არხის მოსახვა ბეტონისაა (იხ. ნახ. 89) და მისი ხორკლიანობის კოეფიციენტი $n=0,013$, დასაშვები სიჩქარე არხში

$$v=3,0 \text{ მ/წმ.}$$

დავუწვათ, რომ ერთი კუბიკური მეტრი მიწის სამუშაო 1,5 კაბ. ღირს, ერთი კვადრატული მეტრი ფართობის ქვით მოპირკეთება—20 კაბ., ხოლო ერთი კვადრატული მეტრი ფართობის დაბეტონება—50 კაბ.



ნახ. 87.

ამოხსნა. 1 ვარიანტი. თიხიდან ნიადაგის არხის ფერდობების ქანობი $m=2$. დავუშვათ, რომ წყლის სიღრმე არხში $h=1,5$ მ, მაშინ ცოცხალი კვეთის ფართი

$$\omega = \frac{Q}{v} = \frac{20,0}{0,75} = 26,66 \text{ მ}^2.$$

მეორეს მხრივ

$$\omega = (b + mh)h = (b + 2 \cdot 1,5) \cdot 1,5 = 26,66 \text{ მ}^2,$$

აქედან

$$b = \frac{26,66 - 4,50}{1,5} = 14,77 \text{ მ.}$$

სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 14,77 + 1,5 \cdot 4,47 = 21,51 \text{ მ.}$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{26,66}{21,51} = 1,24 \text{ მ.}$$

კოეფიციენტი C პავლოვსკის მიხედვით, როდესაც

$$n = 0,025$$

მაშინ

$$C = 41,9.$$

არხის ქანობი

$$i = \frac{v^2}{C^2 \cdot R} = \frac{0,75^2}{41,9^2 \cdot 1,24} = 0,000257.$$

არხის ბერმის შემალღება წყლის დონის მიმართ $h_1 = 1,0$ (იხ. ნახ. 87).

არხის კრილის სრული სიღრმე

$$H = h + h_1 = 1,5 + 1,0 = 2,5 \text{ მ.}$$

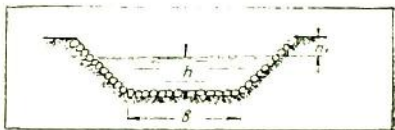
განიკვეთის ფართობი

$$F = (b + mH)H = (14,77 + 2 \cdot 2,5)2,5 = 49,43 \text{ მ}^2.$$

მიწის სამუშაოების ღირებულება არხის მთლიან ტრასაზე

$$S_1 = 49,43 \cdot 10000 \cdot 0,15 = 741,45 \text{ მან.}$$

მე-2 ვარიანტი იმისათვის, რომ არხის ფერდობები და ფსკერი გარეცხისა და დაშლისაგან დაცული იქნეს, საჭიროა მათი მოპირკეთება. ვიგულისხმობ, რომ მოპირკეთება განხორციელებულია ქვით.



ნახ. 88.

სიჩქარე მივიღოთ დასაშვები, $v = 1,8$ მ/წმ. მაშინ

$$\omega = \frac{Q}{v} = \frac{20,0}{1,8} = 11,1 \text{ მ}^2.$$

მშრალი ქვის წყობისათვის შეგვიძლია m ავიღოთ 1 ტოლი.

არხის კვეთის ზომები ვიანგარიშობთ უდიდესი გამტარუნარიანობის ანუ ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელი კვეთის პრინციპის მიხედვით.

ვიწინიდან $m = 1$, ამიტომ $\frac{h}{b} = 1,2$ და ფსკერის განი $b = \frac{h}{1,2} = 0,83 h$.

ყვეთის ფართი

$$\omega = (b + mh)h = (0,83h + 1 \cdot h)h = 1,83h^2.$$

სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 0,83h + 2h \cdot 1,41 = 3,65 \cdot h.$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{1,83h^2}{3,65h} = 0,5h.$$

სიღრმე არხში

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{1,83}} = \sqrt{\frac{11,1}{1,83}} = 2,46 \text{ მ.}$$

$$b = \frac{h}{1,2} = \frac{2,46}{1,2} = 2,04 \text{ მ.}$$

$$R = 0,5h = 0,5 \cdot 2,46 = 1,23 \text{ მ.}$$

C ვიანგარიშით პავლოვსკის ფორმულით, როდესაც $n = 0,02$. მივიღებთ $C = 52,0$. ქანობი

$$i = \frac{v^2}{C^2 \cdot R} = \frac{1,8^2}{52^2 \cdot 1,23} = 0,0009.$$

ჩვენ შემთხვევაში $H = h + h_1 = 2,46 + 1,0 \text{ მ} = 3,46 \text{ მ}$ და ამიტომ არხის მიწის ჭრილის ფართი

$$F = (b + mH)H = (2,04 + 1 \cdot 3,46) \cdot 3,46 = 19,03 \text{ მ}^2.$$

სველი პერიმეტრი

$$\chi = b + 2H\sqrt{1 + m^2} = 11,83 \text{ მ.}$$

მიწის სამუშაოების ღირებულება

$$S_2' = 19,03 \cdot 10000 \cdot 0,15 = 28545 \text{ ზან.}$$

მოპირკეთების ღირებულება

$$S_2'' = 11,83 \cdot 10000 \cdot 0,20 = 23600 \text{ ზან.}$$

არხის სრული ღირებულება

$$S_2 = S_2' + S_2'' = 28545 + 23600 = 52145 \text{ ზან.}$$

ვინაიდან ამოცანის პირობის თანახმად არხის ავესების სიღრმე 1,5 მ არ უნდა აღემატებოდეს, ამიტომ უარი უნდა ვთქვათ ჰიდრაულიკურად ყველაზე ხელსაყრელ პროფილზე და ნაცვლად ზემოთ მიღებული სიღრმისა ($h = 2,46 \text{ მ}$) ჰიდრაულიკური ანგარიშები ჩავატაროთ $h = 1,5 \text{ მ}$ სიღრმისათვის. მივიღებთ:

$$\omega = (b + mh)h = 11,10 \text{ მ}^2,$$

$$b = \frac{11,10 - 2,25}{1,5} = 5,9 \text{ მ.}$$

6. პავლოვსკის ფორმულის მიხედვით $C=50$. ქანობი-

$$i = \frac{v^2}{C^2 \cdot R} = \frac{3,24}{2511,4} = 0,00118,$$

არხის ღრულის განივკვეთის ფართი

$$F = (5,9 + 2,5) \cdot 2,5 = 21,0 \text{ მ}^2,$$

შესაბამისი პერიმეტრის სიგრძე

$$\chi = 5,9 + 2 \cdot 2,25 \cdot \sqrt{1 + m^2} = 12,267 \text{ მ,}$$

მიწის სამუშაოების ღირებულება

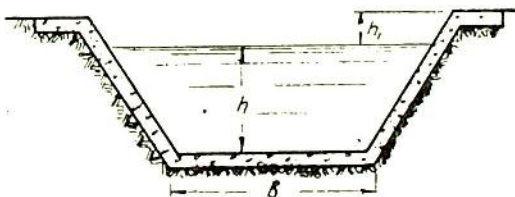
$$S_2' = F \cdot L \cdot 0,15 = 31500 \text{ მან.},$$

მოპირკეთების ღირებულება

$$S_2'' = 12,267 \cdot 10000 \cdot 2 = 24534 \text{ მან.},$$

სრული ღირებულება

$$S_2 = S_2' + S_2'' = 31500 + 24534 = 56034 \text{ მან.}$$



ნახ. 89

მე-3 ვარიანტი. არხის შესაბამის ვარიანტით განზრახულია შესრულდეს ბეტონის მოსახვა. ფერდობის ქანობი მივიღოთ $m=0,5$.

დასაშვები სიჩქარე არხში $v=3,0$ მ/წმ, $\frac{h}{b}=0,8$,

$$b = \frac{h}{0,8} = 1,25 \cdot h.$$

ჰიდრაულიკურად უხელსაყრელეს პროფილისათვის ფარდობა

$$\frac{h}{b} = 0,8, \text{ ფსკერის განი } b = 1,25 \cdot h,$$

$$\omega = \frac{Q''}{\rho} = \frac{20,6}{3,0} = 6,66 \text{ მ}^2.$$

მეორეს მხრივ

$$\omega = (b + mh) h = 1,75 h^2 = 6,66 \text{ მ}^2,$$

საიდანაც

$$h = \sqrt{\frac{6,66}{1,75}} = 1,95 \text{ მ.}$$

$$b = 1,25 h = 2,44 \text{ მ,}$$

$$\chi = b + 2h \sqrt{1 + m^2} = 7,0 \text{ მ,}$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{6,66}{7,0} = 0,94 \text{ მ.}$$

პავლოვსკის მიხედვით, როცა $n = 0,016$, $C = 76,0$. ქანობი

$$i = \frac{\rho^2}{C^2 \cdot R} = \frac{3,0^2}{76^2 \cdot 0,94} = 0,00166,$$

არხის ღრულის განივკვეთის ფართი

$$F = (b + mH) H = 9,94 \text{ მ}^2.$$

შესაბამისი პერიმეტრის სიგრძე

$$\chi = b + 2H \sqrt{1 + m^2} = 7,38 \text{ მ,}$$

სრული ღირებულება

$$S_{\Sigma} = S_{\Sigma}' + S_{\Sigma}'' = 14910 \text{ მ}^2 + 36900 = 51810 \text{ მ}^2.$$

არხის სამივე ვარიანტის განხილვის შედეგად ვხედავთ, რომ ეკონომიური და ტექნიკური თვალსაზრისით, მე-3 ვარიანტის არჩევა ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია. პრაქტიკულად საჭიროა აგრეთვე მხედველობაში მივიღოთ არხის საექსპლოატაციო პირობა.

ამოცანა № 122. განვსაზღვროთ დინების სიჩქარე და ხარჯი მრგვალი კვეთის საკანალიზაციო კოლექტორში, თუ მისი დიამეტრი $D = 0,40 \text{ მ}$, $H = 0,80 \text{ მ}$, $h = 0,60 \text{ მ}$, $i = 0,005$ (იხ. ნახ. 90).

* სადაც $S_{\Sigma}' = 9,94 \cdot 10000 \cdot 0,15 = 14910 \text{ მ}^2.$

$S_{\Sigma}'' = 7,38 \cdot 10000 \cdot 0,5 = 36900 \text{ მ}^2.$

ამოხსნა. ცხრილების საშუალებით* გავარკვიოთ კოლექტორის დაყვანილი გამტარუნარიანობა K_0 და დაყვანილი სიჩქარე W_0 , როდესაც: $D=0,40$ მ.

გვაქვს:

$$K_0 = 2,207 \text{ მ}^3/\text{წმ}, \quad W_0 = 17,54 \text{ მ}/\text{წმ}.$$

ახლა განვსაზღვროთ ე. წ. ავსების ხარისხი a :

$$a = \frac{h}{H} = 0,75.$$



ნახ. 90.

როგორც ცხრილიდან** ვხედავთ მრგვალი კვეთის მილისათვის, როდესაც $a=0,75$, ფარდობითი გამტარუნარიანობა

$$\alpha = \frac{K}{K_0} = 0,927$$

და ფარდობითი სიჩქარის მოდული

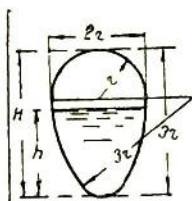
$$\beta = \frac{W}{W_0} = 1,152.$$

მიღებულ მნიშვნელობათა საფუძველზე შეგვიძლია განვსაზღვროთ დინების საშუალო სიჩქარე კოლექტორში და ხარჯი:

$$v = \beta \cdot W_0 \cdot \sqrt{i} = 1,41 \text{ მ}/\text{წმ},$$

$$Q = \alpha \cdot K_0 \cdot \sqrt{i} = 0,143 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ამოცანა № 123. განვსაზღვროთ დინების სიღრმე და სიჩქარე ოვოიდალური კვეთის საკანალიზაციო კოლექტორში (იხ. ნახ. 91), თუ ხარჯი $Q = 2,00$ მ³/წმ, ქანობი $i = 0,006$ და $H = 1,20$ მ (120/80).



ნახ. 91.

ამოხსნა. K_0 და W_0 დასადგენად მივმართოთ მე-19 ცხრილს. როგორც ვარკვევთ მილის 120/80 ზომის დროს $K_0 = 21,55$ მ³/წმ და $W_0 = 29,34$ მ/წმ.

გავარკვიოთ კოლექტორის გამტარუნარიანობა. გვაქვს:

$$K' = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{2,0}{\sqrt{0,006}} = 25,56 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

* პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა, 1947 წ. გვ. 419—425.

** პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა, 1947 წ. ცხრილი 20, ნახ. 165.

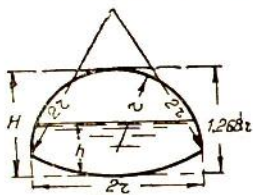
α დავადგინოთ მრუდის საშუალებით (იხ. ნახ. 166) მივიღებთ:

$$\alpha = \frac{K}{K_0} = 1,18.$$

იმევე ნახაზის მიხედვით α=1,18, მნიშვნელობას შეესაბამება α=0,975 აესების ხარისხი. მაშინ საძიებელი სიღრმე

$$h = aH = 0,975 \cdot 0,12 = 0,117 \text{ მ.}$$

ამოცანა № 124. გავარკვეოთ ღარისებრი კოლექტორის ქანობი, თუ $Q_{max} = 450$ ლიტ/წმ, $a = 0,8$, $r = 0,6$ მ (იხ. ნახ. 92).



ნახ. 92.

ამოხსნა. ცხრილიდან ვარკვევთ (იხ. ცხრ. 18): $K_0 = 20120$ ლიტ/წმ, $W_0 = 28,9$ მ/წმ. $a = 0,8$ მნიშვნელობას შეესაბამება: $\alpha = 1$ და $\beta = 1,14$ (იხ. ცხრ. 20 ან ნახ. 167). მაშასადამე, $K = \alpha \cdot K_0 = 20120$ ლიტ/წმ² და $W = \beta \cdot W_0 = 1,14 \cdot 28,9 = 32,9$ მ/წმ, ხოლო ქანობი

$$i = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 = 0,0005.$$

სიჩქარე

$$v = W \cdot \sqrt{i} = 32,9 \cdot \sqrt{0,0005} = 0,736 \text{ მ/წმ.}$$

ამოცანა № 125. ვთქვათ, მოცემული მდინარე მიედინება ხელოვნურ კალაპოტში, რომლის ფსკერი და ნაპირი გამაგრებულია, ხოლო განიკვეთი თითქმის სწორკუთხოვანია. კალაპოტის სიგანე $b = 200$ მ, სიღრმე $h = 1,5$ მ, ქანობი $i = 0,002$.

განესაზღვროთ ხარჯი Q_1 (იხ. ნახ. 93).

ამოხსნა. განესაზღვროთ ჰიდრაულიკური ელემენტები:

ცოცხალი კვეთი

$$\omega = b \cdot h = 200,0 \cdot 1,5 = 300 \text{ მ}^2,$$

სველი პერიმეტრი

$$\begin{aligned} \chi &= 2h + b = 3,0 + 200,0 = \\ &= 203,0 \text{ მ,} \end{aligned}$$

ჰიდრაულიკური რადიუსი



ნახ. 93.

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 1,5 \text{ მ,}$$

ხარჯის მოდული კალაპოტის სიგანის ერთეულისათვის ($b = 1,0$ მ)

$$K_1 = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R} = h \cdot C \cdot \sqrt{h} = C h^{3/2} = 80,0 \text{ მ}^3/\sqrt{\text{მ}},$$

სადაც $R=h=1,5$ მ, ხოლო C ვიანგარიშით პავლოვსკის მიხედვით ($n=0,025$).

ხვედრითი ხარჯი

$$q = K_1 \sqrt{i} = 3,576 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

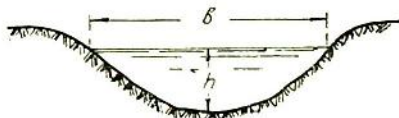
მდინარის მთლიანი ხარჯი

$$Q = q \cdot b = 715,2 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 126. განვიხილოთ მდინარე, რომლის განივი კვეთი განსახილველ უბანზე დაახლოვებით პარაბოლურია. მდინარის ქანობი $i=0,0005$, სიღრმე $h=3,0$ მ, სარკისებრი ზედაპირის სიგანე $b=100,0$ მ (იხ. ნახ. 94).

განესაზღვროთ მდინარის ხარჯი და სიჩქარე. მდინარის ბუნებრივი კალაპოტისათვის შეგვიძლია ავილოთ $\gamma=1,30$ (ბაზენის მიხედვით).

ამოხსნა. ნაკადის გამტარუნარიანობის დასადგენად მივმართოთ ბახმეტევის ძიეო მოცემულ ცხრილს (იხ. ცხრილი 16*).



ნახ. 94.

კალაპოტის ერთეული სიგანისათვის

$$k_1 = 40,0 \cdot h^{2,25},$$

$$Q_1 K = k_1 \sqrt{i} = 40 \cdot h^{2,25} \sqrt{i} = 10,62 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

მთლიანი ხარჯი

$$Q = Q_1 \cdot b = 1062 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

საშუალო სიჩქარე

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h} = 5,31 \text{ მ/წმ.}$$

ამოცანა № 127. მდინარის ნორმალური კვეთისათვის ჰიდრაული-კური მეთოდით ვიანგარიშოთ საშუალო სიჩქარე v და ხარჯი Q . ველზე უშუალო გაზომვის საფუძველზე თავისუფალი ზედაპირის განი $B_{max}=35,0$ მ, $B_{min}=26,0$ მ. წინასწარ დადგენილი დონის დროს (უშუალოდ გაზომვის შედეგად, $\omega=26,5$ მ², $\gamma=24,5$ მ, $\delta=30,0$ მ, $i=0,006$; მაღალი დონის ზონაში $\Delta=0,05$ მ, ხოლო დაბალი დონის ზონაში $\Delta=0,096$ მ (Δ არის საშუალოზე დაყვანილი ხორკლიანობის სიმაღლე).

ამოხსნა. დავწეროთ შეზის განტოლება:

$$v = C \sqrt{Ri}.$$

* პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა, 1947 წ. გვ. 417.

C გამოსარკვევად უნდა ვიცოდეთ მისი განსაზღვრელი ფორმულის შემავალი ელემენტები:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 0,80 \text{ მ.}$$

ახლა დავადგინოთ კალაპოტის მახასიათებლის მნიშვნელობა:

$$\beta = \frac{B_{max} - B_{min}}{B_{max}} = 0,236.$$

განსახილველი ჰიდროკვეთი მიეკუთვნება 1 შემთხვევას.

გამოვარკვეოთ ამ კვეთის კატეგორია, რისთვისაც საჭიროა ვიცოდეთ Δ , t და i ელემენტები. მათი მნიშვნელობები ვიცით უშუალო გამოზომვების შედეგად. სახელდობრ

$$\Delta_{საშ.} = \frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2} = 0,0745 \text{ მ,}$$

საშუალო სიღრმე

$$t = \frac{\omega}{B} = 1,325 \text{ მ.}$$

$\Delta_{საშ.}$, t და i მნიშვნელობების მიხედვით ცხრილიდან* ვიპოვით ბაზენის ხორკლიანობის კოეფიციენტს γ_b :

$$\gamma_b = \frac{0,172}{t^{1,1}} + 1,056 = 1,128.$$

ახლა ვიანგარიშოთ კოეფიციენტი C ბაზენის ფორმულით:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma_b}{\sqrt{R}}} = 38,5.$$

ასეთ პირობის დროს სიჩქარე

$$v = C \sqrt{Ri} = 2,65 \text{ მ/წმ,}$$

ხარჯი

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{Ri} = 70,225 \text{ მ}^3/\text{წმ.}$$

ამოცანა № 128. გარკვეული ობიექტის დასაგეგმარებლად მოცემული მდინარის ერთ-ერთ უბანზე საჭიროა ვიცოდეთ დინების სიჩქარე v და ხარჯი Q მაქსიმალური და მინიმალური დონეების დროს.

წყლის დაბალი დონის დროს დინების ზედაპირის ნიშნული საწყის 1—1 კვეთისათვის იყოს $\nabla 585,82$, ხოლო ბოლო 4—4 კვეთში — $\nabla 585,2$. მანძილი 1—1 და 4—4 კვეთებს შორის $L = 320,0$ მ.

* პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა, გვ. 263.

წყლის მაღალი (მაქსიმალური) დონის დროს მდინარის ზედაპირის ნიშნული 1—1 კვეთში იყოს $\nabla 587,6$, ხოლო 4—4 კვეთში — $\nabla 586,5$.

ამოხსნა. საკითხის გადასაწყვეტად საჭიროა ველზე ჩატარებული იქნას შემდეგი ელემენტების გაზომვები (ω , L , Δ , B):

დაბალი დონისათვის ქანობი

$$i = \frac{585,82 - 585,2}{320,0} = 0,002,$$

საშუალო განივკვეთის ფართობი

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4}{4} = 41,0 \text{ მ}^2.$$

ω_1 , ω_2 , ω_3 და ω_4 ფართობები გაზომილია ველზე ჩვეულებრივი წესით. საშუალო სიღრმე

$$t_{\text{საშ}} = \frac{\omega}{B} = 0,61 \text{ მ},$$

სადაც B არის დინების ზედაპირის სიგანე.

ჰიდრაულიკური რადიუსი

$$R = \frac{\omega}{\chi} = 0,58 \text{ მ},$$

სადაც სველი პერიმეტრი $\chi = 70,7 \text{ მ}$.

ხორკლიანობის გამოსარკვევად საჭიროა ფიზიკური წინალობის დაყვანილი დიამეტრის გაზომვა ადგილზე. ჩვენ შემთხვევაში იგი $\Delta = 0,06 \div 0,12 \text{ მ}$.

კალაპოტის მახასიათებელი

$$\beta = \frac{B_{\text{max}} - B_{\text{min}}}{B_{\text{max}}} = 0,87,$$

სადაც $B_{\text{max}} = 510,0 \text{ მ}$ და $B_{\text{min}} = 66,7 \text{ მ}$.

β მნიშვნელობა მიგვითითებს, რომ კალაპოტი რიყიანია და მე-2 კატეგორიის ეკუთვნის (რადგან $\Delta = 0,06 \div 0,12 \text{ მ}$). ამიტომ ხორკლიანობის კოეფიციენტი გაირკვევა შემდეგი ფორმულით*:

$$\gamma_b = 0,763 \cdot t_{\text{საშ}}^2 + 0,093 \cdot t_{\text{საშ}} + 1,366 = 1,71,$$

სადაც $t_{\text{საშ}} = 0,61 \text{ მ}$.

* პ. ჯიქია. ჰიდრაულიკა, 1947 წ. 265 გვ.

γ_ა მიღებული მნიშვნელობის მიხედვით ბაზენის ფორმულიდან, მივიღებთ:

$$C=25,6,$$

სიჩქარე

$$v=CV\sqrt{Ri}=0,87 \text{ მ/წმ},$$

ხარჯი

$$Q=\omega C\sqrt{Ri}=35,7 \text{ მ}^3/\text{წმ}.$$

ახლა გავარკვიოთ v და Q მაღალი დონის დროს.

$$i=\frac{587,6-586,5}{320}=0,0034.$$

ამ დონისათვის გამოანგარიშებულია:

$$t_{\text{საშ}}=1,43 \text{ მ}, R=1,39 \text{ მ}.$$

ანგარიში ჩავატაროთ იგივე ფორმულებით, მივიღებთ: $\gamma_{\text{ა}}=3,07$, სიჩქარის კოეფიციენტი $C=25,0$ საშუალო სიჩქარე $v=1,75$ მ/წმ, ხარჯი $Q=738,0$ მ³/წმ.

ჩვენს მიერ განხილულია საქართველოს ერთ-ერთი მდინარის რეალური შემთხვევა, რომელზედაც აგებულია ჰიდრონაგებობა.

დ ე ნ რ თ ი

ცხრილი 1

$$\text{სიჩქარის დაწვევა } h = \frac{v^2}{2g} \text{ მ}$$

v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h
0,10	0,0005	1,60	0,130	3,10	0,490	4,60	1,08	6,10	1,90	7,10	2,57
0,20	0,002	1,70	0,147	3,20	0,522	4,70	1,13	6,20	1,96	7,20	2,64
0,30	0,005	1,80	0,165	3,30	0,555	4,80	1,17	6,30	2,02	7,30	2,72
0,40	0,008	1,90	0,184	3,40	0,589	4,90	1,22	6,40	2,09	7,40	2,79
0,50	0,013	2,00	0,204	3,50	0,624	5,00	1,27	6,50	2,15	7,50	2,87
0,60	0,018	2,10	0,225	3,60	0,661	5,10	1,33	6,60	2,22	7,60	2,94
0,70	0,025	2,20	0,247	3,70	0,698	5,20	1,38	6,70	2,29	7,70	3,02
0,80	0,033	2,30	0,270	3,80	0,736	5,30	1,43	6,80	2,36	7,80	3,10
0,90	0,041	2,40	0,294	3,90	0,775	5,40	1,49	6,90	2,43	7,90	3,18
1,00	0,051	2,50	0,319	4,00	0,816	5,50	1,54	7,00	2,50	8,00	3,26
1,10	0,062	2,60	0,345	4,10	0,86	5,60	1,60				
1,20	0,073	2,70	0,372	4,20	0,90	5,70	1,66				
1,30	0,086	2,80	0,400	4,30	0,94	5,80	1,71				
1,40	0,100	2,90	0,420	4,40	0,99	5,90	1,77				
1,50	0,115	3,00	0,459	4,50	1,03	6,00	1,84				

ცხრილი 2

$$\text{წყლის ხარჯი } Q = 1000 \frac{\pi d^2}{4} v \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

ლიპიტონი d მმ.	წყლის სიჩქარე v მ/წმ									
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
100	3,627	4,712	5,498	6,283	7,069	7,854	9,817	11,781	13,744	15,108
125	6,136	7,363	8,590	9,817	11,045	12,272	15,340	18,408	21,476	24,544
150	8,836	10,603	12,370	14,137	15,904	17,672	22,089	26,507	30,925	35,944
200	15,708	18,850	21,991	25,133	28,274	31,416	39,270	47,124	52,978	62,832
250	24,544	29,452	34,361	39,270	44,179	49,087	61,359	73,631	85,903	98,774
300	35,343	42,411	49,480	56,549	63,617	70,686	88,357	106,03	123,70	141,37
350	48,106	57,727	67,348	76,969	86,590	96,211	120,26	144,32	168,37	192,42
400	62,832	75,398	87,965	100,53	113,10	125,66	157,08	188,50	219,91	251,32
450	79,522	95,426	111,33	127,23	143,14	159,04	198,80	238,57	278,33	318,08
500	98,175	117,81	137,45	157,08	176,72	196,35	245,44	294,53	343,61	392,70
550	118,79	142,55	166,31	190,07	213,82	237,58	296,98	356,37	415,77	475,16
600	141,37	169,65	197,92	226,19	254,47	282,74	353,43	424,11	494,80	565,48
650	165,92	199,10	232,28	265,46	298,65	331,83	414,79	497,75	580,70	663,66
700	192,42	230,91	269,39	307,88	341,36	384,85	481,06	577,27	673,48	769,70
750	220,89	265,07	309,25	353,43	397,61	441,79	552,23	662,68	773,13	883,58
800	251,33	301,59	351,86	402,12	452,39	502,66	628,32	754,98	879,65	1005,3
850	283,73	340,47	397,22	453,96	510,71	567,45	709,31	851,18	993,04	1134,9
900	318,09	381,70	445,32	508,94	572,56	636,17	795,22	954,26	1113,3	1272,3
950	354,41	425,29	496,18	567,06	637,94	708,82	886,03	1063,2	1240,4	1417,6
1000	392,70	471,24	549,78	628,32	706,86	785,40	981,75	1178,1	1374,4	1570,8

ცხრილი 3

კვადრატული კვეთის თხელკედლიანი ხერტების ხარჯის კოეფიციენტის
μ-ს მნიშვნელობანი

ხერტის ცენტრზე დაწნევა H მ.	კვადრატული ხერტის გვერდების სიგრძე მეტრებში					
	0,006	0,015	0,030	0,050	0,180	0,300
0,12	—	0,637	0,621	—	—	—
0,15	—	0,633	0,619	0,605	0,597	—
0,18	0,660	0,630	0,617	0,605	0,598	—
0,21	0,656	0,616	0,605	0,599	0,599	—
0,24	0,652	0,625	0,615	0,605	0,600	0,597
0,27	0,650	0,623	0,614	0,605	0,601	0,598
0,30	0,648	0,622	0,613	0,605	0,601	0,599
0,40	0,642	0,618	0,610	0,605	0,602	0,601
0,60	0,637	0,615	0,608	0,605	0,604	0,602
0,90	0,632	0,612	0,607	0,605	0,604	0,603
1,20	0,628	0,610	0,606	0,605	0,603	0,602
1,80	0,623	0,609	0,605	0,604	0,603	0,602
2,40	0,619	0,608	0,605	0,604	0,603	0,602
6,00	0,609	0,603	0,602	0,602	0,601	0,600
30,0	0,599	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598

ცხრილი 4.

μ-კოეფიციენტის მნიშვნელობანი შვეული თხელკედლიანი მრგვალი
ხერტიდან გამოღინების დროს

დაწნევა H მ.	ხერტის დიამეტრი მეტრით					
	0,006	0,015	0,030	0,060	0,180	0,300
0,12	—	0,631	0,618	—	—	—
0,15	—	0,627	0,615	0,600	0,592	—
0,18	0,655	0,624	0,613	0,601	0,593	—
0,21	0,651	0,622	0,611	0,601	0,594	0,590
0,24	0,648	0,620	0,610	0,601	0,594	0,591
0,27	0,646	0,618	0,609	0,601	0,595	0,591
0,30	0,644	0,617	0,608	0,600	0,595	0,591
0,40	0,638	0,613	0,605	0,600	0,596	0,593
0,60	0,632	0,610	0,604	0,599	0,597	0,595
0,90	0,627	0,606	0,603	0,599	0,597	0,957
1,20	0,623	0,605	0,602	0,599	0,598	0,956
1,80	0,618	0,604	0,600	0,598	0,597	0,956
2,40	0,614	0,603	0,600	0,598	0,596	0,956
3,00	0,611	0,601	0,598	0,597	0,596	0,955
6,00	0,601	0,598	0,596	0,596	0,596	0,954
30,00	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592	0,592

დაწვევა ხერტის ზედა კიდებზე H მ	ხერტის სიგანე $b=0,20$ მ						$b=0,60$ მ	
	ხერტის სიმაღლე h მ						h მ	
	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,20	0,02	0,20
0,01	0,701	0,650	0,630	0,607	—	—	0,644	—
0,02	0,694	0,659	0,634	0,615	0,596	0,572	0,643	—
0,03	0,688	0,659	0,638	0,620	0,600	0,578	0,642	0,593
0,04	0,683	0,658	0,640	0,623	0,603	0,582	0,642	0,959
0,05	0,679	0,658	0,640	0,625	0,605	0,585	0,641	0,597
0,06	0,676	0,657	0,640	0,627	0,607	0,587	0,641	0,599
0,08	0,670	0,656	0,638	0,629	0,610	0,589	0,640	0,601
0,10	0,666	0,654	0,637	0,630	0,611	0,592	0,639	0,602
0,14	0,660	0,651	0,635	0,630	0,613	0,595	0,637	0,603
0,20	0,655	0,648	0,633	0,630	0,615	0,598	0,635	0,605
0,30	0,650	0,644	0,632	0,629	0,616	0,600	0,633	0,607
0,50	0,644	0,640	0,630	0,628	0,617	0,603	0,630	0,607
1,00	0,632	0,633	0,628	0,626	0,615	0,605	0,626	0,605
1,50	0,615	0,619	0,620	0,620	0,611	0,602	0,623	0,602
2,00	0,611	0,612	0,612	0,613	0,607	0,601	0,620	0,602
3,00	0,609	0,610	0,608	0,606	0,603	0,601	0,615	0,601

μ-კოეფიციენტის მნიშვნელობანი, როდესაც გამოდინება სწარმოებს შვეული
კელის კვარატული ხერტიდან (0,20 × 0,20) დინების კუშშვის
პირობების მიხედვით

დაწნევა ხე- რეთის ხედა კიდებ / მ	ხერტის სახეები										
	A	B	C	D	E	E'	F	F'	φ	φ'	H
	1. გამოდინება ატმოსფეროში										
0,02	0,572	0,587	—	0,589	0,599	—	—	—	—	—	—
0,05	0,585	0,593	0,631	0,595	0,608	—	0,622	—	—	—	0,636
0,10	0,592	0,600	0,631	0,601	0,615	—	0,628	—	—	—	0,639
0,20	0,598	0,606	0,632	0,607	0,621	—	0,633	—	0,708	—	0,643
0,50	0,603	0,610	0,631	0,611	0,623	—	0,636	—	0,680	—	0,644
1,00	0,605	0,611	0,628	0,612	0,624	—	0,637	—	0,667	—	0,642
1,50	0,602	0,611	0,627	0,611	0,624	—	0,637	—	0,672	—	0,641
2,00	0,601	0,610	0,626	0,611	0,619	—	0,636	—	0,668	—	0,640
3,00	0,601	0,609	0,624	0,610	0,614	—	0,634	—	0,665	—	0,638
	2. გამოდინება ღარში										
0,02	0,480	0,489	0,496	—	0,480	0,527	—	—	—	—	0,488
0,05	0,511	0,517	0,531	—	0,510	0,553	0,509	0,546	0,528	—	0,520
0,10	0,542	0,545	0,563	—	0,538	0,574	0,534	0,569	0,560	0,593	0,552
0,20	0,574	0,576	0,591	—	0,566	0,592	0,562	0,589	0,589	0,617	0,582
0,50	0,599	0,602	0,621	—	0,592	0,607	0,591	0,608	0,591	0,632	0,613
1,00	0,601	0,609	0,628	—	0,600	0,610	0,601	0,615	0,601	0,638	0,623
1,50	0,601	0,610	0,627	—	0,602	0,610	0,604	0,617	0,604	0,641	0,624
2,00	0,601	0,610	0,627	—	0,602	0,609	0,604	0,617	0,604	0,642	0,624
3,00	0,601	0,609	0,624	—	0,601	0,608	0,602	0,616	0,602	0,641	0,622

μ-კოეფიციენტის მნიშვნელობანი შვეულ სწორკუთხევიან ხვრეტიდან
გამოდინების დროს დინების სხვადასხვა პირობებში

H l	ხვრეტის საბეობა როდესაც $l > 0,03$ მ							ხვრეტის სახე, როდესაც $l < 0,03$ მ						
	A ₀	B ₀	C ₀	D ₀	E ₀	F ₀	φ ₀	A ₀	B ₀	C ₀	D ₀	E ₀	F ₀	φ ₀
	1. გამოდინება ატმოსფეროში													
1	0,61	0,65	0,67	0,70	0,65	0,68	—	0,67	0,70	0,71	0,72	0,71	0,75	—
5	0,62	0,64	0,67	0,69	0,67	0,70	—	0,66	0,66	0,70	0,71	0,70	0,74	—
10	0,62	0,63	0,67	0,69	0,68	0,71	—	0,65	0,65	0,69	0,70	0,70	0,74	—
20	0,61	0,63	0,66	0,68	0,68	0,71	—	0,64	0,65	0,69	0,70	0,70	0,74	—
40	0,61	0,62	0,66	0,68	0,68	0,70	—	0,63	0,64	0,69	0,69	0,69	0,73	—
100	0,60	0,60	0,66	0,68	0,66	0,69	—	0,61	0,63	0,68	0,68	0,69	0,72	—
400	0,60	0,60	0,65	0,67	0,66	0,68	—	0,60	0,63	0,68	0,68	0,68	0,71	—
1000	0,60	0,60	0,65	0,67	0,66	0,68	—	0,60	0,62	0,67	0,67	0,68	0,71	—
და ნე- ტივ														
	2. გამოდინება მოკლე ღარში													
1	0,57	0,64	0,60	0,60	0,62	0,65	—	0,65	0,67	0,67	0,69	0,68	0,70	—
5	0,61	0,64	0,62	0,64	0,63	0,66	—	0,64	0,66	0,67	0,68	0,67	0,71	—
10	0,61	0,63	0,63	0,65	0,64	0,67	—	0,64	0,65	0,67	0,68	0,67	0,71	—
20	0,61	0,63	0,63	0,65	0,65	0,67	—	0,63	0,64	0,66	0,68	0,67	0,70	—
40	0,61	0,62	0,63	0,65	0,64	0,66	—	0,62	0,63	0,66	0,67	0,66	0,70	—
100	0,60	0,60	0,62	0,64	0,63	0,65	0,84	0,61	0,62	0,65	0,67	0,66	0,69	0,86
400	0,60	0,60	0,62	0,63	0,63	0,64	0,81	0,60	0,61	0,65	0,66	0,65	0,68	0,84
1000	0,60	0,60	0,62	0,63	0,63	0,64	0,80	0,60	0,61	0,64	0,66	0,65	0,67	0,81
და ნე- ტივ														

ხრულქმნილი, თხელკედლიანი წყალსაშვის III ხარჯის კოეფიციენტის მნიშვნელობანი
ბაზენის მიხედვით

დაწნევა H მ	წყალსაშვის კედლის სიმაღლე l მ									
	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,50	2,00	∞
0,05	0,475	0,453	0,451	0,450	0,449	0,449	0,449	0,448	0,448	0,448
0,06	0,456	0,450	0,447	0,445	0,445	0,444	0,443	0,443	0,443	0,443
0,08	0,456	0,447	0,443	0,441	0,440	0,438	0,438	0,437	0,437	0,436
0,10	0,459	0,447	0,442	0,439	0,437	0,435	0,434	0,433	0,433	0,432
0,12	0,462	0,448	0,442	0,438	0,436	0,433	0,432	0,430	0,430	0,429
0,14	0,466	0,450	0,443	0,438	0,435	0,432	0,430	0,428	0,428	0,427
0,16	0,471	0,453	0,444	0,438	0,435	0,431	0,429	0,427	0,426	0,425
0,18	0,475	0,456	0,445	0,439	0,435	0,431	0,428	0,426	0,425	0,423
0,20	0,480	0,459	0,447	0,440	0,436	0,431	0,428	0,425	0,423	0,421
0,22	0,484	0,462	0,449	0,442	0,437	0,431	0,428	0,424	0,423	0,420
0,24	0,488	0,465	0,452	0,444	0,438	0,432	0,428	0,424	0,422	0,419
0,26	0,492	0,468	0,455	0,446	0,440	0,432	0,429	0,424	0,422	0,419
0,28	0,496	0,472	0,457	0,448	0,441	0,433	0,429	0,424	0,422	0,418
0,30	0,500	0,475	0,460	0,450	0,443	0,434	0,430	0,424	0,421	0,417
0,35	—	0,482	0,465	0,455	0,447	0,437	0,431	0,424	0,421	0,416
0,40	—	0,489	0,472	0,459	0,451	0,440	0,433	0,424	0,421	0,414
0,45	—	0,495	0,477	0,464	0,455	0,442	0,435	0,425	0,421	0,413
0,50	—	—	0,482	0,468	0,459	0,445	0,437	0,426	0,421	0,412
0,60	—	—	0,490	0,476	0,466	0,451	0,441	0,427	0,421	0,409
0,70	—	—	0,498	0,484	0,473	0,456	0,446	0,430	0,423	0,408

დაწვევა II მ	$\sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$	ბარჯი ლიტ/წმ, როდესაც III ტოლია				დაწვევა II მ	$\sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$	ბარჯი ლიტ/წმ, როდესაც III ტოლია			
		0,35	0,40	0,45	0,50			0,35	0,40	0,45	0,50
0,050	0,0495	17,32	19,80	22,27	24,75	0,40	1,43	395	452	508	565
0,055	0,0571	19,93	22,85	25,69	28,55	0,42	1,21	423	484	514	605
0,060	0,0651	22,78	26,05	29,29	32,55	0,44	1,29	451	516	580	645
0,065	0,0734	25,69	29,26	33,03	36,70	0,46	1,38	483	552	621	690
0,070	0,0820	28,70	32,80	36,40	41,00	0,48	1,47	514	588	661	735
0,075	0,0910	31,85	36,40	40,95	45,50	0,50	1,57	549	628	706	785
0,080	0,1002	35,07	40,08	45,09	50,10	0,52	1,66	581	664	747	830
0,085	0,1098	38,43	43,92	49,41	54,90	0,54	1,76	616	704	792	880
0,090	0,1196	41,86	47,84	53,82	59,80	0,56	1,84	651	744	837	930
0,095	0,1296	45,39	51,88	58,36	64,85	0,58	1,96	686	784	882	980
0,100	0,140	49,0	56,0	63,0	70,0	0,60	2,06	721	824	927	1030
0,110	0,162	56,7	64,8	72,9	81,0	0,62	2,16	756	864	972	1080
0,120	0,184	64,4	73,6	82,8	92,0	0,64	2,27	794	908	1021	1135
0,130	0,208	72,8	83,2	93,6	104,0	0,66	2,37	829	948	1066	1185
0,140	0,232	81,2	92,8	104,4	116,0	0,68	2,48	868	992	1116	1240
0,150	0,257	89,9	102,8	115,6	128,5	0,70	2,59	906	1036	1165	1295
0,160	0,283	99,1	113,2	127,3	141,5	0,72	2,71	948	1084	1219	1355
0,170	0,310	108,5	124,0	139,5	155,0	0,74	2,82	987	1128	1269	1410
0,180	0,338	118,3	135,2	152,1	169,0	0,76	2,93	1025	1172	1318	1465
0,190	0,367	128,4	146,8	165,1	183,5	0,78	3,05	1067	1220	1372	1525
0,200	0,396	139	158	178	198	0,80	3,17	1109	1268	1426	1585
0,210	0,426	149	170	192	213	0,85	3,47	1214	1388	1561	1735
0,220	0,457	160	183	205	228	0,90	3,78	1323	1512	1701	1890
0,230	0,489	171	196	220	244	0,95	4,10	1435	1640	1845	2050
0,240	0,521	182	208	234	260	1,00	4,43	1550	1772	1993	2215
0,250	0,554	194	222	249	277	1,05	4,77	1669	1908	2146	2385
0,260	0,587	205	235	264	293	1,10	5,11	1778	2044	2299	2555
0,270	0,621	217	248	279	310	1,15	5,46	1911	2184	2457	2730
0,280	0,656	230	262	295	328	1,20	5,82	2037	2328	2619	2910
0,290	0,692	242	277	311	346	1,25	6,19	2166	2476	2785	3095
0,300	0,728	255	291	328	364	1,30	6,56	2296	2624	2952	3280
0,310	0,765	268	306	344	382	1,35	6,95	2432	2780	3127	3475
0,320	0,802	281	321	361	401	1,40	7,34	2569	2936	3303	3670
0,330	0,840	294	336	378	420	1,45	7,73	2705	3092	3478	3865
0,340	0,878	307	351	395	439	1,50	8,14	2849	3255	3663	4070
0,350	0,917	321	367	413	458	1,60	8,96	3136	3584	4032	4480
0,360	0,957	335	383	431	478	1,70	9,82	3437	3925	4419	4910
0,370	0,997	349	399	449	498	1,80	10,70	3745	4280	4815	5350
0,380	1,038	363	415	467	519	1,90	11,60	4060	4640	5220	5800
0,390	1,079	378	432	486	540	2,00	12,52	4382	5008	5634	6260

შეტბორვის კოეფიციენტის შუა მნიშვნელობანი თხელკედლიან არასრულქმინულ წყალსაშუბისათვის პ ა ზ ე ნ ს მ ახედვით

$\frac{h}{H}$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
0,05	1,00	0,89	0,70	0,65	0,61	0,55	0,51	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41
0,10	1,00	0,88	0,81	0,76	0,72	0,67	0,63	0,61	0,58	0,57	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51
0,15	1,00	0,91	0,86	0,82	0,73	0,73	0,70	0,67	0,66	0,61	0,63	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58
0,20	1,00	0,93	0,89	0,86	0,83	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,64
0,25	1,00	0,95	0,91	0,87	0,86	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,68	0,68	0,67
0,30	1,00	0,96	0,92	0,89	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71
0,35	1,00	0,96	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,74
0,40	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80	0,80	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77
0,45	1,00	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,85	0,83	0,83	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80
0,50	1,00	0,98	0,96	0,94	0,93	0,90	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82
0,55	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84
0,60	1,00	0,93	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85
0,65	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86
0,70	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87

$N^{\frac{1}{2}}$
 მნიშვნელობანი

N	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
0	0	0,0111	0,0316	0,0580	0,0894	0,1250	0,1643	0,2070	0,2530	0,3018
1	1,000	1,076	1,153	1,232	1,313	1,397	1,482	1,568	1,656	1,746
2	2,828	2,935	3,043	3,152	3,263	3,375	3,488	3,602	3,718	3,834
3	5,196	5,327	5,458	5,591	5,725	5,859	5,994	6,131	6,269	6,408
4	8,00	8,150	8,301	8,454	8,607	8,761	8,916	9,072	9,229	9,387
5	11,18	11,34	11,51	11,68	11,85	12,03	12,22	12,37	12,54	12,72
6	14,70	14,88	15,06	15,24	15,43	15,62	15,81	16,00	16,19	16,38
7	18,52	18,71	18,90	19,10	19,31	19,52	19,72	19,92	20,12	20,33
8	22,63	22,84	23,05	23,26	23,47	23,69	23,91	24,12	24,34	24,56
9	27,00	27,22	27,45	27,67	27,90	28,13	28,36	28,59	28,82	29,05
10	31,62	31,85	32,09	32,33	32,57	32,81	33,05	33,29	33,53	33,77

N	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0	0,3535	0,4079	0,4647	0,5240	0,5856	0,6495	0,7155	0,7836	0,8538	0,9259
1	1,837	1,930	2,024	2,120	2,217	2,315	2,414	2,516	2,619	2,723
2	3,953	4,072	3,192	4,314	4,436	4,560	4,685	4,811	4,939	5,067
3	6,548	6,689	6,831	6,974	7,117	7,261	7,407	7,554	7,702	7,851
4	9,546	9,706	9,867	10,03	10,19	10,35	10,51	10,68	10,84	11,01
5	12,89	13,06	13,24	13,42	13,60	13,78	13,96	14,14	14,32	14,51
6	16,57	16,76	16,95	17,14	17,34	17,53	17,72	17,92	18,12	18,32
7	20,54	20,74	20,95	21,16	21,37	21,58	21,79	22,00	22,21	22,42
8	24,78	25,00	25,22	25,44	25,66	25,89	26,11	26,33	26,56	26,78
9	29,28	29,51	29,75	29,98	30,22	30,45	30,68	30,92	31,15	31,39
10	34,02	34,26	34,51	34,75	35,00	35,24	35,49	35,73	35,98	36,23

$\frac{2}{3}$
 N მნიშვნელობანი

N	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
0	0	0,136	0,215	0,282	0,342	0,397	0,448	0,497	0,543	0,587
1	1,000	1,033	1,065	1,097	1,129	1,160	1,191	1,221	1,251	1,281
2	1,587	1,613	1,639	1,665	1,691	1,717	1,742	1,767	1,792	1,817
3	2,080	2,103	2,126	2,149	2,172	2,194	2,217	2,239	2,261	2,283
4	2,519	2,540	2,561	2,582	2,603	2,624	2,645	2,666	2,686	2,706
5	2,924	2,944	2,964	2,983	3,002	3,021	3,040	3,059	3,078	3,097
6	3,002	3,321	3,339	3,357	3,375	3,393	3,411	3,429	3,447	3,465
7	3,659	3,677	3,695	3,712	3,729	3,746	3,764	3,781	3,798	3,815
8	4,000	4,017	4,034	4,051	4,067	4,083	4,100	4,117	4,133	4,149
9	4,326	4,343	4,359	4,375	4,391	4,407	4,423	4,439	4,455	4,471
10	4,642	4,658	4,674	4,689	4,704	4,719	4,735	4,750	4,765	4,780
N	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0	0,630	0,671	0,711	0,750	0,788	0,825	0,862	0,897	0,932	0,966
1	1,310	1,339	1,368	1,396	1,424	1,452	1,480	1,507	1,534	1,561
2	1,842	1,867	1,891	1,915	1,939	1,963	1,987	2,010	2,034	2,057
3	2,305	2,327	2,349	2,371	2,393	2,414	2,435	2,456	2,477	2,498
4	2,726	2,746	2,766	2,786	2,806	2,826	2,846	2,866	2,886	2,905
5	3,116	3,135	3,154	3,173	3,192	3,210	3,229	3,248	3,266	3,284
6	3,483	3,501	3,519	3,537	3,555	3,572	3,590	3,608	3,625	3,642
7	3,832	3,849	3,866	3,883	3,900	3,916	3,933	3,950	3,967	3,984
8	4,165	4,182	4,198	4,214	4,230	4,246	4,262	4,278	4,294	4,310
9	4,486	4,502	4,518	4,534	4,549	4,564	4,580	4,596	4,612	4,627
10	4,795	4,811	4,826	4,851	4,866	4,871	4,886	4,901	4,916	4,931

$$N^5 \text{ და } \sqrt[5]{N} \text{ მნიშვნელობანი}$$

N	N ⁵	N	N ⁵	N	N ⁵	N	N ⁵
0,01	0,0000000001	0,27	0,0014348907	0,53	0,0418195493	0,79	0,3077056399
0,02	0,0000000032	0,28	0,0017210368	0,54	0,0459165024	0,80	0,3276800000
0,03	0,0000000243	0,29	0,0020511149	0,55	0,0503284375	0,81	0,3486784401
0,04	0,0000001024	0,30	0,0024300000	0,56	0,0550731776	0,82	0,3707398432
0,05	0,0000003125	0,31	0,0028629151	0,57	0,0601692057	0,83	0,3939040643
0,06	0,0000007776	0,32	0,0033554432	0,58	0,0656356768	0,84	0,4182119424
0,07	0,0000016807	0,33	0,0039135393	0,59	0,0714924299	0,85	0,4437053125
0,08	0,0000032768	0,34	0,0045435424	0,60	0,0777600000	0,86	0,4704270176
0,09	0,0000059049	0,35	0,0052521875	0,61	0,0844596031	0,87	0,4984209207
0,10	0,0000100000	0,36	0,0060466176	0,62	0,0916132832	0,88	0,5277319168
0,11	0,0000161051	0,37	0,0069343957	0,63	0,0992436543	0,89	0,5584059449
0,12	0,0000248832	0,38	0,0079235168	0,64	0,1073741824	0,90	0,5904900000
0,13	0,0000371293	0,39	0,0090224199	0,65	0,1160290625	0,91	0,6240321451
0,14	0,0000537824	0,40	0,0102400000	0,66	0,1252332576	0,92	0,6590815232
0,15	0,0000753975	0,41	0,0115856201	0,67	0,1350125107	0,93	0,6956883693
0,16	0,0001048576	0,42	0,0130691232	0,68	0,1453933568	0,94	0,7339040224
0,17	0,0001419857	0,43	0,0147008443	0,69	0,1564031349	0,95	0,7737809375
0,18	0,0001889568	0,44	0,0164916224	0,70	0,1680700000	0,96	0,8153726376
0,19	0,0002476099	0,45	0,0184528125	0,71	0,1804229351	0,97	0,8587500257
0,20	0,0003200000	0,46	0,0205962976	0,72	0,1934917632	0,98	0,9039207968
0,21	0,0004084101	0,47	0,0229345007	0,73	0,2073071593	0,99	0,9509000399
0,22	0,0005153632	0,48	0,0254803968	0,74	0,2219006624	1,00	1,0000000000
0,23	0,0006436343	0,49	0,0282475249	0,75	0,2373046875	1,10	1,6105100100
0,24	0,0007962624	0,50	0,0312500000	0,76	0,2535525376	1,15	2,0113571875
0,25	0,0009765625	0,51	0,0345025251	0,77	0,2706784157	1,20	2,4883200000
0,26	0,0011881376	0,52	0,0380204032	0,78	0,2887174368	1,25	3,0517578125

$\sqrt[5]{N}$	N	$\sqrt[5]{N}$	N	$\sqrt[5]{N}$	N	$\sqrt[5]{N}$	N
---------------	---	---------------	---	---------------	---	---------------	---

N	N°	N	N°	N	N°	N	N°
1	1	31	28629151	61	844596301	91	6240321451
2	32	32	33554432	62	916132832	92	6590815232
3	243	33	39135393	63	992436543	93	6956883693
4	1024	34	45435424	64	1073741824	94	7339040224
5	3125	35	52521875	65	1160290625	95	7737809375
6	7776	36	60466176	66	1252332576	96	8153726976
7	16807	37	69343957	67	1350125107	97	8587340257
8	32768	38	79235168	68	1453933568	98	9039207968
9	59049	39	90224199	69	1564031349	99	9509900499
10	100000	40	10240000	70	1680700000	100	1000000000
11	161051	41	115856201	71	1804229351	110	1610510000
12	248832	42	130691232	72	1934917632	115	20113571875
13	371293	43	147008443	73	2073071593	120	2488320000
14	537824	44	164916224	74	2219006624	125	30517578125
15	759375	45	184528125	75	2373046875		
16	1048576	46	205962976	76	2535525376		
17	1419857	47	229345007	77	2706784157		
18	1880568	48	254803968	78	2887174368		
19	2476999	49	282475249	79	3077056399		
20	3200000	50	312500000	80	3276800000		
21	4031101	51	345025251	81	3486784401		
22	5153632	52	380204032	82	3707398432		
23	6436343	53	418195493	83	3939040643		
24	7962624	54	459165024	84	4182119424		
25	9765625	55	503284375	85	4437053125		
26	11881376	56	550731776	86	4704270176		
27	14348907	57	601692057	87	4984209207		
28	17210368	58	656356768	88	5277319168		
29	20511149	59	714924999	89	5584059449		
30	24300000	60	777600000	90	5904900000		

სიდიდე	N	log N	სიდიდე	N	log N
π	3,1415927	0,49715	π^2	9,86960	0,99430
2π	6,28319	0,79818	$2\pi^2$	19,73921	1,29533
3π	9,42478	0,97427	$4\pi^2$	39,47842	1,59636
4π	12,56637	1,09921	$1:\pi^2$	0,10132	$\overline{1,00570}$
$\pi\sqrt{2}$	4,44288	0,64767	π^3	31,00628	1,49145
$\pi:2$	1,57080	0,19612	$1:\pi^3$	0,03225	$\overline{2,50555}$
$\pi:3$	1,04720	0,02003	$\sqrt[3]{\pi}$	1,46459	0,16572
$\pi:4$	0,78540	$\overline{1,89509}$	$\pi^2:2$	4,93480	0,69327
$\pi:6$	0,52360	$\overline{1,71900}$	$\pi^2:4$	2,46740	0,39224
$\pi:12$	0,26180	$\overline{1,41797}$	g	9,81	0,99167
$\pi:16$	0,19635	$\overline{1,29303}$	g^2	96,2361	1,98334
$\pi:32$	0,09818	$\overline{2,99202}$	\sqrt{g}	3,13209	0,49583
$\pi:64$	0,04909	$\overline{2,69099}$	$2\sqrt{g}$	6,26418	0,79686
$4\pi:3$	4,18879	0,62209	$\sqrt{2g}$	4,42945	0,64635
$\pi:\sqrt{2}$	2,22144	0,34663	$1:g$	0,10194	$\overline{1,00833}$
$\sqrt{\pi:2}$	1,25331	0,09806	$1:2g$	0,05097	$\overline{2,70830}$
$\pi:180$	0,01745	$\overline{2,24188}$	$\pi\sqrt{g}$	9,83976	0,99298
$180:\pi$	57,29578	1,75812	$\pi\sqrt{2g}$	13,91536	1,14350
$1:\pi$	0,31831	$\overline{1,50285}$	$\pi:\sqrt{g}$	1,00303	0,00132
$1:2\pi$	0,15916	$\overline{1,20182}$	$\pi:\sqrt{2g}$	0,70925	$\overline{1,55080}$
$1:3\pi$	0,10610	1,02573	e	2,718282	0,43429
$1:4\pi$	0,07958	$\overline{2,90079}$	e^2	7,38906	0,86559
$\sqrt{\pi}$	1,77245	0,24857	$\sqrt[3]{e}$	1,64872	0,21715
$\pi\sqrt{\pi}$	5,56383	0,74572	\sqrt{e}	1,39561	0,14476
$2\sqrt{\pi}$	3,54491	0,54960	$1:e$	0,36788	$\overline{1,56371}$
$1:\sqrt{\pi}$	0,56419	$\overline{1,75143}$	$1:e^2$	0,13534	1,13141
$\sqrt{2\pi}$	2,50663	0,39909	$1:\sqrt{e}$	0,60654	$\overline{1,78255}$

1. ტრაპეციული კვეთის წყალსაშვის ხარჯი (Q მ³/წუთში), როდესაც მისი განიხ $b=0,25$ მ

t წუთი	1	2	3	4	5	6	7	8	9
დაწნევა H მმ									
1	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008
5	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,071	0,081	0,091
10	0,029	0,057	0,084	0,114	0,143	0,171	0,200	0,228	0,257
15	0,052	0,105	0,157	0,209	0,262	0,314	0,367	0,419	0,471
20	0,081	0,161	0,242	0,322	0,403	0,484	0,564	0,645	0,725
25	0,113	0,225	0,338	0,451	0,565	0,676	0,789	0,901	1,014
30	0,148	0,296	0,444	0,592	0,740	0,889	1,037	1,185	1,333
35	0,187	0,373	0,560	0,746	0,933	1,120	1,306	1,493	1,680
40	0,228	0,456	0,684	0,912	1,140	1,368	1,596	1,824	2,052
45	0,272	0,544	0,816	1,088	1,360	1,632	1,904	2,176	2,449
50	0,319	0,637	0,956	1,275	1,593	1,912	2,230	2,549	2,868
55	0,368	0,735	1,103	1,470	1,838	2,206	2,573	2,941	3,309
60	0,419	0,838	1,257	1,675	2,094	2,513	2,932	3,351	3,770
65	0,472	0,945	1,417	1,889	2,361	2,834	3,306	3,778	4,251
70	0,528	1,056	1,583	2,111	2,639	3,167	3,695	4,223	4,750
75	0,585	1,171	1,756	2,342	2,927	3,512	4,098	4,683	5,268
80	0,645	1,290	1,935	2,580	3,224	3,869	4,514	5,159	5,801
85	0,706	1,413	2,119	2,825	3,531	4,238	4,944	5,650	6,356
90	0,770	1,539	2,309	3,078	3,848	4,617	5,387	6,156	6,926
95	0,836	1,669	2,504	3,338	4,173	5,007	5,842	6,676	7,511
100	0,901	1,803	2,704	3,605	4,506	5,407	6,309	7,210	8,111

2. ტრაპეციოული კვეთის წყალსაშვის ხარჯი (Q მ³/წუთში), როდესაც მისი განი ხ=0,50 მ

1 წუთი ღანწევა H მმ	1 წუთი								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,002	0,004	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,014	0,016
5	0,020	0,040	0,060	0,081	0,101	0,121	0,141	0,161	0,181
10	0,057	0,114	0,171	0,228	0,285	0,342	0,399	0,456	0,513
15	0,105	0,209	0,314	0,419	0,524	0,628	0,733	0,838	0,942
20	0,161	0,322	0,484	0,645	0,806	0,967	1,129	1,290	1,451
25	0,225	0,451	0,676	0,901	1,127	1,352	1,577	1,882	2,028
30	0,296	0,592	1,889	1,185	1,481	1,777	2,073	2,369	2,666
35	0,373	0,746	1,120	1,493	1,866	2,239	2,613	2,986	3,359
40	0,456	0,912	1,368	1,824	2,280	2,736	3,192	3,648	4,104
45	0,544	1,088	1,632	2,176	2,721	3,265	3,809	4,353	4,897
50	0,637	1,275	1,912	2,549	3,186	3,824	4,461	5,098	5,735
55	0,735	1,470	2,206	2,941	3,676	4,411	5,147	5,882	6,617
60	0,838	1,675	2,513	3,351	4,189	5,026	5,864	6,702	7,540
65	0,945	1,889	2,834	3,778	4,723	5,668	6,612	7,557	8,501
70	1,056	2,111	3,167	4,223	5,278	6,334	7,390	8,445	9,501
75	1,171	2,342	3,512	4,683	5,854	7,025	8,195	9,366	10,537
80	1,290	2,580	3,869	5,159	6,449	7,759	9,028	10,318	11,608
85	1,413	2,825	4,238	5,650	7,063	8,475	9,857	11,300	12,713
90	1,539	3,078	4,617	6,156	7,695	9,234	10,733	12,312	13,851
95	1,669	3,338	5,007	6,676	8,345	10,014	11,683	13,352	15,021
100	1,803	3,605	5,407	7,210	9,012	10,815	12,617	14,420	16,222
105	1,939	3,879	5,818	7,757	9,697	11,636	13,576	15,515	17,454
110	2,080	4,159	6,239	8,318	10,398	12,477	14,557	16,636	18,716
115	2,223	4,446	6,669	8,892	11,115	13,337	15,560	17,783	20,006
120	2,369	4,739	7,108	9,478	11,847	14,217	16,586	18,956	21,325
125	2,519	5,038	7,557	10,076	12,595	15,114	17,633	20,153	22,672
130	2,671	5,343	8,015	10,687	13,356	16,030	18,702	21,374	24,045
135	2,827	5,655	8,482	11,309	14,137	16,864	19,791	22,619	25,446
140	2,986	5,972	8,958	11,943	14,929	17,915	20,901	23,887	26,873
145	3,147	6,294	9,442	12,589	15,736	18,883	22,031	25,178	28,325
150	3,311	6,623	9,934	13,246	16,557	19,868	23,180	26,491	29,803
155	3,478	6,957	10,435	13,913	17,392	20,870	24,348	27,827	31,305
160	3,648	7,296	10,944	14,592	18,240	21,888	25,536	29,184	32,832
165	3,820	7,641	11,461	15,281	19,102	22,022	26,742	30,563	34,383
170	3,995	7,991	11,986	15,986	19,976	23,972	27,967	32,962	35,958
175	4,173	8,346	12,519	16,691	20,864	25,037	29,210	33,383	37,556
180	4,353	8,706	13,059	17,412	21,765	26,118	30,471	34,824	39,177
185	4,536	9,071	13,607	18,142	22,678	27,213	31,749	36,285	40,820
190	4,721	9,441	14,162	18,883	23,603	28,324	33,045	37,766	42,486
195	4,908	9,817	14,725	19,633	24,541	29,450	34,358	39,266	44,174
200	5,098	10,196	15,295	20,393	25,491	30,589	35,688	40,786	45,884

3. ტრაპეციული კვების წყალსაშვების ხარჯი (Q მ³/წუთში), როდესაც $b=0,75$ მ.

ღანწევა H მმ	t წუთი								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,003	0,005	0,008	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022	0,024
5	0,030	0,060	0,091	0,121	0,151	0,181	0,212	0,242	0,272
10	0,086	0,171	0,257	0,342	0,428	0,513	0,599	0,684	0,770
15	0,157	0,314	0,471	0,628	0,785	0,992	1,100	1,257	1,414
20	0,242	0,484	0,725	0,967	1,209	1,451	1,693	1,945	2,176
25	0,338	0,676	1,014	1,352	1,690	2,028	2,366	2,704	3,042
30	0,447	0,889	1,333	1,777	2,221	2,666	3,110	3,554	3,998
35	0,560	1,120	1,680	2,239	2,799	3,359	3,919	4,479	5,039
40	0,684	1,368	2,052	2,736	3,420	4,104	4,788	5,472	6,156
45	0,816	1,632	2,448	3,265	4,081	4,897	5,713	6,529	7,346
50	0,956	1,912	2,868	3,824	4,780	5,735	6,691	7,647	8,603
55	1,103	2,206	3,309	4,411	5,514	6,617	7,720	8,823	9,926
60	1,257	2,513	3,770	5,026	6,283	7,540	8,796	10,053	11,309
65	1,417	2,834	4,251	5,668	7,084	8,501	9,918	11,335	12,752
70	1,583	3,167	4,750	6,334	7,917	9,501	11,084	12,668	14,251
75	1,756	3,512	5,268	7,025	8,781	10,537	12,293	14,049	15,805
80	1,935	3,869	5,804	7,739	9,673	11,608	13,542	15,471	17,412
85	2,119	4,238	6,356	8,475	10,591	12,713	14,832	16,951	19,069
90	2,309	4,617	6,926	9,234	11,543	13,851	16,159	18,468	20,776
95	2,504	5,007	7,511	10,014	12,518	15,021	17,525	20,028	22,532
100	2,704	5,407	8,111	10,815	13,519	16,222	18,926	21,630	24,334
105	2,909	5,819	8,727	11,636	14,545	17,454	20,363	23,272	26,081
110	3,119	6,239	9,358	12,477	15,596	18,716	21,835	24,954	28,174
115	3,334	6,669	10,003	13,337	16,672	20,066	23,341	26,675	30,009
120	3,554	7,108	10,663	14,217	17,771	21,325	24,879	28,433	31,987
125	3,779	7,557	11,336	15,111	18,893	22,672	26,450	30,229	34,007
130	4,008	8,015	12,023	16,030	20,038	24,045	28,053	32,061	36,068
135	4,241	8,482	12,723	16,964	21,205	25,446	29,687	33,928	38,169
140	4,479	8,958	13,436	17,915	22,394	26,873	31,351	35,830	40,309
145	4,721	9,442	14,162	18,883	23,604	28,235	33,046	37,767	42,487
150	4,967	9,934	14,901	19,868	24,836	29,803	34,770	39,737	44,704
155	5,218	10,435	15,653	20,870	26,088	31,305	36,523	41,740	46,958
160	5,472	10,944	16,416	21,888	27,617	32,832	38,304	43,776	49,248
165	5,730	11,461	17,191	22,922	28,652	34,383	40,113	45,844	51,574
170	5,993	11,986	17,979	23,972	29,965	35,958	41,951	47,943	53,936
175	6,259	12,519	18,778	25,037	31,296	37,556	43,815	50,074	56,333
180	6,529	13,059	19,588	26,118	32,647	38,177	45,706	52,235	58,765
185	6,803	13,607	20,410	27,213	34,017	40,820	47,624	54,427	61,230
190	7,081	14,162	21,243	28,324	35,405	42,486	49,567	56,648	63,729
195	7,362	14,725	22,087	29,450	36,812	44,174	51,537	58,899	66,261
200	7,647	15,295	22,942	30,589	38,237	45,884	53,531	61,179	68,826
205	7,936	15,872	23,808	31,744	39,680	47,615	55,551	63,487	71,423
210	8,228	16,456	24,684	32,912	41,130	49,368	57,596	65,824	74,052
215	8,521	17,047	25,571	34,094	42,618	51,142	59,665	68,189	76,713
220	8,823	17,645	26,468	35,291	44,113	52,936	61,759	70,781	79,402
225	9,125	18,250	27,375	35,501	45,626	54,751	63,876	73,001	82,126
230	9,431	18,862	28,293	37,724	47,155	56,586	66,017	75,448	84,879
235	9,740	19,480	29,221	38,961	48,701	58,441	68,181	77,922	87,662
240	10,053	20,105	30,158	40,211	50,264	60,316	70,369	80,422	90,474
245	10,368	20,737	31,105	41,474	51,842	62,211	72,579	82,948	93,316
250	10,688	21,376	32,063	42,750	53,438	64,125	74,813	85,500	96,188

4. ტრაპეციული კვთის წყალსაშვის ხარჯი (Q მ³/წუთში), როდესაც ხ=1,00 მ.

t წუთი	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,004	0,007	0,011	0,014	0,018	0,022	0,025	0,029	0,032
5	0,040	0,081	0,121	0,161	0,202	0,242	0,282	0,322	0,363
10	0,114	0,228	0,342	0,456	0,570	0,684	0,798	0,912	1,026
15	0,209	0,419	0,628	0,838	1,047	1,257	1,466	1,675	1,885
20	0,322	0,645	0,967	1,290	1,612	1,935	2,257	2,580	2,902
25	0,451	0,901	1,352	1,802	2,253	2,704	3,154	3,605	4,056
30	0,592	1,185	1,777	2,369	2,962	3,554	4,147	4,738	5,331
35	0,746	1,493	2,239	2,986	3,732	4,479	5,225	5,972	6,718
40	0,912	1,824	2,736	3,648	4,560	5,472	6,384	7,296	8,208
45	1,088	2,176	2,265	4,353	5,441	6,529	7,618	8,706	9,794
50	1,275	2,549	3,824	5,098	6,373	7,647	8,922	10,196	11,471
55	1,470	2,941	4,411	5,882	7,352	8,823	10,293	11,763	13,234
60	1,675	3,351	5,026	6,702	8,377	10,052	11,728	13,404	15,079
65	1,889	3,778	5,668	7,557	9,446	11,335	13,224	15,113	17,003
70	2,111	4,223	6,334	8,445	10,557	12,668	14,779	16,891	19,002
75	2,342	4,683	7,025	9,366	11,708	14,049	16,391	18,732	21,074
80	2,580	5,159	7,739	10,318	12,898	15,477	18,057	20,636	23,216
85	2,825	5,650	8,475	11,300	14,126	16,951	19,776	22,601	25,426
90	3,078	6,156	9,234	12,312	15,390	18,468	21,546	24,624	27,702
95	3,338	6,676	10,014	13,352	16,690	20,028	23,366	26,704	30,042
100	3,605	7,210	10,815	14,420	18,025	21,630	25,235	28,840	32,445
105	3,879	7,757	11,636	15,515	19,394	23,272	27,151	31,030	34,909
110	4,159	8,318	12,477	16,636	20,795	24,954	29,113	33,272	37,431
115	4,446	8,892	13,337	17,783	22,229	26,675	31,121	35,567	40,012
120	4,739	9,478	14,217	18,956	23,694	28,433	33,172	37,911	42,650
125	5,038	10,076	15,114	20,053	25,191	30,229	35,267	40,305	45,343
130	5,343	10,687	16,030	21,374	26,717	32,061	37,404	42,747	48,091
135	5,655	11,309	16,964	22,619	28,273	33,928	39,583	45,237	50,892
140	5,972	11,943	17,915	23,887	29,858	35,830	41,802	47,773	53,745
145	6,294	12,589	18,883	25,178	31,472	37,767	44,061	50,356	56,650
150	6,623	13,246	19,868	26,491	33,114	39,737	46,360	52,982	59,605
155	6,957	13,913	20,870	27,827	34,783	41,740	48,697	55,654	62,610
160	7,296	14,592	21,888	29,184	36,480	43,776	51,072	58,368	65,664
165	7,641	15,281	22,922	30,563	38,203	45,844	53,485	61,125	68,766
170	7,991	15,981	23,972	31,962	39,953	47,943	55,934	63,925	71,915
175	8,346	16,691	25,037	33,383	41,728	50,074	58,420	66,766	75,111
180	8,706	17,412	26,118	34,824	43,529	52,235	60,941	69,147	78,353
185	9,071	18,142	27,213	36,285	45,356	54,627	63,498	72,569	81,640
190	9,441	18,883	28,324	37,766	47,207	56,048	66,090	75,531	84,972
195	9,817	19,633	29,450	39,266	49,033	58,899	68,716	78,532	88,349
200	10,196	20,393	30,589	40,786	50,982	61,179	71,857	81,572	91,768
205	10,581	21,162	31,744	42,744	52,906	63,487	74,069	84,650	95,231
210	10,971	21,941	32,912	43,883	54,853	65,824	76,795	87,765	98,736
215	11,286	22,571	33,857	45,142	56,428	68,189	79,554	90,919	102,283
220	11,764	23,527	35,291	47,054	58,818	70,581	82,345	94,109	105,872
225	12,167	24,334	36,501	48,667	60,834	73,001	85,168	97,335	109,502
230	12,575	25,149	37,724	50,299	62,873	75,448	88,023	100,597	113,172
235	12,987	25,974	38,961	51,948	64,935	77,922	90,909	103,895	116,882
240	13,404	26,807	40,211	53,614	67,018	80,422	93,825	107,229	120,632
245	13,825	27,640	41,474	55,299	69,123	82,948	96,773	110,597	124,422
250	14,250	28,500	42,750	57,000	71,250	85,500	99,750	114,000	128,250

5. ტრაპეციული კვეთის წყალსაშვის ხარჯი ($Q^3/\nu t$) როდესაც $b=1,25$ მ

t წუთი	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,005	0,009	0,014	0,018	0,023	0,027	0,032	0,036	0,041
5	0,050	0,101	0,151	0,202	0,252	0,302	0,353	0,403	0,453
10	0,143	0,285	0,428	0,570	0,713	0,855	0,998	1,140	1,283
15	0,262	0,524	0,785	1,047	1,309	1,571	1,833	2,094	2,356
20	0,403	0,806	1,209	1,612	2,015	2,418	2,821	3,224	3,627
25	0,563	1,127	1,690	2,253	2,816	3,380	3,943	4,506	5,069
30	0,740	1,481	2,221	2,902	3,702	4,443	5,183	5,924	6,664
35	0,933	1,866	2,799	3,732	4,665	5,598	6,532	7,465	8,398
40	1,140	2,280	3,420	4,560	5,700	6,840	7,980	9,120	10,260
45	1,360	2,721	4,081	5,441	6,801	8,162	9,522	10,882	12,243
50	1,593	3,186	4,780	6,373	7,966	9,559	11,152	12,746	14,339
55	1,838	3,676	5,514	7,352	9,190	11,028	12,866	14,705	16,543
60	2,094	4,189	6,288	8,377	10,472	12,566	14,660	16,755	18,849
65	2,361	4,723	7,084	9,446	11,807	14,169	16,530	18,892	21,253
70	2,639	5,278	7,917	10,557	13,196	15,835	18,474	21,113	23,752
75	2,927	5,854	8,781	11,708	14,634	17,561	20,488	23,415	26,342
80	3,224	6,449	9,673	12,898	16,122	19,346	22,571	25,795	29,020
85	3,531	7,063	10,594	14,126	17,657	21,188	24,720	28,251	31,782
90	3,848	7,695	11,543	15,390	19,238	23,085	26,933	30,780	34,628
95	4,173	8,345	12,518	16,690	20,863	25,035	29,208	33,380	37,553
100	4,506	9,012	13,519	18,025	22,531	27,037	31,544	36,050	40,556
105	4,848	9,647	14,545	19,394	24,242	29,090	33,939	38,787	43,636
110	5,199	10,398	15,596	20,795	25,994	31,193	36,392	41,591	46,789
115	5,557	11,115	16,672	22,229	27,786	33,344	38,901	44,458	50,515
120	5,924	11,847	17,771	23,694	29,618	35,542	41,465	47,389	53,312
125	6,298	12,595	18,798	25,191	31,488	37,786	44,084	50,381	56,679
130	6,679	13,359	20,033	26,717	33,396	40,076	46,755	53,434	60,114
135	7,068	14,137	21,205	28,273	35,342	42,410	49,478	56,547	63,615
140	7,465	14,929	22,394	29,858	37,323	44,788	52,252	59,717	67,181
145	7,868	15,736	23,604	31,472	39,340	47,208	55,076	62,944	70,812
150	8,279	16,557	24,836	33,114	41,393	49,671	57,950	66,228	74,507
155	8,696	17,392	26,088	34,783	43,479	52,175	60,871	69,567	78,263
160	9,120	18,240	27,860	36,480	45,600	54,720	63,840	72,960	82,080
165	9,551	19,102	28,652	38,203	47,754	57,305	66,856	76,407	85,957
170	9,988	19,976	29,965	39,953	49,941	59,929	69,918	79,906	89,894
175	10,432	20,864	31,296	41,728	52,161	62,593	73,025	83,457	93,889
180	10,882	21,765	32,647	43,529	54,412	65,294	76,177	87,059	97,941
185	11,339	22,678	34,017	45,356	56,695	68,034	79,373	90,712	102,050
190	11,802	23,603	35,405	47,207	59,009	70,810	82,612	94,414	106,215
195	12,271	24,541	36,812	49,083	61,353	73,624	85,894	98,165	110,436
200	12,746	25,491	38,237	50,982	63,728	76,474	89,219	101,965	114,710
205	13,227	26,453	39,680	52,906	66,133	79,359	92,586	105,812	119,039
210	13,713	27,427	41,140	54,853	68,567	82,280	95,994	109,707	123,420
215	14,206	28,412	42,618	56,824	71,030	85,236	99,442	113,648	127,854
220	14,704	29,409	44,113	58,818	73,522	88,227	102,931	117,636	132,340
225	15,209	30,417	45,626	60,834	76,043	91,252	106,460	121,669	136,877
230	15,713	31,437	47,155	62,873	78,592	94,310	110,028	125,747	141,465
235	16,234	32,467	48,701	64,935	81,167	97,402	113,636	129,869	146,103
240	16,755	33,509	50,264	67,018	83,773	100,527	117,282	134,036	150,791
245	17,281	34,562	51,842	69,123	86,404	103,685	120,966	138,246	155,527
250	17,813	35,625	53,438	71,250	89,063	106,875	124,688	142,500	160,331

t წუთი დაწვება II მმ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
255	14,680	29,359	44,039	58,719	73,398	88,078	102,757	117,437	132,117
260	15,113	30,227	45,340	60,454	75,567	90,681	105,794	120,908	136,021
265	15,552	31,103	46,655	62,206	77,758	93,309	108,801	124,412	136,964
270	15,994	31,988	47,981	63,975	79,969	95,963	111,956	127,950	143,944
275	16,440	32,880	49,320	65,790	82,200	98,640	115,081	131,521	147,961
280	16,890	33,781	50,671	67,562	84,452	101,348	118,233	135,121	152,014
285	17,345	34,690	52,035	69,380	86,725	104,070	121,414	138,759	156,104
290	17,803	35,607	53,410	71,213	89,017	106,820	124,624	142,427	160,230
295	18,266	36,532	54,797	73,063	91,329	109,595	127,860	146,126	164,392
300	18,732	37,464	56,196	74,928	93,601	112,393	131,125	149,857	168,589
305	19,202	38,405	57,607	76,809	96,012	115,214	134,416	153,619	172,821
310	19,676	39,353	59,029	78,706	98,382	118,059	137,735	157,412	177,083
315	20,154	40,309	60,463	80,618	100,772	120,927	141,081	161,235	181,330
320	20,636	41,272	61,909	82,545	103,181	123,817	144,453	165,090	185,726
325	21,222	42,243	63,355	84,487	105,609	126,731	147,852	168,972	190,096
330	21,611	43,222	64,833	86,444	108,055	129,666	151,277	172,888	194,499
335	22,104	44,208	66,312	88,416	110,520	132,621	154,728	176,833	198,937
340	22,601	45,202	67,802	90,403	113,001	135,605	158,205	180,806	203,407
345	23,101	46,202	69,303	92,405	115,506	138,607	161,708	184,809	207,910
350	23,605	47,210	70,815	94,421	118,026	141,631	165,236	188,841	212,446

1. ხარჯი სამკუთხოვან წყალსაშვზე Q ლიტ/წუთში, როდესაც $\alpha=30^\circ$

წუთი H სმ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,50	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
2,50	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
3,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54
3,50	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
4,00	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12	1,26
4,50	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,44	1,62
5,00	0,22	0,44	0,66	0,88	1,10	1,32	1,54	1,76	1,82
5,50	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24	2,52
6,00	0,34	0,68	1,02	1,36	1,70	2,04	2,38	2,72	3,06
6,50	0,42	0,84	1,26	1,68	2,10	2,52	2,94	3,36	3,78
7,00	0,52	1,04	1,56	2,08	2,60	3,12	3,64	4,16	4,68
7,50	0,62	1,24	1,86	2,48	3,10	3,72	4,34	4,96	5,58
8,00	0,73	1,46	2,19	2,92	3,65	4,38	5,11	5,84	6,57
8,50	0,85	1,70	2,55	3,40	4,25	5,10	5,95	6,80	7,65
9,00	0,97	1,94	2,91	3,88	4,85	5,82	6,79	7,76	8,73
9,50	1,10	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	9,90
10,00	1,24	2,48	3,72	4,96	6,20	7,44	8,68	9,92	11,16
10,50	1,40	2,80	4,20	5,60	7,00	8,40	9,80	11,20	12,60
11,00	1,58	3,16	4,74	6,32	7,90	9,48	11,06	12,64	14,22
11,50	1,77	3,54	5,31	7,08	8,85	10,62	12,39	14,16	15,93
12,00	1,97	3,94	5,91	7,88	9,85	11,82	13,79	15,76	17,73
12,50	2,19	4,38	6,57	8,76	10,95	13,14	15,33	17,28	19,71
13,00	2,41	4,82	7,23	9,64	12,05	14,46	16,87	19,52	21,69
13,50	2,64	5,28	7,92	10,56	13,20	15,84	18,48	21,12	23,76
14,00	2,90	5,80	8,70	11,60	14,50	17,40	20,30	23,20	26,10
14,50	3,16	6,32	9,48	12,64	15,80	18,96	22,12	25,28	28,44
15,00	3,44	6,88	10,32	13,76	17,20	20,64	24,08	27,52	30,96
15,50	3,73	7,46	11,19	14,92	18,65	22,38	26,11	29,84	33,57
16,00	4,03	8,06	12,09	16,12	20,15	24,18	28,21	32,24	36,27
16,50	4,33	8,66	12,99	17,32	21,65	25,98	30,31	34,64	38,97
17,00	4,63	9,26	13,89	18,52	23,15	27,78	32,41	37,04	41,67
17,50	4,93	9,86	14,79	19,72	24,65	29,58	34,51	36,44	44,37
18,00	5,24	10,48	15,72	20,96	26,20	31,44	36,68	41,92	47,16
18,50	5,56	11,12	16,68	22,24	27,80	33,36	38,92	44,48	50,04
19,00	5,90	11,80	17,70	23,60	29,50	35,40	41,30	47,20	53,10
19,50	6,24	12,48	18,72	24,96	31,20	37,44	43,68	49,92	56,16
20,00	6,59	13,18	19,77	26,36	32,95	39,54	46,13	52,72	59,31
20,50	6,96	13,92	20,88	27,84	34,80	41,76	48,72	55,68	62,64
21,00	7,35	14,70	22,05	29,40	36,75	44,10	51,45	58,80	66,15
21,50	7,77	15,54	23,31	31,08	38,85	46,62	54,39	62,16	69,93
22,00	8,23	16,26	24,69	32,92	41,15	49,38	57,61	65,84	74,07
22,50	8,73	17,46	26,19	34,92	43,25	51,98	60,71	69,44	78,17
23,00	9,27	18,54	27,91	37,08	46,35	55,62	64,89	74,16	83,43
23,50	9,85	19,70	29,55	39,40	49,15	59,10	68,95	78,80	88,65
24,00	10,48	20,96	31,44	41,92	52,40	62,88	73,36	83,84	94,32
24,50	11,17	22,34	33,51	44,68	55,85	67,02	78,19	89,36	100,53
25,00	11,89	23,78	35,67	47,56	59,45	71,34	83,23	95,12	107,01

t წუთი	1	2	3	4	5	6	7	8	9
255	18,350	36,699	55,049	73,398	91,748	110,097	128,447	146,796	165,146
260	18,892	37,784	56,676	75,567	94,459	113,351	132,243	151,135	170,027
265	19,439	38,879	58,318	77,758	97,197	116,637	136,076	155,515	174,955
270	19,992	39,984	59,977	79,969	99,961	119,953	139,945	159,938	179,930
275	20,550	41,100	61,650	82,200	102,750	123,301	143,851	164,401	184,951
280	21,113	42,226	63,339	84,452	105,565	126,679	147,792	168,905	190,018
285	21,681	43,362	65,043	86,725	108,406	130,087	151,768	173,449	195,130
290	22,254	44,508	66,763	89,017	111,271	133,525	155,779	178,034	200,288
295	22,832	45,664	68,497	91,329	114,161	136,993	159,825	182,658	205,490
300	23,415	46,830	70,245	93,661	117,076	140,491	163,906	187,321	210,736
305	24,003	48,006	72,009	96,012	120,015	144,018	168,021	192,024	216,026
310	24,596	49,191	73,787	98,382	122,978	147,574	172,169	196,765	221,360
315	25,193	50,386	75,579	100,772	123,965	151,158	176,351	201,544	226,737
320	25,795	51,591	77,385	103,181	125,976	154,772	180,567	206,362	232,157
325	26,402	52,804	79,207	105,609	132,011	158,413	184,815	211,218	237,620
330	27,014	54,028	81,041	108,055	135,069	162,083	189,097	216,110	243,124
335	27,630	55,260	82,890	110,520	138,150	165,780	193,411	221,041	248,671
340	28,251	56,502	84,753	113,004	141,255	169,506	197,757	226,008	254,259
345	28,876	57,753	86,629	115,506	144,382	173,259	202,135	231,011	259,888
350	29,506	59,013	88,519	118,026	147,532	177,039	206,545	236,052	265,558
355	30,141	60,282	90,423	120,564	150,705	180,846	210,987	241,128	271,269
360	30,780	61,560	92,340	123,120	153,900	184,680	215,460	246,240	277,020
365	31,423	62,847	94,270	125,694	157,117	188,541	219,964	251,388	282,811
370	32,071	64,143	96,214	128,285	160,357	192,421	224,500	256,571	288,642
375	32,724	65,447	98,171	130,895	163,618	196,342	229,066	261,789	294,513
380	33,380	66,761	100,141	133,521	166,901	200,282	233,662	267,042	300,423
385	34,041	68,083	101,124	136,165	170,206	204,248	238,289	272,330	306,372
390	34,707	69,413	104,120	138,826	173,533	208,239	242,946	277,653	312,359
395	35,376	70,752	106,128	141,505	176,881	212,257	247,633	283,009	318,385
400	36,050	72,100	108,150	144,200	180,250	216,300	252,350	288,400	324,450
405	36,728	73,456	110,184	146,912	183,640	220,368	257,096	293,824	330,552
410	37,410	74,821	112,231	149,641	187,051	224,462	261,872	299,282	336,692
415	38,097	76,193	114,290	152,387	190,483	228,580	266,677	304,773	342,870
420	38,787	77,574	116,362	155,498	193,936	232,723	271,511	310,298	349,085

2. ხარჯი სამკუთხოვან წყალსაშვზე Q ლიტ/წუთში. როდესაც $\alpha = 45^\circ$

წუთი H სმ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,1	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,5	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81
1,0	0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15
1,5	0,96	1,92	2,88	3,84	4,80	5,76	6,72	7,68	8,64
2,0	1,98	3,96	5,94	7,92	9,90	11,88	13,86	15,84	17,82
2,5	3,43	6,86	10,29	13,72	17,15	20,58	24,01	27,44	30,87
3,0	5,43	10,86	16,29	21,72	27,15	32,58	38,01	43,44	48,87
3,5	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00
4,0	11,13	22,26	33,39	44,52	55,65	66,78	77,91	89,04	100,17
4,5	14,93	29,85	44,79	59,72	74,65	89,58	104,51	119,44	134,37
5,0	19,44	38,88	58,32	77,76	97,20	116,64	136,08	155,52	174,96
5,5	24,66	49,32	73,98	98,64	123,30	147,96	172,62	197,28	221,94
6,0	30,68	61,36	92,04	122,72	153,40	184,08	214,76	245,44	276,12
6,5	37,48	74,96	112,44	149,92	187,40	224,88	262,36	299,84	337,32
7,0	45,07	90,14	135,21	180,28	225,35	270,42	315,49	360,56	405,63
7,5	53,50	107,00	160,50	214,00	267,50	321,00	374,50	428,00	481,50
8,0	62,95	125,90	188,86	251,80	314,70	377,70	440,65	503,60	566,55
8,5	73,31	146,62	219,93	293,24	366,55	439,86	513,17	586,48	659,79
9,0	84,52	169,04	253,56	338,08	422,60	507,12	591,64	676,16	760,68
9,5	96,68	193,36	290,04	386,72	483,40	580,08	676,76	773,44	870,12
10,0	109,97	219,94	329,91	439,88	549,85	659,82	769,79	879,76	989,73
10,5	124,27	248,54	372,81	496,08	621,35	745,62	869,89	994,16	1118,43
11,0	139,57	279,14	418,71	558,28	697,85	837,42	976,99	1116,56	1256,13
11,5	155,89	311,78	467,67	623,56	779,45	935,34	1091,23	1247,12	1403,01
12,0	173,48	346,96	520,44	693,92	867,40	1040,88	1214,36	1387,84	1561,32
12,5	192,13	394,26	576,39	768,52	960,65	1152,78	1344,91	1537,04	1729,17
13,0	211,91	423,82	635,73	847,64	1059,55	1271,46	1483,37	1695,28	1907,19
13,5	232,82	465,64	698,46	931,28	1164,10	1396,92	1629,74	1862,56	2095,35
14,0	255,04	510,08	765,12	1020,16	1275,20	1530,24	1785,28	2040,32	2295,35
14,5	278,45	556,90	835,35	1113,80	1392,25	1670,70	1949,15	2227,60	2506,05
15,0	303,07	606,14	909,21	1212,28	1515,35	1818,42	2121,49	2424,56	2727,63
15,5	328,91	657,82	986,73	1315,64	1644,55	1973,46	2302,37	2631,28	2960,18
16,0	361,15	712,30	1068,45	1424,60	1780,75	2169,00	2493,05	2849,20	3205,35
16,5	384,65	769,30	1153,95	1538,60	1923,25	2307,90	2692,55	3077,20	3461,65
17,0	414,44	828,88	1243,32	1657,76	2072,20	2486,64	2901,08	3315,52	3729,96
17,5	445,55	891,90	1336,65	1782,20	2227,75	2673,33	3118,85	3564,40	4009,45
18,0	478,09	956,18	1434,22	1912,36	2390,45	2868,54	3346,63	3824,72	4302,81
18,5	511,97	1023,94	1535,91	2047,88	2559,85	3071,82	3583,79	4095,76	4607,73
19,0	547,26	1094,52	1641,78	2189,04	2736,30	3283,56	3880,82	4378,08	4925,44
19,5	583,89	1167,78	1751,67	2335,56	2919,45	3503,34	4057,23	4671,12	5255,01
20,0	622,16	1244,32	1866,48	2488,64	3110,80	3732,96	4355,12	4977,28	5599,44

3. ბარჯი სამკუთხოვან წყალსაშუზე Q ლიტ/წუთში, როდესაც $\alpha=90^\circ$

H სმ	t წუთი									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,1	0,002	0,005	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,5	0,15	0,30	0,44	0,59	0,74	0,89	1,04	1,19	1,33	1,33
1,0	0,84	1,63	2,52	3,36	4,20	5,04	5,88	6,72	7,56	7,56
1,5	2,31	4,68	6,94	9,26	11,57	13,89	16,20	18,52	20,83	20,83
2,0	4,75	9,50	14,26	19,01	23,76	28,51	33,26	38,02	42,77	42,77
2,5	8,30	16,60	24,90	33,20	41,51	49,81	58,11	66,41	74,71	74,71
3,0	13,09	26,19	39,28	52,38	65,47	78,57	91,66	104,76	117,85	117,85
3,5	19,25	38,50	57,75	77,00	96,25	115,50	134,75	154,00	173,25	173,25
4,0	26,88	53,76	80,64	107,52	134,40	161,28	188,16	215,04	241,92	241,92
4,5	36,08	72,17	108,25	144,33	180,42	216,50	252,58	288,67	324,75	324,75
5,0	46,96	93,92	140,87	187,83	234,79	281,75	328,70	375,66	422,62	422,62
5,5	59,59	119,18	178,77	238,37	247,96	357,55	417,14	476,73	536,32	536,32
6,0	74,07	148,15	222,22	296,29	370,37	444,44	518,51	592,58	666,66	666,66
6,5	90,48	180,96	271,45	361,93	452,41	542,89	634,37	723,85	814,34	814,34
7,0	108,90	217,80	326,70	435,60	544,51	653,41	762,31	871,24	980,11	980,11
7,5	129,40	258,80	388,20	517,60	646,100	776,39	905,79	1035,19	1164,59	1164,59
8,0	152,06	304,11	456,17	608,22	760,28	912,33	1064,34	1216,44	1368,50	1368,50
8,5	176,94	353,88	530,83	707,77	884,71	1061,65	1238,59	1415,53	1592,48	1592,48
9,0	204,12	408,24	612,36	816,48	1020,60	1224,72	1428,84	1632,96	1837,08	1837,08
9,5	233,66	467,32	700,98	934,65	1168,31	1401,97	1635,63	1869,29	2102,95	2102,95
10,0	265,63	531,27	796,90	1062,53	1328,17	1593,80	1859,43	2125,07	2390,70	2390,70
10,5	300,09	600,19	900,28	1200,37	1400,47	1800,56	2100,66	2400,75	2700,84	2700,84
11,0	337,10	674,20	1011,30	1348,40	1685,50	2022,60	2359,69	2696,79	3033,89	3033,89
11,5	376,73	753,46	1130,19	1506,91	1888,64	2260,37	2637,10	3013,83	3319,56	3319,56
12,0	419,02	838,04	1257,05	1676,07	2095,09	2514,11	2933,12	3352,14	3771,16	3771,16
12,5	464,03	928,07	1392,10	1856,15	2320,17	2284,21	3248,24	3712,28	4176,31	4176,31
13,0	511,85	1023,70	1535,55	2047,40	2559,26	3071,11	3582,96	4094,81	4606,66	4606,66
13,5	562,48	1124,97	1687,45	2249,93	2812,42	3374,90	3937,38	4499,87	5062,35	5062,35
14,0	616,03	1232,07	1848,10	2464,13	3080,17	3696,20	4312,23	4928,27	5544,30	5544,30
14,5	672,51	1345,03	2017,54	2690,05	3362,57	4035,08	4707,59	5380,10	6052,62	6052,62
15,0	731,10	1463,99	2192,99	2927,99	3659,99	4391,98	5123,98	5855,98	6587,97	6587,97

C კოეფიციენტის მნიშვნელობანი ნ. პავლოვსკის მიხედვით, როდესაც

$$y = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 (\sqrt{n} - 0,10) \sqrt{R}$$

R 6	n	0,011	0,013	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,05	61,3	48,7	33,2	26,1	18,6	13,9	10,9	8,7	
0,06	62,8	50,1	34,4	27,2	19,5	14,7	11,5	9,3	
0,07	64,1	51,3	35,5	28,2	20,4	15,5	12,2	9,9	
0,08	65,2	52,4	36,4	29,0	21,1	16,1	12,8	10,3	
0,10	67,2	54,3	38,1	30,6	22,4	17,3	13,8	11,2	
0,12	68,8	55,8	39,5	32,6	23,5	18,3	14,7	12,1	
0,14	70,3	57,2	40,7	33,0	24,5	19,1	15,4	12,8	
0,16	71,5	58,4	41,8	34,0	25,4	19,9	16,1	13,4	
0,18	72,6	59,5	42,7	34,8	26,2	20,6	16,8	14,0	
0,20	73,7	60,4	43,6	35,7	26,9	21,3	17,4	14,5	
0,22	74,6	61,3	44,4	36,4	27,6	21,9	17,9	15,0	
0,24	75,5	62,1	45,2	37,1	28,3	22,5	18,5	15,5	
0,26	76,3	62,9	45,9	37,8	28,8	23,0	18,9	16,0	
0,28	0,77	63,6	46,5	38,4	29,4	23,5	19,4	16,4	
0,30	77,7	64,3	47,2	39,0	29,9	24,0	19,9	16,8	
0,35	79,3	65,8	48,6	40,3	31,1	25,1	20,9	17,8	
0,40	80,7	67,1	49,8	41,5	32,2	26,0	21,8	18,6	
0,45	82,0	68,4	50,9	42,5	33,1	26,9	22,6	19,4	
0,50	83,1	69,5	51,9	43,5	34,0	27,8	23,4	20,1	
0,55	84,1	70,4	52,8	44,4	34,8	28,5	24,0	20,7	
0,60	85,3	71,4	53,7	45,2	35,5	29,2	24,7	21,3	
0,65	86,0	72,2	54,5	45,9	36,2	29,8	25,3	21,9	
0,70	86,8	73,0	55,2	46,6	36,9	30,4	25,8	22,4	
0,80	88,3	74,5	56,5	47,9	38,0	31,5	26,8	23,4	
0,90	89,4	75,5	57,5	48,8	38,9	32,3	27,6	24,1	
1,00	90,9	76,9	58,5	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0	
1,10	92,0	78,0	59,8	50,9	40,9	34,1	29,3	25,7	
1,20	93,1	79,0	60,7	51,8	41,6	34,8	30,0	26,3	
1,30	94,0	79,9	61,5	52,5	42,5	35,5	30,6	26,9	
1,50	95,7	81,5	62,9	53,9	43,6	36,7	31,7	28,0	
1,70	97,3	82,9	64,3	55,1	44,7	37,7	32,7	28,9	
2,00	99,3	84,8	65,9	56,6	46,0	38,9	33,8	30,0	
2,50	102,1	87,3	68,1	58,7	47,9	40,6	35,4	31,5	
3,00	104,4	89,4	69,8	60,3	49,3	41,9	36,6	32,5	
3,50	106,4	91,1	71,3	61,5	50,3	42,8	37,4	33,5	
4,00	108,1	92,6	72,5	62,5	51,2	43,6	38,1	33,9	
5,00	111,0	95,1	74,2	64,1	52,4	44,6	38,9	34,6	

/// ხარისხის ბაზენტების მნიშვნელობანი ნ. კავლოვსკის სრული ფორმულის მიხედვით

R _ა	n																
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	R _ბ		u						
0,10	0,131	0,142	0,152	0,161	0,171	0,180	0,189	0,197	0,10	0,214	0,233	0,251	0,269	0,286	0,302	0,317	0,346
0,20	0,131	0,141	0,150	0,160	0,168	0,177	0,186	0,194	0,20	0,210	0,228	0,246	0,263	0,278	0,294	0,310	0,346
0,40	0,130	0,140	0,149	0,157	0,165	0,174	0,182	0,189	0,40	0,201	0,221	0,238	0,254	0,268	0,283	0,297	0,323
0,60	0,129	0,139	0,147	0,155	0,163	0,171	0,179	0,186	0,60	0,200	0,216	0,232	0,247	0,261	0,275	0,288	0,312
0,80	0,129	0,138	0,146	0,154	0,161	0,169	0,176	0,183	0,80	0,196	0,211	0,227	0,241	0,254	0,268	0,280	0,303
1,00	0,129	0,137	0,145	0,152	0,159	0,166	0,173	0,180	1,00	0,192	0,208	0,221	0,236	0,248	0,261	0,273	0,295
1,50	0,128	0,135	0,141	0,149	0,155	0,162	0,168	0,174	1,50	0,186	0,199	0,212	0,224	0,236	0,247	0,258	0,278
2,00	0,127	0,134	0,140	0,146	0,152	0,158	0,164	0,169	2,00	0,180	0,192	0,204	0,215	0,225	0,236	0,246	0,261
2,50	0,126	0,133	0,139	0,144	0,150	0,155	0,160	0,165	2,50	0,174	0,185	0,197	0,206	0,216	0,226	0,235	0,251
3,00	0,126	0,132	0,137	0,142	0,147	0,152	0,156	0,161	3,00	0,170	0,180	0,190	0,199	0,208	0,217	0,225	0,240
5,00	0,124	0,128	0,132	0,135	0,138	0,142	0,145	0,148	5,00	0,154	0,161	0,168	0,175	0,180	0,186	0,192	0,203

C კოეფიციენტის მნიშვნელობანი განვილიე-კუტტერის ფორმულის მიხედვით

#	$R \beta$	i	0,000025	0,00005	0,0001	0,0002	0,0004	0,001	0,01
0,010	0,05		38	44	51	54	56	57	58
	0,10		49	56	61	65	68	70	71
	0,20		63	70	74	77	78	69	80
	0,30		72	77	81	84	85	86	86
	0,50		83	86	88	90	91	91	91
	1,00		100	100	100	100	100	100	100
	2,00		115	111	109	107	106	105	105
	3,00		124	117	113	111	110	109	108
	5,00		134	123	118	115	113	112	111
15,00		151	135	125	121	118	117	116	
0,013	0,05		28	31	35	38	40	41	42
	0,10		36	40	44	47	49	50	51
	0,20		46	50	53	56	58	59	59
	0,30		53	57	60	63	64	64	65
	0,50		62	65	67	69	69	70	70
	1,00		77	77	77	77	77	77	77
	2,00		90	87	85	84	83	82	82
	3,00		99	94	89	88	87	86	85
	5,00		108	100	93	91	90	89	88
15,00		125	114	102	98	96	94	92	
0,017	0,05		19	22	24	26	28	29	29
	0,10		25	29	32	34	35	36	36
	0,20		34	37	39	41	42	42	43
	0,30		40	43	45	46	47	47	48
	0,50		47	49	50	51	51	52	52
	1,00		58	58	58	58	58	58	58
	2,00		71	69	67	66	65	64	64
	3,00		78	74	71	70	69	68	68
	5,00		87	79	75	73	72	71	70
15,00		105	90	83	79	77	76	75	
0,020	0,05		15	18	20	21	23	23	24
	0,10		21	23	25	28	29	29	30
	0,20		28	30	32	34	35	36	36
	0,30		33	35	37	38	39	40	40
	0,50		40	41	42	43	43	44	44
	1,00		50	50	50	50	50	50	50
	2,00		61	59	57	56	56	55	55
	3,00		69	64	61	59	59	58	58
	5,00		76	70	66	63	62	61	61
15,00		94	81	74	70	68	67	66	

R	i	გ ა გ რ ძ ე ლ ე ბ ა						
		0,000025	0,00005	0,0001	0,0002	0,0004	0,001	0,01
0,025	0,05	12	13	15	16	17	18	18
	0,10	17	18	19	20	21	22	22
	0,20	22	23	24	25	26	27	27
	0,30	26	28	29	30	30	31	31
	0,50	31	32	33	34	34	35	35
	1,00	40	40	40	40	40	40	40
	2,00	50	48	47	46	45	45	45
	3,00	56	53	51	49	48	48	47
	5,00	64	59	54	53	52	51	50
15,00	81	71	63	59	57	56	55	
0,030	0,05	10	11	12	13	13	14	14
	0,10	13	14	15	16	17	18	18
	0,20	18	19	19	20	21	22	22
	0,30	21	22	23	24	24	25	25
	0,50	25	26	27	27	28	29	29
	1,00	33	33	33	33	33	33	33
	2,00	42	41	40	40	39	38	38
	3,00	48	45	43	42	42	41	41
	5,00	56	51	47	45	44	43	43
15,00	72	62	55	52	51	49	48	
0,035	0,05	8	9	9	10	10	11	11
	0,10	11	12	12	13	13	14	14
	0,20	15	16	16	17	17	18	18
	0,30	18	19	19	20	20	21	21
	0,50	22	23	23	23	24	24	24
	1,00	29	29	29	29	29	29	29
	2,00	36	35	34	34	33	33	33
	3,00	42	40	38	37	36	36	36
	5,00	49	45	43	42	41	40	39
15,00	65	56	51	47	45	44	43	
0,040	0,05	6	7	7	8	8	9	9
	0,10	9	10	11	11	12	12	12
	0,20	13	14	14	15	15	16	16
	0,30	15	16	17	18	18	18	18
	0,50	19	19	20	20	21	21	21
	1,00	25	25	25	25	25	25	25
	2,00	32	31	31	30	30	29	29
	3,00	37	35	34	33	33	32	32
	5,00	44	41	39	38	37	36	35
15,00	59	52	46	43	42	41	40	

C კოეფიციენტის მნიშვნელობანი ბაზენის ფორმულის მიმედვით

R მ	γ	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
0,05		68,5	50,7	28,4	18,1	12,8	9,9
0,06		69,8	52,6	30,2	19,1	13,8	10,7
0,07		70,9	54,2	31,7	20,6	14,7	11,4
0,08		71,8	55,6	33,1	21,7	15,5	12,1
0,09		72,5	56,7	34,4	22,7	16,3	12,7
0,10		73,1	57,7	35,5	23,6	17,0	13,3
0,11		73,6	58,7	36,5	24,4	17,7	13,9
0,12		74,1	59,5	37,4	25,2	18,3	14,4
0,13		74,6	60,2	38,2	25,9	18,9	14,9
0,14		75,0	60,9	39,0	26,7	19,4	15,3
0,15		75,3	61,5	39,7	27,2	19,9	15,8
0,16		75,6	62,2	40,5	27,8	20,4	16,2
0,17		75,9	62,7	41,2	28,4	20,9	16,6
0,18		76,2	63,2	41,8	29,0	21,4	17,0
0,19		76,5	63,6	42,4	29,5	21,8	17,3
0,20		76,7	64,1	42,9	30,0	22,3	17,7
0,21		76,9	64,5	43,5	30,5	22,7	18,1
0,22		77,1	64,9	44,0	30,9	23,1	18,4
0,23		77,3	65,2	44,4	31,4	23,4	18,7
0,24		77,5	65,5	44,8	31,8	23,8	19,0
0,25		77,6	65,9	45,3	32,2	24,2	19,3
0,26		77,8	66,2	45,7	32,6	24,5	19,6
0,27		78,0	66,5	46,1	33,0	24,8	19,9
0,28		78,1	66,8	46,5	33,4	25,2	20,2
0,29		78,3	67,0	46,9	33,7	25,5	20,5
0,30		78,4	67,3	47,3	34,1	25,8	20,7
0,31		78,5	67,6	47,6	34,3	26,1	21,0
0,32		78,6	67,8	47,9	34,7	26,4	21,2
0,33		78,8	68,0	48,2	35,1	26,7	21,5
0,34		78,9	68,2	48,5	35,4	26,9	21,7
0,35		79,0	68,4	48,8	35,7	27,2	22,0
0,36		79,1	68,6	49,2	36,0	27,5	22,2
0,37		79,2	68,8	49,5	36,3	27,7	22,4
0,38		79,2	69,0	49,8	36,6	28,0	22,7
0,39		79,3	69,2	50,1	36,7	28,2	22,9
0,40		79,4	69,4	50,4	37,1	28,5	23,1
0,41		79,5	69,6	50,6	37,4	28,7	23,3
0,42		79,6	69,7	50,9	37,6	28,9	23,5
0,43		79,7	69,9	51,1	37,9	29,2	23,7
0,44		79,7	70,1	51,4	38,1	29,4	23,9
0,45		79,8	70,2	51,6	38,4	29,6	24,1
0,46		79,9	70,4	51,8	38,6	29,8	24,3

γ	0,06	0,16	0,46	0,85	1,30	1,75
0,47	80,0	70,5	52,0	38,8	30,0	24,5
0,48	80,0	70,6	52,3	39,1	30,2	24,7
0,49	80,1	70,8	52,5	39,3	30,4	24,8
0,50	80,2	70,9	52,7	39,5	30,6	25,0
0,55	80,4	71,5	53,7	40,5	31,6	25,9
0,60	80,7	72,1	54,6	41,4	32,5	26,7
0,65	80,9	72,6	55,4	42,3	33,3	27,4
0,70	81,1	73,0	56,1	43,1	34,1	28,1
0,75	81,3	73,4	56,8	43,9	34,8	28,8
0,80	81,5	73,8	57,4	44,6	35,5	29,4
0,85	81,7	74,1	58,0	45,2	36,1	30,0
0,90	81,8	74,4	58,6	45,9	36,7	30,6
0,95	81,9	74,7	59,1	46,5	37,3	31,1
1,00	82,0	75,0	59,6	47,0	37,8	31,6
1,10	82,2	75,4	60,5	48,0	38,8	32,6
1,20	82,4	75,9	61,3	48,9	39,7	33,5
1,30	83,6	76,3	62,0	49,8	40,6	34,3
1,40	82,8	76,6	62,6	50,6	41,4	35,1
1,50	82,9	76,9	63,2	51,3	42,2	35,8
1,60	83,0	77,2	63,8	52,0	42,9	36,5
1,70	83,1	77,5	64,3	52,6	43,6	37,1
1,80	83,2	77,7	64,8	53,2	44,2	37,7
1,90	83,3	77,9	65,2	53,8	44,8	38,3
2,00	83,4	78,2	65,6	54,2	45,3	38,9
2,20	83,6	78,5	66,4	55,3	46,4	39,9
2,40	83,7	78,8	67,1	56,2	47,3	40,8
2,60	83,8	79,1	67,7	57,0	48,1	41,7
2,80	83,9	79,4	68,2	57,7	48,9	42,5
3,00	84,0	79,6	68,7	58,3	49,7	43,3
3,20	84,1	79,8	69,2	58,9	50,4	44,0
3,40	84,2	80,0	69,6	59,5	51,0	44,6
3,60	84,3	80,2	70,0	60,1	51,6	45,2
3,80	84,4	80,4	70,4	60,6	52,2	45,8
4,00	84,4	80,5	70,7	61,0	52,7	46,4
4,50	84,6	80,9	71,5	62,1	53,9	47,6
5,00	84,7	81,2	72,1	63,0	55,0	48,8
5,50	84,8	81,4	72,7	63,8	56,0	49,8
6,00	84,9	81,6	73,2	64,6	56,8	50,7
8,00	85,2	82,3	74,8	66,9	59,5	53,7
10,00	85,3	82,8	75,9	68,5	61,6	56,9
12,00	85,5	83,1	76,8	69,9	63,3	57,8
15,00	85,6	83,5	77,7	71,3	65,1	60,9
20,00	85,6	84,0	78,8	73,0	67,3	62,5

C კოეფიციენტის მნიშვნელობანი მანინგის ფორმულის მიხედვით

R მ	0,010	0,013	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,05	60,7	46,7	35,2	30,4	24,3	20,2	17,6	15,2
0,06	62,6	48,2	36,3	31,3	25,0	20,9	18,2	15,0
0,07	64,2	49,4	37,2	32,1	25,7	21,4	18,6	16,0
0,08	65,6	50,5	38,0	32,8	26,2	21,9	19,0	16,4
0,10	68,1	52,4	39,5	34,0	27,2	22,7	19,7	17,0
0,12	70,2	54,1	40,7	35,1	28,1	23,4	20,4	17,5
0,14	72,1	55,6	41,8	36,0	28,8	24,0	20,9	18,0
0,16	73,6	56,7	42,7	36,8	29,4	24,5	21,3	18,4
0,18	75,2	57,9	43,6	37,6	30,1	25,1	21,8	18,8
0,20	76,5	58,9	44,4	38,2	30,6	25,5	22,2	19,1
0,22	77,7	59,8	45,1	38,8	31,1	25,9	22,5	19,4
0,24	78,8	60,7	45,7	39,4	31,5	26,3	22,9	19,7
0,26	79,9	61,5	46,3	39,9	32,0	26,6	23,2	20,0
0,28	80,9	62,3	46,9	40,4	32,4	27,0	23,5	20,2
0,30	81,8	63,0	47,4	40,9	32,7	27,3	23,7	20,4
0,35	83,9	64,6	48,7	42,0	33,6	28,0	24,3	21,0
0,40	85,8	66,1	49,8	42,9	34,3	28,0	24,9	21,4
0,45	87,5	67,4	50,7	43,8	35,0	29,2	25,4	21,9
0,50	89,1	68,6	51,7	44,6	35,6	29,7	25,8	22,3
0,55	90,5	69,7	52,5	45,3	36,2	30,2	26,2	22,6
0,60	91,8	70,7	53,2	45,9	36,7	30,6	26,6	22,9
0,65	93,1	71,7	54,0	46,6	37,2	31,0	27,0	23,3
0,70	94,2	72,5	54,6	47,1	37,7	31,4	27,3	23,6
0,80	96,4	74,2	55,9	48,2	38,6	32,1	28,0	24,1
0,90	98,3	75,7	57,0	49,1	39,3	32,8	28,5	24,6
1,00	100,0	77,0	58,0	50,0	40,0	33,3	29,0	25,0
1,10	101,6	78,8	58,9	50,8	40,6	33,9	29,5	25,4
1,20	103,1	79,4	59,8	51,5	41,2	34,4	29,9	25,8
1,30	104,5	80,5	60,6	52,2	41,8	34,8	30,3	26,1
1,50	107,0	82,4	62,1	53,5	42,8	35,7	31,0	26,7
1,70	109,2	84,1	63,3	54,6	43,7	36,4	31,7	27,3
2,00	112,0	86,2	65,0	56,0	44,8	37,3	32,5	28,0
2,50	116,5	89,7	67,6	58,2	46,6	38,8	33,8	29,1
3,00	120,0	92,4	69,6	60,0	48,0	40,0	34,8	30,0
3,50	123,2	94,9	71,5	61,6	49,3	41,1	35,7	30,8
4,00	126,0	97,0	73,1	63,0	50,4	42,0	36,5	31,5
5,00	131,0	100,8	76,0	65,5	52,4	43,7	38,0	32,7
10,00	147,0	113,1	85,3	73,5	58,8	49,0	42,6	36,7
15,00	157,0	120,9	91,1	78,5	62,8	52,3	45,5	39,4

d მმ	K ლ/წმ	K^2 (ლ/წმ) ²	d მმ	K —ლ/წმ	K^2 (ლ/წმ) ²
40	3,59	12,89	350	1,540 · 10 ²	2,379 · 10 ⁶
50	6,782	45,99	400	2,220 · 10 ²	4,926 · 10 ⁶
75	21,43	459,25	450	3,057 · 10 ²	9,343 · 10 ⁶
100	48,10	2,314 · 10 ³	500	4,067 · 10 ²	16,54 · 10 ⁶
125	89,84	8,072 · 10 ³	600	6,655 · 10 ²	44,29 · 10 ⁶
150	149,37	22,31 · 10 ³	700	10,08 · 10 ²	101,58 · 10 ⁶
175	229,20	52,53 · 10 ³	750	12,13 · 10 ²	147,09 · 10 ⁶
200	331,70	110,03 · 10 ³	800	14,42 · 10 ²	207,87 · 10 ⁶
225	459,02	210,70 · 10 ³	900	19,76 · 10 ²	390,57 · 10 ⁶
250	613,59	376,50 · 10 ³	1000	26,18 · 10 ²	685,46 · 10 ⁶
300	1,012,10 ³	1,024 · 10 ⁶	1200	42,53 · 10 ²	1,809 · 10 ⁹

d მმ	სუფთა მილი		ხმარებაში მყოფი მილი		ნორმალური მილი		d მმ
	$K \cdot 10^{-2}$ ლიტ/წმ	$K^2 \cdot 10^{-3}$ (ლ/წმ) ²	$K \cdot 10^{-2}$ ლიტ/წმ	$K^2 \cdot 10^{-3}$ (ლ/წმ) ²	$K \cdot 10^{-2}$ ლიტ/წმ	$K^2 \cdot 10^{-3}$ (ლ/წმ) ²	
75	0,282	0,795	0,217	0,471	0,247	0,610	75
100	0,601	3,61	0,467	2,21	0,531	2,85	100
125	1,11	12,3	0,842	7,07	0,962	9,25	125
150	1,79	32,1	1,37	18,8	1,57	24,6	150
175	2,73	74,5	2,08	43,3	2,37	56,2	175
200	3,89	151	2,97	88,2	3,40	116	200
225	5,31	282	4,06	165	4,62	213	225
250	7,05	496	5,38	289	6,12	374	250
300	11,4	1290	9,72	760	10,00	1000	300
400	24,7	6100	18,9	3870	21,5	4620	400
500	44,5	19800	33,9	11600	38,5	14900	500
	მ ² /წმ	(მ ² /წმ) ²	მ ² /წმ	(მ ² /წმ) ²	მ ² /წმ	(მ ² /წმ) ²	
600	0,0727	0,0528	0,0555	0,0308	0,0635	0,0403 ³	600
700	0,109	0,118	0,0838	0,0704	0,0957	0,0916 ⁶	700
800	0,156	0,243	0,119	0,141	0,137	0,187	800
900	0,214	0,458	0,164	0,268	0,187	0,350	900
1000	0,283	0,801	0,217	0,471	0,248	0,615	1000
1200	0,462	2,13	0,353	1,24	0,403	1,62	1200
1400	0,696	4,84	0,533	2,84	0,608	3,70	1400
1600	0,935	9,90	0,761	5,79	0,868	7,53	1600
1800	1,36	18,5	1,04	10,8	1,19	14,2	1800
2000	1,80	32,4	1,38	19,1	1,57	24,7	2000

* C მიღებულია მანინგის ფორმულით.

m	0	0,10	0,20	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
K_1	2,000	1,810	1,640	1,562	1,236	1,00	0,828	0,702	0,606	0,532	0,472	0,385	0,325
K_2	2,00	1,910	1,838	1,812	1,734	1,750	1,828	1,950	2,107	2,282	2,468	2,882	3,324
A	1,414	1,350	1,300	1,282	1,226	1,237	1,293	1,378	1,490	1,615	1,745	2,038	2,350

კვადრატული ფესვი კანონიდან \sqrt{i}

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00001	0,0031623	0,00052	0,0228035	0,00103	0,0320936
0,00002	0,0044721	0,00053	0,0230217	0,00104	0,0322490
0,00003	0,0054772	0,00054	0,0232379	0,00105	0,0324037
0,00004	0,0063246	0,00055	0,0234521	0,00106	0,0325576
0,00005	0,0070711	0,00056	0,0236643	0,00107	0,0327109
0,00006	0,0077460	0,00057	0,0238741	0,00108	0,0328631
0,00007	0,0083666	0,00058	0,0240832	0,00109	0,0330151
0,00008	0,0089443	0,00059	0,0242899	0,00110	0,0331662
0,00009	0,0094868	0,00060	0,0244949	0,00111	0,0333167
0,00010	0,0100000	0,00061	0,0246982	0,00112	0,0334661
0,00011	0,0104881	0,00062	0,0248998	0,00113	0,0336155
0,00012	0,0109545	0,00063	0,0250998	0,00114	0,0337639
0,00013	0,0114018	0,00064	0,0252982	0,00115	0,0339116
0,00014	0,0118322	0,00065	0,0254951	0,00116	0,0340588
0,00015	0,0122474	0,00066	0,0256905	0,00117	0,0342053
0,00016	0,0126491	0,00067	0,0258844	0,00118	0,0343511
0,00017	0,0130384	0,00068	0,0260768	0,00119	0,0344964
0,00018	0,0134164	0,00069	0,0262679	0,00120	0,0346410
0,00019	0,0137840	0,00070	0,0264575	0,00121	0,0347851
0,00020	0,0141421	0,00071	0,0266458	0,00122	0,0349285
0,00021	0,0144913	0,00072	0,0268328	0,00123	0,0350714
0,00022	0,0148324	0,00073	0,0270185	0,00124	0,0352136
0,00023	0,0151658	0,00074	0,0272029	0,00125	0,0353553
0,00024	0,0154919	0,00075	0,0273861	0,00126	0,0354965
0,00025	0,0158114	0,00076	0,0275681	0,00127	0,0356371
0,00026	0,0161245	0,00077	0,0277489	0,00128	0,0357771
0,00027	0,0164317	0,00078	0,0279285	0,00129	0,0359166
0,00028	0,0167332	0,00079	0,0281069	0,00130	0,0360555
0,00029	0,0170294	0,00080	0,0282843	0,00131	0,0361939
0,00030	0,0173205	0,00081	0,0284605	0,00132	0,0363318
0,00031	0,0176068	0,00082	0,0286356	0,00133	0,0364692
0,00032	0,0178885	0,00083	0,0288097	0,00134	0,0366060
0,00033	0,0181659	0,00084	0,0289828	0,00135	0,0367423
0,00034	0,0184391	0,00085	0,0291548	0,00136	0,0368782
0,00035	0,0187083	0,00086	0,0293258	0,00137	0,0370135
0,00036	0,0189736	0,00087	0,0294958	0,00138	0,0371484
0,00037	0,0192354	0,00088	0,0296648	0,00139	0,0372827
0,00038	0,0194936	0,00089	0,0298329	0,00140	0,0374166
0,00039	0,0197483	0,00090	0,0300000	0,00141	0,0375500
0,00040	0,0200000	0,00091	0,0301662	0,00142	0,0376829
0,00041	0,0202485	0,00092	0,0303315	0,00143	0,0378153
0,00042	0,0204939	0,00093	0,0304959	0,00144	0,0379473
0,00043	0,0207364	0,00094	0,0306594	0,00145	0,0380789
0,00044	0,0209762	0,00095	0,0308221	0,00146	0,0382099
0,00045	0,0212132	0,00096	0,0309839	0,00147	0,0383406
0,00046	0,0214476	0,00097	0,0311448	0,00148	0,0384708
0,00047	0,0216795	0,00098	0,0313050	0,00149	0,0386005
0,00048	0,0219089	0,00099	0,0314643	0,00150	0,0387298
0,00049	0,0221359	0,00100	0,0316228	0,00151	0,0388587
0,00050	0,0223607	0,00101	0,0317805	0,00152	0,0389872
0,00051	0,0225832	0,00102	0,0319374	0,00153	0,0391152

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00154	0,0392428	0,00208	0,0456092	0,00262	0,0511859
0,00155	0,0393700	0,00209	0,0457165	0,00263	0,0512835
0,00156	0,0394968	0,00210	0,0458258	0,00264	0,0513809
0,00157	0,0396232	0,00211	0,0459347	0,00265	0,0514782
0,00158	0,0397492	0,00212	0,0460435	0,00266	0,0515752
0,00159	0,0398748	0,00213	0,0461519	0,00267	0,0516720
0,00160	0,0400000	0,00214	0,0462601	0,00268	0,0517687
0,00161	0,0401248	0,00215	0,0463681	0,00269	0,0518652
0,00162	0,0402492	0,00216	0,0464758	0,00270	0,0519615
0,00163	0,0403733	0,00217	0,0465833	0,00271	0,0520577
0,00164	0,0404969	0,00218	0,0466905	0,00272	0,0521536
0,00165	0,0406202	0,00219	0,0467974	0,00273	0,0522493
0,00166	0,0407431	0,00220	0,0469042	0,00274	0,0523450
0,00167	0,0408656	0,00221	0,0470106	0,00275	0,0524403
0,00168	0,0409878	0,00222	0,0471169	0,00276	0,0525357
0,00169	0,0411096	0,00223	0,0472229	0,00277	0,0526308
0,00170	0,0412311	0,00224	0,0473276	0,00278	0,0527257
0,00171	0,0413521	0,00225	0,0474342	0,00279	0,0528205
0,00172	0,0414729	0,00226	0,0475395	0,00280	0,0529150
0,00173	0,0415933	0,00227	0,0476445	0,00281	0,0530091
0,00174	0,0417133	0,00228	0,0477493	0,00282	0,0531037
0,00175	0,0418330	0,00229	0,0478539	0,00283	0,0531977
0,00176	0,0419524	0,00230	0,0479583	0,00284	0,0532917
0,00177	0,0420714	0,00231	0,0480625	0,00285	0,0533854
0,00178	0,0421900	0,00232	0,0481664	0,00286	0,0534790
0,00179	0,0423084	0,00233	0,0482701	0,00287	0,0535724
0,00180	0,0424264	0,00234	0,0483735	0,00288	0,0536656
0,00181	0,0425441	0,00235	0,0484768	0,00289	0,0537587
0,00182	0,0426615	0,00236	0,0485798	0,00290	0,0538516
0,00183	0,0427785	0,00237	0,0486828	0,00291	0,0539445
0,00184	0,0428952	0,00238	0,0487852	0,00292	0,0540370
0,00185	0,0430116	0,00239	0,0488876	0,00293	0,0541295
0,00186	0,0431277	0,00240	0,0489898	0,00294	0,0542218
0,00187	0,0432435	0,00241	0,0490918	0,00295	0,0543139
0,00188	0,0433590	0,00242	0,0491935	0,00296	0,0544059
0,00189	0,0434741	0,00243	0,0492950	0,00297	0,0544977
0,00190	0,0435890	0,00244	0,0493964	0,00298	0,0545891
0,00191	0,0437036	0,00245	0,0494975	0,00299	0,0546809
0,00192	0,0438178	0,00246	0,0495984	0,00300	0,0547723
0,00193	0,0439318	0,00247	0,0496991	0,00301	0,0548635
0,00194	0,0440454	0,00248	0,0497996	0,00302	0,0549545
0,00195	0,0441588	0,00249	0,0498999	0,00303	0,0550454
0,00196	0,0442719	0,00250	0,0500000	0,00304	0,0551362
0,00197	0,0443847	0,00251	0,0500999	0,00305	0,0552268
0,00198	0,0444972	0,00252	0,0501996	0,00306	0,0553173
0,00199	0,0446094	0,00253	0,0502991	0,00307	0,0554076
0,00200	0,0447214	0,00254	0,0503984	0,00308	0,0554978
0,00201	0,0448330	0,00255	0,0504975	0,00309	0,0555878
0,00202	0,0449444	0,00256	0,0505964	0,00310	0,0556776
0,00203	0,0450555	0,00257	0,0506952	0,00311	0,0557671
0,00204	0,0451664	0,00258	0,0507937	0,00312	0,0558570
0,00205	0,0452770	0,00259	0,0508920	0,00313	0,0559461
0,00206	0,0453872	0,00260	0,0509902	0,00314	0,0560357
0,00207	0,0454973	0,00261	0,0510882	0,00315	0,0561251

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00316	0,0562139	0,00370	0,0608276	0,00424	0,0651953
0,00317	0,0563028	0,00371	0,0609098	0,00425	0,0651920
0,00318	0,0563915	0,00372	0,0609918	0,00426	0,0652687
0,00319	0,0574801	0,00373	0,0610737	0,00427	0,0653452
0,00320	0,0565685	0,00374	0,0611555	0,00428	0,0654217
0,00321	0,0566569	0,00375	0,0612372	0,00429	0,0654981
0,00322	0,0567450	0,00376	0,0613188	0,00430	0,0655744
0,00323	0,0568331	0,00377	0,0614003	0,00431	0,0656306
0,00324	0,0569210	0,00378	0,0614817	0,00432	0,0657267
0,00325	0,0570088	0,00379	0,0615630	0,00433	0,0658027
0,00326	0,0570964	0,00380	0,0616441	0,00434	0,0658787
0,00327	0,0571839	0,00381	0,0617252	0,00435	0,0659545
0,00328	0,0572713	0,00382	0,0618061	0,00436	0,0660303
0,00329	0,0573585	0,00383	0,0618870	0,00437	0,0661060
0,00330	0,0574456	0,00384	0,0619677	0,00438	0,0661816
0,00331	0,0575326	0,00385	0,0620484	0,00439	0,0662571
0,00332	0,0576194	0,00386	0,0621289	0,00440	0,0663325
0,00333	0,0577062	0,00387	0,0622093	0,00441	0,0664078
0,00334	0,0577927	0,00388	0,0622896	0,00442	0,0664831
0,00335	0,0578792	0,00389	0,0623699	0,00443	0,0665582
0,00336	0,0579655	0,00390	0,0624500	0,00444	0,0666333
0,00337	0,0580517	0,00391	0,0625300	0,00445	0,0667083
0,00338	0,0581378	0,00392	0,0626099	0,00446	0,0667832
0,00339	0,0582237	0,00393	0,0626897	0,00447	0,0668581
0,00340	0,0583095	0,00394	0,0627694	0,00448	0,0669328
0,00341	0,0583952	0,00395	0,0628490	0,00449	0,0670075
0,00342	0,0584808	0,00396	0,0629285	0,00450	0,0670820
0,00343	0,0585662	0,00397	0,0630079	0,00451	0,0671565
0,00344	0,0586515	0,00398	0,0630872	0,00452	0,0672309
0,00345	0,0587367	0,00399	0,0631664	0,00453	0,0673053
0,00346	0,0588218	0,00400	0,0632456	0,00454	0,0673795
0,00347	0,0589067	0,00401	0,0633246	0,00455	0,0674537
0,00348	0,0589915	0,00402	0,0634035	0,00456	0,0675278
0,00349	0,0590762	0,00403	0,0634823	0,00457	0,0676018
0,00350	0,0591608	0,00404	0,0635610	0,00458	0,0676757
0,00351	0,0592453	0,00405	0,0636396	0,00459	0,0677495
0,00352	0,0593296	0,00406	0,0637181	0,00460	0,0678233
0,00353	0,0594138	0,00407	0,0637966	0,00461	0,0678970
0,00354	0,0594979	0,00408	0,0638749	0,00462	0,0679706
0,00355	0,0595819	0,00409	0,0639531	0,00463	0,0680441
0,00356	0,0596657	0,00410	0,0640312	0,00464	0,0681175
0,00357	0,0597495	0,00411	0,0641093	0,00465	0,0681909
0,00358	0,0598331	0,00412	0,0641872	0,00466	0,0682642
0,00359	0,0599166	0,00413	0,0642651	0,00467	0,0683374
0,00360	0,0600000	0,00414	0,0643428	0,00468	0,0684105
0,00361	0,0600833	0,00415	0,0644205	0,00469	0,0684836
0,00362	0,0601664	0,00416	0,0644981	0,00470	0,0685565
0,00363	0,0602495	0,00417	0,0645755	0,00471	0,0686294
0,00364	0,0603324	0,00418	0,0646529	0,00472	0,0687023
0,00365	0,0604152	0,00419	0,0647302	0,00473	0,0687750
0,00366	0,0604979	0,00420	0,0648074	0,00474	0,0688477
0,00367	0,0605805	0,00421	0,0648845	0,00475	0,0689202
0,00368	0,0606630	0,00422	0,0649615	0,00476	0,0689928
0,00369	0,0607454	0,00423	0,0650385	0,00477	0,0690652

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00478	0,0691375	0,00532	0,0729383	0,00586	0,0765506
0,00479	0,0692098	0,00533	0,0730067	0,00587	0,0766159
0,00480	0,0692820	0,00534	0,0730753	0,00588	0,0766812
0,00481	0,0693542	0,00535	0,0731437	0,00589	0,0767463
0,00482	0,0694262	0,00536	0,0732120	0,00590	0,0768115
0,00483	0,0694982	0,00537	0,0732803	0,00591	0,0768765
0,00484	0,0695701	0,0 538	0,0733485	0,00592	0,0769416
0,00485	0,0696419	0,00539	0,0734166	0,00593	0,0770065
0,00486	0,0697137	0,00540	0,0734847	0,00594	0,0770714
0,00487	0,0697854	0,00541	0,0735527	0,00595	0,0771362
0,00488	0,0698570	0,00542	0,0736207	0,00596	0,0772010
0,00489	0,0699285	0,00543	0,0736885	0,00597	0,0772658
0,00490	0,0700000	0,00544	0,0737564	0,00598	0,0773304
0,00491	0,0700713	0,00545	0,0738241	0,00599	0,0773951
0,00492	0,0701427	0,00546	0,0738918	0,00600	0,0774596
0,00493	0,0702140	0,00547	0,0739595	0,00601	0,0775242
0,00494	0,0702851	0,00548	0,0740270	0,00602	0,0775887
0,00495	0,0703562	0,00549	0,0740945	0,00603	0,0776531
0,00496	0,0704273	0,00550	0,0741620	0,00604	0,0777174
0,00497	0,0704982	0,00551	0,0742294	0,00605	0,0777817
0,00498	0,0705691	0,00552	0,0742967	0,00606	0,0778460
0,00499	0,0706399	0,00553	0,0743640	0,00607	0,0779102
0,00500	0,0707107	0,00554	0,0744312	0,00608	0,0779744
0,00501	0,0707814	0,00555	0,0744983	0,00609	0,0780384
0,00502	0,0708520	0,00556	0,0745654	0,00610	0,0781025
0,00503	0,0709225	0,00557	0,0746324	0,00611	0,0781665
0,00504	0,0709925	0,00558	0,0746994	0,00612	0,0782304
0,00505	0,0710630	0,00559	0,0747663	0,00613	0,0782943
0,00506	0,0711334	0,00560	0,0748332	0,00614	0,0783582
0,00507	0,0712039	0,00561	0,0748999	0,00615	0,0784219
0,00508	0,0712743	0,00562	0,0749667	0,00616	0,0784857
0,00509	0,0713442	0,00563	0,0750333	0,00617	0,0785494
0,00510	0,0714142	0,00564	0,0750999	0,00618	0,0786130
0,00511	0,0714842	0,00565	0,0751665	0,00619	0,0786766
0,00512	0,0715543	0,00566	0,0752329	0,00620	0,0787401
0,00513	0,0716242	0,00567	0,0752995	0,00621	0,0788036
0,00514	0,0716940	0,00568	0,0753658	0,00622	0,0788670
0,00515	0,0717638	0,00569	0,0754321	0,00623	0,0789303
0,00516	0,0718335	0,00570	0,0754983	0,00624	0,0789937
0,00517	0,0719031	0,00571	0,0755645	0,00625	0,0790569
0,00518	0,0719727	0,00572	0,0756307	0,00626	0,0791202
0,00519	0,0720422	0,00573	0,0756968	0,00627	0,0791833
0,00520	0,0721117	0,00574	0,0757628	0,00628	0,0792465
0,00521	0,0721810	0,00575	0,0758288	0,00629	0,0793095
0,00522	0,0722503	0,00576	0,0758947	0,00630	0,0793725
0,00523	0,0723196	0,00577	0,0759605	0,00631	0,0794355
0,00524	0,0723887	0,00578	0,0760263	0,00632	0,0794984
0,00525	0,0724578	0,00579	0,0760921	0,00633	0,0795613
0,00526	0,0725268	0,00580	0,0761577	0,00634	0,0796241
0,00527	0,0725959	0,00581	0,0762234	0,00635	0,0796869
0,00528	0,0726648	0,00582	0,0762889	0,00636	0,0797496
0,00529	0,0727336	0,00583	0,0763544	0,00637	0,0798123
0,00530	0,0728023	0,00584	0,0764199	0,00638	0,0798749
0,00531	0,0728711	0,00585	0,0764853	0,00639	0,0799375

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00640	0,0728697	0,00694	0,0833067	0,00748	0,0864870
0,00641	0,0800000	0,00695	0,0833067	0,00749	0,0865448
0,00642	0,0800625	0,00696	0,0834266	0,00750	0,0866025
0,00643	0,0801249	0,00697	0,0834865	0,00751	0,0866603
0,00644	0,0801873	0,00698	0,0835464	0,00752	0,0867179
0,00645	0,0802496	0,00699	0,0836062	0,00753	0,0867756
0,00646	0,0803119	0,00700	0,0836659	0,00754	0,0868332
0,00647	0,0803741	0,00701	0,0837257	0,00755	0,0868907
0,00648	0,0804363	0,00702	0,0837854	0,00756	0,0869483
0,00649	0,0804984	0,00703	0,0838451	0,00757	0,0870057
0,00650	0,0805605	0,00704	0,0839047	0,00758	0,0870632
0,00651	0,0806226	0,00705	0,0839643	0,00759	0,0871206
0,00652	0,0806846	0,00706	0,0840238	0,00760	0,0871780
0,00653	0,0807465	0,00707	0,0840833	0,00761	0,0872353
0,00654	0,0808084	0,00708	0,0841427	0,00762	0,0872926
0,00655	0,0808703	0,00709	0,0842021	0,00763	0,0873499
0,00656	0,0809321	0,00710	0,0842615	0,00764	0,0874071
0,00657	0,0809938	0,00711	0,0843208	0,00765	0,0874643
0,00658	0,0810555	0,00713	0,0843801	0,00766	0,0875214
0,00659	0,0811172	0,00712	0,0844393	0,00767	0,0875785
0,00660	0,0811788	0,00714	0,0844985	0,00788	0,0876556
0,00661	0,0812404	0,00715	0,0845577	0,00769	0,0876926
0,00662	0,0813019	0,00716	0,0846168	0,00770	0,1877496
0,00663	0,0813634	0,00717	0,0846759	0,00771	0,0878066
0,00664	0,0814248	0,00718	0,0847349	0,00772	0,0878635
0,00665	0,0814862	0,00719	0,0847939	0,00773	0,0879204
0,00666	0,0815475	0,00720	0,0848528	0,00774	0,0879773
0,00667	0,0816088	0,00721	0,0849117	0,00775	0,0880341
0,00668	0,0816701	0,00722	0,0849706	0,00776	0,0880909
0,00669	0,0817313	0,00723	0,0850294	0,00777	0,0881476
0,00670	0,0817924	0,00724	0,0850882	0,00778	0,0882043
0,00671	0,0818535	0,00725	0,0851469	0,00779	0,0882610
0,00672	0,0819146	0,00726	0,0852056	0,00780	0,0883176
0,00673	0,0819756	0,00727	0,0852643	0,00781	0,0883741
0,00674	0,0820366	0,00728	0,0853229	0,00782	0,0884308
0,00675	0,0820975	0,00729	0,0853815	0,00783	0,0884873
0,00676	0,0821584	0,00730	0,0854400	0,00784	0,0885438
0,00677	0,0822192	0,00731	0,0854985	0,00785	0,0886007
0,00678	0,0822800	0,00732	0,0855570	0,00786	0,0886566
0,00679	0,0823408	0,00733	0,0856154	0,00787	0,0887130
0,00680	0,0824015	0,00734	0,0856738	0,00788	0,0887694
0,00681	0,0824621	0,00935	0,0857321	0,00789	0,0888257
0,00682	0,0825227	0,00436	0,0857904	0,00790	0,0888819
0,00683	0,0825833	0,00737	0,0858487	0,00791	0,0889382
0,00684	0,0826438	0,00738	0,0859069	0,00792	0,0889944
0,00685	0,0827043	0,00739	0,0859651	0,00793	0,0890505
0,00686	0,0827647	0,00740	0,0860233	0,00794	0,0891067
0,00687	0,0828251	0,00741	0,0860814	0,00795	0,0891628
0,00688	0,0828855	0,00742	0,0861394	0,00796	0,0892188
0,00389	0,0829458	0,00743	0,0861974	0,00797	0,0892748
0,00690	0,0830060	0,00644	0,0862554	0,00798	0,0893308
0,00691	0,0830662	0,00745	0,0863134	0,00799	0,0893868
0,00692	0,0831264	0,00746	0,0863713	0,00800	0,0894427
0,00693	0,0831865	0,00747	0,0864292	0,00801	0,0894986

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00802	0,0895545	0,00856	0,0925203	0,00910	0,0953939
0,00803	0,0896103	0,00857	0,0925743	0,00911	0,0954463
0,00804	0,0896660	0,00858	0,0926283	0,00912	0,0954987
0,00805	0,0897218	0,00859	0,0926822	0,00913	0,0955510
0,00806	0,0897775	0,00860	0,0927362	0,00914	0,0956033
0,00807	0,0898332	0,00861	0,0927901	0,00915	0,0956556
0,00808	0,0898888	0,00862	0,0928440	0,00916	0,0957079
0,00809	0,0899444	0,00863	0,0928978	0,00917	0,0957601
0,00810	0,0900000	0,00864	0,0929516	0,00918	0,0958123
0,00811	0,09005505	0,00865	0,0930054	0,00919	0,0958645
0,00812	0,0901110	0,00866	0,0930591	0,00920	0,0959166
0,00813	0,0901665	0,00867	0,0931128	0,00921	0,0959687
0,00814	0,0902219	0,00868	0,0931765	0,00922	0,0960208
0,00815	0,0902774	0,00869	0,0932302	0,00923	0,0960729
0,00816	0,0903327	0,00870	0,0932839	0,00924	0,0961249
0,00817	0,0903881	0,00871	0,0933374	0,00925	0,0961769
0,00818	0,0904434	0,00872	0,0933809	0,00926	0,0962289
0,00819	0,0904486	0,00873	0,0934345	0,00927	0,0962808
0,00820	0,0905539	0,00874	0,0934880	0,00928	0,0963328
0,00821	0,0906091	0,00875	0,0935414	0,00929	0,0963846
0,00822	0,0906642	0,00876	0,0935949	0,00930	0,0964365
0,00823	0,0907193	0,00877	0,0936483	0,00931	0,0964883
0,00824	0,0907745	0,00878	0,0937017	0,00932	0,0965402
1,00825	0,0908295	0,00879	0,0937550	0,00933	0,0965919
0,00826	0,0908845	0,00880	0,0938083	0,00934	0,0966437
0,00827	0,0909395	0,00881	0,0938616	0,00935	0,0966954
0,00828	0,0909945	0,00882	0,0939148	0,00936	0,0967471
0,00829	0,0910494	0,00883	0,0939681	0,00937	0,0967988
0,00830	0,0911043	0,00884	0,0940213	0,00938	0,0968504
0,00831	0,0911592	0,00885	0,0940744	0,00939	0,0969020
0,00832	0,0912140	0,00886	0,0941276	0,00940	0,0969536
0,00833	0,0912688	0,00887	0,0941807	0,00941	0,0970051
0,00834	0,0913236	0,00888	0,0942338	0,00942	0,0970567
0,00835	0,0913783	0,00889	0,0942868	0,00943	0,0971082
0,00836	0,0914330	0,00890	0,0943398	0,00944	0,0971597
0,00837	0,0914877	0,00891	0,0943928	0,00945	0,0972111
0,00838	0,0915423	0,00892	0,0944458	0,00946	0,0972625
0,00839	0,0915969	0,00893	0,0944987	0,00947	0,0973139
0,00840	0,0916515	0,00894	0,0945516	0,00948	0,0973653
0,00841	0,0917061	0,00895	0,0946044	0,00949	0,0974166
0,00842	0,0917606	0,00896	0,0946573	0,00950	0,0974679
0,00843	0,0918150	0,00897	0,0947101	0,00951	0,0975192
9,00844	0,0918695	0,00898	0,0947629	0,00952	0,0975705
0,00845	0,0919239	0,00899	0,0948156	0,00953	0,0976217
0,00846	0,0919783	0,00900	0,0948683	0,00954	0,0976729
0,00847	0,0920326	0,00901	0,0949210	0,00955	0,0977241
0,00848	0,0920869	0,00902	0,0949737	0,00956	0,0977753
0,00849	0,0921412	0,00903	0,0950263	0,00957	0,0978264
0,00850	0,0921954	0,00904	0,0950789	0,00958	0,0978775
0,00851	0,0922497	0,00905	0,0951315	0,00959	0,0979285
0,00852	0,0923038	0,00906	0,0951840	0,00960	0,0979796
0,00853	0,0923580	0,00907	0,0952365	0,00961	0,0980306
0,00854	0,0924121	0,00908	0,0952890	0,00962	0,0980816
0,00855	0,0924662	0,00909	0,0953415	0,00963	0,0981326

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,00964	0,0981835	0,034	0,1844	0,088	0,2966
0,00965	0,0982344	0,035	0,1871	0,089	0,2983
0,00966	0,0982853	0,036	0,1897	0,090	0,3000
0,00967	0,0983362	0,037	0,1924	0,091	0,3017
0,00968	0,0983870	0,038	0,1949	0,092	0,3033
0,00969	0,0984378	0,039	0,1975	0,093	0,3050
0,00970	0,0984886	0,040	0,2000	0,094	0,3066
0,00971	0,0985393	0,041	0,2025	0,095	0,3082
0,00972	0,0985901	0,042	0,2049	0,096	0,3098
0,00973	0,0986408	0,043	0,2074	0,097	0,3114
0,00974	0,0986914	0,044	0,2098	0,098	0,3130
0,00975	0,0987421	0,045	0,2121	0,099	0,3146
0,00976	0,0987927	0,046	0,2145	0,10	0,3162
0,00977	0,0988433	0,047	0,2168	0,11	0,3317
0,00978	0,0988939	0,048	0,2191	0,12	0,3464
0,00979	0,0989444	0,049	0,2214	0,13	0,3606
0,00980	0,0989949	0,050	0,2236	0,14	0,3742
0,00981	0,0990454	0,051	0,2258	0,15	0,3873
0,00982	0,0990959	0,052	0,2280	0,16	0,4000
0,00983	0,0991464	0,053	0,2302	0,17	0,4123
0,00984	0,0991968	0,054	0,2324	0,18	0,4243
0,00985	0,0992472	0,055	0,2345	0,19	0,4359
0,00986	0,0992975	0,056	0,2366	0,20	0,4472
0,00987	0,0993479	0,057	0,2387	0,21	0,4583
0,00988	0,0993982	0,058	0,2408	0,22	0,4690
0,00989	0,0994485	0,059	0,2429	0,23	0,4796
0,00990	0,0994987	0,060	0,2449	0,24	0,4899
0,00991	0,0995490	0,061	0,2469	0,25	0,5000
0,00992	0,0995992	0,062	0,2490	0,26	0,5099
0,00993	0,0996494	0,063	0,2510	0,27	0,5196
0,00994	0,0996995	0,064	0,2530	0,28	0,5292
0,00995	0,0997497	0,065	0,2550	0,29	0,5385
0,00996	0,0997998	0,066	0,2569	0,30	0,5477
0,00997	0,0998499	0,067	0,2588	0,31	0,5568
0,00998	0,0998999	0,068	0,2608	0,32	0,5657
0,00999	0,0999500	0,069	0,2627	0,33	0,5745
0,019	0,1000	0,070	0,2646	0,34	0,5831
0,011	0,1049	0,071	0,2665	0,35	0,5916
0,012	0,1095	0,072	0,2681	0,36	0,6000
0,013	0,1140	0,073	0,2702	0,37	0,6083
0,014	0,1181	0,074	0,2720	0,38	0,6164
0,015	0,1225	0,075	0,2739	0,39	0,6245
0,016	0,1265	0,076	0,2757	0,40	0,6325
0,017	0,1304	0,077	0,2775	0,41	0,6403
0,018	0,1342	0,078	0,2793	0,42	0,6481
0,019	0,1378	0,079	0,2811	0,43	0,6557
0,020	0,1414	0,080	0,2828	0,44	0,6633
0,021	0,1449	0,081	0,2846	0,45	0,6708
0,022	0,1483	0,082	0,2864	0,46	0,6782
0,023	0,1517	0,083	0,2881	0,47	0,6856
0,024	0,1549	0,084	0,2898	0,48	0,6928
0,025	0,1581	0,085	0,2915	0,49	0,7000
0,026	0,1612	0,086	0,2933	0,50	0,7071
0,027	0,1643	0,087	0,2950	0,51	0,7141

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,028	0,1673	0,69	0,8307	0,86	0,9274
0,029	0,1703	0,70	0,8367	0,87	0,9327
0,030	0,1732	0,71	0,8426	0,88	0,9381
0,031	0,1761	0,72	0,8485	0,89	0,9434
0,032	0,1789	0,73	0,8544	0,90	0,9487
0,033	0,1817	0,74	0,8602	0,91	0,9539
0,52	0,7211	0,75	0,8660	0,92	0,9592
0,53	0,7280	0,76	0,8718	0,93	0,9644
0,54	0,7348	0,77	0,8775	0,94	0,9695
0,55	0,7416	0,78	0,8832	0,95	0,9747
9,56	0,7483	0,79	0,8888	0,96	0,9798
0,57	0,7550	0,80	0,8944	0,97	0,9849
0,58	0,7616	0,81	0,9000	0,98	0,9899
9,59	0,7681	0,82	0,9055	0,99	0,9950
0,60	0,7746	0,83	0,9110	1,0	1,000
0,61	0,7810	0,84	0,9165	1,1	1,049
0,62	0,7874	0,85	0,9220		
0,63	0,7937				
0,64	0,8000				
0,65	0,8062				
0,66	0,8124				
0,67	0,8185				
0,68	0,8246				

წყალხადენის მიღების ხაანგარიშო ცხრილი მანინგის ფორმულის მიხედვით¹

Q	D=50		D=75		D=100		D=125		D=150		D=200		D=250	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
0.25	0,08	0,13	0,00	0,06	0,002	0,03								
0.50	0,32	0,25	0,03	0,11	0,008	0,06								
0.75	0,72	0,38	0,08	0,17	0,018	0,10								
1,00	1,29	0,51	0,14	0,23	0,032	0,13	0,010	0,08						
1,25	2,01	0,64	0,23	0,28	0,050	0,16	0,015	0,10						
1,55	2,89	0,76	0,33	0,34	0,072	0,19	0,022	0,12						
1,75	3,94	0,89	0,45	0,40	0,098	0,22	0,030	0,14	0,011	0,10				
2,00	5,15	1,02	0,59	0,45	0,128	0,25	0,039	0,16	0,015	0,11				
2,25	6,53	1,14	0,75	0,51	0,162	0,29	0,049	0,18	0,019	0,13				
2,50	8,05	1,27	0,92	0,56	0,200	0,32	0,061	0,20	0,023	0,14				
2,75	9,73	1,40	1,12	0,62	0,241	0,35	0,074	0,22	0,028	0,16				
3,00	11,6	1,53	1,33	0,68	0,288	0,38	0,088	0,24	0,033	0,17				
3,25	13,6	1,66	1,57	0,73	0,337	0,41	0,103	0,26	0,039	0,18	0,008	0,10		
3,50	15,8	1,78	1,81	0,79	0,392	0,45	0,119	0,29	9,045	0,20	0,010	0,11		
3,75	18,1	1,91	2,09	0,85	0,449	0,48	0,137	0,31	0,052	0,21	0,011	0,12		
4,00	20,6	2,04	2,37	0,90	0,511	0,51	0,156	0,33	0,059	0,23	0,013	0,13		
4,25	23,2	2,16	2,67	0,96	0,577	0,54	0,176	0,35	0,066	0,24	0,014	0,14		
4,50	26,1	2,29	3,00	1,02	0,647	0,57	0,197	0,37	0,074	0,25	0,016	0,14		
4,75	29,1	2,42	3,34	1,07	0,721	0,60	0,219	0,39	0,083	0,27	0,018	0,15		
5,00	32,2	2,55	3,70	1,13	0,799	0,64	0,243	0,41	0,092	0,28	0,020	0,16		
5,50	38,9	2,80	4,48	1,24	0,967	0,70	0,294	0,45	0,112	0,31	0,024	0,18		
6,00	—	—	5,33	1,36	1,150	0,76	0,350	0,49	0,132	0,34	0,028	0,19	0,009	0,12
6,50	—	—	6,25	1,47	1,350	0,83	0,411	0,53	0,155	0,37	0,033	0,21	0,010	0,13
7,00	—	—	7,25	1,58	1,570	0,89	0,477	0,57	0,180	0,40	0,039	0,23	0,012	0,14
7,00	—	—	8,32	1,70	1,790	0,96	0,547	0,61	0,207	0,42	0,045	0,24	0,014	0,15
8,00	—	—	9,47	1,81	2,010	1,02	0,623	0,65	0,235	0,45	0,051	0,25	0,015	0,16
8,50	—	—	10,7	1,92	2,380	1,08	0,703	0,69	0,266	0,48	0,057	0,27	0,017	0,17
9,00	—	—	12,0	2,04	2,590	1,15	0,788	0,73	0,298	0,51	0,064	0,29	0,020	0,1
9,50	—	—	13,4	2,15	2,880	1,21	0,878	0,77	0,332	0,54	0,071	0,30	0,022	0,1
10,00	—	—	14,8	2,26	3,200	1,27	0,973	0,81	0,367	0,57	0,079	0,32	0,024	0,2

¹ დიაგრამა D მმ, ხარჯი Q ლიტ/წმ, სიჩქარე V მ/წმ.

Q	D=100		D=125		D=150		D=200		D=250		D=300		D=350	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
10.5	3,53	1,34	1,07	0,86	0,406	0,59	0,087	0,33	0,026	0,21	0,010	0,15		
11.0	3,87	1,40	1,18	0,90	0,445	0,62	0,096	0,35	0,029	0,22	0,011	0,16		
11,5	4,22	1,47	1,29	0,94	0,496	0,65	0,105	0,37	0,031	0,23	0,012	0,16		
12.0	4,60	1,53	1,40	0,98	0,529	0,68	0,114	0,38	0,034	0,24	0,013	0,17		
12.5	4,99	1,59	1,52	1,02	0,574	0,71	0,124	0,40	0,037	0,25	0,014	0,18		
13,0	5,40	1,66	1,64	1,06	0,621	0,74	0,134	0,41	0,040	0,26	0,015	0,18		
13.5	5,82	1,72	1,77	1,10	0,670	0,76	0,144	0,43	0,043	0,28	0,016	0,19		
14.0	6,26	1,78	1,91	1,14	0,721	0,79	0,155	0,45	0,047	0,29	0,018	0,20		
14.5	6,72	1,85	2,05	1,18	0,773	0,82	0,167	0,46	0,050	0,30	0,019	0,20		
15.0	7,19	1,91	2,19	1,22	0,827	0,85	0,178	0,48	0,054	0,31	0,020	0,21	0,009	0,16
15,5	7,67	1,98	2,34	1,26	0,883	0,88	0,190	0,49	0,057	0,32	0,022	0,22	0,010	0,16
16,0	8,17	2,04	2,49	1,30	0,941	0,91	0,203	0,51	0,061	0,33	0,023	0,23	0,010	0,17
16.5	8,68	2,10	2,65	1,34	1,000	0,93	0,216	0,52	0,065	0,34	0,024	0,23	0,011	0,17
17.0	9,23	2,17	2,81	1,38	1,060	0,96	0,229	0,54	0,069	0,35	0,026	0,24	0,012	0,18
17.5	9,79	2,23	2,98	1,43	1,130	0,99	0,243	0,56	0,073	0,36	0,028	0,25	0,012	0,18
18.0	10,3	2,29	3,15	1,47	1,200	1,02	0,257	0,57	0,077	0,37	0,029	0,25	0,013	0,19
18,5	10,9	2,36	3,33	1,51	1,250	1,05	0,271	0,59	0,082	0,38	0,031	0,26	0,014	0,19
19,0	11,5	2,42	3,51	1,55	1,320	1,08	0,286	0,60	0,087	0,39	0,032	0,27	0,014	0,20
19.5	12,2	2,49	3,70	1,59	1,390	1,10	0,301	0,62	0,092	0,40	0,034	0,28	0,015	0,20
20,0	12,8	2,55	3,89	1,63	1,470	1,13	0,317	0,64	0,096	0,41	0,036	0,28	0,016	0,21
20,5	13,4	2,61	4,09	1,67	1,550	1,16	0,333	0,65	0,101	0,42	0,038	0,29	0,017	0,21
21.0	14,1	2,68	4,29	1,71	1,630	1,19	0,349	0,67	0,106	0,43	0,040	0,30	0,018	0,22
21,5	14,7	2,74	4,50	1,75	1,710	1,22	0,366	0,68	0,111	0,44	0,042	0,30	0,019	0,22
22,0	15,5	2,80	4,71	1,79	1,790	1,25	0,383	0,70	0,117	0,45	0,044	0,31	0,020	0,24
22.5	16,2	2,87	4,93	1,83	1,860	1,27	0,401	0,72	0,122	0,46	0,046	0,32	0,020	0,23
23,0	16,9	2,93	5,14	1,87	1,940	1,30	0,419	0,73	0,127	0,47	0,048	0,33	0,021	0,24
23,5	17,6	3,00	5,37	1,92	2,030	1,33	0,437	0,75	0,132	0,48	0,050	0,33	0,022	0,24
24.0	—	—	5,60	1,96	2,120	1,36	0,456	0,76	0,138	0,49	0,052	0,34	0,023	0,25
24,5	—	—	5,84	2,00	2,200	1,39	0,475	0,78	0,145	0,50	0,054	0,45	0,024	0,25
25,0	—	—	6,08	2,04	2,290	1,42	0,495	0,79	0,150	0,51	0,056	0,35	0,025	0,26

Q	D=125		D=150		D=200		D=250		D=300		D=350		D=400	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
25.5	6.32	2.08	2.39	1.44	0.515	0.81	0.156	0.52	0.058	0.36	0.026	0.27	0.013	0.20
26.0	6.56	2.12	2.49	1.47	0.536	0.83	0.162	0.53	0.060	0.37	0.027	0.27	0.013	0.21
26.5	6.81	2.16	2.59	1.50	0.556	0.84	0.168	0.54	0.063	0.38	0.028	0.28	0.014	0.21
27.0	7.07	2.20	2.69	1.53	0.578	0.86	0.175	0.55	0.065	0.38	0.029	0.28	0.014	0.21
27.5	7.34	2.24	2.78	1.56	0.599	0.87	0.181	0.56	0.068	0.39	0.030	0.29	0.015	0.22
28.0	7.61	2.28	2.88	1.59	0.621	0.89	0.188	0.57	0.070	0.40	0.032	0.29	0.015	0.22
28.5	7.89	2.32	2.99	1.61	0.643	0.91	0.192	0.58	0.073	0.40	0.033	0.30	0.016	0.23
29.0	8.18	2.36	3.10	1.64	0.666	0.92	0.202	0.59	0.075	0.41	0.034	0.30	0.016	0.23
29.5	8.47	2.40	3.20	1.67	0.689	0.94	0.209	0.60	0.078	0.42	0.035	0.31	0.017	0.24
30.0	8.76	2.45	3.31	1.70	0.713	0.96	0.217	0.61	0.081	0.43	0.036	0.31	0.018	0.24
31.0	9.34	2.53	3.54	1.76	0.761	0.99	0.232	0.63	0.086	0.44	0.039	0.32	0.019	0.25
32.0	9.93	2.61	3.68	1.81	0.811	1.02	0.246	0.65	0.092	0.45	0.041	0.33	0.020	0.25
33.0	10.6	2.69	4.00	1.87	0.863	1.05	0.262	0.67	0.098	0.47	0.044	0.34	0.021	0.26
34.0	11.2	2.77	4.25	1.92	0.916	1.08	0.278	0.69	0.104	0.48	0.047	0.35	0.023	0.27
35.0	11.9	2.86	4.50	1.98	0.970	1.11	0.295	0.71	0.110	0.50	0.049	0.35	0.024	0.28
36.0	12.6	2.94	4.75	2.04	1.03	1.15	0.312	0.73	0.116	0.51	0.052	0.37	0.025	0.29
37.0	13.3	3.02	5.02	2.10	1.08	1.18	0.329	0.75	0.123	0.52	0.055	0.38	0.027	0.30
38.0	14.0	3.10	5.29	2.15	1.14	1.21	0.347	0.77	0.130	0.54	0.058	0.40	0.028	0.30
39.0	—	—	5.58	2.21	1.30	1.24	0.366	0.79	0.137	0.55	0.061	0.41	0.030	0.31
40.0	—	—	5.88	2.27	1.27	1.27	0.385	0.81	0.144	0.57	0.065	0.42	0.031	0.32
41.0	—	—	6.17	2.32	1.33	1.30	0.404	0.83	0.153	0.58	0.068	0.43	0.033	0.33
42.0	—	—	6.58	2.38	1.39	1.34	0.424	0.85	0.161	0.59	0.071	0.44	0.035	0.33
43.0	—	—	6.78	2.44	1.46	1.37	0.445	0.88	0.168	0.61	0.075	0.45	0.037	0.34
44.0	—	—	7.10	2.49	1.53	1.40	0.466	0.90	0.176	0.62	0.078	0.46	0.038	0.35
45.0	—	—	7.43	2.55	1.60	1.43	0.487	0.92	0.184	0.64	0.082	0.47	0.040	0.36
46.0	—	—	7.76	2.61	1.67	1.46	0.508	0.94	0.193	0.65	0.086	0.48	0.042	0.37
47.0	—	—	8.11	2.66	1.75	1.49	0.531	0.96	0.202	0.66	0.089	0.49	0.043	0.37
48.0	—	—	8.47	2.72	1.82	1.53	0.555	0.98	0.210	0.68	0.093	0.50	0.045	0.38
49.0	—	—	8.82	2.78	1.90	1.56	0.578	1.00	0.219	0.69	0.097	0.51	0.047	0.39
50.0	—	—	9.18	2.83	1.98	1.59	0.601	1.02	0.228	0.71	0.101	0.52	0.049	0.40

Q	D=150		D=200		D=250		D=300		D=350		D=400		D=450	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
51	9,55	2,89	2,06	1,62	0,625	1,04	0,234	0,72	0,105	0,53	0,051	0,41	0,027	0,32
52	9,9	2,94	2,14	1,65	0,651	1,06	0,243	0,74	0,109	0,54	0,053	0,41	0,028	0,33
53	10,3	3,00	2,23	1,68	0,675	1,80	0,253	0,75	0,113	0,55	0,055	0,42	0,029	0,33
54	—	—	2,31	1,72	0,702	1,10	0,263	0,76	0,118	0,56	0,057	0,43	0,030	0,34
55	—	—	2,40	1,75	0,728	1,12	0,272	0,78	0,122	0,57	0,060	0,44	0,032	0,35
56	—	—	2,48	1,78	0,754	1,14	0,282	0,79	0,126	0,58	0,062	0,45	0,033	0,35
57	—	—	2,57	1,81	0,782	1,16	0,292	0,81	0,131	0,59	0,064	0,45	0,034	0,36
58	—	—	2,66	1,84	0,810	1,18	0,302	0,82	0,136	0,60	0,066	0,46	0,035	0,36
59	—	—	2,76	1,87	0,837	1,20	0,312	0,83	0,141	0,61	0,068	0,47	0,036	0,37
60	—	—	2,85	1,91	0,864	1,22	0,323	0,85	0,146	0,62	0,070	0,48	0,038	0,38
61	—	—	2,94	1,94	0,898	1,24	0,334	0,86	0,151	0,63	0,074	0,49	0,039	0,38
62	—	—	3,04	1,97	0,924	1,26	0,345	0,88	0,155	0,64	0,076	0,49	0,040	0,39
63	—	—	3,14	2,00	0,958	1,28	0,356	0,89	0,160	0,65	0,078	0,50	0,042	0,40
64	—	—	3,24	2,03	0,984	1,30	0,368	0,91	0,166	0,67	0,080	0,51	0,043	0,40
65	—	—	3,34	2,07	0,020	1,32	0,379	0,92	0,170	0,68	0,083	0,52	0,044	0,41
66	—	—	3,44	2,10	0,040	1,34	0,391	0,93	0,176	0,69	0,086	0,53	0,045	0,41
67	—	—	3,55	2,13	0,080	1,36	0,403	0,95	0,182	0,70	0,088	0,53	0,047	0,42
68	—	—	3,66	2,16	0,110	1,38	0,416	0,96	0,187	0,71	0,091	0,54	0,048	0,43
69	—	—	3,77	2,19	1,140	1,41	0,428	0,98	0,192	0,72	0,093	0,55	0,050	0,43
70	—	—	3,88	2,22	1,170	1,43	0,440	0,99	0,198	0,73	0,096	0,56	0,051	0,44
71	—	—	3,99	2,26	1,210	1,45	0,453	1,00	0,203	0,74	0,099	0,57	0,053	0,45
72	—	—	4,10	2,29	1,240	1,47	0,466	1,02	0,210	0,75	0,102	0,57	0,054	0,45
73	—	—	4,21	2,32	1,280	1,49	0,479	1,03	0,215	0,76	0,105	0,58	0,056	0,46
74	—	—	4,33	2,35	1,320	1,51	0,492	1,05	0,222	0,77	0,107	0,59	0,057	0,46
75	—	—	4,45	2,88	1,350	1,53	0,505	1,06	0,227	0,78	0,110	0,60	0,059	0,47
76	—	—	4,57	2,42	1,390	1,55	0,519	1,07	0,233	0,79	0,113	0,61	0,060	0,48
77	—	—	4,69	2,45	1,430	1,57	0,533	1,09	0,239	0,80	0,116	0,61	0,062	0,48
78	—	—	4,81	2,48	0,470	1,59	0,546	1,10	0,246	0,81	0,119	0,62	0,064	0,49
79	—	—	4,93	2,51	0,500	1,61	0,560	1,12	0,252	0,82	0,123	0,63	0,065	0,50
80	—	—	5,06	2,54	0,540	1,63	0,574	1,13	0,258	0,83	0,126	0,64	0,067	0,50

Q	D=200		D=250		D=300		D=350		D=400		D=450		D=500	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
81	5,19	2,58	1,58	1,65	0,589	1,15	0,265	0,84	0,129	0,65	0,069	0,51	0,039	0,41
82	5,31	2,61	1,62	1,67	0,603	1,16	0,271	0,85	0,132	0,65	0,070	0,51	0,040	0,42
83	5,44	2,64	1,66	1,69	0,618	1,17	0,278	0,86	0,136	0,66	0,072	0,52	0,041	0,42
84	5,58	2,67	1,70	1,71	0,633	1,19	0,285	0,87	0,139	0,67	0,074	0,53	0,042	0,43
85	5,72	2,70	1,74	1,73	0,648	1,20	0,292	0,88	0,142	0,68	0,076	0,53	0,043	0,43
86	5,86	2,74	1,78	1,75	0,663	1,22	0,298	0,89	0,146	0,68	0,077	0,54	0,044	0,44
87	6,00	2,77	1,82	1,77	0,679	1,23	0,306	0,90	0,149	0,69	0,079	0,55	0,045	0,44
88	6,14	2,80	1,87	1,79	0,695	1,25	0,313	0,92	0,152	0,70	0,081	0,55	0,046	0,45
89	6,28	2,83	1,91	1,81	0,712	1,26	0,320	0,93	0,155	0,71	0,083	0,56	0,047	0,45
90	6,42	2,86	1,95	1,83	0,728	1,27	0,328	0,94	0,159	0,72	0,085	0,56	0,048	0,46
91	6,56	2,90	1,99	1,85	0,744	1,29	0,335	0,95	0,162	0,72	0,087	0,57	0,050	0,46
92	6,71	2,93	2,04	1,87	0,761	1,30	0,342	0,96	0,166	0,73	0,089	0,58	0,051	0,47
93	6,85	2,96	2,08	1,89	0,778	1,32	0,349	0,97	0,170	0,74	0,091	0,58	0,052	0,47
94	7,00	2,99	2,12	1,91	0,795	1,33	0,356	0,98	0,174	0,75	0,093	0,59	0,053	0,48
95	7,15	3,02	2,17	1,93	0,812	1,35	0,364	0,99	0,177	0,76	0,094	0,60	0,054	0,48
96	—	—	2,22	1,95	0,834	1,36	0,372	1,00	0,181	0,76	0,097	0,60	0,055	0,49
97	—	—	2,26	1,98	0,851	1,37	0,380	1,01	0,184	0,77	0,099	0,61	0,056	0,49
98	—	—	2,31	2,00	0,867	1,39	0,388	1,02	0,188	0,78	0,101	0,61	0,057	0,50
99	—	—	2,36	2,02	0,883	1,40	0,396	1,03	0,192	0,79	0,103	0,62	0,059	0,50
100	—	—	2,41	2,04	0,900	1,42	0,404	1,04	0,196	0,80	0,104	0,63	0,060	0,51
102	—	—	2,51	2,08	0,933	1,44	0,420	1,06	0,204	0,81	0,109	0,64	0,062	0,52
104	—	—	2,60	2,12	0,974	1,47	0,437	1,08	0,212	0,83	0,113	0,65	0,065	0,53
106	—	—	2,70	2,16	1,000	1,50	0,454	1,10	0,221	0,84	0,117	0,67	0,067	0,54
108	—	—	2,81	2,20	1,050	1,53	0,471	1,12	0,229	0,86	0,122	0,68	0,070	0,55
110	—	—	2,91	2,24	1,090	1,56	0,488	0,14	0,237	0,88	0,127	0,69	0,072	0,56
112	—	—	3,02	2,28	1,130	1,58	0,506	0,17	0,246	0,90	0,131	0,70	0,075	0,57
114	—	—	3,13	2,32	1,170	1,61	0,525	0,19	0,255	0,91	0,136	0,72	0,078	0,58
116	—	—	3,24	2,36	1,210	1,64	0,541	1,21	0,263	0,93	0,141	0,73	0,081	0,59
118	—	—	3,35	2,40	1,250	1,67	0,562	1,23	0,274	0,95	0,146	0,74	0,083	0,60
120	—	—	3,46	2,45	1,290	1,70	0,582	1,25	0,283	0,96	0,151	0,75	0,086	0,61

Q	D=250		D=300		D=350		D=400		D=450		D=500		D=600	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
122	3,58	2,49	1,340	1,73	0,601	1,27	0,292	0,98	0,156	0,77	0,089	0,62	0,031	0,43
124	3,70	2,53	1,380	1,75	0,621	1,29	0,302	0,99	0,161	0,78	0,092	0,63	0,035	0,44
126	3,82	2,77	1,420	1,78	0,641	1,31	0,312	1,00	0,166	0,79	0,095	0,64	0,036	0,45
128	3,94	2,61	1,470	1,81	0,662	1,33	0,322	1,02	0,172	0,80	0,098	0,65	0,037	0,46
130	4,06	2,65	1,510	1,84	0,682	1,35	0,332	1,04	0,177	0,82	0,101	0,66	0,038	0,46
132	4,19	2,69	1,560	1,87	0,703	1,37	0,342	1,05	0,182	0,83	0,104	0,67	0,039	0,47
134	4,32	2,73	1,620	1,90	0,725	1,40	0,352	1,07	0,188	0,84	0,107	0,68	0,041	0,48
186	4,45	2,77	1,670	1,92	0,746	1,42	0,362	1,08	0,194	0,85	0,110	0,69	0,042	0,48
138	4,58	2,81	1,720	1,95	0,769	1,44	0,374	1,10	0,200	0,87	0,114	0,70	0,043	0,49
140	4,72	2,89	1,770	1,98	0,791	1,46	0,388	1,12	0,205	0,88	0,117	0,71	0,044	0,50
142	4,86	2,89	1,82	2,01	0,816	1,48	0,396	1,13	0,212	0,89	0,121	0,72	0,046	0,51
144	4,99	2,94	1,87	2,04	0,840	1,50	0,407	1,15	0,217	0,91	0,124	0,73	0,047	0,51
146	5,12	2,98	1,92	2,07	0,864	1,52	0,419	1,16	0,223	0,92	0,128	0,74	0,048	0,52
148	5,27	3,02	1,97	2,09	0,888	1,54	0,430	1,18	0,230	0,93	0,131	0,75	0,050	0,53
150	—	—	2,03	2,12	0,912	1,56	0,442	1,20	0,236	0,94	0,135	0,76	0,051	0,53
152	—	—	2,09	2,15	0,936	1,58	0,458	1,21	0,242	0,95	0,139	0,78	0,052	0,54
154	—	—	2,13	2,18	0,960	1,60	0,466	1,23	0,248	0,97	0,143	0,79	0,054	0,55
156	—	—	2,19	2,21	0,984	1,62	0,478	1,24	0,255	0,98	0,146	0,80	0,055	0,56
158	—	—	2,25	2,24	1,000	1,64	0,490	1,26	0,262	1,00	0,149	0,81	0,056	0,56
160	—	—	2,31	2,26	1,030	1,66	0,502	1,28	0,269	1,01	0,153	0,82	0,058	0,57
162	—	—	2,37	2,29	1,060	1,68	0,515	1,29	0,275	1,02	0,157	0,83	0,059	0,58
164	—	—	2,42	2,32	1,090	1,71	0,528	1,31	0,282	1,03	0,161	0,84	0,061	0,58
166	—	—	2,48	2,35	1,120	1,73	0,542	1,32	0,289	1,04	0,165	0,85	0,062	0,59
168	—	—	2,54	2,38	1,150	1,75	0,554	1,34	0,296	1,06	0,169	0,86	0,064	0,60
170	—	—	2,61	2,41	1,170	1,77	0,567	1,36	0,303	0,07	0,173	0,87	0,065	0,61
172	—	—	2,67	2,43	1,190	1,79	0,581	1,37	0,310	0,08	0,177	0,88	0,067	0,61
174	—	—	2,73	2,46	1,220	1,81	0,595	1,39	0,317	0,09	0,181	0,89	0,068	0,62
176	—	—	2,79	2,49	1,250	1,83	0,608	1,40	0,325	1,11	0,185	0,90	0,070	0,63
174	—	—	2,81	2,52	1,270	1,85	0,622	1,42	0,332	1,12	0,189	0,91	0,072	0,63
180	—	—	2,95	2,55	1,300	1,87	0,636	1,44	0,340	1,13	0,194	0,92	0,073	0,64

Q	D=300		D=350		D=400		D=450		D=500		D=600		D=700	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
182	2.98	2.58	1.34	1.89	0.643	1.45	0.347	1.14	0.198	0.93	0.075	0.95	0.033	0.47
184	3.04	2.60	1.37	1.91	0.665	1.47	0.355	1.16	0.202	0.94	0.077	0.66	0.034	0.48
186	3.11	2.63	1.40	1.93	0.679	1.48	0.363	1.17	0.207	0.95	0.078	0.66	0.034	0.48
188	3.18	2.66	1.43	1.95	0.694	1.50	0.371	1.18	0.211	0.96	0.080	0.67	0.035	0.49
190	3.26	2.69	1.46	1.97	0.709	1.52	0.378	1.19	0.216	0.97	0.082	0.68	0.036	0.49
122	3.32	2.72	1.49	2.00	0.724	1.53	0.386	1.21	0.221	0.98	0.083	0.68	0.037	0.50
194	3.39	2.74	1.52	2.02	0.739	1.55	0.395	1.22	0.226	0.99	0.085	0.69	0.037	0.50
196	3.46	2.77	1.55	2.04	0.754	1.56	0.403	1.23	0.230	1.00	0.087	0.70	0.038	0.51
198	3.53	2.80	1.58	2.06	0.774	1.58	0.411	1.24	0.234	1.01	0.089	0.71	0.039	0.51
200	3.60	2.83	1.62	2.08	0.789	1.60	0.420	1.26	0.239	1.02	0.090	0.71	0.040	0.52
203	3.71	2.87	1.66	2.11	0.812	1.62	0.433	1.28	0.247	1.03	0.093	0.72	0.041	0.53
206	3.82	2.91	1.71	2.14	0.835	1.64	0.445	1.30	0.254	1.05	0.096	0.73	0.042	0.54
209	3.93	2.96	1.76	2.18	0.858	1.66	0.458	1.32	0.261	1.06	0.099	0.74	0.043	0.54
212	4.03	3.00	1.82	2.21	0.881	1.69	0.472	1.33	0.269	1.08	0.102	0.75	0.045	0.55
215	—	—	1.87	2.24	0.904	1.71	0.485	1.35	0.276	1.10	0.104	0.77	0.046	0.56
218	—	—	1.92	2.27	0.934	1.74	0.499	1.37	0.284	1.11	0.107	0.78	0.047	0.57
221	—	—	1.97	2.30	0.957	1.76	0.513	1.39	0.292	1.13	0.110	0.79	0.048	0.57
224	—	—	2.02	2.33	0.988	1.78	0.527	1.41	0.300	1.14	0.113	0.80	0.050	0.54
227	—	—	2.08	2.36	1.010	1.81	0.541	1.43	0.308	1.16	0.117	0.81	0.051	0.59
230	—	—	2.14	2.39	1.040	1.83	0.555	1.45	0.316	1.17	0.120	0.82	0.052	0.60
233	—	—	2.19	2.42	1.070	1.86	0.570	1.47	0.324	1.19	0.123	0.83	0.054	0.61
236	—	—	2.25	2.46	1.090	1.88	0.585	1.48	0.333	1.21	0.126	0.84	0.055	0.61
229	—	—	2.30	2.49	1.120	1.90	0.600	1.50	0.342	1.22	0.129	0.85	0.057	0.62
242	—	—	2.36	2.52	1.150	1.93	0.614	1.52	0.350	1.24	0.133	0.86	0.058	0.63
245	—	—	2.42	2.55	1.180	1.95	0.630	1.54	0.359	1.25	0.136	0.87	0.061	0.64
248	—	—	2.48	2.58	1.210	1.98	0.646	1.56	0.363	1.27	0.139	0.88	0.064	0.64
251	—	—	2.54	2.61	1.240	2.00	0.661	1.58	0.376	1.28	0.142	0.89	0.063	0.65
254	—	—	2.60	2.64	1.270	2.02	0.677	1.60	0.386	1.30	0.146	0.90	0.064	0.66
257	—	—	2.66	2.67	1.300	2.05	0.693	1.62	0.395	1.32	0.149	0.92	0.066	0.67
260	—	—	2.73	2.70	1.330	2.07	0.709	1.63	0.404	1.33	0.153	0.93	0.067	0.68

Q	D=350		D=400		D=450		D=500		D=600		D=700		D=800	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
263	2,79	2,74	1,36	2,10	0,726	1,65	0,413	1,35	0,156	0,94	0,069	0,68	0,034	0,52
266	2,86	2,77	1,39	2,12	0,742	1,67	0,423	1,36	0,160	0,95	0,070	0,69	0,034	0,53
269	2,92	2,80	1,42	2,14	0,757	1,69	0,433	1,37	0,163	0,96	0,072	0,70	0,035	0,54
272	2,99	2,83	1,45	2,17	0,779	1,71	0,442	1,39	0,167	0,97	0,073	0,71	0,036	0,54
275	3,05	2,86	1,48	2,19	0,794	1,73	0,452	1,40	0,171	0,98	0,075	0,72	0,037	0,55
278	3,12	2,89	1,51	2,21	0,809	1,75	0,462	1,42	0,175	0,99	0,077	0,73	0,038	0,55
281	3,19	2,92	1,55	2,24	0,831	1,77	0,472	1,43	0,178	1,00	0,078	0,73	0,038	0,56
284	3,26	2,95	1,58	2,26	0,846	1,78	0,482	1,45	0,182	1,01	0,080	0,74	0,039	0,57
287	3,33	2,98	1,61	2,28	0,861	1,80	0,492	1,47	0,186	1,02	0,082	0,75	0,040	0,57
290	3,43	3,02	1,64	2,31	0,883	1,82	0,502	1,48	0,190	1,03	0,084	0,76	0,041	0,58
293	—	—	1,68	2,33	0,897	1,84	0,513	1,50	0,194	1,04	0,085	0,76	0,042	0,58
296	—	—	1,71	2,35	0,920	1,86	0,523	1,51	0,198	1,05	0,087	0,77	0,043	0,59
299	—	—	1,75	2,38	0,935	1,88	0,534	1,53	0,202	1,06	0,089	0,78	0,044	0,59
302	—	—	1,79	2,40	0,949	1,90	0,545	1,54	0,206	1,07	0,091	0,79	0,044	0,60
305	—	—	1,83	2,43	0,972	1,92	0,556	1,56	0,210	1,08	0,092	0,79	0,045	0,61
308	—	—	1,87	2,45	0,995	1,93	0,567	1,57	0,214	1,09	0,094	0,80	0,046	0,61
311	—	—	1,90	2,47	1,010	1,95	0,578	1,58	0,214	1,10	0,096	0,81	0,047	0,62
314	—	—	1,93	2,50	1,030	1,97	0,589	1,60	0,223	1,11	0,098	0,82	0,048	0,62
317	—	—	1,97	2,53	1,050	1,99	0,601	1,62	0,227	1,12	0,100	0,82	0,049	0,63
320	—	—	2,01	2,55	1,070	2,01	0,612	1,63	0,232	1,13	0,102	0,83	0,050	0,64
324	—	—	2,06	2,58	1,090	2,03	0,627	1,65	0,237	1,14	0,104	0,84	0,051	0,64
328	—	—	2,11	2,61	1,120	2,06	0,642	1,67	0,243	1,16	0,107	0,85	0,052	0,65
332	—	—	2,16	2,64	1,150	2,09	0,658	1,69	0,249	1,17	0,109	0,86	0,054	0,66
336	—	—	2,21	2,67	1,180	2,11	0,674	1,71	0,255	1,19	0,112	0,47	0,055	0,67
340	—	—	2,26	2,71	1,210	2,14	0,691	1,73	0,261	1,20	0,115	0,88	0,056	0,68
344	—	—	2,32	2,74	1,240	2,16	0,707	1,75	0,268	1,22	0,118	0,89	0,058	0,68
348	—	—	2,37	2,77	1,270	2,19	0,721	1,77	0,273	1,23	0,120	0,90	0,059	0,69
352	—	—	2,43	2,80	1,300	2,21	0,735	1,79	0,280	1,25	0,123	0,92	0,060	0,70
356	—	—	2,49	2,83	1,330	2,24	0,757	1,82	0,287	1,26	0,126	0,93	0,062	0,71
360	—	—	2,55	2,87	1,360	2,26	0,771	1,84	0,294	1,27	0,129	0,94	0,063	0,72

Q	D=400		D=450		D=500		D=600		D=700		D=800		D=900	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
364	2.60	2.90	1.38	2.29	0.793	1.86	0.300	1.29	0.131	0.95	0.064	0.72	0.034	0.57
368	2.66	2.93	1.41	2.31	0.807	1.88	0.306	1.30	0.134	0.96	0.066	0.73	0.035	0.58
372	2.72	2.96	1.44	2.34	0.829	1.90	0.313	1.32	0.137	0.97	0.067	0.74	0.036	0.58
376	2.78	2.99	1.48	2.36	0.843	1.92	0.320	1.33	0.140	0.98	0.069	0.75	0.037	0.59
380	2.84	3.03	1.51	2.39	0.865	1.94	0.326	1.34	0.143	0.99	0.070	0.75	0.038	0.60
384	—	—	1.54	2.41	0.879	1.96	0.333	1.36	0.146	1.00	0.072	0.76	0.038	0.60
388	—	—	1.57	2.44	0.901	1.98	0.340	1.37	0.149	1.01	0.073	0.77	0.039	0.61
392	—	—	1.60	2.46	0.915	2.00	0.347	1.39	0.152	1.02	0.075	0.78	0.040	0.62
396	—	—	1.61	2.49	0.937	2.02	0.354	1.40	0.156	1.03	0.076	0.79	0.041	0.62
400	—	—	1.68	2.52	0.959	2.04	0.360	1.42	0.159	1.04	0.078	0.80	0.042	0.63
405	—	—	1.71	2.55	0.980	2.07	0.371	1.43	0.163	1.05	0.080	0.81	0.045	0.64
410	—	—	1.76	2.58	1.000	2.09	0.382	1.45	0.167	1.07	0.082	0.82	0.044	0.64
415	—	—	1.80	2.61	1.020	2.12	0.389	1.47	0.171	1.08	0.084	0.83	0.045	0.65
420	—	—	1.85	2.64	1.050	2.14	0.398	1.49	0.175	1.09	0.086	0.84	0.046	0.66
425	—	—	1.89	2.67	1.080	2.17	0.408	1.50	0.179	1.10	0.088	0.85	0.047	0.67
430	—	—	1.94	2.70	1.100	2.19	0.418	1.52	0.184	1.12	0.090	0.86	0.048	0.68
435	—	—	1.98	2.73	1.130	2.22	0.428	1.54	0.188	1.13	0.092	0.87	0.049	0.68
440	—	—	2.03	2.76	1.150	2.24	0.438	1.56	0.192	1.14	0.094	0.88	0.050	0.69
445	—	—	2.07	2.80	1.180	2.27	0.448	1.57	0.197	1.16	0.096	0.89	0.051	0.70
450	—	—	2.12	2.83	1.210	2.30	0.458	1.59	0.201	1.17	0.099	0.90	0.053	0.71
455	—	—	2.17	2.86	1.240	2.32	0.468	1.61	0.206	1.18	0.101	0.91	0.054	0.72
460	—	—	2.22	2.89	1.270	2.35	0.478	1.63	0.210	1.19	0.103	0.92	0.055	0.72
465	—	—	2.26	2.92	1.300	2.37	0.489	1.64	0.215	1.21	0.106	0.93	0.056	0.73
470	—	—	2.32	2.95	1.320	2.40	0.499	1.66	0.220	1.22	0.108	0.94	0.057	0.74
475	—	—	2.36	2.98	1.356	2.42	0.510	1.68	0.224	1.23	0.110	0.95	0.059	0.75
480	—	—	2.41	3.02	1.369	2.45	0.521	1.70	0.229	1.25	0.112	0.96	0.060	0.75
485	—	—	—	—	1.410	2.47	0.532	1.71	0.234	1.26	0.115	0.97	0.061	0.76
490	—	—	—	—	1.440	2.50	0.543	1.73	0.238	1.27	0.117	0.98	0.062	0.77
495	—	—	—	—	1.469	2.52	0.554	1.75	0.243	1.29	0.119	0.99	0.064	0.78
500	—	—	—	—	1.499	2.55	0.565	1.77	0.248	1.30	0.122	1.00	0.065	0.79

Q	D=500		D=600		D=700		D=800		D=900		D=1000	
	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v	100 i	v
510	1,55	2,60	0,588	1,80	0,258	1,33	0,127	1,01	0,0677	0,80	0,0386	0,65
520	1,61	2,65	0,611	1,84	0,268	1,35	0,132	1,03	0,0705	0,82	0,0401	0,66
530	1,68	2,70	0,635	1,87	0,279	1,38	0,137	1,05	0,0732	0,83	0,0416	0,67
540	1,75	2,75	0,659	1,91	0,290	1,40	0,142	1,07	0,0759	0,85	0,0432	0,69
550	1,81	2,80	0,684	1,94	0,301	1,43	0,148	1,09	0,0787	0,86	0,0448	0,70
560	1,87	2,86	0,709	1,98	0,312	1,45	0,153	1,11	0,0816	0,88	0,0465	0,71
570	1,94	2,91	0,735	2,01	0,323	1,48	0,158	1,13	0,0845	0,89	0,0482	0,73
580	2,00	2,96	0,761	2,05	0,334	1,51	0,164	1,15	0,0875	0,91	0,0499	0,74
590	2,08	3,01	0,787	2,08	0,346	1,53	0,170	1,17	0,0905	0,93	0,0516	0,75
600	2,15	3,06	0,814	2,12	0,358	1,56	0,176	1,19	0,0936	0,94	0,0531	0,76
610	—	—	0,849	2,16	0,370	1,58	0,181	1,21	0,0968	0,96	0,0552	0,78
620	—	—	0,869	2,19	0,382	1,61	0,187	1,23	0,100	0,97	0,0570	0,79
630	—	—	0,897	2,23	0,394	1,64	0,193	1,25	0,103	0,99	0,0589	0,80
640	—	—	0,926	2,26	0,407	1,66	0,199	1,27	0,106	1,00	0,0608	0,81
650	—	—	0,955	2,30	0,420	1,69	0,206	1,29	0,110	1,02	0,0627	0,83
660	—	—	0,984	2,33	0,433	1,72	0,212	1,31	0,113	1,04	0,0646	0,84
670	—	—	1,020	2,37	0,446	1,74	0,218	1,33	0,117	1,05	0,0665	0,85
680	—	—	1,050	2,40	0,459	1,77	0,225	1,35	0,120	1,07	0,0685	0,87
690	—	—	1,080	2,44	0,473	1,79	0,232	1,37	0,124	1,08	0,0705	0,88
700	—	—	1,110	2,47	0,486	1,82	0,239	1,39	0,127	1,10	0,0720	0,89
710	—	—	1,140	2,50	0,500	1,84	0,246	1,41	0,131	1,12	0,0747	0,90
720	—	—	1,170	2,55	0,514	1,87	0,253	1,43	0,135	1,13	0,0768	0,92
730	—	—	1,200	2,58	0,529	1,90	0,260	1,45	0,139	1,15	0,0793	0,93
740	—	—	1,240	2,62	0,544	1,92	0,267	1,47	0,142	1,16	0,0812	0,94
750	—	—	1,270	2,65	0,559	1,95	0,274	1,49	0,146	1,18	0,0834	0,95
760	—	—	1,300	2,68	0,571	1,97	0,281	1,51	0,150	1,19	0,0856	0,97
770	—	—	1,340	2,72	0,589	2,00	0,289	1,53	0,154	1,21	0,0879	0,98
780	—	—	1,370	2,76	0,605	2,03	0,296	1,55	0,158	1,22	0,0902	0,99
790	—	—	1,410	2,79	0,620	2,05	0,304	1,57	0,162	1,24	0,0925	1,01
800	—	—	1,450	2,88	0,636	2,08	0,312	1,59	0,166	1,25	0,0949	1,02

ს ა რ ჩ ი ვ ი

წინასიტყვაობა	83
ჰიდროსტატიკა	5
ჰიდროდინამიკა	33
სითხის მოძრაობა მილსადენებში	90
გამოდინება ხვრეტებიდან და ნამატებიდან	101
წყალსაშვები	120
სითხის თანაბარი მოძრაობა ღია კალაპოტებში	165
დანართი	195

Джигия Пармен Иванович

Примеры гидравлических расчетов

(на грузинском языке)

Государственное издательство „Цодна“ Министерства культуры Грузинской ССР

რედაქტორი ნ. ქუთათელაძე
 გამომც. რედაქტორი ო. ხაღრაძე
 ტექ. რედაქტორი ა. კაციტაძე
 კორექტორი ვ. შმაკოვა
 გამომშვები რ. მელიწკაური

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 6/V—63წ, ანაწყოების ზომა $6\frac{1}{2} \times 10$ ქალაღდის ზომა 60×90 . საბეჭდო თაბახი 15,25. საავტორო თაბახი 13,39. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 13,63.

ფასი 51 კპპ.

შეკ. № 751

უე 04910

ტირაჟი 1000

ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის სტამბა-ლითოგრაფია, თბილისი, ლენინის ქ. №69.

Типо-литография Грузинского политехнического института
 ил. В. И. Ленина, Тбилиси, ул. Ленина № 69.

