

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

უ. ზვიადაძე, მ. მარღაშოვა, ნ.კიკნაძე

მიწისქვეშა წყლების ღინამიკა



დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ
სტუ-ის სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ. ??, ??, 2013, ოქმი №?

თბილისი
2013

შპს 624.131.31

სახელმძღვანელო - “მიწისქვეშა წყლების დინამიკა” შედგენილია ბაკალავრიატის სტუდენტებისთვის გათვალისწინებული სასწავლო პროგრამის შესაბამისად. გარდა ამისა, სახელმძღვანელოში განხილული ზოგიერთი სპეციფიკური საკითხი ჰიდროდინამიკის კურსის ნაწილსაც მოიცავს, რომელიც მაგისტრატურის სტუდენტებს ეკითხება. ამდენად, სახელმძღვანელოთი ნაწილობრივ მაგისტრატურის მსმენელებსაც შეუძლიათ ისარგებლონ. მიწისქვეშა წყლების დინამიკის, როგორც ჰიდროგეოლოგიური მეცნიერების სპეციალური განხრის საკითხები, კომპლექსურად არის განხილული და თეორიული კურსი გამყარებულია პრაქტიკული მაგალითებით და ამოცანებით, რაც სტუდენტებს საშუალებას მისცემს ნათლად აღიქვან მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის კანონზომიერებების პრაქტიკულ საქმიანობაში გამოყენების შესაძლებლობები. გარდა წმინდა სასწავლო დანიშნულებისა, ნაშრომი ქმედით დახმარებას გაუწევს მიწისქვეშა წყლების დინამიკაში მომუშავე ახალგაზრდა სპეციალისტებს.

რეცენზენტები: სრული პროფესორი **ნ. ქაჯაია**

ასოცირებული პროფესორი **გ. ღურგლიშვილი**

© საგამომცემლო სახლი “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2013

ISBN ?????

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის ნებისმიერი ნაწილის (ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არცერთი ფორმითა და საშუალებით (ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.



შესავალი

I თავი. ძანეზში წყლის სახეობების კლასიფიკაცია, ნაკადის მოძრაობა (ფილტრაცია) და ფილტრაციის თავისებურებები

I.1 ზოგადი ცნობები ფილტრაციის შესახებ

I.2 იდეალური, ფიქტიური და რეალური გრუნტი. გამჭვირვობა

I.3 ქანებში წყლის სახეობების კლასიფიკაცია

I.4 მიწისქვეშა წყლების ტიპები I.4.1 გრუნტის წყლები (?); I.4.2 არტეზიული წყლები (??)

I.5 მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის მიმართულების და სიჩქარის განსაზღვრა

I.6 სითხის მოძრაობის რეჟიმის სახეობანი

I.7 ხაზობრივი ფილტრაციის ძირითადი კანონი (დარსის კანონი)

I.8 ნაკადის ძირითადი ჰიდროდინამიკური ელემენტები

II თავი. ერთგვაროვან ფენში მიწისქვეშა წყლების დამყარებული მოძრაობა

II.1 ზოგადი ცნობები

II.2 ბრტყელი სტაციონალური ფილტრაციის გაანგარიშების ძირითადი მეთოდები

II.3 ერთგვაროვან ფენში გრუნტის წყლების მოძრაობის განტოლებები II.3.1 გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი (ბრტყელი ნაკადი, თანაბარი მოძრაობა) (?); II.3.2 არათანაბარი მოძრაობა. წყალშემცველი ფენი ჰორიზონტალური საგებით

(?); II.3.3 არათანაბარი მოძრაობა. წყალშემცველი ფენი დახრილი საგებით

(?); II.3.4 დეპრესიის მრუდის აგება ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში (?);

II.3.5 დეპრესიის მრუდის აგება დახრილი წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში (?); II.3.6 მიწისქვეშა ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა ზემოდან ინფილტრაციის გათვალისწინებით და დეპრესიული მრუდის აგება (?); II.3.7 რადიალური ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა

III თავი. ფილტრაცია ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ძველ

IV თავი. კარიერებსა და ძვანულაში წყლის მოღინების ანგარიში

V. თავი. საანგარიშო ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა სავმლ-საცდელი სამუშაოების გზით

V.1. ზოგადი ცნობები

V.2. ფილტრაციის კოეფიციენტის ანგარიში დამყარებული მოძრაობის შემთხვევაში

- V.3. ფილტრაციის კოეფიციენტის, წყალგამტარობის, პიეზოგამტარობის და დონეგამტარობის კოეფიციენტების განსაზღვრა დაუმყარებელი ფილტრაციის შემთხვევაში
- V.4 ამოტუმბვის გავლენის დაყვანილი რადიუსის განსაზღვრა
- V. 5 შურფიდან საცდელი ინფილტრაციის ხერხები
- VI. მიწისქვეშა წყლების დამყარებული მოძრაობა ანოზოტროპულ და არაპროგრადულ წყალშემცველ ქანებში
- VI.1 არაერთგვაროვანი წყალშემცველი წყებების ძირითადი სახეობები
- VI.2 ანოზოტროპულ და არაერთგვაროვან ქანებში წყლის მოძრაობის ძირითადი კანონზომიერებები
- VI.2.1 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა შრეობრიობის გასწვრივ მოძრაობისას
- VI.2.2 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა შრეობრიობის პერპენდიკულარული მიმართულებით წყლის მოძრაობისას
- VI.2.3 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა ორშრიან ფენში მოძრაობისას
- VI.2.4 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა მკვეთრად ცვალებადი წყალგამტარობის ფენში
- VII. ბრუნტის წყლების დაუმყარებელი მოძრაობა
- VII.1 საერთო ცნობები
- VII.2 ბუსინესკის განტოლება
- VII.2.1 ბუსინესკის ხერხი (პირველი რიგის ლინეარიზაცია)
- VII.2.2 ბაგროვ-ვერიგინის ხერხი (მეორე რიგის ლინეარიზაცია)
- VIII თაზი. დაუმყარებელი მოძრაობის ბანტოლების ამოხსნის ანალიტიკური მეთოდების გამომყვანება ჰიდროგეოლოგიური ამოცანების გადასაწყვეტად
- VIII.1 წყაროების რეჟიმის პროგნოზი ბუსინესკი – მაიეს მიხედვით
- VIII.2 სასრულ სხვაობათა მეთოდის კამენსკის განტოლებები
- IX. მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა წყალამღები ნაბეზობებისკენ
- IX.1 წყლის მოდინება წყალშემკრებ გალერეაში
- IX.2 წყლის მოდინება გრუნტის წყლის ჭაში
- IX.3 წყლის მოდინება არტეზიულ ჭაბურღილში
- IX.4 დამატებითი მონაცემები გავლენის რადიუსის შესახებ

შესავალი

მეცნიერებას მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის კანონების შესახებ მიწისქვეშა წყლების დინამიკა ეწოდება. მიწისქვეშა წყლების დინამიკის კურსი სპეციალური ჰიდროგეოლოგიური განათლების საფუძველია. მასში ახსნილია ჰიდროგეოლოგიური პროცესების ფიზიკურ-მათემატიკური არსი. წარმოადგენს რა ჰიდროგეოლოგიური ციკლის მეცნიერებათა ერთ-ერთ სპეციფიკურ განხრას, მიწისქვეშა წყლების დინამიკის კურსის შესწავლა აუცილებელია სპეციალისტ-ჰიდროგეოლოგის მიერ ჰიდროდინამიკური გამოთვლების მათემატიკური მეთოდების დასაუფლებლად. მიწისქვეშა წყლების დინამიკა შეისწავლის მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის რაოდენობრივ კანონზომიერებებს, ჰიდროგეოლოგიური გაანგარიშებების თეორიულ საფუძველებს და მეთოდებს, ბუნებრივი და ხელოვნური ფაქტორების გავლენით მიწისქვეშა წყლების ფორმირების პირობებს. მიწისქვეშა წყლების დინამიკას სხვადასხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა მიჯნაზე უკავია ადგილი, რომელთა შორის აღსანიშნავია გეოლოგია, მეტეოროლოგია, ჰიდროლოგია, გეომორფოლოგია, ჰიდროქიმია და სხვ. გადასაწყვეტი ამოცანების და ბუნებრივი საფუძველების მიხედვით, ის ჰიდროგეოლოგიის განხრაა, ხოლო მისი თეორიული წინამძღვრები ზუსტ მეცნიერებებს ეფუძნება. იმის გამო, რომ მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა უმთავრესად ფილტრაციის გზით ხდება, ანუ ფოროვან ან ნაპრალო-

ვან გარემოში სითხის (წყლის) გრავიტაციული დინების გზით, ზუსტი მეცნიერებებიდან მიწისქვეშა წყლების დინამიკაში ყველაზე მეტად ჰიდრომექანიკის (ჰიდრაულიკის) კანონები გამოიყენება, რომლებიც ფილტრაციას ისე განიხილავს, როგორც მექანიკურ პროცესს. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, მიწისქვეშა წყლების ფილტრაციას (გეოფილტრაციას) განსაკუთრებული, არსებითი თავისებურებები ახასიათებს, რომლებიც კონკრეტულ ჰიდროგეოლოგიურ ამოცანებთან არის დაკავშირებული, აგრეთვე განპირობებულია ქანების, როგორც ფილტრაციის გარემოს ნიშან-თვისებებით.

ჰიდრაულიკის და ჰიდრომექანიკის მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია რაოდენობრივად შევაფასოთ ფილტრაციის სიჩქარე, ნაკადის ხარჯი, მიწისქვეშა წყლების დაწნევათა და დონეების ცვლილებები და ა.შ. ჰიდრაულიკური და ჰიდროდინამიკური მეთოდების გამოყენების აუცილებელი წინაპირობა არის საბადოზე არსებული ბუნებრივი პირობების სქემატიზირება. ბუნებრივი პირობების სწორი სქემატიზირება და საინჟინრო გათვლებისთვის საჭირო საწყისი მონაცემების (ფილტრაციის კოეფიციენტი, ნაკადის მოძრაობის მიმართულება და ქანობი) გამოანგარიშება ჰიდროგეოლოგის მოვალეობაა. მას უნდა შეეძლოს გამოიყენოს სათანადო საანგარიშო ფორმულები იმგვარად, რომ ბუნებრივი პირობებიდან გადახრა იყოს მინიმალური, ანუ სწორი სქემატიზაციის შედეგად მივიღოთ რეალურთან მაქსიმალურად მიახლოებული შედეგი.

აღნიშნულის მიხედვით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მიწისქვეშა წყლების დინამიკა კომპლექსური მეცნიერებაა, რომლის საფუძველზე გადაწყდება სხვადასხვა კონკრეტული ჰიდროგეოლოგიური ამოცანები. მაგალითად, წყალმომარაგების საქმეში ეს ამოცანებია მიწისქვეშა წყლების რესურსების განსაზღვრა, წყალამღები ნაგებობების მწარმოებლურობის გაანგარიშება, ამ ნაგებობების ურთიერთგავლენის შეფასება და ა.შ. მელიორაციის დარგში მიწისქვეშა წყლების დინამიკის მეთოდების გამოყენებით აუცილებელია განისაზღვროს საირიგაციო არხებიდან ფილტრაციაზე წყლის დანაკარგების რაოდენობა, შესრულდეს სარწყავ მასივებზე გრუნტის წყლების რეჟიმის პროგნოზი და სხვ. დაახლოებით იდენტურ მიზნებს ემსახურება მიწისქვეშა წყლების დინამიკის კანონების გამოყენება ჭაობების და დაჭაობებული ფართობების დაშრობის, სადრენაჟო სისტემების დაპროექტების და გაანგარიშების საქმეში. ფართოა ასპარეზი დინამიკის გამოყენებისა ჰიდროტექნიკური კომპლექსების დაპროექტების, მშენებლობის და ექსპლუატაციის სტადიებზე. აქ გადასაწყვეტია ისეთი მნიშვნელოვანი ამოცანები, როგორცაა კაშხლის ფუძეში და ფერდობებზე ზედა ბიეფიდან ფილტრაციაზე წყლის დანაკარგების რაოდენობრივი მაჩვენებლების დადგენა, ტერიტორიის დატბორვის პროგნოზი, წყალსაცავის ნაპირების გადამუშავების რაოდენობრივი შეფასება და ა.შ. მიწისქვეშა წყლების დინამიკის გამოყენების სფერო მოიცავს

აგრეთვე სამთო საქმეს, როდესაც საკითხი ეხება კარიერებსა და მიწისქვეშა სამთო გამონამუშევრებში წყლის მოდინებას და შესაბამისი დასაშრობი ღონისძიებების შემუშავებას, სამშენებლო ქვაბულების დაშრობას, ნავთობისა და საწვავი აირის საბადოების დამუშავების სწორი რეჟიმის შერჩევას და მრავალი სხვა.

I თავი. ქანებში წყლის სახეობების კლასიფიკაცია,
ნაპაღის მოძრაობა (ფილტრაცია) და
ფილტრაციის თავისებურებები

I.1 ზოგადი ცნობები ფილტრაციის შესახებ

ქანებში მოქცეული მოძრავი ან უძრავი წყლის სახეობების განხილვამდე მიზანშეწონილია გავიხსენოთ, რომ მიწისქვეშა წყალი ძირითადად თხევად ფაზაში გვანტერესებს, რადგანაც ლითონფეროში ორთქლის მდგომარეობაში და მყარ ფაზაში (ყინული) არსებული წყლის ხვედრითი წილი განუზომლად უფრო მცირეა თხევად ფაზასთან შედარებით. თხევადი სხეულის უმთავრესი დამახასიათებელი თვისება მისი მოძრაობაა, ხოლო თუ სითხე უძრავ მდგომარეობაში იმყოფება, იგი ემორჩილება პასკალის კანონს, რომლის მიხედვითაც უძრავი სითხის ზედაპირზე მიყენებული წნევა თანაბრად გადაეცემა თხევადი მოცულობის ყველა წერტილში. სითხის ძალზე მნიშვნელოვან მოლეკულურ თვისებას ზედაპირული დაჭიმულობა წარმოადგენს. მოლეკულური აგებულების თავისებურებების გამო, სითხე ძალზე სუსტად კუმშვადია. სითხის რომელიმე V მოცულობაში p წნევის რაიმე Δp სიდიდით შეცვლისას სითხის მოცულობის ცვლილება (ΔV) განისაზღვრება ჰუკის კანონით:

$$\frac{\Delta V}{V} = -\left(\frac{1}{E}\right)\Delta p \quad (I.1)$$

სადაც, E – იუნგის მოცულობითი მოდულია. სუფთა წყლის შემთხვევაში $E = E_{\text{წყ}} \approx 2 \cdot 10^3$ მპა, ხოლო გაზირებული წყლისთვის ეს სიდიდე ერთი რიგით ნაკლებია. გარდა ამისა, E -ს სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული წყლის ტემპერატურაზე და მინერალიზაციაზე. მიუხედავად იმისა, რომ წყლის კუმშვადობა უმნიშვნელოა, დიდი მოცულობების შემთხვევაში ეს სიდიდე პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენს, მაგალითად, ღრმა ცირკულიაციის წნევიანი წყლების განხილვისას.

წყლით გაჯერებული ქანი ორფაზიანი სისტემაა, რომელიც შედგება მინერალური ჩონჩხისგან (მყარი ფაზა) და ფორებისა და ნაპრალების შემკვები წყლისგან (თხევადი ფაზა).

ქანებში არსებული წყალშემცველი ნაპრალები და ფოროვანი არხები სიდიდისა და კონფიგურაციის მიხედვით, ძალზე მრავალფეროვანია და მათი დეტალური ანალიზი პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ, მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ განზოგადებით და ფოროვანი სივრცის ერთგვარი, სტატისტიკურად გასაშუალოებული მაჩვენებლებით. უფრო მიღებულია საერთო ფორიანობის ცნება – n , რომელიც ახასიათებს ფოროვანი სივრცის წილს ქანის საერთო მოცულობაში. საორიენტაციოდ მოვიყვანოთ საერთო ფორიანობის ზოგიერთი დამახასიათებელი სიდიდე: ქვიშებში – 35-50%, თიხებში – 40-60%, ქვიშაქვებში და დანალექ კარბონატულ ქანებში – 5-20%, გრანიტებში, გნეისებსა და კვარ-

ციტებში 1%-ზე ნაკლები. ნაპრალოვანი ქანებისთვის ფორიანობის ანალოგს ნაპრალიანობა წარმოადგენს, ანუ ნაპრალების ფარდობითი მოცულობა. მისი სიდიდე ჩვეულებრივ 2%-ს არ აღმატება, უფრო ხშირად კი, ერთეულის ნაწილებში იზომება. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ თავისთავად საერთო ფორიანობის სიდიდეს წყალგამტარობის მხრივ პრაქტიკული მნიშვნელობა არ აქვს. მაგალითად, თიხა ფორიანობის სიდიდით ქვიშას აღემატება, მაგრამ პრაქტიკულად წყალგაუმტარია. ეს თვისება ძირითადად ფორების ზომებზე არის დამოკიდებული. მაგალითად, ქვიშაში ფორების ზომა 0.1 – 1.0 მმ შეადგენს, ხოლო თიხაში ეს სიდიდე 0.1 – 1.0 მკმ-ის ფარგლებშია.

გასათვალისწინებელია აგრეთვე, რომ წყალი ყველა ფორებში კი არ მოძრაობს, არამედ ერთმანეთთან დაკავშირებულ მსხვილ ფორებში, რომლებიც ე.წ. *ეფექტურ ფოროვან სივრცეს* ქმნის. მაგალითად, ქვიშაქვებში და კარბონატულ ქანებში ეფექტური ფორიანობა რამდენჯერმე ჩამოუვარდება საერთო ფორიანობას. ჰიდროდინამიკურ გათვლებში საერთო ფორიანობასთან ერთად ხშირად სარგებლობენ *ფორიანობის კოეფიციენტის* სიდიდით, რომელიც ფორების მოცულობის მყარი ფაზის მოცულობასთან შეფარდებას წარმოადგენს:

$$\varepsilon = \frac{n}{1 - n} \quad (I.2)$$

ქანის 1 სმ³ მოცულობაში ფორების ზედაპირის საერთო ფართობი (*ხვედრითი ზედაპირი*)

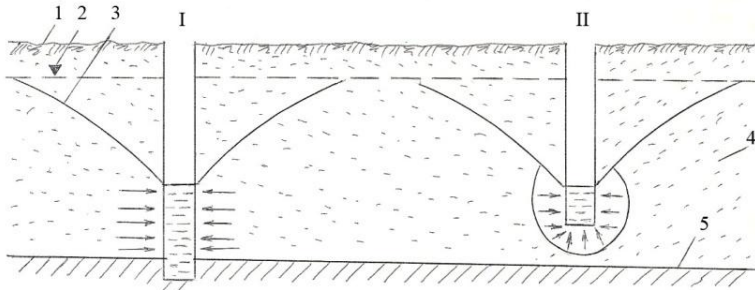
შეიძლება წარმოდგენილად დიდი იყოს. მაგალითად, ადვილად მტკიცდება, რომ თუ თიხის მარცვლების საშუალო ზომა 0.2 მკმ ტოლია, ხვედრითი ზედაპირის ფართობი 10 მ² შეადგენს. აქედან გასაგებია, რომ ფორებში მოძრაობისას წყალი დიდ ენერგიას ჰკარგავს ფორების ზედაპირზე ხახუნის ძალის გადასალახავად. არანაკლებ რთულია ფოროვანი სივრცის გეომეტრია და ეს სირთულე მიწისქვეშა წყლების ფილტრაციაზე პირდაპირ აისახება. ზედაპირული ნაკადებისაგან განსხვავებით (მდინარე, ნაკადი არხში და ა.შ.) მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა ქანებში არსებული ნაპრალების, მიკრონაპრალების, ფორების და მიკროფორების გავლით ხდება. ამ დროს წარმოიქმნება ქანის ნაწილაკების პიდრავლიკური წინაღობა, რაც ძლიერ აფერხებს ნაკადის მოძრაობას. ამიტომ, მიწისქვეშა ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე ზედაპირული ნაკადის სიჩქარესთან შედარებით შეუდარებლად უფრო მცირე სიდიდეა. აქედან გამომდინარეობს, რომ მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის სიჩქარეს გამოსახავენ ისეთ ერთეულებში, როგორცაა სმ/წმ ან უფრო ხშირად – მ/დღ.

მიწისქვეშა ნაკადის მოძრაობას ქანებში არსებული ფორების, სიცარიელების და ნაპრალების გავლით ფილტრაცია ეწოდება, ხოლო თვით ნაკადს ფილტრაციული ნაკადი ჰქვია. ეს უკანასკნელი სხვადასხვაგვარია, მაგრამ არჩევენ ფილტრაციული ნაკადის ორ ძირითად სახეობას:

- ბრტყელი ფილტრაციული ნაკადი;

- რადიალურ-სფეროსებრი ფილტრაციული ნაკადი.

ნაკადის ეს სახეობები გარკვეულ კონკრეტულ პირობებში წარმოიქმნება. კერძოდ, ბრტყელი ფილტრაციული ნაკადი დამახასიათებელია ისეთ ჭაბურღილებში (ან ჭებში) მოდინებისას, რომელთა საშუალებით წყალშემცველი ჰორიზონტი მთლიან სიმძლავრეზე არის გახსნილი და ჭაბურღილის სანგრევი წყალგაუმტარ საგებ ფენში თავსდება. ამგვარ ჭაბურღილს წყალშემცველი ფენის გახსნის ხარისხის მიხედვით სრულყოფილი ეწოდება.



ნახ. I.1. ბრტყელი და რადიალურ-სფეროსებრი ფილტრაციული ნაკადის ტიპები

1 - მიწის ზედაპირი; 2 - გრუნტის წყლების თავდაპირველი დონე ამოტუმბვის დაწყებამდე; 3 - ამოტუმბვის პროცესში ჩამოყალიბებული დეპრესიული ზედაპირი; 4 - წყალშემცველი ფენი; 5 - წყალგაუმტარი საგები ფენი.

რადიალურ-სფეროსებრი ფილტრაციული ნაკადი დამახასიათებელია წყალშემცველი ჰორიზონტის გახსნის ხარისხის მიხედვით არასრულყოფილი ჭაბურღილისთვის, რაც იმას ნიშნავს, რომ ჭაბურ-

დილის სანგრევი საგებ ფენამდე ვერ აღწევს და თვით წყალშემცველ ფენში თავსდება.

პირველ შემთხვევაში ჭაბურღილში მიწისქვეშა ნაკადი მხოლოდ კედლებიდან შემოედინება, მეორე შემთხვევაში კი, როგორც კედლებიდან, ასევე ფსკერიდან.

I2 იდეალური, ფიქტიური და რეალური გრუნტი

ზედაპირული ნაკადებისგან განსხვავებით (მდინარე, ნაკადი არხებში, სადერივაციო გვირაბებში და ა.შ.), მიწისქვეშა ნაკადის მოძრაობა ძალზე გართულებულია და მისი მათემატიკური ასახვა გარკვეულ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული. კერძოდ, მიწისქვეშა ნაკადის ფილტრაციის შესწავლისას უნდა გაითვალისწინოთ ის გარემოება, რომ ფილტრაცია ხდება ქანში არსებული უწვრილესი ფორებში და სიცარიელებში გაღწევით, რომლებიც ხორკლიანობით ხასიათდება და განსაზღვრავს ფილტრაციის განსხვავებას ზედაპირული ნაკადის მოძრაობისგან.

ყველა ბუნებრივი ფაქტორის გათვალისწინებით ფილტრაციის აღნიშნული სირთულეების მათემატიკური ასახვა პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ, მიმართავენ გარემოს იდეალურობის სქემას. ამ მიზნით, ჰიდრაულიკაში და მიწისქვეშა წყლების დინამიკაში ანუ მიწისქვეშა ჰიდრაულიკაში შემოტანილია იდეალური და ფიქტიური გრუნტის ცნებები, რომლებიც, ცხადია, რეალური გრუნტისგან განსხვავებულია. განვიხილოთ ეს ცნებები.

იდეალური გრუნტი ეწოდება ისეთ წარმოსახვით, ვირტუალურ გრუნტს, რომელიც შედგება ერთნაირი დიამეტრის, მკაცრად სფეროს ფორმის მარცვლებისაგან, თანაც ისე, რომ ეს მარცვლები განლაგებულია ერთმანეთის პარალელურად და მარცვლების მწკრივებს შორის დარჩენილია კაპილარების ზომის ცილინდრული სივრცე.

აღნიშნულიდან განსხვავებით, ფიქტიური ეწოდება ისეთ გრუნტს (სხვათა შორის, ესეც წარმოსახვითია), რომელიც ასევე ერთნაირი დიამეტრის მარცვლებისგან არის აგებული, ამასთან, მარცვლების სივრცობრივი განლაგება რომბოედრის ფორმისაა. ფილტრაციის კანონზომიერებების შესასწავლად ითვლება, რომ ფიქტიური გრუნტი უფრო ახლოს დგას რეალურ გრუნტთან, ვიდრე იდეალური გრუნტი და ამიტომ, ფიქტიური გრუნტისთვის გამოყვანილი მათემატიკური კანონზომიერებები დასაშვები ცდომილების ფარგლებში შეიძლება გავავრცელოთ რეალურ გრუნტზე.

დასველების კიდურა კუთხესთან (θ) დამოკიდებულებით არსებობს ფიქტიური გრუნტის ფორიანობის გამოსათვლელი შემდეგი ფორმულა:

$$n = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos \theta)(\sqrt{1 + 2 \cos \theta})} \quad (I.3)$$

როგორც ფორმულიდან ჩანს, ფიქტიური გრუნტის ფორიანობა მხოლოდ მარცვლების სივრცობრივი განლაგების სიმჭიდროვეზე არის დამოკიდებული, რაც პრაქტიკული თვალსაზრისით ძალიან მნიშვნელოვანია.

გრუნტის საერთო ფორიანობის განმსაზღვრელი კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი არის აგებულების ერთგვაროვნება ანუ რამდენად ჰომოგენურია გრუნტი. კერძოდ, ერთი ზომის ნაწილაკებისაგან შედგენილი გრუნტი, რაც ძირითადად თიხებისთვის არის დამახასიათებელი, უფრო მაღალი ფორიანობით ხასიათდება, ვიდრე არაერთგვაროვანი ანუ სხვადასხვა ზომის მარცვლებისაგან აგებული გრუნტი, რადგანაც უკანასკნელ შემთხვევაში შედარებით მსხვილ მარცვლებს შორის სივრცეს წვრილი მარცვლები ავსებს და გრუნტის ფორიანობა შესაბამისად კლებულობს.

გამჭვიროება. გრუნტი ფორიანი გარემოა. აბსოლუტურად კომპაქტური გრუნტი ბუნებაში არ არსებობს. თვით ისეთი სრულკრისტალური ქანიცი, როგორც გრანიტია, ზოგჯერ 2%-მდე ფორიანობით ხასიათდება. წარმოსახვით ავიღოთ გრუნტის რაიმე მასა და ასევე წარმოსახვით გავკვეთოთ იგი პერპენდიკულარული სიბრტყით. ცხადია, განივკვეთის ერთი ნაწილი გრუნტის მყარ ნაწილაკებზე მოდის, ხოლო მეორე ნაწილი სიცარიელეებზე ანუ ფორებზე. თუ ფორების ჯამურ ფართობს შევაფარდებთ განივკვეთის მთლიან ფართობთან, მივიღებთ სიდიდეს, რომელიც გამჭვირობას ახასიათებს. ცხადია, რაც უფრო მაღალია ეს სიდიდე, მით უფრო წყალგამტარია გრუნტი, რადგანაც სწორედ ფორები წარმოადგენს ნაკადის მოძრაობის თავისუფალ სივრცეს.

პრაქტიკული მიზნებისთვის საჭირო ხდება ფიქტიური გრუნტიდან რეალურ გრუნტზე გადასვლა, ანუ ფიქტიური გრუნტისთვის გამოყვანილი კანონზომიერებების გავრცელება რეალურ გრუნტზე. მიღებულია, რომ ამ შემთხვევაში ფიქტიურ და რეალურ გრუნტს ნაკადის მოძრაობისადმი ერთნაირი ფილტრაციული წინაღობა უნდა ჰქონდეს. ეს მაშინ მიიღწევა, როდესაც ფიქტიური გრუნტის მთლიანი მასა წარმოსახვით აგებული იქნება ე.წ. *ეფექტური დიამეტრის* მქონე მარცვლებისაგან d_{eff} . არსებობს ეფექტური დიამეტრის გამოანგარიშების სხვადასხვა მეთოდი, რომელთა შორის ძირითადია გრუნტის მექანიკური, ანუ გრანულომეტრიული შემადგენლობის ანალიზი, რასაც მიმართავენ გრუნტის ფიზიკური თვისებების ლაბორატორიული შესწავლის დროს.

I.3 ქანებში წყლის სახეობების კლასიფიკაცია

განლაგების პირობების, ქიმიური შედგენილობის, გენეზისის, აგრეთვე მოძრაობის თავისებურებების და ქანებთან ურთიერთკავშირის მიხედვით, მიწისქვეშა წყლები ძალზე მრავალფეროვანია. ამიტომ, საყოველთაოდ მიღებული კლასიფიკაციის სქემა, რომელშიც ყველა ზემოთ ნახსენები ფაქტორი იქნებოდა გათვალისწინებული, პრაქტიკულად არ არსებობს.

მიწისქვეშა წყლების დინამიკის შესწავლისას არ შეიძლება წყლის განხილვა მისი შემცველი ქანისგან დამოუკიდებლად. ამიტომ, მიწისქვეშა

წყლების დინამიკაში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ა. ლებედევის მიერ შემუშავებულ საკლასიფიკაციო სქემას, რომელშიც მიწისქვეშა წყლები განხილულია ქანებთან მათი ურთიერთკავშირის პოზიციიდან. ა. ლებედევმა ქანებსა და ნიადაგებში წყლის შემდეგი სახეობები გამოჰყო:

- წყალი ორთქლის სახით;
- ჰიგროსკოპული წყალი;
- ბმული წყალი;
- გრავიტაციული წყალი (კაპილარული, გრავიტაციული ძალის გავლენით მოძრავი);
- წყალი მყარ მდგომარეობაში;
- კრისტალიზაციური წყალი;
- ქიმიურად შეკავშირებული წყალი.

შემდგომში, აღნიშნული კლასიფიკაცია მომდევნო თაობის მეცნიერებმა სრულყვეს და საბოლოო სახით საკლასიფიკაციო სქემას ასეთი ფორმა აქვს:

- წყალი მინერალთა კრისტალური მესერის შემადგენლობაში:
 - კონსტიტუციური წყალი;
 - კრისტალიზაციური წყალი;
 - ცეოლითური წყალი;
- წყალი ქანის ნაწილაკების ზედაპირზე:
 - მჭიდროდ დაკავშირებული წყალი;
 - სუსტად დაკავშირებული წყალი
- წყალი ქანების ფორებსა და ნაპრალებში:
 - წყლის ორთქლი;

- კაპილარული წყალი;
- გრავიტაციული წყალი: ა) წყალი თავისუფალი ზედაპირით, ანუ გრუნტის წყალი და ბ) წნევიანი ანუ არტეზიული წყლები.

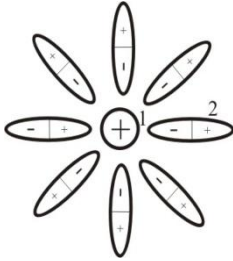
ბუნებაში აბსოლუტურად მშრალი ქანი არ არსებობს. თვით სრულკრისტალური ინტრუზიული ქანებიც კი, ამა თუ იმ რაოდენობით წყალს შეიცავს. თუ ერთგვარად გავამარტივებთ ზემოთ მოყვანილ სქემას, შეიძლება ვიმსჯელოთ ქანში წყლის არსებობის შემდეგ ძირითად ფორმებზე:

- წყალი ორთქლის სახით;
- ფიზიკურად შეკავშირებული ანუ ბმული წყალი;
- თავისუფალი წყალი;
- წყალი მინერალთა შემადგენლობაში.

წყლის ორთქლი დამახასიათებელია უმთავრესად ნიადაგის ფენისთვის, სადაც ის დიდ როლს თამაშობს ნიადაგწარმოქმნის ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებში. სამშენებლო თვალსაზრისით წყლის ორთქლს პრაქტიკული მნიშვნელობა არ აქვს.

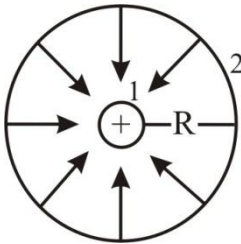
ფიზიკურად შეკავშირებული ანუ ბმული (სორბირებული) წყალი დამახასიათებელია თიხური შედგენილობის, წვრილდისპერსული ($d \leq 0.002$ მმ) ქანებისთვის. თიხის წვრილდისპერსული ნაწილაკები, როგორც წესი, დადებითი ან უარყოფითი მუხტის მატარებელია, იმის მიხედვით, თუ რომელი იონებია ადსორბირებული ნაწილაკის ზედაპირზე. ამის შედეგად ნაწილაკის ირგვლივ წარმოიქმნება

ელექტრული ველი, რომელიც მიიზიდავს რა წყლის დიპოლური აღნაგობის მოლეკულებს, ეწინააღმდეგება წყლის თავისუფლად გადაადგილებას.



1. თიხის დამუხტული ნაწილაკი;
2. წყლის დიპოლური სტრუქტურის მოლეკულა

ნახ. I.2. თიხის ნაწილაკებით წყლის მოლეკულების აღსორბცია



1. თიხის დამუხტული ნაწილაკი;
 2. სოლვატური გარსი;
- R - სოლვატური გარსის რადიუსი

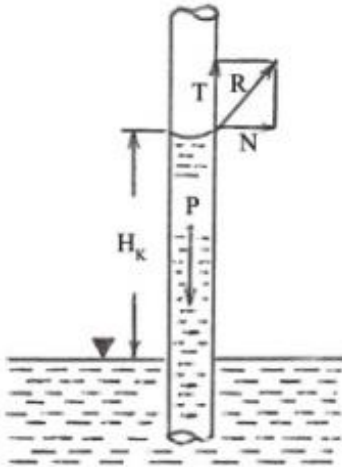
ნახ. I.3. ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის სქემა

სორბციული ძალების ზეგავლენით ნაწილაკის გარშემო წარმოიქმნება წყლის აფსკი, ე.წ. *სოლვატური გარსი*, რომლის რადიუსი (R) წყლის ერთმანეთზე მიწყობილი 15-20 მოლეკულის სიგრძის ტოლია

ქანიდან ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის მოცილება $T = 105^{\circ}\text{C}$ მუდმივ ტემპერატურაზე გახურებით ხდება.

თავისუფალი წყალი. ქანში ორი სახეობის თავისუფალი წყალი გვხვდება: კაპილარული და გრავიტაციული.

კაპილარობის მოვლენა ძირითადად თიხური შედგენილობის ქანებისთვის არის დამახასიათებელი და გამოიხატება ტენის გადაადგილებაში სიმძიმის ძალის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ქვევიდან ზევით, ზედაპირული დაჭიმულობის მენისკური ძალების გავლენით.



ნახ. I4. კაპილარში სითხის მოძრაობის სქემა

სითხისა და კაპილარის კედლის გამყოფ ზედაპირზე აღძრული ზედაპირული დაჭიმულობის R ძალა იშლება შემადგენლებად, რომელთაგან T შემადგენელი მიმართულია ვერტიკალურად ზევით. მისი გავლენით სითხე კაპილარში ზევით გადაადგილდება მანამ, სანამ T შემადგენელს არ გააწონასწორებს კაპილარში მოქცეული სითხის სვეტის P წონა - $T = P$.

კაპილარული აწევის სიმაღლე, ანუ რაც იგივეა კაპილარული ზონის სიმაღლავრე, მით მეტია, რაც უფრო მეტია წყლის ზედაპირული დაჭიმულობა და, რაც უფრო ნაკლებია კაპილარის დიამეტრი და წყლის სიმკვრივე (ქიურენის კანონი). იგი გამოით-

$$\text{ვლება ფორმულით: } H_{\text{კ}} = \frac{2a^2}{r\rho g} \quad (\text{I.4})$$

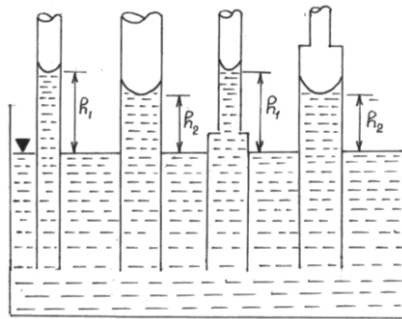
სადაც $H_{\text{კ}}$ - წყლის კაპილარული აწევის სიმაღლეა, სმ; a - კაპილარული მუდმივა; r - კაპილარის რადიუსი, სმ; ρ - წყლის სიმკვრივე, გ/სმ³; g - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, სმ/წმ².

დამოკიდებულება კაპილარული აწევის სიმაღლესა და კაპილარის დიამეტრს შორის წყლის შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით:

$$H_{\text{კ}} = \frac{29.8}{d} \quad (\text{I.5})$$

სადაც d - კაპილარის დიამეტრია, მმ.

კაპილარული აწევის სიმაღლესა და კაპილარის დიამეტრს შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულების საილუსტრაციოდ განვიხილოთ სქემა.



ნახ. 15. კაპილარული აწვევის სიმაღლის დამოკიდებულება
კაპილარის დიამეტრზე

პირველი მილი უფრო წვრილია, ვიდრე მეორე, ამიტომ კაპილარული აწვევის სიმაღლე $h_1 > h_2$. მესამე მილში სითხე დადგება h_1 სიმაღლეზე, რადგანაც მილის ქვედა, გაფართოებული ნაწილის სიმაღლე ნაკლებია h_2 -ზე. მეოთხე მილში სითხე დადგება h_2 სიმაღლეზე, რადგანაც მილის გაფართოებული ნაწილის სიმაღლე მეტია h_2 -ზე.

როგორც ვხედავთ, კაპილარული აწვევის სიმაღლე ძირითადად კაპილარის დიამეტრზე არის დამოკიდებული. ნაწილობრივ იგი დამოკიდებულია სითხის ფიზიკურ თვისებებზე, განსაკუთრებით სიბლანტეზე. ბუნებრივ პირობებში კაპილარების ზომები და განლაგება გრუნტის რაობით განისაზღვრება. შესაბამისად, სხვადასხვა შედგენილობის გრუნტებში კაპილარული აწვევის სიმაღლე სხვადასხვაა:

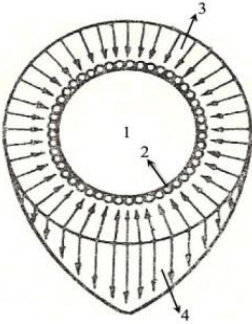
თიხაში – $H_{\text{კ}} \geq 4$ მ.; თიხნარში – $H_{\text{კ}} = 1-4$ მ.;

ქვიშნარში – $H_{\text{კ}} \leq 1$ მ.

სამშენებლო საქმეში კაპილარობის მოვლენასთან დაკავშირებულია ნაგებობათა სარდაფების და ქვედა სართულის დანესტიანება, ზოგჯერ ძალზე ინტენსიური. ამავდროულად მიზეზით სოფლის მეურნეობაში ადგილი აქვს ნიადაგების მეორეული დამარილიანების უკიდურესად არახელსაყრელ პროცესს.

გრავეიტაციული ეწოდება წყალს, რომელიც თავსდება ქანის ფორებში, ნაპრალებსა და სიცარიელებში და გადაადგილდება საკუთარი სიმძიმის

ძალის გავლენით მაღალი დონის უბნებიდან დაბალი დონის უბნებისაკენ.



1 - მუხტის მატარებელი ნაწილაკი; 2 - პიგროსკოპული წყალი; 3 - შეკავშირებელი წყალი; 4 - გრავიტაციული წყალი.

ნახ. I6 . წყლის სახეობანი გრუნტებში

გარდა ზემოთ განხილული ფორმებისა, წყალი გვხვდება მინერალთა შემადგენლობაში და მონაწილეობს კრისტალური მესრის აგებულებაში, როგორც დამოუკიდებელი სტრუქტურული ერთეული. წყლის მოლეკულების შემცველი ძირითადი ქანმაშენი მინერალებია: თაბაშირი ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); ოპალი ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$); ლიმონიტი ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$); მირაბილიტი ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); ევსომიტი ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) და ა.შ.

იმის მიხედვით, თუ რამდენად მჭიდროდ არის დაკავშირებული კრისტალური მესრის სტრუქტურასთან, წყალი მინერალთა შემადგენლობაში სამ ნაწილად იყოფა: ცეოლითური, კრისტალიზაციური და კონსტიტუციური. მათ მოსაძიებლად საჭირო ხდება მინერალის გახურება მაღალ ტემპერატურაზე $T \geq 1000^\circ\text{C}$.

I.4 მიწისქვეშა წყლების ტიპები

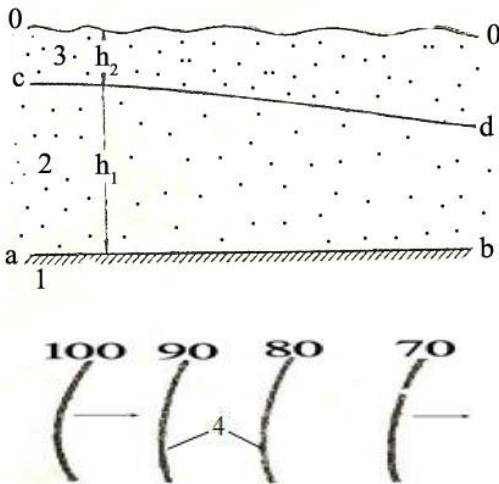
მიწის ქერქში გავრცელებისა და ქანებში ცირკულიაციის პირობების მიხედვით, მიწისქვეშა წყლების ორ ძირითად ჯგუფს არჩევენ: გრუნტის წყლები და არტეზიული წყლები.

გარდა ზემოთ დასახელებულისა, არსებობს მიწისქვეშა წყლების სხვა სახესხვაობებსაც, როგორცაა ძარღვული, ნაპრაღური, ფენური, კარსტული და ა.შ., მაგრამ ისინი შედარებით იშვიათია და ამიტომ, ნაკლებად საინტერესოა.

I.4.1 გრუნტის წყლები

გრუნტის წყალი ეწოდება დედამიწის ზედაპირიდან პირველი, მუდმივად მოქმედი წყალშემცველი პორიზონტის გრავიტაციულ წყალს, რომელიც ქვემოდან შემოსაზღვრულია წყალგაუმტარი საგები ფენით და გადაადგილდება საგების გასწვრივ საკუთარი სიმძიმის ძალის გავლენით, მაღალი დონის უბნებიდან დაბალი დონის უბნებისაკენ.

გრუნტის წყლის პორიზონტის სტრუქტურა ჭრილში შემდეგნაირად გამოისახება:



ნახ. I.7. გრუნტის წყლის პორიზონტის სქემა

1 – წყალგაუმტარი საგები ფენი; 2 – გრუნტის წყლის პორიზონტი; 3 – აერაციის ზონა; 4 – ჰიდროიზოჰიფსები; ab – წყალგაუმტარის სახურავი; cd – გრუნტის წყლების სარკე; 0-0 – მიწის ზედაპირი; \rightarrow ნაკადის მიმართულება

აერაციის ანუ ინფილტრაციის ზონა წარმოადგენს ჭრილის იმ ნაწილს, რომლის გავლითაც ატმოსფერული ნალექები, ზედაპირული ან კონდენსაციური წყლები ჩაიჭონება მიწის სიღრმეში;

გრუნტის წყლის ზედაპირი ანუ სარკე ნაკადს ზემოდან შემოსაზღვრავს. ეს თავისუფალი ზედაპირია, რომელზეც ჰიდროსტატიკური დაწნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია. ამის გამო გრუნტის წყლებს უდაწნეო წყლებსაც უწოდებენ;

საკუთრივ გრუნტის წყლების პორიზონტი ანუ ვერტიკალური ჭრილის ის ნაწილი, სადაც ყველა ფორი და სიცარიელე შევსილია გრავიტაციული წყლით. ეს ე.წ. გაჯერების ზონაა, რომელიც

ლითოლოგიურად კარგად წყალგამტარი ფენებით არის აგებული – ქვიშა, ქვიშნარი, ხრეში, კენჭნარი, კაჭარი, აგრეთვე ძირითადი ქანების გამოფიტვის ინტენსიურად დანაპრალიანებული ზონა;

წყალგაუმტარი საგები ფენი ანუ კერანი გრუნტის წყლის ჰორიზონტს ქვემოდან შემოსაზღვრავს და ლითოლოგიურად აგებულია პრაქტიკულად წყალგაუმტარი თიხური ქანებით;

დადმაველი წყარო ანუ გრუნტის წყლის ნაკადის ბუნებრივი განტვირთვა მიწის ზედაპირზე, რასაც ადგილი აქვს იქ, სადაც გრუნტის წყლის ზედაპირი, ანუ სარკე გადაკვეთს რელიეფს (სქემაზე არ ჩანს);

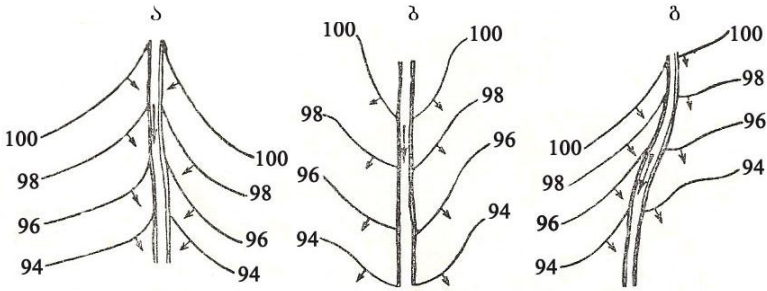
ჰიდროლოჰიფსები, ანუ წარმოსახვითი მრუდები, რომლებიც მიიღება, თუ გრუნტის წყლის ჰორიზონტის სარკეს გადაკვეთთ ერთმანეთისგან თანაბარი სიმაღლით დაშორებული ჰორიზონტალური სიბრტყეებით. ჰიდროლოჰიფსების საშუალებით გრუნტის წყლის ჰორიზონტი გამოისახება გეგმაში იგივე პრინციპით, როგორც ხდება რელიეფის გეგმაში გამოსახვა იზოჰიფსების საშუალებით. მაშასადამე, ჰიდროლოჰიფსი წარმოადგენს მრუდს, რომელიც ერთმანეთთან აერთებს გრუნტის წყლის ზედაპირზე მდებარე, ერთნაირი აბსოლუტური ნიშნულების მქონე წერტილებს. გეგმაში გამოსახვის სიზუსტე მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მცირეა ჰიდროლოჰიფსებს შორის კვეთის სიმაღლე.

გრუნტის წყლები არაღრმა ცირკულიაციის წყლებია, ამიტომ მათი კვების არე გავრცელების არეს ემთხვევა. ამავე მიზეზით გრუნტის წყლები მჭიდროდ არის დაკავშირებული ატმოსფერულ ნალექებთან და ზედაპირულ ნაკადებთან, რომელთა ხარჯზეც ხდება გრუნტის წყლების კვება. ამგვარი პიდრავლიკური კავშირი განსაკუთრებით მკაფიოდ არის გამოხატული მდინარეების ხეობების ფარგლებში. აქ სამ ძირითად შემთხვევას არჩევენ:

პირველ შემთხვევაში მდინარე ორივე ფერდობზე გრუნტის წყლების ხარჯზე იკვებება;

მეორე შემთხვევაში გრუნტის წყლის ჰორიზონტი ხეობის ორივე ფერდობიდან მდინარის წყლით იკვებება, რაც კარგად ჩანს პიდროიზოპიფსების კონფიგურაციიდან;

მესამე შემთხვევა კომბინირებულია, როდესაც მდინარე იერთებს გრუნტის წყლის ნაკადს მარჯვენა ფერდობიდან და კვებავს გრუნტის წყლის ჰორიზონტს მარცხენა ფერდობზე. ეს ვარიანტი დამახასიათებელია მონოკლინური სტრუქტურის ხეობისთვის, როდესაც ფერდობის ამგები შრეები დახრილია ერთი მიმართულებით, ერთნაირი კუთხით.



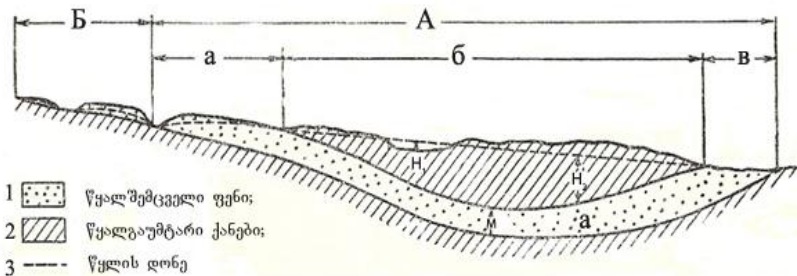
ნახ. I.8. პიდროზოპიფსების ფორმა ზედაპირული და გრუნტის წყლების სხვადასხვა თანაფარდობისას

ა-მდინარე იკვებება გრუნტის წყლებით, მათი სარკე დახრილია მდინარისკენ; ბ-მდინარე კვებავს გრუნტის წყლებს, სარკე დახრილია მდინარიდან; ბ-მდინარე კვებავს გრუნტის წყლებს მარცხენა ფერდობზე და კრებს მათ მარჯვენა ფერდობიდან

I.4.2 არტეზიული წყლები

არტეზიული წყალი ღრმა ცირკულიაციის დაწნევიით წყალია, რომელიც ზემოდან და ქვემოდან წყალგაუმტარი ქანებით შემოსაზღვრულ წყალშემცველ ფენში მოძრაობს.

გეოლოგიურ ჭრილში ტიპური არტეზიული აუზის სტრუქტურა შემდეგნაირად გამოისახება:



ნახ. I.9. არტეზიული აუზის აგებულების სქემა

A-არტეზიული წყლების გავრცელების საზღვრები; a-კვების არე, ნ-დაწნევის არე, B-განტვირთვის არე; E-გრუნტის წყლების გავრცელების საზღვრები; H₁ - წნევის დონე მიწის ზედაპირის ზევით; H₂ - წნევის დონე მიწის ზედაპირის ქვევით; M - არტეზიული ჰორიზონტის სიმძლავრე (მ).

ქვედა პატარა “ა” ამოსადები

1. არტეზიული დაწნევითი ჰორიზონტი, ანუ ფენი, რომელიც ლითოლოგიურად კარგად წყალგამტარი ქანებით - ქვიშით, სრეშით, კენჭნარით, კაჭარით, ნაპრალოვანი კირქვებით და ქვიშაქვებით და ა.შ. არის წარმოდგენილი.
2. წყალგაუმტარი ქანები, რომლებითაც არტეზიული ჰორიზონტი შემოსაზღვრულია როგორც ზემოდან, ისე ქვემოდან.
3. არტეზიული ჰორიზონტის დაწნევითი, ანუ პიეზომეტრული ზედაპირი, რომლითაც ზემოდან შემოსაზღვრულია არტეზიული ჰორიზონტის ბუნებრივი ჰიდროსტატიკური დაწნევის სიდიდე. ეს წარმოსახვითი ზედაპირია, რომელიც მიიღება, თუ არტეზიული ფენის სახურავი გვერდის მიწის ზედაპირზე გამოსავლის წერტილებს კვებისა და განტვირთვის არეებში ერთმანეთთან შევავრთებთ. მეტი სიზუსტისთვის განვმარტავთ, რომ სქემაზე პუნქტირით დატანილი ხაზი პიეზომეტრული ზედაპირის კვალია შვეულ სიბრტყეზე. არტეზიულ ფენში ბუნებრივი ჰიდროსტატიკური დაწნევის არსებობის მიზეზებზე მოგვიანებით შევჩერდებით;

არტეზიული აუზის სტრუქტურაში სამი მთავარი არე (ზონა) გამოიყოფა:

a – კვების არე, რომლის ფარგლებშიც არტეზიული ფენი გაშიშვლებულია, დედამიწის ზედაპირზე მაღალ აბსოლუტურ ნიშნულებზე და ხდება ატმოსფერული ნალექების, ზედაპირული და კონდენსაციური წყლების ინტენსიური ინფილტრაცია (ჩაჟონვა) არტეზიულ ფენში.

ბ – დაწნევის არე, რომლის ფარგლებშიც არტეზიულ ჰორიზონტს გააჩნია ბუნებრივი ჰიდროსტატიკური დაწნევა, რაც ორი მთავარი მიზეზით არის განპირობებული:

ა) არტეზიული წყალშემცველი ჰორიზონტი, რომელიც დიდ სიღრმეზეა განლაგებული, მის ზემოთ მდებარე შრეების სიმძიმის ძალით უზარმაზარ გრავიტაციულ დაწოლას განიცდის. ფენში წყლის მოძრაობა გაძნელებულია და წყალი ერთგვარად შეკუმშულ მდგომარეობაში იმყოფება. ამგვარი მაღალი დაწოლის პირობებში დაშვება იმის შესახებ, რომ სითხე პრაქტიკულად უკუმშავია, მართებულობას კარგავს. შეკუმშვის ხარისხი განისაზღვრება კუმშვადობის კოეფიციენტის სიდიდით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}, \quad (1.6)$$

სადაც, V არის სითხის საწყისი მოცულობა; dV – მოცულობის შეცვლის სიდიდე dP გრავიტაციული დაწოლის ზემოქმედებით.

ფენში შეკუმშულ მდგომარეობაში არსებული წყალი დრეკად თვისებას იძენს, ამიტომ არტეზიული ფენის ჭაბურღილით გადაკვეთისას წყალი მოძ-

რაობს ქვევიდან ზევით, სანამ არ მიაღწევს პიეზომეტრული ზედაპირის ნიშნულს.

ბ) კვების არეში დაწნევითი ჰორიზონტის გამოსავლის ნიშნული გაცილებით უფრო მაღალია განტვირთვის არეში გამოსავლის ნიშნულთან შედარებით. ნიშნულების მკვეთრი განსხვავების გამო, წყლის მოძრაობა ზიარტურტლის კანონის მიხედვით ხდება.

გ – განტვირთვის არე, სადაც ადგილი აქვს დაწნევითი მიწისქვეშა წყლების ბუნებრივ განტვირთვას აღმავალი წყაროების სახით.

ჰ – ჰიდროსტატიკური დაწნევა, ანუ ვერტიკალური მანძილი (მ) დაწნევითი ჰორიზონტის სახურავი გვერდიდან პიეზომეტრულ ზედაპირამდე.

მ – დაწნევითი წყაშემცველი ფენის სიმძლავრე, ანუ სისქე (მ).

გრუნტის წყლებისგან განსხვავებით, არტეზიული წყლები განლაგების დიდი სიღრმით და ფილტრაციის დიდი მანძილით ხასიათდება, რაც მათ საიმედოდ იცავს გაჭუჭყიანებისგან. არტეზიული წყალი ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობაში წყალმომარაგების მიზნით. გარდა ამისა, ბუნებრივი დაცულობის მაღალი ხარისხის გამო, სტრატეგიული მნიშვნელობა ენიჭება, განსაკუთრებით ატომური ომის პირობებში.

1.5 მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის მიმართულების და სიჩქარის განსაზღვრა

რიგი პრაქტიკული საინჟინრო ამოცანების გადასაწყვეტად, საჭირო ხდება მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკური მახვენებლების შესწავლა, მათ

შორის, ნაკადის მოძრაობის მიმართულების და სიჩქარის განსაზღვრა. თუ ხელთა გვაქვს ჰიდროიზოჰიფსების რუკა, საკითხი მარტივად წყდება, რადგანაც ნაკადის მოძრაობის მიმართულება ნებისმიერ წერტილში არის ამ წერტილში ჰიდროიზოჰიფსისადმი გავლებული პერპენდიკულარი, რომელიც მიმართულია ნიშნულების შემცირებისაკენ.

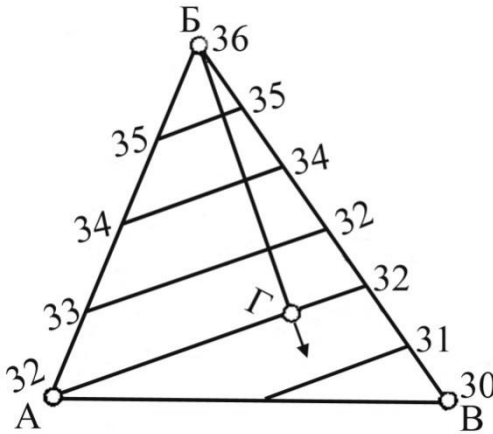


I.10 ნაკადის მიმართულების განსაზღვრა ჰიდროიზოჰიფსების რუკის მიხედვით

იმ შემთხვევაში, როდესაც ასეთი რუკა არ არსებობს, ნაკადის მოძრაობის მიმართულების განსაზღვრის უმარტივეს მეთოდს სამკუთხედის წესი წარმოადგენს (ე.წ. ტიძის სამკუთხედი, ტიძი მკვლევარის გვარია).

თუ ცნობილია სამკუთხედის წვეროებში მდებარე ჭაბურღილებში წყლის დონის განლაგების სიღრმე, რელიეფის ზედაპირის აბსოლუტური ან ფარდობითი ნიშნულები, მაშინ შესაძლებელია გამოვთვალოთ წყლის დონის ნიშნული სამივე წერტილში (ჭაბურღილში). დავუშვათ A წერტილში წყლის

ზედაპირის ნიშნული ტოლია 32 მ, B წერტილში – 36 მ და B წერტილში – 30 მ.



ნახ. I.11. სამკუთხედის წესით ნაკადის მიმართულების განსაზღვრა

დავყოთ სამკუთხედის გვერდები მათ წვეროებს შორის არსებული ნიშნულების სხვაობის პროპორციულ მონაკვეთებად და შევავართოთ ერთნაირი ნიშნულების მქონე წერტილები; მივიღებთ ჰიდროიზოჰიფსებს. ნახაზზე მოცემულ შემთხვევაში გრუნტის წყლის ნაკადი, ცხადია, მოძრაობს ისრის გასწვრივ, რომელიც ჰიდროიზოჰიფსებისადმი პერპენდიკულარულია.

მიწისქვეშა წყლების ნამდვილი სიჩქარის განსაზღვრა რამდენიმე ხერხით არის შესაძლებელი, რომელთა შორის ხშირად გამოიყენება ე.წ. საღებავი ნივთიერებების მეთოდი. უმეტეს შემთხვევაში ეს ორგანული საღებავია, რომლის აღმოჩენა წყალში

ერთი მემილიონედი კონცენტრაციის დროსაც კი ხერხდება. ტუტე რეაქციის მიწისქვეშა წყლებში უფრო მდგრადია ფლუორესცენინი, რომელსაც უმნიშვნელო კონცენტრაციის დროს დამახასიათებელი მომწვანო-მოყვითალო ფერი აქვს. ფლუორესცენინის ხსნარის დამზადებისას, საღებავის უკეთ გახსნის მიზნით, წყალს ნატრიუმის ტუტის ან ამიაკის მცირე რაოდენობას უმატებენ. პრაქტიკული ცდებით დადგინილია ფლუორესცენინის რეკომენდებული რაოდენობები ფილტრაციის 1 მ მანძილზე გადაანგარიშებით: ქვიშოვან გრუნტებში – 0.5 გ; ქვიშნარში – 1.0 გ; თიხოვან ქანებში – 1.5 გ; ნაპრალოვან ქანებში – 1.2 გ; დაკარსტულ ქანებში – 0.6 გ.

თუ მიწისქვეშა წყალს მუავე რეაქცია ახასიათებს, ფლუორესცენინის ნაცვლად შეჰყავთ იმავე რაოდენობით ანილინის, მეთილენის ლურჯის საღებავები ან ლილა. გამარტივებული სქემის შემთხვევაში ზედა ჭაბურღილში ჩატვირთავენ საღებავს. ჩატვირთვის მომენტიდან, პერიოდულად წყლის სინჯების აღების გზით, აკვირდებიან საღებავის გამოჩენას ქვედა ჭაბურღილში. ვიცით რა მანძილი ჭაბურღილებს შორის ($S, მ$) და ინდიკატორის გავლის დრო (t), ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეს გამოვიანგარიშებთ ცნობილი ფორმულით:
$$v = \frac{S}{t} \quad (I.7)$$

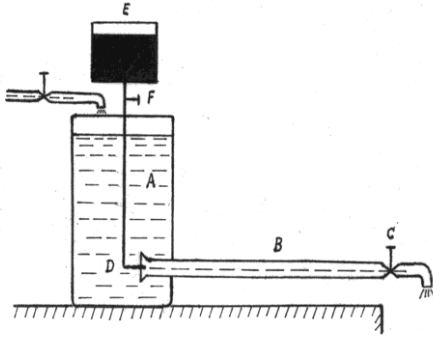
1.6 სითხის მოძრაობის რეჟიმის სახეობანი

გრუნტის წყლების მოძრაობა შეიძლება იყოს *ლამინარული* ან *ტურბულენტური*. ლამინარულის

ქვეშ ისეთი მოძრაობა იგულისხმება, როდესაც ნაკადის ცალკეული ჭავლები მოძრაობენ ერთმანეთის პარალელურად მცირე სიჩქარით ჩქეფების გარეშე. ამიტომ, ლამინარულ მოძრაობას ზოგჯერ პარალელურ – ჭავლურსაც უწოდებენ. მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა უმეტეს შემთხვევაში ლამინარულია, რადგანაც მოძრაობის სიჩქარე ამ დროს დაბალია.

ტურბულენტური მოძრაობის ქვეშ ისეთი მოძრაობა იგულისხმება, რომელსაც ახასიათებს მაღალი სიჩქარეები, ჩქეფების წარმოქმნა, პულსაცია და ცალკეული ჭავლების ერთმანეთზე გადადინება. მოძრაობის ეს ტიპი შეიძლება წარმოიქმნას მხოლოდ დიდი ზომის ფორებში ან ქანებში არსებულ ღია ნაპრალებში ნაკადის მაღალი გრადიენტის დროს, მაგალითად, იმ ჭაბურღილის სიახლოვეს, საიდანაც წყლის ინტენსიური ამოტუმბვა ხდება.

სითხის მოძრაობის ამ ორგვარი რეჟიმის გამოსატულება არის ცდა, რომელიც ინგლისელმა ჰიდრაულიკოსმა **რეინოლდსმა** ჩაატარა (ნახ. I.12). საცდელი მოწყობილობა შედგება ავზისაგან, რომელთანაც მიერთებულია მინის მილი. მინის მილში წყლის ხარჯის რეგულირება შესაძლებელია **C** ონკანის საშუალებით.



ნახ. 1.12. რეინოლდსის ხელსაწყო

A – ავზი; B – მინის მილი; C – ხარჯის სარეგულირო ონკანი;
 D – მინის მილში მოთავსებული წვრილი მილაკი; E –
 საღებავიანი ჭურჭელი; F – ონკანი წვრილ მილაკზე

ავზში წყლის დონე ცდის განმავლობაში არ იცვლება. ამისათვის, ავზის ერთი გვერდი გადმოღუნულია და თუ ავზში წყლის მიწოდება აღემატება მილიდან გამომავალი ნაკადის ხარჯს, ზედმეტი წყალი გადმოედინება გადმოღუნული კედლიდან. მილში შეყვანილია წვრილი მილაკის ერთი ბოლო, მეორე კი, მიერთებულია პატარა ჭურჭელთან. მილს აქვს ონკანი. ჭურჭელში მოთავსებულია საღებავი, რომლის მოცულობითი წონა წყლის მოცულობითი წონის ტოლია. ცდის დასაწყისში ონკანი ჩაკეტილია, ამიტომ საღებავი ჯერ ავზში ვერ გადადის.

ცდის დასაწყისში ოდნავ აღებენ C ონკანს. ამ დროს წყალი მილში ძალიან ნელა მოძრაობს. მას შემდეგ, რაც ნაკადის მოძრაობა დამყარებული გახდება, აღებენ ონკანს. საღებავი წვრილი ჭავლით იწყებს გამოსვლას მილის ბოლოდან. მინის მილში

კარგად ჩანს, თუ როგორ "გაიჭიმება" საღებავი ძაფივით ნაკადის მთელ სიგრძეზე. შემდგომ, ნელა და ფრთხილად უფრო მეტად გავაღოთ C ონკანი. რაღაც დროის განმავლობაში სურათი არ შეიცვლება და საღებავი კვლავ ძაფივით იდენს, მაგრამ დადგება მომენტი, როდესაც მილის ბოლოს დაიწყება ჭავლის რხევა და ჭავლი სინუსოიდის ფორმას მიიღებს. ონკანის უფრო მეტად გაღებით, თუ წყლის მოძრაობის სიჩქარეს კიდევ გავზრდით, სურათი მკვეთრად შეიცვლება. საღებავის ჭავლი ქრება და მილში წყლის ნაკადი იღებს თანაბარ შეფერილობას. საღებავი სწრაფად შეერევა წყალს და აფერადებს მას.

ეს ცდა გვიჩვენებს, რომ ერთი და იგივე სითხის მოძრაობა სხვადასხვაგვარი შეიძლება იყოს, ანუ სითხეს აქვს მოძრაობის ორგვარი რეჟიმი. პირველ შემთხვევაში, მილში სითხე მოძრაობს კონცენტრირებული რგოლური შრეებით – სითხის ნაწილაკები ერთმანეთის მიმართ წრფივად მოძრაობს, მილის კედლების მიმართ კი – პარალელურად. ამ დროს ნაწილაკები განივად არ გადაადგილდება. მოძრაობის მეორე რეჟიმის დროს სითხის ნაწილაკებს, გარდა წრფივი გადატანითი მოძრაობისა, უწესრიგო მოძრაობის განივი გადაადგილებაც ახასიათებს. მოძრაობის ტრაექტორიები ნებისმიერია. ნაკადში ხდება წყლისა და საღებავის ნაწილაკების ურთიერთშერევის პროცესი. მოძრაობის პირველ ტიპს ლამინარული მოძრაობა ეწოდება (lamina - შრე), ხოლო მეორეს – ტურბულენტური (turbulentus

– უწესრიგო). ტურბულენტური მოძრაობა გაცილებით უფრო ხშირად გვხვდება ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ასეთია მდინარის, ნაკადულის, აგრეთვე წყლის მოძრაობა არხში და სხვ. მოძრაობის ლამინარული რეჟიმი ახასიათებს უფრო ბლანტ სითხეებს, როგორცაა მაგალითად, ნავთი, ზეთი და სხვ., რომლებიც მილსადენში ძალიან დაბალი სიჩქარით მოძრაობს. ნათქვამიდან გამომდინარეობს, რომ ზოგადად ტექნიკაში და კერძოდ ჰიდროტექნიკაში დიდი მნიშვნელობა სწორედ სითხის მოძრაობის ტურბულენტურ რეჟიმს ენიჭება.

ჰიდრაულიკაში ნაკადის მოძრაობის სახეობის დასადგენად რეინოლდსის რიცხვი გამოიყენება, რომელიც ტოლია:

$$R_e = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (1.8)$$

სადაც u - ნაკადის მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა; d - იმ მილაკის დიამეტრი, რომელშიც მოძრაობს ნაკადი;

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ - სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი, რომლის გამოსახულებაშიც μ - წყლის სიბლანტეა, ρ - წყლის სიმკვრივე.

მილაკში წყლის მოძრაობა ლამინარული რეჟიმით ხდება, როდესაც რეინოლდსის რიცხვი $R_e < 2300$, ხოლო ტურბულენტური რეჟიმის შემთხვევაში $R_e > 2300$. რეინოლდსის რიცხვის სიდიდე ქანების ლითოლოგიის შესაბამისად იცვლება. მაგალითად, საშუალომარცვლოვან ქვიშებში $R_e = 50 \div 60$; ლამინარული და ტურბულენტური მოძრაობების

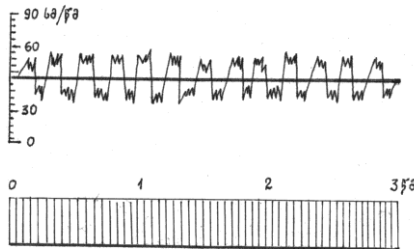
ცნებებთან დაკავშირებით შემოდებუღია ნაკადის კრიტიკული სიჩქარის სიდიდე. ეს ისეთი სიჩქარეა, რომლის ზემოთაც ლამინარული მოძრაობა ტურბულენტური მოძრაობის რეჟიმით იცვლება. ექსპერიმენტულად დადგენიღია დამოკიდებულება გრუნტის მარცვლების ეფექტურ დიამეტრსა და ამ გრუნტში მოძრავი ნაკადის კრიტიკული სიჩქარის სიდიდეებს შორის. რიცხობრივ გამოსატულებაში ამ დამოკიდებულებას შემდეგი სახე აქვს:

$$d_{\text{ეფ.}} = 0.57 \text{ მმ} \quad v_{\text{კრ.}} = 890 \text{ მ/დღ.ღ}$$

$$d_{\text{ეფ.}} = 0.90 \text{ მმ} \quad v_{\text{კრ.}} = 527 \text{ მ/დღ.ღ}$$

$$d_{\text{ეფ.}} = 1.35 \text{ მმ} \quad v_{\text{კრ.}} = 302 \text{ მ/დღ.ღ}$$

ენახოთ, როგორ ასახვას პოუღობს ტურბულენტური მოძრაობის პროცესი სივრცის რომელიმე წერტიღში, რომელიც დაკავებუღია გამღინარე სითხით (სურ. I.13).



ნახ. I.13. ნაკადის პუღსაცია ტურბულენტური მოძრაობის დროს

ტურბულენტური მოძრაობისას დროის სხვადასხვა მომენტში გამღინარე სითხით დაკავებუღი

სივრცის რომელიმე წერტილში გაივლის სითხის მოცულობები, რომელთაც მოძრაობის სხვადასხვა სიჩქარე და მიმართულება აქვს. ამიტომ შერჩეულ წერტილში სიჩქარე განუწყვეტლივ იცვლება სიდიდით და მიმართულებით ანუ ხდება ე.წ. *სიჩქარის პულსაცია*, რაც ტურბულენტური მოძრაობის ერთ-ერთი დამახასიათებელი თვისებაა.

იმის გამო, რომ ნაკადის სიჩქარესა და დაწნევას შორის არსებობს მჭიდრო კავშირი, სიჩქარის პულსაციას, როგორც წესი, თან ახლავს წნევის პულსაციაც. ამასთან, ექსპერიმენტულად და თეორიულად დადგენილია, რომ ნებისმიერ წერტილში სიჩქარისა და წნევის მერყეობა ხდება განსაზღვრული საშუალო სიდიდეების ფარგლებში. ეს კი ნიშნავს, რომ თუ მოცემულ წერტილში, დროის საკმაოდ დიდი ინტერვალის განმავლობაში, ჩავატარებთ სიჩქარის სიდიდისა და მისი მიმართულების გაზომვებს, ამის საფუძველზე დროის მოცემული ინტერვალისთვის გამოვთვლით სიდიდისა და მიმართულების საშუალო მნიშვნელობებს. თუ ანალოგიურ გაზომვებს რამდენჯერმე გავიმეორებთ, ყოველთვის სიჩქარის სიდიდისა და მიმართულების ერთსა და იმავე საშუალო სიდიდეებს მივიღებთ.

ტურბულენტური ნაკადის სიჩქარეს საზღვრავენ ჩვეულებრივი გამზომი ხელსაწყოთი, *პითოს* მილით ან ტრიალათი. ამ დროს მიიღება სიჩქარის საშუალოებული მნიშვნელობა. იმისათვის, რომ გამოვრიცხოთ პულსაციის გავლენა და მივიღოთ გასა-

შუალღობული სიჩქარის ნამდვილი სიდიდე, ტრიალას ნაკადის მოცემულ წერტილში აჩერებენ 2-3 წუთით.

რეინოლდსისა და სხვა მკვლევარების მიერ ჩატარებულმა ცდებმა უჩვენა, რომ სხვადასხვა ნაკადის ერთი რეჟიმიდან მეორეზე გადასვლა ხდება რეინოლდსის რიცხვის ერთი და იმავე გარკვეული მნიშვნელობისას. ამასთან, არსებობს რეინოლდსის რიცხვის ორი კრიტიკული მნიშვნელობა – ზედა და ქვედა. თუ რეინოლდსის რიცხვის სიდიდე ნაკლებია მის ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობაზე $Re < Re_{ქვ.კრ.}$, მაშინ მოძრაობა მხოლოდ ლამინარულ რეჟიმში მიმდინარეობს. თუ რეინოლდსის რიცხვის ფაქტობრივი მნიშვნელობა თავსდება ქვედა და ზედა კრიტიკულ სიდიდეთა შორის $Re_{ქვ.კრ.} < Re < Re_{ზე.კრ.}$, მაშინ მოძრაობა შეიძლება იყოს როგორც ლამინარული, ისე ტურბულენტური. დაბოლოს, თუ რეინოლდსის რიცხვის ფაქტობრივი სიდიდე აღემატება კრიტიკულ მნიშვნელობას $Re > Re_{ზე.კრ.}$, მაშინ მხოლოდ ტურბულენტური მოძრაობა არის შესაძლებელი.

ქვემოთ მოცემულია ცხრილი, რომელშიც, მრავალრიცხოვანი ცდების საფუძველზე, ნაჩვენებია რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული სიდიდეები ნაკადის მოძრაობისას წრიული კვეთის ცილინდრულ მილსადენში და ღია არხში. მილსადენისთვის რეინოლდსის რიცხვი ორ ვარიანტში არის მოცემული:

$\ell = d$ (d მილის დიამეტრია) და $\ell = R$ (R ჰიდრაულიკური რადიუსი). ღია არხის შემთხვევაში რეინოლდსის რიცხვის გამოსათვლელად ითვლება, რომ $\ell = R$.

ცხრილი I.1

რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობები

ნაკადი	Re _{კვ.კრ.}		Re _{ფ.კრ.}	
	$\ell = d$	$\ell = R$	$\ell = d$	$\ell = R$
წრიულ მილსადენში	2000	500	12000	3000
ღია არხში	–	300	–	1200

I.7 ხაზობრივი ფილტრაციის ძირითადი კანონი (დარსის კანონი)

მილაკში მოთავსებულ ქვიშაში წყლის ფილტრაციაზე ჩატარებული ცდების საფუძველზე, 1856 წელს, ფრანგი ჰიდრაულიკოსის დარსის მიერ დადგენილ იქნა, რომ ფილტრაციის მანძილთან მიმართებაში წყლის ხარჯსა და დაწნევის დაკარგვას შორის არსებობს დამოკიდებულება, რომელიც მათემატიკურად შემდეგი ფორმულით ჩაიწერება:

$$Q = kF \frac{\Delta H}{L} \quad (I.9)$$

სადაც Q ნაკადის ხარჯია, F - მილაკის განივკვეთის ფართობი; ΔH - ფილტრაციის განმავლობაში დაწნევის დანაკარგი; L - მილაკის სიგრძე; k - პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ქვიშის წყალგამტარობაზე.

თუ დაწნევის დანაკარგის სიდიდეს (ΔH) შევადარებთ მილაკის (L) სიგრძესთან და მიღებულ დაწნევის გრადიენტს აღვნიშნავთ J ასოთი გვექნება:

$$Q = kFJ \quad (I.10)$$

(I.10) განტოლება გამოსახავს ფილტრაციული ნაკადის ხარჯს ზოგადად. თუ ტოლობის ორივე მხარეს F -ზე გავყოფთ, მივიღებთ: $\frac{Q}{F} = v = kJ$ (I.11)

მიღებული (I.11) განტოლება დარსის კანონს წარმოადგენს, რომელიც გამოხატავს ხაზობრივ დამოკიდებულებას ფილტრაციის სიჩქარესა და დაწნევის გრადიენტს შორის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ფილტრაციის სიჩქარე არ არის ფორებსა და ნაპრალებში წყლის მოძრაობის ნამდვილი სიჩქარის ტოლი. ნამდვილ სიჩქარესა და ფილტრაციის სიჩქარეს შორის თანაფარდობა შემდეგი მსჯელობიდან გამომდინარეობს. აღვნიშნოთ, ფილტრაციული ნაკადის ხარჯი Q , წყალშემცველი ქანის განივკვეთის ფართობი F -ით. მაშინ, ფილტრაციული ნაკადის ხარჯი ტოლი იქნება $Q = Fv$, სადაც v - ფილტრაციის სიჩქარეა.

გამოვსახოთ ნაკადის ხარჯი ნამდვილი სიჩქარის მიხედვით - u . თუ ქანის ფორიანობას n -ით აღვნიშნავთ, მაშინ ნაკადის ხარჯი ტოლი იქნება $Q = nFu$. ფორმულების მეორე ნაწილის გატოლებით მივიღებთ: $v = un$ აქდან გამომდინარეობს, რომ ფილ-

ტრაციის v სიჩქარე ტოლია მოძრაობის u ნამდვილი სიჩქარე გამრავლებული ქანის n ფორიანობაზე. რადგან, ფორიანობა ყოველთვის ერთზე ნაკლებია - $n < 1$, ფილტრაციის სიჩქარე ყოველთვის ნაკლებია მოძრაობის ნამდვილ სიჩქარეზე.

პროპორციულობის k კოეფიციენტს ფილტრაციის კოეფიციენტი ეწოდება. იგი ახასიათებს ქანების წყალშედწევადობას, რაც დამოკიდებულია ფორებისა და ნაპრალების ზომებზე, მათი მოცულობის ქანის საერთო მოცულობასთან შეფარდებაზე, ქანების დამარილიანების ხარისხზე და წყლის ფიზიკურ თვისებებზე, კერძოდ, მის მოცულობით წონასა და სიბლანტეზე.

თუ (L11) განტოლებაში დავუშვებთ, რომ $J=1$ მაშინ $v=k$. მაშასადამე, ფილტრაციის კოეფიციენტი რიცხობრივად წყლის ფილტრაციის სიჩქარის ტოლია იმ შემთხვევაში, როდესაც დაწნევის გრადიენტი უდრის ერთს. ფილტრაციის კოეფიციენტის განზომილება იგივეა რაც ფილტრაციის სიჩქარისა, მაგალითად, სმ/წმ ან მ/დღეღამე. ეს უკანასკნელი უფრო ხშირად გამოიყენება ჰიდროგეოლოგიურ გაანგარიშებებში. ქვემოთ მოცემულ ცხრილ I2-ში ნახვენებია ფილტრაციის კოეფიციენტის საორიენტაციო სიდიდეები გრუნტის ლითოლოგიურ სახესხვაობებზე დამოკიდებულებით.

**ფილტრაციის კოეფიციენტის საორიენტაციო სიდიდეები
სხვადასხვა ლითოლოგიის ქანებში**

ქანის დასახელება	ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღელამე
თიხები	<0.001
თიხნარები	0.01 – 0.1
ქვიშნარები	0.1 – 0.5
ძლიერ თიხოვანი ქვიშები	0.5 – 1.0
- წვრილმარცვლოვანი	1.0 – 5.0
- საშუალომარცვლოვანი	5.0 – 15.0
- მსხვილმარცვლოვანი	15.0 – 50.0
- კენჭების ჩანართებით	50.0 – 100.0
კენჭნარი	100.0 – 200.0

ფილტრაციის კოეფიციენტი ქანების ძალზე მნიშვნელოვანი ფიზიკური მახასიათებელია. მისი სიდიდე ფიგურირებს რიგ ჰიდროდინამიკურ გაანგარიშებებში, როგორცაა წყლის მოძინება სამშენებლო ქვაბულში, კარიერში და მიწისქვეშა გამონამუშევრებში, საირიგაციო სისტემების დაპროექტება, ფილტრაციული დანაკარგები არხებიდან და კაშხლებიდან, წყალდაწვევის ანგარიში და ა.შ.

რეალურ, ბუნებრივ პირობებში ფილტრაციის კოეფიციენტის სიდიდე უმთავრესად ქანის ლითოლოგიაზე არის დამოკიდებული, რადგანაც იგი განსაზღვრავს ფორებისა და ნაპრალების სივრცობრივ განლაგებას, ანუ უშუალოდ ზემოქმედებს ქანის წყალგამტარობაზე. შედარებით ნაკლებად ფილტრაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია

სითხის ფიზიკურ თვისებებზე, კერძოდ, ტემპერატურასა და სიბლანტეზე.

დარსის კანონი მართებულია უმეტეს შემთხვევაში, როდესაც ქანებში წყლის ფილტრაციის სიჩქარე დაბალია. მეორე მხრივ, უხეშნატეხოვან, ძლიერ დანაპრაღიანებულ და დაკარსტულ ქანებში აღიძვრება ნაკადის ტურბულენტური მოძრაობა, რომელიც კრასნოპოლსკის მიერ გამოყვანილ შემდეგ ფორმულას ემორჩილება

$$v = k \cdot \sqrt{J} \quad (I.12)$$

(I.12) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ტურბულენტური მოძრაობის დროს ფილტრაციის სიჩქარე დაწნევის გრადიენტის 1/2 ხარისხის პროპორციულია.

თუ ქანი ფილტრაციულად ძლიერ არაერთგვაროვანია (მაგალითად, მსხვილი კარსტული სიცარიედეები მონაცვლეობს წვრილნაპრაღოვან უბნებთან), წყლის მოძრაობას შეიძლება შერეული ბუნება ჰქონდეს, რაც ზოგადად პრონის შემდეგი ფორმულით გამოისახება: $J = av + bv^2$ (I.13)

სადაც a და b წყლის მოძრაობის სახეობაზე დამოკიდებული კოეფიციენტებია;

ფილტრაციის მცირე სიჩქარის დროს განტოლებების მეორე წევრი სიდიდით უმნიშვნელოა და შეიძლება მისი უგულვებელყოფა, შესაბამისად,

$$J = av \text{ ანუ დარსის კანონის მიხედვით } v = \frac{J}{a} = kJ.$$

ფილტრაციის მაღალი სიჩქარისას განტოლების მეორე წევრი პირველს აღემატება. თუ ამ უკანასკნელს უგულებელვყოფთ გვექნება $J = bv^2$.

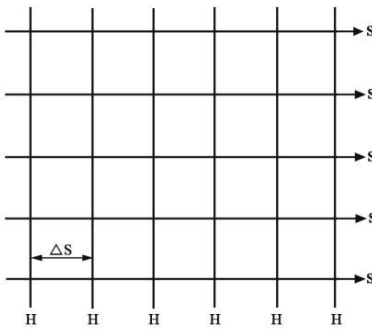
დაშვებით $k = \sqrt{\frac{1}{b}}$ მივდივართ კრასნოპოლსკის

ფორმულამდე $v = \sqrt{\frac{1}{b}J} = k\sqrt{J}$

1.8 ნაკადის ძირითადი ჰიდროდინამიკური ელემენტები

ნაკადის ძირითადი ელემენტებია: ნაკადის წირი, თანაბარი დაწნევის ხაზები, პიეზომეტრული დაწნევა და მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ქანობი. განვიხილოთ ეს ელემენტები.

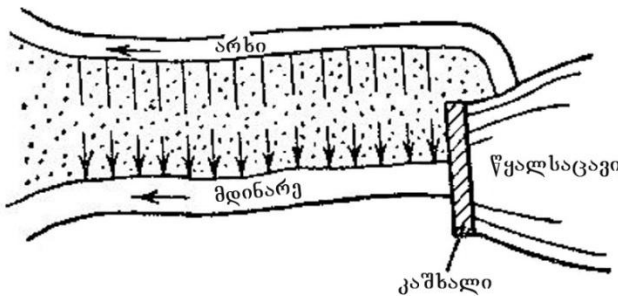
ნაკადის წირები და თანაბარი დაწნევის ხაზები. ნაკადის წირები ეწოდება ხაზებს, რომლის გასწვრივაც ნაკადის მოძრაობა ხდება. მათ პერპენდიკულარულ ხაზებს თანაბარი დაწნევის ხაზები ჰქვია. გრუნტის წყლების შემთხვევაში თანაბარი დაწნევის ხაზებს ჰიდროიზოჰიფსები ეწოდება, ხოლო არტეზიული წყლების შემთხვევაში - ჰიდროიზოჰიფები. თუ გვეგმაში გამოვხაზავთ თანაბარი დაწნევის ხაზებს, მივიღებთ ჰიდროიზოჰიფების (გრუნტის წყლები) ან ჰიდროიზოჰიფების (არტეზიული წყლები) რუკას. თუ ჰიდროიზოჰიფები და ნაკადის წირები ქმნის ერთმანეთის გადამკვეთი პარალელური ხაზების სისტემას, მაშინ წარმოიქმნება ბრტყელი ფილტრაციული ნაკადი.



S – ნაკადის წირები;
 H – თანაბარი დაწნევის
 ხაზები

ნახ. I.14. გრუნტის
 წყლის ბრტყელი ნაკადის
 სქემა

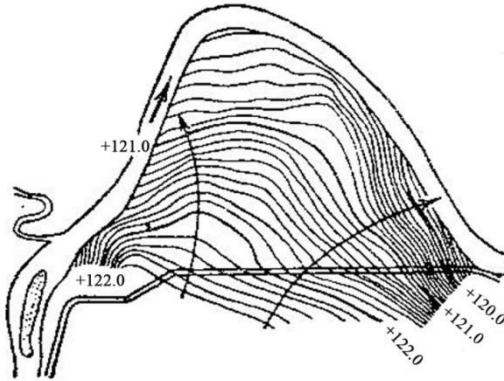
მაგალითს წარმოადგენს გრუნტის წყლების ნაკადი, რომლის ფილტრაცია არხსა და მდინარეს შორის არსებული ვიწრო წყალგამყოფის გავლით ხდება.



ნახ. I.15. გრუნტის წყლის ბრტყელი ნაკადის სქემა არხსა და
 მდინარეს შორის ვიწრო წყალგამყოფზე ფილტრაციისას

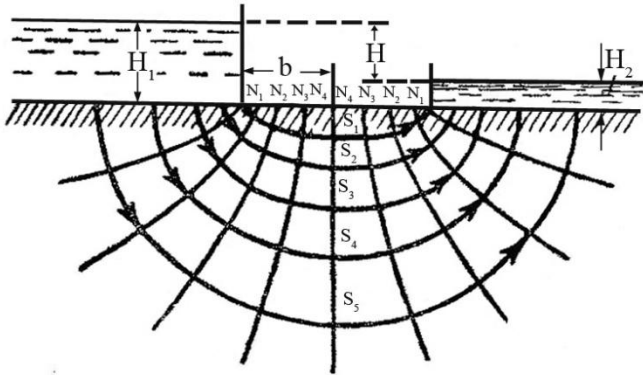
თუ ჰიდროიზოპიფსები მრუდების სისტემაა, მათდამი პერპენდიკულარული ნაკადის წირებს რადიუსის ფორმა აქვს და ასეთ ნაკადს რადიალური ნაკადი ეწოდება. მაგალითად, გრუნტის წყლების

რადიალური ნაკადი, რომელიც მდინარის მოსახვევში წარმოიქმნება.



ნახ. I.16. გრუნტის წყლის რადიალური ნაკადი. ნახვენებია ჰიდროიზოჰისები და მათი პერპენდიკულარული დენის ორი წირი

თანაბარი დაწნევის ხაზები და მათდამი პერპენდიკულარული ნაკადის წირები წარმოქმნის ჰიდროდინამიკურ ბადეს, ანუ სხვაგვარად რომ ვთქვათ, მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის ბადეს. დამყარებული მოძრაობის პირობებში მოძრაობის ბადე მუდმივია დროში, ხოლო დაუმყარებელი მოძრაობისას – ცვალებადი. მაგალითისთვის ნახაზზე მოცემულია მიწისქვეშა წყლების დამყარებული მოძრაობის ჰიდროდინამიკური ბადე, რომელიც წარმოიქმნება კაშხლის ფუძეში.

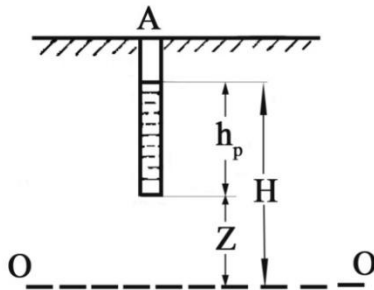


ნახ. I.17. კაშხლის ქვეშ გრუნტის წყლების მოძრაობის
ჰიდროდინამიკური ბადე

H_1 - წყლის დაწნევა ზედა ბიეფში; H_2 - წყლის დაწნევა ქვედა ბიეფში; H - ზედა და ქვედა ბიეფებში დაწნევებს შორის სხვაობა; b - კაშხლის ფლუტბეტის სიგანის ნახევარი; N_1, N_2, N_3, N_4 - ექვიპოტენციალები (თანაბარი დაწნევის ხაზები); S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 - დენის წირები (ხაზები). ისრებით ნაჩვენებია წყლის მოძრაობის მიმართულება
ფლუტბეტი ეწოდება წყალსაშვები კაშხლის წყალ-ქვეშა ძირითადი ნაწილები ერთობლიობას ანუ ხელოვნურ ზედაპირს (საგებს), რომელზეც მოძრაობს ნაკადი.

პიეზომეტრული დაწნევა. თვითდენად ჭაბურღილებში მიწისქვეშა წყლების დაწნევის ათვლა დედამიწის ზედაპირიდან ხდება, ხოლო სუბარტეზიულ ჭაბურღილებში - ჭაბურღილის სანგრევიდან ან წყალშემცველი ჰორიზონტის სახურავი გვერდიდან. მაგალითად, თუ წყალშემცველი ჰორიზონტის გახსნის შემდეგ, მიწისქვეშა წყლების დონემ აიწია

სახურავს ზემოთ 15 მეტრით, ითვლება რომ მიწისქვეშა წყლების დაწნევა 15 მეტრის ტოლია. თუ წყლის დონე წყალშემცველი ჰორიზონტის სახურავის დონეზე დამყარდა და ჭაბურღილის ჩაღრმავების შემდეგაც არ შეიცვალა, ითვლება, რომ გახსნილია უდაწნეო მიწისქვეშა წყლები. ზოგ შემთხვევაში სუბარტეზიულ ჭაბურღილებში წყლის დონის ათვლა ხდება ჭაბურღილის პირიდან და მაშინ საუბარია ე.წ. “უარყოფით წნევაზე”. ჰიდროიზოპიფსების (გრუნტის წყლებისთვის) ან ჰიდროიზოპიეზების (არტეზიული წყლებისთვის) რუკების შესადგენად საჭიროა ვიცოდეთ მიწისქვეშა წყლების არა პირობითი, არამედ ნამდვილი სიდიდეები. ამ დროს განსაზღვრავენ პიეზომეტრულ დაწნევას (დონეს), რომელიც ტოლია $H = h_p + Z$ (I.14).



ნახ. I.18. მიწისქვეშა წყლების პიეზომეტრული დაწნევის გრაფიკული გამოსახულება

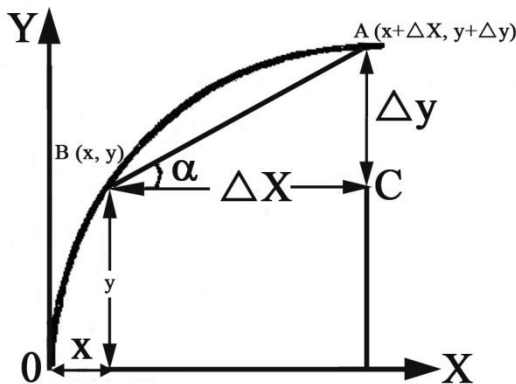
სადაც, H წყლის პიეზომეტრული დაწნევაა, h_p - პიეზომეტრული სიმაღლე, ანუ სანგრევიდან ათ-

ვლილი მიწისქვეშა წყლის სვეტის სიმაღლე, მ. Z - მანძილი ჭაბურღილის სანგრევიდან ათვის O-O სიბრტყემდე.

ნახ. I.18-დან ჩანს, რომ H არის მიწისქვეშა წყლების სტატიკური დონე ათვის სიბრტყიდან. წნევების გაანგარიშებისას ათვის სიბრტყედ ითვლება ზღვის დონე და შესაბამისად, პიეზომეტრულ დაწნევას აბსოლუტურ ნიშნულებში გამოსახავენ.

მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ქანობი (დაწნევის გრადიენტი). ფორების ზედაპირზე ხახუნის გამო, გრუნტის წყლების ნაკადს დახრილი ზედაპირი აქვს. მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ქანობს J-თი აღნიშნავენ. განვსაზღვროთ ქანობის სიდიდე.

თავდაპირველად, ვპოულობთ დეპრესიული მრუდის ქანობს მრუდის რომელიმე ab უბანზე.



ნახ. I.19. გრუნტის წყლების დეპრესიული მრუდი

ამისათვის, AB მრუდი შევცვალოთ AB წრფით. მაშინ, ABC მართკუთხა სამკუთხედიდან გვექნება $\frac{AC}{AB} = \sin \alpha$. რამდენადაც დებრესიული მრუდის დახრილობა ძალზე მცირეა, $\sin \alpha$ შეიძლება შევცვალოთ $\operatorname{tg} \alpha$. აღვნიშნოთ, B წერტილის კოორდინატები (x, y), ხოლო A წერტილის კოორდინატები - (x + Δx, y + Δy), სადაც Δx და Δy AB უბანზე კოორდინატების ნაზრდია; მაშინ, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{AC}{BC} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$. გამოსახულება $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ ახასიათებს დებრესიული მრუდის საშუალო ქანობს A და B წერტილებს შორის და აღვნიშნება $J_{საშ.}$. A წერტილის B წერტილთან მიახლოების კვალობაზე Δx და Δy თანდათან უსასრულოდ მცირე სიდიდედ გადაიქცევა. თუ გადავალთ ზღვარზე, გვექნება:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx} \quad (I. 15)$$

წარმოებული $\frac{dy}{dx}$ ამჯერად ახასიათებს არა AB უბანზე დებრესიული მრუდის საშუალო ქანობს, არამედ ქანობის ნამდვილ სიდიდეს B წერტილში. დებრესიული მრუდის ნებისმიერი სხვა წერტილი რომ აგველო, სამართლიანი იქნებოდა ტოლობა $J_{საშ.} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ და ნამდვილი ქანობის სიდიდე, რომელიც ტოლია $J = \frac{dy}{dx}$. ამგვარად, სიდიდე $\frac{dy}{dx}$ ახასიათებს

ნამდვილ ქანობს დეპრესიული მრუდის ნებისმიერ წერტილში, ანუ $J = \frac{dy}{dx}$. თუ დეპრესიული მრუდის Y ორდინატას გამოვსახავთ ფენის წყალგაჯერებული ნაწილის H სისქით, მაშინ ფორმულა მიიღებს სახეს: $J = -\frac{dh}{dx}$. ბუნებრივია, დაწნევითი წყლებისთვის, რომლებისთვისაც დაწნევის სიდიდე H ტოლია, გვექნება: $J = -\frac{dH}{dx}$. ფორმულებში ნიშანი “-“ ფიგურირებს იმიტომ, რომ ნაკადის მოძრაობის გზაზე dx იმატებს, ხოლო h და H იკლებს. ჰიდროლოგიის ან ჰიდროდინამიკური ბადის არსებობის შემთხვევაში ნაკადის ქანობი შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით: $J = -\frac{\Delta H}{\Delta S}$. სადაც ΔH თანაბარი დაწნევის ორ მეზობელ ხაზს შორის წნევის დაცემის სიდიდეა, ΔS – მათ შორის მანძილი ნაკადის წირის გასწვრივ.

II თავი. ერთგვაროვან ფენში მიწისქვეშა წყლების დამყარებული მოძრაობა

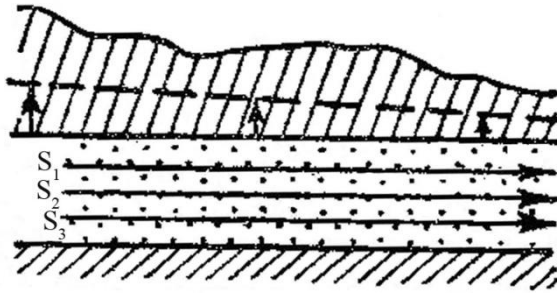
II.1 ზოგადი ცნობები

მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა ამა თუ იმ ხარისხით ყოველთვის დაუმყარებელია ანუ ცვალებადია დროში. თუმცა, როდესაც მიწისქვეშა წყლების კვების და განტვირთვის პირობები დროში ძალიან მცირედ იცვლება, მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც დამყარებული ანუ ისეთი, რომელიც დროში პრაქტიკულად არ იცვლება.

დამყარებული მოძრაობის დროს ნაკადის ჭავლები თითქმის ჰორიზონტალურად გადაადგილდება და ნაკადის სიღრმეში სურათი არ ირღვევა. ეს დაშვება ძირითადი წინაპირობაა მიწისქვეშა წყლების ნაკადის მოძრაობის ფორმულების გამოსაყვანად.

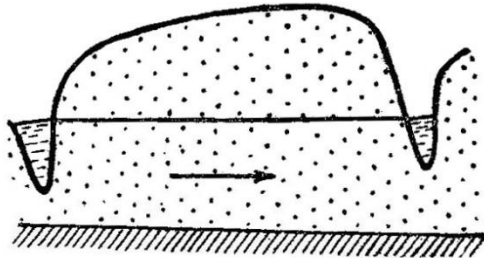
თუ ყოველ განივ კვეთში ფილტრაციის სიჩქარე მუდმივი რჩება, მაშინ ერთი კვეთიდან მეორეზე გადასვლისას ეს სიჩქარე შეიძლება იცვლებოდეს ან არ იცვლებოდეს. თუ ფილტრაციის სიჩქარე არ იცვლება, მაშინ მიწისქვეშა წყლების მოძრაობას თანაბარი მოძრაობა ეწოდება, ხოლო ცვლილების შემთხვევაში, ამბობენ რომ მოძრაობა არათანაბარია.

თანაბარი მოძრაობისას ნაკადის ჭავლის ხაზები წარმოადგენს წყალგაუმტარი საგების პარალელურ წრფეებს. ასეთი შემთხვევა შესაძლებელია, როდესაც მუდმივი სიმძლავრის არტეზიულ ფენში მოძრაობს დაწნევილი ნაკადი.



ნახ. II.1. მუდმივი სიმძლავრის არტეზიულ ფენში მიწისქვეშა წყლების თანაბარი მოძრაობა

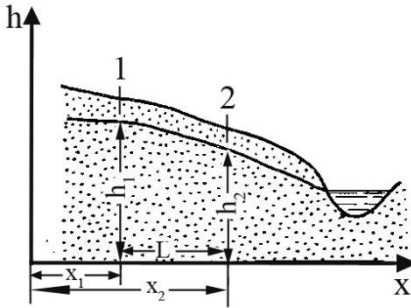
დახრილი წყალგაუმტარის გასწვრივ მოძრაობისას იგივე მოვლენას აქვს ადგილი, თუ ნაკადის სიმძლავრე (სისქე) უცვლელი რჩება.



ნახ. II.2. გრუნტის წყლების თანაბარი მოძრაობა დახრილი წყალგაუმტარის შემთხვევაში

ასეთი შემთხვევები ბუნებაში შედარებით იშვიათია. ჩვეულებრივ, მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა არათანაბარია. ამ დროს ნაკადის წირები წყალგაუმტარის პარალელურია მხოლოდ ამ უკანასკნელთან კონტაქტში, ხოლო ზევით წირის გამრუდებას აქვს ადგილი, წირები პარაბოლის ფორმისაა და, ამასთან, სიმრუდე მაქსიმალურია გრუნტის

წყლის ნაკადის თავისუფალ ზედაპირზე. მაგალითად, ჰორიზონტალურ ფენში გრუნტის წყლების მდინარის მიმართულებით მოძრაობისას დეპრესიის მრუდს ნახაზზე ნაჩვენები კონფიგურაცია აქვს (ნახ. II.3).



h_1 და h_2 - წყალშემცველი ფენის სიმძლავრეები 1 და 2 კვეთებში; x_1 და x_2 - კოორდინატა სათავიდან კვეთების დაშორებები; L - მანძილი კვეთებს შორის.

ნახ. II.2. გრუნტის წყლების მოძრაობა მდინარისკენ ჰორიზონტალური წყალგაუმტარის შემთხვევაში

ერთგვაროვან გარემოში მიწისქვეშა წყლების თანაბარ და არათანაბარ მოძრაობას შორის განსხვავება ცხრილ II.1-ში ნაჩვენები სამი ნიშანთვისებით განისაზღვრება.

ცხრილი II.1

მახასიათებლები	თანაბარი მოძრაობა	არათანაბარი მოძრაობა
წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე	მუდღეი	ცვალებადი
მოძრაობის სიჩქარე	მუდღეი	ცვალებადი
მიწისქვეშა წყლების ზედაპირის ქანობი	მუდღეი	ცვალებადი

მიწისქვეშა წყლების ნაკადს ბუნებრივი საზღვრები გააჩნია. ქვედა საზღვარს წყალგაუმტარი სა-

გები ფენი წარმოადგენს. ის შეიძლება იყოს კორი-
ზონტალური ან დახრილი. ზედა საზღვარი ორგვა-
რია: უწნეო წყლების შემთხვევაში ზედა საზღვარი
ნაკადის თავისუფალი ზედაპირია; დაწნეითი
წყლების შემთხვევაში კი, წყალგაუმტარი შრე,
რომლითაც ნაკადი ზემოდან არის შემოსაზღვრული.
ნაკადის გვერდით საზღვრებს (კონტურებს)
წარმოადგენს მისი განტვირთვის და კვების ზონები.
ასეთი საზღვრები შეიძლება იყოს მდინარეები,
ხევები, ტბები, ჭაობები და სხვ. თუ ორივე
საზღვარი ძალიან დაშორებულია იმ უბნიდან,
რომლისთვისაც მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის
პირობები განიხილება, ითვლება, რომ ნაკადი არის
“*შემოუსაზღვრავი*”, ანუ მისი საზღვრები
უსასრულობაშია. თუ მნიშვნელოვნად მხოლოდ
ერთი საზღვარია დაშორებული, ნაკადს “*ნახევრად
შემოსაზღვრული*” ეწოდება, ხოლო თუ საჭირო
ხდება პირობების ორივე საზღვარზე გათვალის-
წინება, ნაკადი განიხილება, როგორც “*შემოსა-
ზღვრული*”.

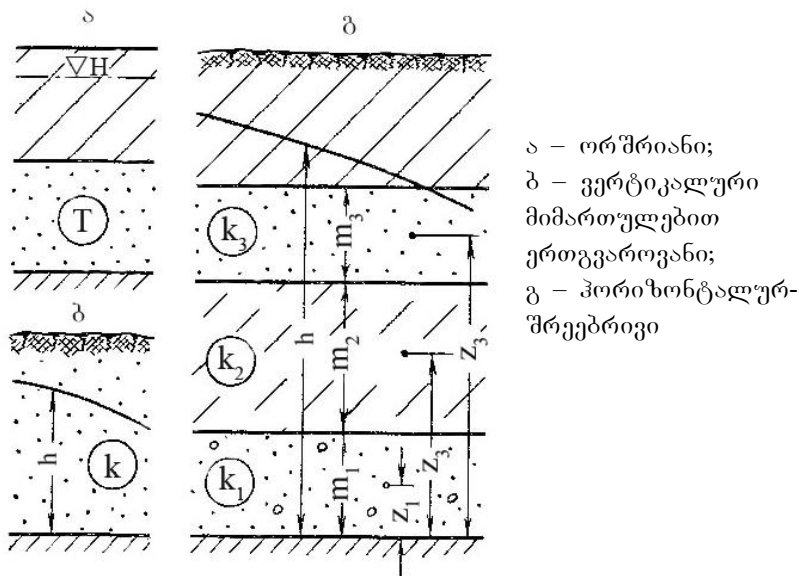
ნაკადის საზღვრების დადგენა ძალზე მნიშვნე-
ლოვანია, რადგანაც ამაზე არის დამოკიდებული
საანგარიშო ფორმულები, რომელთა საშუალებითაც
სამი ძირითადი ამოცანის გადაწყვეტა ხდება: 1.
მიწისქვეშა წყლების ხარჯის განსაზღვრა; 2. დეპრე-
სიული ან პიეზომეტრიული მრუდის აგება; 3.
დაწნევის გრადიენტის და ფილტრაციის სიჩქარის
განსაზღვრა. ტერიტორიის გეოლოგიური
აგებულების და ჰიდროგეოლოგიური პირობების

გათვალისწინებით, ამ ამოცანების გადასაჭრელად სხვადასხვა საანგარიშო ფორმულები გამოიყენება.

II.2 ბრტყელი სტაციონალური ფილტრაციის გაანგარიშების ძირითადი მეთოდები

ბრტყელ ნაკადში დაწნევის გრადიენტი სიღრმეში უცვლელად ითვლება, ხოლო წყალშედწევადობის (წყალსიუხვის) დამახასიათებელ გრავიტაციულ გეოფილტრაციულ პარამეტრს წყალგამტარობა (T) წარმოადგენს. ბრტყელი ნაკადისთვის საანგარიშო დამოკიდებულებების გამოყვანისას ძალზე მნიშვნელოვანია წყალგამტარობის დამოკიდებულება წნევაზე. წნევასთან დამოკიდებულებით დაწნევით ფენებში წყალგამტარობის ცვლილება ხდება მხოლოდ წყალშედწევადობის ცვლილების დროს, რაც შეიძლება ფენის დეფორმაციით იყოს გამოწვეული. თუმცა, ეს ცვლილებები არაარსებითია და ამიტომ, დაწნევით ფენებში წყალგამტარობა პრაქტიკულად არ არის წნევაზე დამოკიდებული. უდაწნეო ნაკადში წყალგამტარობა მეტნაკლებად მჭიდროდ არის დამოკიდებული დონის ცვალებადობაზე, რადგანაც ეს უკანასკნელი იწვევს ნაკადის სიღრმის ცვლილებას ანუ წყალშემცველი ფენის სიმძლავრის ცვლილებას.

ბრტყელი ფილტრაციული ამოცანების გადასაწყვეტად სამი ძირითადი სქემა გამოიყენება, რომლებშიც გათვალისწინებულია ნაკადის აგებულება სიღრმეში:



ნახ. II.4. უწნეო ნაკადის ვერტიკალური აგებულების სქემები

1. მუდმივი წყალგამტარობის სქემა (ნახ. II.4. ა). ამ დროს წყალგამტარობა ნებისმიერ კვეთში ითვლება მუდმივად და არ არის დამოკიდებული ნაკადის დაწნევაზე. არსებითად, ეს სქემა დაწნევითი ფენების პირობებს პასუხობს, რის გამოც, მას “დაწნევითი ფენის სქემას” უწოდებენ.
2. ვერტიკალურ ჭრილში ერთგვაროვანი უწნეო ნაკადი (ნახ. II.4. ბ). ამ დროს წყალგამტარობა წრფივ დამოკიდებულებაშია ნაკადის სიღრმესთან ($T = kh$). აღნიშნული სქემა მიწისქვეშა წყლების დინამიკაში შემოიტანა ჟ. დიუპუიმ, რომელიც თვლიდა, რომ წყალგაუმტარი ფენი ჰორიზონტალურია. ამასთან დაკავშირებით, სქემას “დიუპუის სქემა” ეწოდება.
3. ჰორიზონტალურ-შრეებრივი ტიპის უწნეო ნაკადი ჰორიზონტალურ წყალგაუმტარზე (ნახ. II.4. გ). ამ

შემთხვევაში წყალგამტარებლობის ცვლილების კანონი დამოკიდებულია შრეობრიობის ტიპზე. აღნიშნულ სქემას “გირინსკის სქემა” ეწოდება, რადგანაც ნ. გირინსკიმ პირველმა ჩამოაყალიბა ამგვარი ნაკადების ჰიდროდინამიკის კანონზომიერებები.

დასახელებული სქემებიდან პრაქტიკაში უფრო გავრცელებულია დიუპუის სქემა (ერთგვაროვანი ნაკადი ჰორიზონტალურ წყალგაუმტარზე), თუმცა, ბუნებაში ეს შემთხვევა იშვიათია და შეიძლება განიხილებოდეს, როგორც გამონაკლისი. დიუპუის სქემა ძირითადად გამოიყენება ერთგვაროვან ქვიშიან ფენებში, როდესაც ნაკადის სიმძლავრე მკეთრად იცვლება. ამის საპირისპიროდ, გირინსკის სქემა ეფექტურია ფენების მკაფიოდ გამოხატული შრეობრიობის პირობებში, მაგალითად, ალუვიურ ნალექებში არსებულ ლოკალურ ნაკადებთან ან ნაპრალოვან მასივთან დაკავშირებულ ნაკადებთან მიმართებაში.

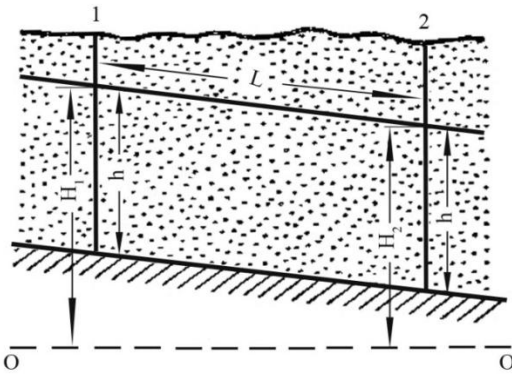
II.3 ერთგვაროვან ფენში გრუნტის წყლების მოძრაობის განტოლებები

II.3.1 გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი (ბრტყელი ნაკადი, თანაბარი მოძრაობა)

სხვადასხვა ტიპის და დანიშნულების საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობისთვის განკუთვნილ ზედაპირულ თუ მიწისქვეშა გამონამუშევრებში წყალმოდინების სიდიდის გამოსაანგარიშებლად, საჭირო ხდება მიწისქვეშა წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯის განსაზღვრა.

როგორც დასაწყისში აღვნიშნეთ, მიწისქვეშა ნაკადი შეიძლება იყოს ბრტყელი და რადიალური. ამის მიხედვით, გრუნტის წყლების მოძრაობის განტოლებები სხვადასხვაგვარია.

ბრტყელი ნაკადი (თანაბარი მოძრაობა).
 ავიღოთ 1 და 2 კვეთები, რომლებიც ერთმანეთისგან L მანძილით არის დაშორებული. პირველ კვეთში გრუნტის წყლების სტატიკური დონე აღვნიშნოთ H_1 , ხოლო მეორეში - H_2 , (ნახ. II.5). მაშინ, გრუნტის წყლების ზედაპირის ქანობი შერჩეული კვეთების უბანზე ტოლი იქნება $J = \frac{H_1 - H_2}{L}$.



ნახ. II.5. გრუნტის წყლების თანაბარი მოძრაობა

h – წყალშემცველი ფენის მუდმივი სიმძლავრე; H_1 და H_2 – გრუნტის წყლების დონეები 1 და 2 კვეთებში; L – მანძილი კვეთებს შორის.

თანაბარი მოძრაობის დროს ეს ქანობი მუდმივი სიდიდეა. ამ შემთხვევაში დეპრესიული მრუდი წრფეს წარმოადგენს.

ხაზობრივი ფილტრაციის კანონის შესაბამისად, მიწისქვეშა წყლების ნაკადის ერთეული ხარჯი ტოლია $q = khJ$ (II.1)

თუ (II.1) ფორმულაში შევიტანთ J მნიშვნელობას მივიღებთ: $q = kh \frac{H_1 - H_2}{L}$ (II.2).

(II.2) წყლის ნაკადის ხარჯის გამოსათვლელი ფორმულაა თანაბარი მოძრაობის პირობებში. ამასთან, აღნიშნული ფორმულა შეიძლება გამოვიყენოთ დაწნეითი წყლების შემთხვევაშიც, თუ არტეზიული ფენის სიმძლავრე მუდმივი სიდიდეა.

II.3.2 არათანაბარი მოძრაობა. წყალშემცველი ფენი ჰორიზონტალური საგებით

საკითხის გასარკვევად განვიხილოთ ორი შემთხვევა. 1. წყალშემცველი ჰორიზონტის წყალგაუმტარი საგები ჰორიზონტალურია (ნახ. II.2); 2. ჰორიზონტის საგები გვერდი დახრილია (ნახ. II.6).

ჰორიზონტალური საგების შემთხვევაში გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით: $q = khJ$ (II.1).

არათანაბარი მოძრაობისას გრუნტის წყლების ზედაპირის ქანობი ცვალებადი სიდიდეა და ტოლია

$J = -\frac{dh}{dx}$, სადაც h - წყალშემცველი ფენის

ცვალებადი სიმძლავრეა. თუ J ამ მნიშვნელობას

(II.1) ფორმულაში შევიტანთ, მივიღებთ: $q = -kh \frac{dh}{dx}$

(II.3). ცვლადების გადანაცვლების შემდეგ გვექნება:

$\frac{q}{k} dx = -hdh$ (II.4). (II.4) განტოლების ინტეგრირებით

მივიღებთ: $\frac{q}{k} x = -\frac{h^2}{2} + C$ (II.5). თუ დეპრესიულ მრუდზე (ნახ. II.2) ავიღებთ ორ წერტილს, რომელთა კოორდინატებია შესაბამისად (x_1, h_1) და (x_2, h_2) , მაშინ (II.5) განტოლების ანალოგიურად შეიძლება დავწეროთ:

$$\frac{q}{k} x_1 = -\frac{h_1^2}{2} + C$$

$$\frac{q}{k} x_2 = -\frac{h_2^2}{2} + C$$

მეორედან პირველი განტოლების გამოკლებით

$$\text{მივიღებთ: } \frac{q}{k} (x_2 - x_1) = -\frac{h_1^2 - h_2^2}{2} \quad (\text{II.6}).$$

მიღებული (II.6) გამოსახულება წარმოადგენს მიწისქვეშა ნაკადის დეპრესიული მრუდის განტოლებას ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში. (II.6) განტოლებაში წევრების გადასმით შეიძლება მივიღოთ მიწისქვეშა ნაკადის ერთეული ხარჯის გამოსათვლელი ფორმულა:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2(x_2 - x_1)} \quad (\text{II.7}).$$
 იმის გამო, რომ $(x_2 - x_1)$ შერ-

ჩეულ კვეთებს შორის L მანძილის ტოლია, მიღებული განტოლება შეიძლება სხვა სახით

$$\text{ჩავწეროთ: } q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (\text{II.8}).$$

(II.8) ფორმულა ფრანგი ჰიდრაულიკოსის დიუპუის სახელით არის ცნობილი.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ მთლიანი ნაკადის ხარჯი (Q), საჭიროა ერთეული ხარჯი (q) გავამრავლოთ ნაკადის სიგანეზე (B):

$$Q = kB \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (\text{II.9})$$

II.3.3 არათანაბარი მოძრაობა.

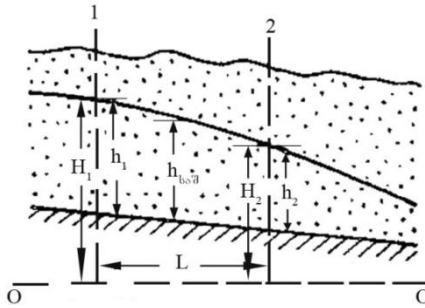
წყალშემცველი ფენი დახრილი საგებით

დახრილი წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯის მიახლოებითი განსაზღვრისთვის შეიძლება ვისარგებლოთ კამენსკის ფორმულით (ნახ. II.6):

$$q = k \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (\text{II.10}),$$

სადაც k - წყალშემცველი ფენის ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღ.დ.; h_1 და h_2 - წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე 1 და 2 კვეთებში, მ; $h_{საშ.}$ - წყალშემცველი ფენის საშუალო სიმძლავრე; H_1 და H_2 - იმავე კვეთებში გრუნტის წყლების პიეზომეტრული დაწნევის სიდიდეები, რომლებიც ათვლილია შედარების რომელიმე ჰორიზონტალური სიბრტყიდან (და არა დახრილი წყალგაუმტარიდან), მ; თუ შედარების სიბრტყედ ზღვის დონე არის მიჩნეული, მაშინ H_1 და H_2 აღნიშნავს სტატიკური დონეების

აბსოლუტურ ნიშნულებს; L – მანძილი კვეთებს შორის, მ;



ნახ. II.6. გრუნტის წყლების დებრესიული მრუდი დახრილი წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში

ფორმულა (II.10) შეიძლება მივიღოთ ხაზობრივი ფილტრაციის კანონიდან $q = khJ$, თუ პირობითად ჩავთვლით, რომ განსახილველ კვეთებს შორის გრუნტის წყლების მოძრაობა თანაბარია, როდესაც

$$J_{\text{საშ.}} = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (\text{II.11}), \quad h_{\text{საშ.}} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (\text{II.12}).$$

დახრილი წყალგაუმტარის შემთხვევაში გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯის ზუსტად განსაზღვრისთვის უნდა ვისარგებლოთ ნ. პავლოვსკის ფორმულით: $q = kh_0 i$ (II.13).

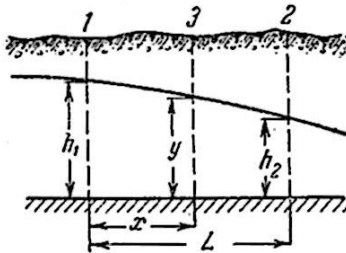
(II.13) განტოლებაში h_0 -ით აღნიშნულია ნაკადის დაყვანილი სიმაღლე, რომლის განსაზღვრა ხდება ნ. პავლოვსკის მიერ გამოყვანილი დებრესიული მრუდის განტოლებიდან შერჩევის გზით:

$$\frac{il}{h_0} = \varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1) \quad (\text{II.14})$$

სადაც i - წყალგაუმტარი საგები ფენის დახრილობა ერთეულის ნაწილებში; 1 – მანძილი 1 და 2 კვეთებს შორის, მ; $\varphi(\eta_2)$ – ფუნქციის მნიშვნელობა ნაკადის ფარდობითი სიმძლავრისას, როდესაც $\eta = \frac{h_2}{h_0}$; $\varphi(\eta_1)$ - იგივე ფუნქციის მნიშვნელობა, როდესაც $\eta = \frac{h_1}{h_0}$; h_1, h_2 – წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრე 1 და 2 კვეთებში;

II.3.4 დეპრესიის მრუდის აგება ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში

წყალშემცველ ფენში, რომელსაც ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგები აქვს, გავატაროთ სამი განივი კვეთი – 1, 2, 3. პირველ 1-2 კვეთებში წყლის დონეები შესაბამისად ტოლია h_1 და h_2 (ნახ. II.7).



ნახ. II.7. დეპრესიული მრუდის მესამე წერტილის განსაზღვრა
ჰორიზონტალური წყალშემცველი ფენის შემთხვევაში

დეპრესიული მრუდის ასაგებად საჭიროა განვსაზღვროთ წყლის დონე (y), მე-3 კვეთში. ნაკადის

ერთეული ხარჯის გამოსათვლელ ფორმულას, როგორც ვნახეთ, შემდეგი სახე აქვს: $q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L}$,

საიდანაც $\frac{h_1^2 - h_2^2}{L} = \frac{2q}{k}$ (II.15). ანალოგიის მიხედვით,

შეგვიძლია ჩავწეროთ: $\frac{h_1^2 - h_2^2}{x} = \frac{2q}{k}$ (II.16), სადაც x

არის მანძილი 1 და 3 კვეთებს შორის. იმის გამო, რომ (II.15) და (II.16) განტოლებებში მარჯვენა ნაწილები ერთმანეთის ტოლია, შეიძლება გავუტოლოთ ერთმანეთს მარცხენა ნაწილებიც

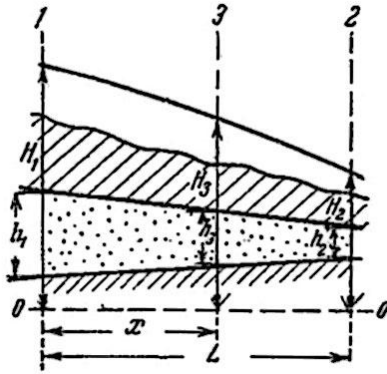
$$\frac{h_1^2 - h_2^2}{L} = \frac{h_1^2 - y^2}{x}, \quad \text{საიდანაც } y = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{L}(h_1^2 - h_2^2)}$$

(II.17).

II.3.5 დებრესის მრუდის აგება

დახრილი წყალგაუმტარი საგების შემთხვევაში

ჰორიზონტალური წყალგაუმტარის ანალოგიურად ამ შემთხვევაშიც გავატაროთ სამი განივი კვეთი - 1, 2, 3 (ნახ. II.8).



ნახ. II.8. დებრესიული მრუდის მესამე წერტილის განსაზღვრა დასრილი დაწნევითი წყალშემცველი ფენის შემთხვევაში

1 და 2 კვეთებში მიწისქვეშა წყლების დაწნევა შესაბამისად ტოლია H_1 და H_2 . დებრესიის მრუდის ასაგებად საჭიროა განსაზღვროთ დაწნევა (H_3) მე-3 კვეთში. ამ შემთხვევისთვის საანგარიშო ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

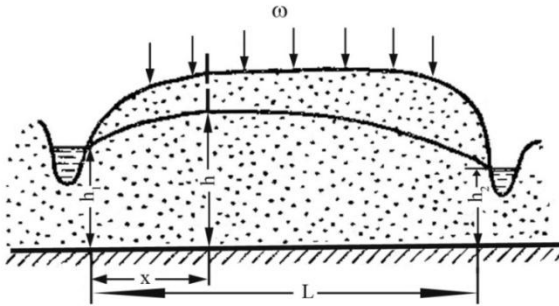
$$H_3 = H_1 - \frac{(h_1 + h_2)(H_1 - H_2)x}{2h_1L - (h_1 - h_2)x} \quad (II.18),$$

სადაც h_1 , h_2 და h_3 წყალშემცველი ფენის სიმკლავრეებია 1, 2 და 3 კვეთებში; L – მანძილი 1 და 2 კვეთებს შორის; x – მანძილი 1 და 3 კვეთებს შორის.

(II.18) ფორმულის გამოყენება შესაძლებელია დაწნევითი წყლებისთვისაც.

**II.3.6 მიწისქვეშა ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა
ზემოდან ინფილტრაციის გათვალისწინებით და
დეპრესიული მრუდის აგება**

მდინარეთაშუეთის მასივზე, რომელიც მდინარეებით არის დრენირებული (ნახ. II.9), გრუნტის წყლები არა მხოლოდ დაშორებული უბნებიდან იკვებება, არამედ უშუალოდ ადგილზე, ზემოდან ინფილტრაციის ხარჯზე.



ნახ. II.9. გრუნტის წყლის ნაკადის დეპრესიული მრუდი მდინარეთაშუეთის მასივზე

ამ შემთხვევაში, კამენსკის მიხედვით, გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} - \omega \frac{L}{2} + \omega x \quad (\text{II.19}),$$

სადაც k – მდინარეთაშუეთის წყალშემცველი ქანების ფილტრაციის კოეფიციენტი; h_1 და h_2 – წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრეები მდინარეთა კალაპოტთან; x – მდინარიდან იმ კვეთის დაშორება, რომლისთვისაც უნდა განისაზღვროს ერთეული

ხარჯი; L – მდინარეთაშუეთის სიგანე; ω – ინფილტრაციის სიდიდე.

როდესაც $\omega = 0$ (II.19) ფორმულა დიუპუის

$$\text{ფორმულის სახეს იღებს: } q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (\text{II.20}).$$

ატმოსფერული ნალექების ინფილტრაციის სიდიდე ω შეიძლება განვსაზღვროთ წრფეზე განლაგებულ ნებისმიერ სამ ჭაბურღილში წყლის დონეების მიხედვით შემდეგი ფორმულით:

$$\omega = k \left[\frac{h^2 - h_1^2}{(L-x)x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L-x)L} \right] \quad (\text{II.21})$$

სადაც h_1 და h_2 გრუნტის წყლების დონეებია ორ კიდურა ჭაბურღილში, მ; L – მანძილი ამ ჭაბურღილებს შორის, მ; h – წყლის დონე შუა ჭაბურღილში, მ; x – შუა ჭაბურღილის დაშორება იმ კიდურა ჭაბურღილიდან, რომელშიც წყლის დონე h_1 ტოლია, მ (ნახ. II.9).

იმის გამო, რომ ნაკადი გეგმაში ორგანზომილებიანია და ჭრილის სიბრტყისადმი სიჩქარის მდგენელი პერპენდიკულარულია, წარმოიძნება გრუნტის წყლების წყალგამყოფი იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც ინფილტრაცია არ არსებობს. ხოლო, ინფილტრაციის არსებობისას ეს წყალგამყოფი უფრო მაღალი და უკეთესად გამოხატული იქნება.

განვიხილოთ გრუნტის წყლების წყალგამყოფის შესაძლო მდებარეობა მდინარეთაშუეთში ინფილტრაციის არსებობის პირობებში. აღვნიშნოთ

საწყისი კვეთიდან წყალგამყოფამდე მანძილი a ასო-
თი. წყალგამყოფზე გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი
 $q_x = 0$. მაშინ (II.19) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} - \omega \left(\frac{L}{2} - a \right) = 0 \quad (\text{II.22}),$$

საიდანაც $a = \frac{L}{2} - \frac{k}{\omega} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L}$. თუ $h_1 = h_2$, მაშინ

$a = \frac{L}{2}$ ანუ წყალგამყოფი მდინარეთაშუეთის შუაში

იმყოფება; თუ $h_1 > h_2$, მაშინ $a < \frac{L}{2}$, ანუ წყალგამყო-

ფი წანაცვლებულია შუა კვეთიდან მარცხნივ. თუ

$h_1 < h_2$, მაშინ $a > \frac{L}{2}$, ანუ წყალგამყოფი წანაცვლე-

ბულია შუა კვეთიდან მარჯვნივ. ამგვარად, მდინა-

რეში წყლის დონეების შეფარდებაზე დამოკიდებუ-

ლებით, გრუნტის წყლის წყალგამყოფი ინაცვლებს

შუა კვეთიდან იმ მდინარისკენ, რომელშიც წყლის

დონე უფრო მაღალია.

დეპრესიის მრუდის განტოლება შემდეგნაირად

გამოიყვანება:

$$\text{თუ ამოვხსნით} \quad -\frac{h_x^2 - h_1^2}{2} = \frac{q_1}{k} \cdot x + \frac{\omega}{k} \cdot \frac{x^2}{2} \quad \text{გან-}$$

ტოლებას h_x -ის მიმართ, მივიღებთ:

$$h_x^2 = h_1^2 - \frac{2}{k} q_1 x - \frac{\omega x^2}{k} \quad (\text{II.23}).$$

განტოლება $q_1 = k \cdot \frac{h_1^2 - h_x^2}{2x} - \frac{\omega}{2} \cdot x \quad x = L$ შემ-

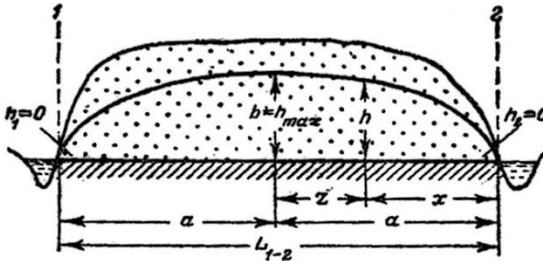
თხვევაში, მიიღებს სახეს:

$$q_1 = k \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} - \frac{\omega L}{2} \quad (\text{II.24})$$

თუ q_1 -ის მნიშვნელობის შეტანით (II.23) განტოლებაში გვექნება:

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_2^2}{L} \cdot x + \frac{\omega}{k}(L-x)x} \quad (\text{II.25}).$$

დაუშვათ $h_1 = 0$ და $h_2 = 0$, რაც იმ შემთხვევაში არის შესაძლებელი, როდესაც მდინარეთა კალაპოტები წყალგაუმტარ საგებში არის ჩაღრმავებული (ნახ. II.10).



ნახ. II.10. სქემა, რომელიც ასახავს მდინარეთაშუეთის მასივზე დებრესიული მრუდის გეომეტრიულ ფორმას

მაშინ, (II.25) განტოლებიდან გვექნება:

$$h_x^2 = \frac{\omega}{k}(L \cdot x - x^2) \quad (\text{II.26})$$

გადავიტანოთ კოორდინატების სათავე წყალ-
გამყოფზე და აღვნიშნოთ $a = \frac{L}{2}$, $b = h_{\text{მაქს.}}$, $x = a - z$,

$$\text{მაშინ, } h_x^2 = \frac{\omega}{k} [2a(a-z) - (a-z)^2] = \frac{\omega}{k} (a^2 - z^2) \quad (\text{II.27}),$$

როდესაც $z = 0$, $h_x = b$, მაშინ $b^2 = \frac{\omega}{k} \cdot a^2$; $\frac{\omega}{k} = \frac{b^2}{a^2}$,

მაშინ (II.27) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$h_x^2 = \frac{b^2}{a^2} (a^2 - z^2) \quad , \quad \text{მაშასადამე,} \quad \frac{h_x^2}{b^2} = 1 - \frac{z^2}{a^2} \quad \text{ან}$$

$$\frac{h_x^2}{b^2} + \frac{z^2}{a^2} = 1 \quad (\text{II.28}).$$

(II.28) განტოლება ელიფსის განტოლებაა, რომლის ღერძებია b და a . მაშასადამე, დებრესიის მრუდი მდინარეთაშუეთის მასივში, როდესაც ადგილი აქვს ინფილტრაციულ კვებას, წარმოადგენს ელიფსს და არა პარაბოლურ მრუდს, რასაც ადგილი აქვს, იმ შემთხვევაში, როდესაც ინფილტრაცია მონაწილეობას არ იღებს.

(II.25) განტოლების უშუალო გამოკვლევა დებრესიული მრუდის აგების მიზნით პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგანაც ჯერჯერობით არ არსებობს მეტ-ნაკლებად დამაკმაყოფილებელი მეთოდები იმისთვის, რომ დამოუკიდებლად განვსაზღვროთ ინფილტრაციული კვება (ω), ასევე რთულია მივიღოთ ფილტრაციის კოეფიციენტის (k) საკმარისად გასაშუალოებული სიდიდე. მაგრამ, შესაძლებელია

ამ სიძნელეებისათვის თავის არიდება, თუ კი პარამეტრს $\frac{\omega}{k}$ განვსაზღვრავთ გრუნტის წყლების დონეებით სამ ჭაბურღილში, რომელიც გაყვანილ უნდა იქნას მდინარეთაშუეთში. ამ შემთხვევაში, თუ ფორმულაში (II.21) h შეცვლით h_3 , მივიღებთ:

$$\frac{\omega}{k} = \frac{h_3^2 - h_1^2}{(L-x)x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L-x)L} \quad (\text{II.29}).$$

(II.25) განტოლებაში $\frac{\omega}{k}$ მნიშვნელობის ჩასმით

შეიძლება განვსაზღვროთ გრუნტის წყლის დონე მდინარეთაშუეთის ნებისმიერ წერტილში, რაც იმას ნიშნავს, რომ ავაგოთ დეპრესიის მრუდი. თუ ფილტრაციის კოეფიციენტის სიდიდე ცნობილია, მაშინ (II.29) ფორმულით შესაძლებელია ინფილტრაციის სიდიდის განსაზღვრა. საჭიროა აღინიშნოს, რომ

(II.29) ფორმულა შეიძლება გამოყენებულ იქნას $\frac{\omega}{k}$

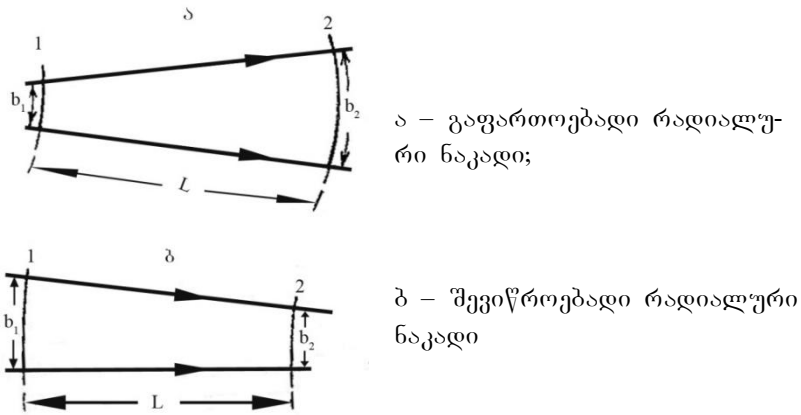
პარამეტრის განსაზღვრად კვეთის ნებისმიერ “სამეულში”, რომლებიც ერთმანეთისგან ნებისმიერი მანძილით არის დაშორებული.

II.3.7 რადიალური ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა

ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგები ფენის შემთხვევაში რადიალური ნაკადის ხარჯი გ. კამენსკის ფორმულით განისაზღვრება:

$$Q = k \frac{b_1 - b_2}{\ln b_1 - \ln b_2} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (\text{II.30})$$

სადაც k წყალშემცველი ჰორიზონტის ფილტრაციის კოეფიციენტი; b_1 და b_2 – ნაკადის სიგანე 1 და 2 განივ კვეთებში; h_1 და h_2 – წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრე იმავე კვეთებში; L – მანძილი კვეთებს შორის (ნახ. II.11).



ნახ. II.11. რადიალური ნაკადების გეგმა

ჰორიზონტალური წყალგაუმტარის შემთხვევაში (II.30) სამართლიანია როგორც შევიწროებადი, ისე გაფართოებადი ნაკადისათვის.

ბრტყელი ფილტრაციული ნაკადისგან განსხვავებით, რადიალური ნაკადის სიგანე ცვალებადი

სიდიდეა და ტოლია:
$$\frac{b_1 - b_2}{\ln b_1 - \ln b_2}$$

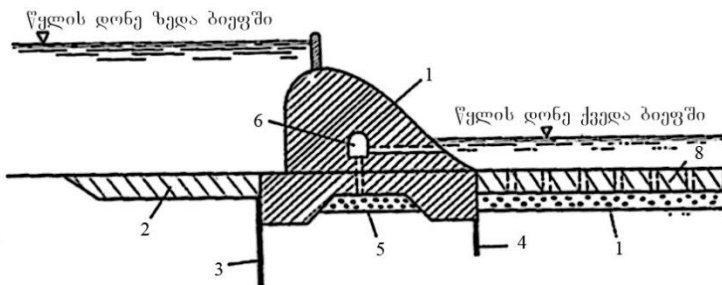
იმის გამო, რომ ბრტყელი ნაკადის სიგანე მუდმივი სიდიდეა, მისი ხარჯიც მუდმივია. ამიტომ, ბრტყელი ნაკადის შესწავლისას დასაშვებია განვი-

ხილეთ მისი ერთეული ხარჯი, ანუ ნაკადის სიგანის ერთეულის ხარჯი. რადიალური ნაკადის ხარჯი კი, ნაკადის სიგანეზე არის დამოკიდებული, რაც უფრო მეტია ნაკადის სიგანე, მით მეტია მისი ხარჯი. ამ მიზეზით, როდესაც წყლის მოძრაობა განიხილება რადიალურ ნაკადში, ერთეული ხარჯის განსაზღვრა დაუშვებელია, რადგანაც ნაკადის სხვადასხვა კვეთში ხარჯის სიდიდე სხვადასხვა იქნება.

III თავი. ფილტრაცია ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ძველ

ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ქვეშ ფილტრაციული ნაკადის გენერალური მიმართულება არის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფისკენ, ისე, რომ ნაკადი განიხილება, როგორც პროფილური. ნაგებობის ქვეშ წყლის ფილტრაციის შესწავლა იმ მიზნით ხდება, რომ განვსაზღვროთ წყალსაცავიდან ფილტრაციული დანაკარგები (ნაკადის ხარჯი), კაშხლის სხეულზე ფილტრაციული ნაკადის მიერ განვითარებული დაწნევა და ნაგებობის ფუძის ფილტრაციული მდგრადობა. გარდა ამისა, თუ კაშხლის ფუძეში საშუალოდ ხსნადი მარილები არსებობს (სახელოდობრ, თაბაშირი), საჭირო ხდება სპეციალური ანალიზის ჩატარება, რათა შეფასდეს მარილების ხსნადობის პროცესი და საძირკვლის ქანების მასთან დაკავშირებული ცვლილებები.

ნაგებობების ქვეშ ფილტრაციული ნაკადის მართვის მიზნით, უპირველესად, საჭიროა ნაკადის მიწისქვეშა კონტურის დაპროექტება (ნახ. III.1). ეს უკანასკნელი გარდა ნაგებობის სხეულისა (ფლუტბეტი) შეიძლება მოიცავდეს ზედა ეკრანს, ზედა და ქვედა ანტიფილტრაციულ ფარდებს, ფლუტბეტის ქვეშ ან ნაგებობის ქვედა ბიეფში მოწყობილ ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ დრენაჟს.



ნახ. III.1. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის (კაშხლის)
მიწისქვეშა კონტური

1 – კაშხლის სხეული; 2 – ეკრანი; 3 – ზედა ფარდა; 4 – ქვედა ფარდა; 5 – დრენაჟი კაშხლის ფუძეში; 6 – სადრენაჟო გალერეა; 7 – დრენაჟი ქვედა ბიეფში; 8 – წყალსაცემი ფილა

ახახზე არ ჩანს “7” და “8”

ზედა ეკრანი უფრო ხშირად თიხნარისგან შედგება და მისი წყალშედწევადობა გამომდინარე ფილტრაციული თვისებებიდან და ჩაწყობის ხერხიდან, წინასწარ არის განსაზღვრული. ანტიფილტრაციულ ფარდას შპუნტების საშუალებით აწყობენ ან მთლიანი დაცემენტებით. დაცემენტება ხორციელდება ჭაბურღილებში ცემენტის ინექციით. გარდა ცემენტისა, იყენებენ ცემენტ-თიხის ნარევის, ბიტუმს, სილიკატებს და ა.შ. პრაქტიკული გამოცდილებით დადგენილია, რომ ცემენტაციის ფარდის წყალშედწევადობა (ფილტრაციის კოეფიციენტი) $k = 0.01 \div 0.1$ მ/დღღამეში, რაც გაცილებით ნაკლებია ნაგებობის ქვეშ განლაგებული ქანების ფილტრაციის კოეფიციენტზე.

ფილტრაციული ნაკადის მართვის ერთ-ერთ რადიკალურ ღონისძიებას დრენაჟი წარმოადგენს. მისი ტიპი და ადგილმდებარეობა დამოკიდებულია ნაგებობის საძირკვლის გეოლოგიურ აგებულებაზე და იმ ამოცანებზე, რომლებიც უნდა გადაწყდეს ნაკადის დრენაჟის საშუალებით.

ფილტრაციის გაანგარიშების ანალიტიკური მეთოდები ერთგვარად სქემატიზირებულია და გამოიყენება ნაგებობის ფუძის გამარტივებულ ვარიანტში, როდესაც ფილტრაციის პროცესი შეიძლება მივუსადაგოთ ერთგვაროვან ან ორშრიან გარემოში ფილტრაციის სქემას. პრაქტიკული მიზნებისთვის გამოიყენება მიახლოებითი მეთოდები, რომელთა შორის შედარებით სრულყოფილია ფილტრაციული წინააღობების ს. ნუმეროვის მიერ შემოთავაზებული მეთოდი.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ქვეშ ფილტრაციულ ნაკადს განვიხილავთ, როგორც პროფილურს (მუდმივი 1 მ სიგანით გეგმაში). საერთოდ ცნობილია, რომ პროფილური ნაკადის თითოეულ i უბანზე ფილტრაციული წინააღობა ϕ დაკავშირებულია წნევის დანაკარგებთან და ნაკადის ხარჯთან შემდეგი დამოკიდებულებით: $\phi = \frac{\Delta H}{Q}$ (III.1).

კერძო შემთხვევაში, როდესაც ვიხილავთ ერთეული სიგანის ნაკადს, გვექნება $\phi_i = \frac{\Delta H_i}{q}$ (III.2),

სადაც, ΔH_i - არის წნევის დანაკარგი ϕ_i ფილტრაციული წინაღობის უბანზე, სადაც ნაკადის ერთეული ხარჯი q ტოლია.

სადირკელის ქანების ერთგვაროვანი აგებულების შემთხვევაში, როდესაც ფილტრაციის კოეფიციენტი მუდმივი სიდიდეა და უდრის k -ს, მოსახერხებელია გამოვიყენოთ უგანზომილებო ფილტრაციული წინაღობის ცნება $\bar{\phi}_i = k\phi_i = \frac{k\Delta H_i}{q}$ (III.3).

ფილტრაციული ნაკადის ისეთი მიწისქვეშა კონტურისთვის, რომლის დროსაც შიგა დრენაჟი არ არის გამოყენებული, ზედა და ქვედა ბიეფში წნევებს შორის განსხვავება (ΔH) შედგება კონტურის ცალკეულ უბნებზე დანაკარგებისაგან, ანუ ნაგებობის ქვეშ ნაკადის ერთეული ხარჯი ტოლია:

$$q = \frac{\Delta H}{\phi_{\%}} = \frac{k\Delta H}{\bar{\phi}_{\%}} \quad (III.4).$$

ამასთან, მიწისქვეშა კონტურის ჯამური წინაღობა $\phi_{\%}$ ან $\bar{\phi}_{\%}$ შედგენილია ლოკალურ უბნებზე ცალკეული წინაღობებისაგან ϕ_i ან $\bar{\phi}_i$, ხოლო ΔH_i წნევის დანაკარგი თითოეულ ზონაში პროპორციული იქნება ამ ზონებში არსებული წინაღობებისა:

$$\Delta H_i = \frac{\phi_i}{\phi_{\%}} \cdot \Delta H \quad (III.5).$$

ნაგებობის ფუძის ფილტრაციული მდგრადობის შეფასებისას, პირველ რიგში, უნდა შემოწმდეს ქვედა ბიეფში ფილტრაციული დეფორმაციების შე-

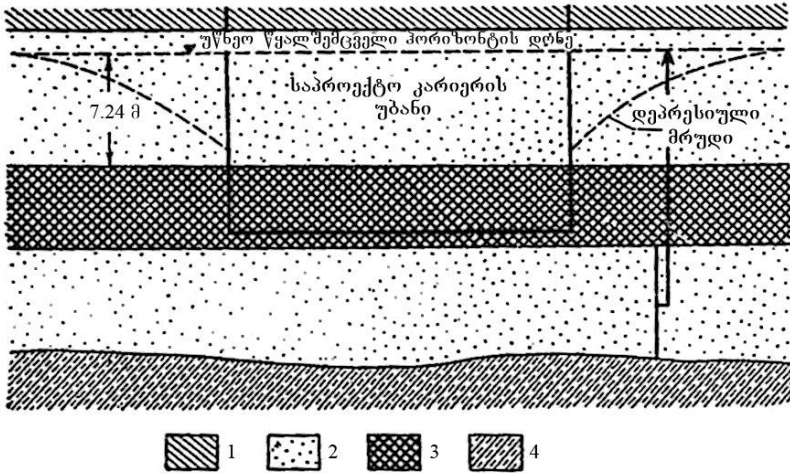
საძლებლობა. ამგვარი ფილტრაციული დეფორმაციების გამოსარიცხად აუცილებელია, რომ ქვედა ბიეფში ნაკადის გამოსვლის მაქსიმალური გრადიენტი არ აღემატებოდეს იმ დასაშვებ გრადიენტს, რომელიც განსაზღვრულია სხვადასხვა შედგენილობის ქანებისათვის და დამკვიდრებულია მათთვის დამახასიათებელი ფილტრაციული დეფორმაციების სახეობებზე.

ნაგებობის ფუძეში წყალში ხსნადი ქანების არსებობისას (თაბაშირი, ანჰიდრიტი, კარბონატი) ფილტრაციული გაანგარიშებებით აუცილებელია მივიღოთ მონაცემები ფილტრაციის სინქარების შესახებ, რომლებიც ახასიათებს მარილების კონვექტიურ გადატანას ქანების გამოტუტვის პროცესში.

IV თავი. კარიერებსა და ქვაბულებში წყლის მოდინების ანბარიში

ცნობილია, რომ კარიერის მოწყობა ძირითადად მშენებლობასთან (სამშენებლო ქვაბული) ან არაღრმა განლაგების სასარგებლო წიაღისეულის საბადოების დამუშავებასთან არის დაკავშირებული (კარიერი). ნაგებობის ფუნდამენტის მოწყობის ან სასარგებლო წიაღისეულის საბადოს დამუშავების ნორმალური პირობების შესაქმნელად, ორივე შემთხვევაში, კარიერის დაშრობა აუცილებელი პირობაა. დაშრობისთვის საჭირო რაციონალური ღონისძიებების დასახვამდე და გატარებამდე საჭირო ხდება კარიერში წყლის მოდინების რაოდენობრივი შეფასება.

კარიერში წყლის მოდინების განსაზღვრის საჭიროება მაშინ წამოიჭრება, როდესაც მიწისქვეშა წყლები დედამიწის ზედაპირთან ახლოს ცირკულირებს და კარიერის პერიმეტრი მისი დრენაჟის არედ იქცევა. ამ დროს კარიერში წყლის მოდინების ანგარიში წყლის ბალანსის მეთოდის გამოყენებით ხდება. ამ მეთოდის მიხედვით, მოდინების საერთო რაოდენობა განისაზღვრება, როგორც დეპრესიის ძაბრის ფარგლებში არსებული სტატიკური მარაგის და კვების არედან შემომავალი დინამიური ნაკადის ჯამი. მეტი თვალსაჩინოებისთვის განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითი, რომელიც ქვანახშირის კარიერს შეეხება (ნახ. IV.1).



ნახ. IV.1. ქვანახშირის კარიერის სქემატური
ჰიდროგეოლოგიური ჭრილი

1 – თიხები; 2 – ქვიშები; 3 – ქვანახშირის ფენი; 4 - კალინი

ქვანახშირის ფენის ზემოთ განლაგებულია უწნეო წყალშემცველი პორიზონტი, ხოლო ქვემოთ – დაწნევითი პორიზონტი. ფენის ზედა პორიზონტი თიხის ფენით არის გადაფარული. ეს პორიზონტი იკვებება ატმოსფერული ნალექების ინფილტრაციით, რომლებიც კარიერის ფართობზე მოდის. დამუშავების უზრუნველსაყოფად საჭიროა დავაშროთ ნახშირის ფენის ზემოთ განლაგებული პორიზონტი, რომელიც ქვიშით არის წარმოდგენილი. ამისთვის საჭიროა, თავდაპირველად გამოვიანგარიშოთ წყლით გაჯერებული ქანის მოცულობა. მოცულობის ნაწილი, რომელიც კარიერის ფარგლებში არის მოქცეული, შეიძლება გაეუტოლოთ ისეთი ცილინდრის მოცულობას, რომლის სიმაღლე წყალშემცველი პორი-

ზონტის სიმძლავრის ტოლია, ხოლო რადიუსი – კარიერის კონტურის დაყვანილი რადიუსის ტოლი. მოცულობის მეორე ნაწილი წარმოადგენს იმ ფიგურის მოცულობას, რომელიც შემოსაზღვრულია დებრესის ძაბრის პარაბოლური მრუდით. თუ ნახშირის ფენის ზემოთ განლაგებული ქვიშების მოცულობას წყალგაცემაზე გავამრავლებთ, მივიღებთ სტატიკური მარაგების რაოდენობას: $W = \mu \cdot V$ (IV.1), სადაც μ – წყალგაცემაა, პროცენტებში ან ერთეულის ნაწილებში; V – დასაშრობად განკუთვნილი ქვიშების მოცულობა;

თავდაპირველად, გამოვიანგარიშოთ სტატიკური მარაგების ხარჯი, რომელიც კარიერის ფართობზე მოდის. როგორც ცნობილია, ფოროვანი ქანების წყალგაცემა გამოითვლება ფორმულით: $\mu = n - s$, სადაც n – ფორიანობაა პროცენტებში ან ერთეულის ნაწილებში ქანის მთლიან მოცულობასთან მიმართებაში; s – მაქსიმალური მოლექულური ტენტევალობა იმავე ერთეულებში.

მაგალითი. განსახილველი კონკრეტული საბადოს შემთხვევაში ქვიშების საერთო ტენტევალობა (ფორიანობა) ტოლია 41.35%, მაქსიმალური მოლექულური ტენტევალობა – 13.28%. შესაბამისად, წყალგაცემა ტოლი იქნება: $\mu = 41.35 - 13.28 = 28.07\%$. ქვანახშირიანი აუზის ფართობი ტოლია 285 ათასი მ², წყალშემცველი ქვიშების საშუალო სიმძლავრე – 7.24 მ. აქედან გამომდინარეობს, რომ კარიერის ფარგლებში დასაშრობად გათვალისწინებული ქვიშების მოცულობა ტოლი იქნება:

$$V = 285000 \cdot 7.24 = 2063400 \text{ მ}^3.$$

კარიერის ფართობზე ქვიშებში მოქცეული წყლის სტატიკური მარაგი შეადგენს:

$$W = 0.2807 \cdot 2063400 = 579196 \text{ მ}^3.$$

კარიერის ფართობზე სტატიკური მარაგების ხარჯი გამოითვლება საერთო მარაგის შეფარდებით დაშრობის ვადასთან, რომელიც თავის მხრივ

ტოლია $t=12$ თვე. აქედან: $q_1 = \frac{W}{t} = \frac{\mu V}{t}$ (IV.2). (IV.2)

ფორმულაში W და t სიდიდეების შეტანით გვექ-

$$\text{ნება: } q_1 = \frac{579196}{365 \cdot 86400} = 0.01837 \text{ მ}^3/\text{წმ ან } 18.37 \text{ ლ/წმ}.$$

დაშრობის t დროის განმავლობაში, დეპრესიული ძაბრის ფარგლებში, კარიერის ფარგლებს გარედან იმ მოდინების რაოდენობა, რომელიც წარმოიქმნება სტატიკური მარაგების გამოშუშავების შედეგად, შეიძლება გამოვთვალოთ მიახლოებითი

$$\text{ფორმულით: } q_2 = \frac{hR\mu L}{3t} \quad (\text{IV.3}),$$

სადაც h წყალშემცველი ფენის საშუალო სიმაღლეა; R – კარიერის გარე საზღვრიდან გადათვლილი გავლენის რადიუსი; μ – წყალგაცემა ერთეულის ნაწილებში; L – კარიერის გარე საზღვარზე დაშრობის უბნის პერიმეტრი; t – დაშრობის დრო.

(IV.3) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით $t=12$ თვე, $R=325$ მ; $L=2136$ მ; მივიღებთ:

$$q_2 = \frac{7.24 \cdot 325 \cdot 0.2807 \cdot 2136}{3 \cdot 365 \cdot 86400} = 0.01493 \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

ან 14.93 ლ/წმ.

სტატისტიკური მარაგების საერთო ხარჯი ტოლია კარიერის ფართობზე და მის ფარგლებს გარეთ ხარჯების ჯამისა:

$$Q_1 = q_1 + q_2 = 18.37 + 14.93 = 33.30 \text{ ლ/წმ.}$$

გარდა აღნიშნულისა, კარიერში ადგილი ექნება დინამიური ნაკადის მოდინებას, რომელიც შედგება კარიერის უბანზე მოსული ატმოსფერული ნალექებისგან და წყალშემკრები ფართობზე ამ ნალექების ინფილტრაციისგან. კარიერის ფართობზე მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობას

$$\text{გამოვთვლით ფორმულით: } q_3 = \frac{A \cdot \omega}{t} \text{ (IV.4),}$$

სადაც A ატმოსფერული ნალექების საშუალოწლიური რაოდენობაა, ω – ქვანახშირის აუზის ფართობი, თუ ჩავთვლით, რომ $A = 455.9$ მმ, მაშინ

$$q_3 = \frac{0.4559}{365 \cdot 86400} \cdot 285000 = 0.00410 \text{ მ}^3/\text{წმ ან } 4.10 \text{ ლ/წმ.}$$

წყალშემკრები აუზის ფართობზე ატმოსფერული ნალექების ინფილტრაციის რაოდენობა ტოლია

$$q_4 = \frac{\phi AF}{t} \text{ (IV.5), სადაც } \phi \text{ – მიწისქვეშა ჩამონადენის}$$

კოეფიციენტი, F – აუზის წყალშემკრები ფართობი კარიერის ფართობის გამოკლებით. დავუშვათ, რომ განსახილველი საბადოს შემთხვევაში კარიერის ფართობის გამოკლებით, წყალშემკრები აუზის ფართობი 2.529 კმ² ტოლია, ხოლო ზედაპირული ჩამონადენის კოეფიციენტი – 0.109 . მიახლოებით შეიძლება დავუშვათ, რომ მიწისქვეშა ჩამონადენის კოეფიციენტი შეადგენს 50% ჩამონადენის საერთო

რაოდენობიდან. მაშინ, წყალშემკრებ ფართობზე ინფილტრაციის სიდიდე განისაზღვრება შემდეგი გამოსახულებით:

$$q_4 = 0.109 \cdot 0.5 \cdot \frac{0.4559}{365 \cdot 86400} \cdot 2529000 = 0.001996 \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

ან 1.996 ლ/წმ.

დინამიური მოდინების საერთო რაოდენობა ტოლი იქნება: $Q_2 = q_3 + q_4 = 4.10 + 1.996 = 6.096$ ლ/წმ.

ამრიგად, კარიერში წყალმოდენის საერთო რაოდენობა შეადგენს:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 33.30 + 6.096 = 39.396 \text{ ლ/წმ.}$$

სტატიკური მარაგების გამოშუშავების კვალობაზე საბადოს შემდგომი ექსპლუატაციის პერიოდში კარიერში წყლის ძირითადი მასა მიწისქვეშა წყლების დინამიური რესურსების ხარჯზე შემოედინება.

მაგალითი. მეორე პრაქტიკულ მაგალითად განვიხილოთ ქ. თბილისის ტერიტორიაზე, ე.წ. “საქანელას უბანზე” (ყოფილი ელბაქიდის დაღმართი) პროექტით გათვალისწინებულ სამშენებლო ქვაბულში მიწისქვეშა წყლების მოდინების ანგარიში.

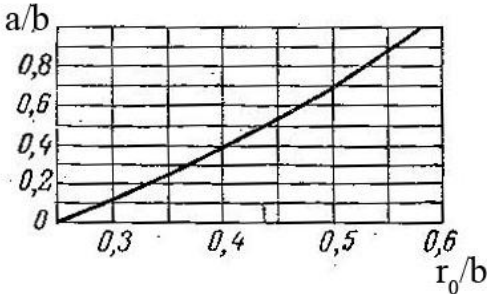
2008 წელს სახელმძღვანელოს ავტორთა მიერ აღნიშნულ უბანზე შესრულებული საველე საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოების შედეგებიდან ირკვევა, საქანელას ტერიტორიაზე განვითარებული გრუნტის წყლის ჰორიზონტი საკმაოდ მაღალი ფილტრაციული თვისებებით ხასიათდება - $k_{\text{საშ.}} = 28.0$ მ/დღ. ამ მაჩვენებლით ჰორიზონტი ლითოლოგიურად

საშუალომარცვლოვანიდან უხეშმარცვლოვანი ქვიშებისკენ გარდამავალ ტიპს შეესაბამება. უბნის განაშენიანების პროექტის მიხედვით, გათვალისწინებულია შენობებისთვის 3 მიწისქვეშა სართულის მოწყობა, რისთვისაც საჭიროა დიდი ზომის სამშენებლო ქვაბულის ამოღება, შემდეგი პარამეტრებით: სიგრძე - $b=300$ მ; სიგანე - $a=50$ მ; სიღრმე - $h=6$ მ. ქვაბული მდებარეობს მოსწორებულ ზედაპირზე, რომელიც ესაზღვრება მდ. მტკვრის მარჯვენა სანაპიროს. აქედან გამომდინარე, მოცემული შემთხვევა უნდა განვიხილოთ, როგორც მდინარის კალაპოტთან ახლოს მდებარე კარიერი. ამ ვარიანტში მიწისქვეშა წყლების კარიერში შემოდინების რაოდენობა განისაზღვრება ფორმუ-

$$\text{ლით: } Q = \frac{1.36kH^2}{\lg(2l) - \lg r_0} \quad (\text{IV.6}),$$

სადაც k - გრუნტის წყლის პორიზონტის ფილტრაციის კოეფიციენტია და, როგორც აღვნიშნეთ, 28.0 მ/დღ.დ ტოლია; H - გრუნტის წყლის პორიზონტის სიმძლავრე (სისქე), $H = 3.8$ მ; l - ქვაბულის პირობითი ცენტრის დაშორება მდინარის ნაპირამდე, რომელიც დაახლოებით შეადგენს $l = 250$ მ; r_0 - ქვაბულის ფიქტიური რადიუსი - ტოლია იმ წარმოსახვითი მრგვალი ჭის რადიუსისა, რომელიც დამოკიდებულია ქვაბულის ზომებზე, კერძოდ, ქვაბულის სიგრძეზე და სიგანეზე.

r_0 -ის გამოთვლა ხდება ვ. არავინის გრაფიკის მიხედვით (ნახ. IV. 2). აღნიშნული გრაფიკის გამოყენებით ვღებულობთ $r_0 = 96$ მ.



ნახ. IV.2. კარიერის დაყვანილი რადიუსის განსასაზღვრე გრაფიკი

საანგარიშო ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$Q = \frac{1.36 \times 28.0 \times 3.8^2}{\lg(2 \times 250) - \lg 96} = 767.23 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}; \text{ ანუ } 8.88 \text{ ლ/წმ.}$$

კარიერში გრუნტის წყლების მოღინების ანგარიშით მიღებული სიდიდე საკმაოდ სწორად ასახავს განსახილველ უბანზე არსებულ ჰიდროგეოლოგიურ სიტუაციას. ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სამშენებლო ქვაბულების მოწყობისას გათვალისწინებული უნდა იყოს ის გარემოება, რომ მიწისქვეშა წყლების მოღინება არ არის განპირობებული ქალაქის ტერიტორიის ინტენსიური გაწყლიანებით, რადგანაც ქ. თბილისი და მისი შემოგარენი გატენიანების უარყო-

ფითი ბალანსით ხასიათდება, რაც პრაქტიკულად გამორიცხავს მეტნაკლებად მძლავრი მიწისქვეშა ნაკადის ფორმირებას. უმეტეს შემთხვევაში წყალმოდინების ძირითადი ნაწილი ქალაქის წყალგაყვანილობის და საკანალიზაციო ქსელიდან მნიშვნელოვან დანაკარგებთან არის დაკავშირებული.

**V თავი. საანგარიშო ჰიდროგეოლოგიური
პარამეტრების განსაზღვრა სავალე-საცდელი
სამუშაოების გზით**

V.1. ზოგადი ცნობები

მიწისქვეშა წყლების საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების შეფასების საწყისი ეტაპი არის წყალშემცველი ფენის საანგარიშო ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრა. ძირითად პარამეტრებად ფილტრაციის კოეფიციენტი, პიეზოგამტარობა, დონეგამტარობა, გრავიტაციული წყალგაცემა და გავლენის დაყვანილი რადიუსი ითვლება. დაწნევითი წყალშემცველი ჰორიზონტების შემთხვევაში განსაზღვრას ექვემდებარება აგრეთვე წყალგამტარობის კოეფიციენტი (T), რომელიც საანგარიშო ფორმულებში შედის და გამოითვლება, როგორც წყალშემცველი ფენის სიმძლავრის ფილტრაციის კოეფიციენტზე ნამრავლი.

აღნიშნული პარამეტრების რეალურ სიტუაციასთან მაქსიმალურად მიახლოებული სიდიდეების მიღება მხოლოდ საცდელი ამოტუმბვების და ამოტუმბვის დამთავრების შემდეგ წყლის დონის აღდგენაზე დაკვირვების გზით არის შესაძლებელი. კონკრეტული ამოცანებიდან გამომდინარე, ამოტუმბვის სხვადასხვა სახეობებს არჩევენ:

- *სასინჯი ამოტუმბვა (пробная откачка)*, რომელიც ტარდება ჰორიზონტის წყალშემცველობის და წყლის ხარისხის წინასწარი შეფასების მიზნით;

- *საცდელი ამოტუმბვა (опытная откачка)* ცალკე აღებული ერთი ჭაბურღილიდან (*одиночная откачка*) ან ჭაბურღილთა ე.წ. “ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქიდან” (*кустовая откачка*). ამ დროს ამოტუმბვის ამოცანა გაცილებით რთული და მრავალფეროვანია, კერძოდ, ამოტუმბვამ უნდა უზრუნველყოს ჭაბურღილის დებიტსა და დონის დაწვევას შორის დამოკიდებულების განსაზღვრა (დებიტის მრუდი), წყალშემცველი ჰორიზონტების ფილტრაციის კოეფიციენტის და წყალგამტარობის განსაზღვრა, პიეზოგამტარობის ან დონეგამტარობის კოეფიციენტების გამოთვლა, ამოტუმბვის გავლენის რადიუსის დადგენა და სხვ.
- *საცდელ-საექსპლუატაციო ამოტუმბვა* ტარდება განსაკუთრებით რთულ ჰიდროდინამიკურ და ჰიდროქიმიურ პირობებში იმ მიზნით, რომ განვსაზღვროთ დროის განმავლობაში წყლის დინამიური დონის და ხარისხის შესაძლო ცვლილებები.

ცენტრალიზებული წყალმომარაგების ამოცანების გადაჭრისას ჰიდროგეოლოგიური კვლევების პრაქტიკაში ფართოდ აპრობირებულ მეთოდს ბუჩქური ამოტუმბვა წარმოადგენს. მის ჩასატარებლად ეწყობა ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქი, რომელიც საცდელი (ცენტრალური) და დასაკვირვებელი ჭაბურღილებისგან შედგება. დასაკვირვებელ (სათვალთვალ) ჭაბურღილებს წრფეზე (სხივებზე) განლაგებენ. უფრო ხშირად ერთი ან ორი სხივი ეწყობა, რომლებზეც 2 ან 3 სათვალთვალ ჭაბურღილი არის განლაგებული. გარკვეული მნიშვნელობა აქვს ცენტ-

რალურ და სათვალთვალო ჭაბურღილებს შორის მანძილების სწორად შერჩევას, რაც ძირითადად წყალშემცველი ფენების ლითოლოგიასა და ფილტრაციის ტიპზე (უდაწნეო, დაწნევითი) არის დამოკიდებული. ამ მიზნით სარეგებლობენ მ. ალტოვსკის მიერ შედგენილი ცხრილით, რომელიც 150-ზე მეტი საცდელი ამოტუმბვის მონაცემებს ეყრდნობა.

ცხრილი I.1

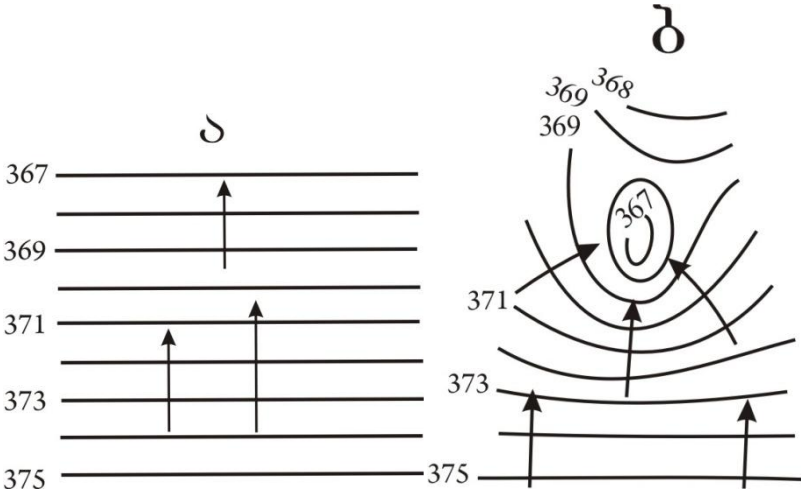
მანძილები ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქის ჭაბურღილებს შორის

წყალშემცველი ქანების შედგენილობა	ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღ.ღ	მიწის-ქვეშა ნაკადის ტიპი	მანძილი საცდელ და სათვალთვალო გამონამუშევრებს შორის, მ			გაგლეხის რადიუსის მიახლოებითი სიდიდე, მ
			№1	№2	№3	
ძლიერ ნაპრალოვანი კლდოვანი ქანები	>60	დაწნევითი	15-20	30-40	60-80	500 და მეტი
		უდაწნეო	10-15	20-30	40-60	500 და მეტი
კენჭნარ-ხრეშოვანი ქანები წვრილი მინარევეების გარეშე; მსხვილ- და საშუალომარცვლოვანი ერთგვაროვანი ქვიშები	>60	დაწნევითი	8-10	15-20	30-40	200-300
		უდაწნეო	4-6	10-15	20-25	200-300
სუსტად დანაპრალიანებული კლდოვანი ქანები	20-დან 60-მდე	დაწნევითი	6-8	10-15	20-30	150-250
		უდაწნეო	5-7	8-12	15-20	150-250
კენჭნარ-ხრეშოვანი ქანები წვრილი მინარევეების მნიშვნელოვანი რაოდენობით	20-დან 60-მდე	დაწნევითი	5-7	8-12	15-20	100-200
		უდაწნეო	3-5	6-8	10-15	100-200

მსხვილ-, საშუალო-, და წვრილმარცვლოვანი ერთგვაროვანი ქვიშები	5-დან 20-მდე	წნევიანი	3-5	6-8	10- 15	80-150
		უწნეო	2-3	4-6	8- 12	80-150

თუ საველე ცდის ჩატარების პროცესში დაცულია ჭაბურღილებს შორის დაშორების ცხრილში მოცემული რეკომენდაციები, მაშინ ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშოდ წნევიანი წყლების შემთხვევაში, შეიძლება შემოვიფარგლოთ ამოტუმბვის ერთი დღე/ღამის ხანგრძლივობით, ხოლო უწნეო (გრუნტის) წყლების ჰორიზონტიდან ამოტუმბვის ხანგრძლივობამ მინიმუმ ორი დღე/ღამე უნდა შეადგინოს. მიწისქვეშა წყლების ფილტრაციის თავისებურებებიდან გამომდინარე, მოთხოვნა იმის შესახებ, რომ ამოტუმბვა უნდა ჩატარდეს დებიტის ან დონის დაწვეის საბოლოო სტაბილიზაციამდე, უსაფუძვლოა, რადგანაც ამ სიდიდეების სტაბილიზაციას ათეული წლები დასჭირდება. ამიტომ, ამოტუმბვა ვერ ჩაითვლება “არაკონდიციურად”, თუ ის აღნიშნული პარამეტრების სტაბილიზაციამდე იქნა შეწყვეტილი.

სანამ გავეცნობოდეთ ბუჩქური ამოტუმბვის მონაცემების საფუძველზე საანგარიშო ჰიდროგეოლოგიური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდებს, მიზანშეწონილია თვალი მივადევნოთ ამოტუმბვის გავლენით მიწისქვეშა ნაკადის დეფორმაციის სურათს, რაც ქვემოთ ნახ. V.1-ზე არის წარმოდგენილი.



ნახ.V.1. ჰიდროიზოპიფსების რუკები
 ა – ამოტუბამდე; ბ – ამოტუმბვის პროცესში;
 ისრებით ნაჩვენებია ნაკადის წირები

სქემა ა-ზე დატანილია ჰიდროიზოპიფსების მდებარეობა ამოტუმბვის დაწყებამდე, ხოლო სქემა ბ-ზე – ჰიდროიზოპიფსები ამოტუმბვის პროცესში. მეორე სქემა ნათლად ასახავს დეპრესიული ძაბრის კონტურს და საშუალებას გვაძლევს გრაფიკულად განვსაზღვროთ საცდელი ჭაბურღილის კეების არე. ამოტუმბვის გავლენით წარმოქმნილ დეპრესიის ძაბრს შეიძლება ჰქონდეს როგორც სიმეტრიული (გრუნტის წყლების ჰორიზონტალური ზედაპირის შემთხვევაში), ისე ასიმეტრიული (დახრილი ზედაპირის შემთხვევაში) ფორმა.

წყალშემცველი ჰორიზონტის ფილტრაციის კოეფიციენტის ანგარიში სრულდება როგორც დამყარებული, ასევე დაუმყარებელი ფილტრაციის ფორმულებით, ხოლო პიეზოგამტარობის და დონეგამტარ-

რობის კოეფიციენტების გამოსათვლელად აუცილებლად დაუმყარებელი ფილტრაციის ფორმულები გამოიყენება.

V.2. ფილტრაციის კოეფიციენტის ანგარიში დამყარებული მოძრაობის შემთხვევაში

როდესაც ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქის ცენტრალური და სათვალთვალო ჭაბურღილები გახსნის ხარისხის მიხედვით სრულყოფილია, ანუ წყალშემცველი ჰორიზონტი მთლიან სიმძლავრეზე არის გადაკეტილი, მაშინ ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა *დიუპუის* ფორმულებით ხდება. დაწნევითი წყლების შემთხვევაში:

- ცენტრალური ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.366Q \lg \frac{R_w}{r_0}}{mS_0} \quad (V.1);$$

- ცენტრალური და პირველი სათვალთვალო

ჭაბურღილებისთვის: $k = \frac{0.366Q \lg \frac{r_1}{r_0}}{m(S_0 - S_1)} \quad (V.2);$

- ორი სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.366Q \lg \frac{r_2}{r_1}}{m(S_1 - S_2)} \quad (V.3)$$

უწინეო წყლების შემთხვევაში:

- ცენტრალური ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.73Q1g \frac{R_g}{r_0}}{(2H - S_0)S_0} \quad (V.4)$$

- ცენტრალური და პირველი სათვალთვალო

$$\text{ჭაბურღილებისთვის: } k = \frac{0.73Q1g \frac{r_1}{r_0}}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)} \quad (V.5)$$

- ორი სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.73Q1g \frac{r_2}{r_1}}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \quad (V.6)$$

ზემოთ მოცემულ ფორმულებში S_0 , S_1 და S_2 დონის დაწვევის სიდიდეებია, შესაბამისად, ცენტრალურ და სათვალთვალო ჭაბურღილებში; r_1 და r_2 პირველი და მეორე სათვალთვალო ჭაბურღილების დაშორება ცენტრალური ჭაბურღილიდან.

ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშო დიუპუის ზემოთ მოცემულ ფორმულებში იგულისხმება, რომ ჰიდროგეოლოგიური ბუქის ჭაბურღილებით (როგორც ცენტრალურით, ისე სათვალთვალოებით) წყალშემცველი ჰორიზონტი გახსნილია მთლიან სიმძლავრეზე, ანუ ეს ჭაბურღილები სრულყოფილია ჰორიზონტის გახსნის ხარისხის მიხედვით. ამასთან, გასათვალისწინებელია, რომ რეალურ ჭაბურღილში დონის დაწვევის ან აწვევის სიდიდეები

მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული დამატებით ფილტრაციულ წინაღობებზე, რომლებიც ჭაბურღილების არასრულყოფილებასთან არის დაკავშირებული, როდესაც წყალშემცველი ფენი მხოლოდ ნაწილობრივ არის გახსნილი. პრაქტიკული ცდებით დადგენილია, რომ როდესაც $l/m > 0.1$ (l - ფილტრის მუშა ნაწილის სიგრძეა, m - წყალშემცველი პორიზონტის სიმაღლე), დიუპუის ფორმულები სამართლიანია არასრულყოფილი ჭაბურღილების შემთხვევაშიც, ოღონდ, ნ. ვერიგინის მიერ შემოტანილი შესწორებების გათვალისწინებით. საბოლოოდ გვექნება: დაწნევის წყლების შემთხვევაში

- ცენტრალური ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.366Q \left[\lg \frac{R_g}{r_0} + 0.217 \xi_0 \right]}{mS_0} \quad (V.7)$$

- ცენტრალური და პირველი სათვალთვალო ჭაბურღილებისთვის:

$$k = \frac{0.366Q \left[\lg \frac{r_1}{r_0} + 0.217(\xi_0 - \xi_1) \right]}{m(S_0 - S_1)} \quad (V.8)$$

- ორი სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.366Q \left[\lg \frac{r_2}{r_1} + 0.217(\xi_1 - \xi_2) \right]}{m(S_1 - S_2)} \quad (V.9)$$

უწნეო წყლების შემთხვევაში:

- ცენტრალური ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.73Q \left[\lg \frac{R}{r_0} + 0.217\xi_0 \right]}{(2H - S_0)S_0} \quad (\text{V.10})$$

- ცენტრალური და პირველი სათვალთვალო ჭაბურღილებისთვის:

$$k = \frac{0.73Q \left[\lg \frac{r_1}{r_0} + 0.217(\xi_0 - \xi_1) \right]}{(2H - S_0 - S_1)(S_0 - S_1)} \quad (\text{V.11})$$

- ორი სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის:

$$k = \frac{0.73Q \left[\lg \frac{r_2}{r_1} + 0.217(\xi_1 - \xi_2) \right]}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \quad (\text{V.12})$$

ξ_0 , ξ_1 , ξ_2 – ფილტრციული წინაღობის სიდიდეებია, რომლებშიც გათვალისწინებულია ცენტრალური და სათვალთვალო ჭაბურღილების არასრულყოფილობა პორიზონტის გახსნის ხარისხის მიხედვით, აგრეთვე ცენტრალურ ჭაბურღილში ფილტრის კონსტრუქციის გავლენის ეფექტი.

ξ_0 სიდიდე ორი შესაკრებისგან შედგება (ξ_0' და ξ_0''). ξ_0' – განსაზღვრავს ჭაბურღილის არასრულყოფილობას გახსნის ხარისხის მიხედვით, ξ_0'' – კონსტრუქციის ფილტრის და სხვა ტექნიკური მიზეზების გავლენას. ξ_0' , ξ_1 და ξ_2 სიდიდეებს შევირჩევთ ცხრილიდან იმის მიხედვით, თუ როგორია ცენტრალური ჭაბურღილის ფილტრის მუშა ნაწილის

(l) შეფარდება წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრესთან (m) და ამ უკანასკნელის შეფარდება r სიდიდესთან. ამასთან, ξ_0' განსაზღვრისას r ცენტრალური ჭაბურღილის რადიუსის (r_0) ტოლია, ხოლო ξ_1 და ξ_2 განსაზღვრისას – სათვალთვალო ჭაბურღილების დაშორებისა ცენტრალური ჭაბურღილიდან (r_1 და r_2) (ცხრილი (V.2)).

ცხრილი V.2

ფილტრაციული წინაღობების სიდიდეები

$\frac{l}{m}$ და $\frac{m}{r}$ შეფარდებების მიხედვით

$\frac{l}{m}$	$\frac{m}{r}$									
	0.5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0.1	0.00391	0.122	2.04	10.4	24.3	42.8	53.8	69.5	79.6	90.9
0.3	0.00297	0.0908	1.29	4.79	9.2	14.5	17.7	21.8	24.9	28.2
0.5	0.00165	0.0494	0.656	2.26	4.21	6.5	7.86	9.64	11.0	12.4
0.7	0.000546	0.0167	0.237	0.879	1.69	2.67	3.24	4.01	4.58	5.19
0.9	0.000048	0.0015	0.0251	0.128	0.3	0.528	0.664	0.846	0.983	1.12

იმ შემთხვევაში, როდესაც ფილტრის მუშა ნაწილის სიგრძის შეფარდება წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრესთან $l/m < 0.1$, ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშო ფორმულებს რამდენადმე განსხვავებული სახე აქვს და მითითებულია სპეციალურ ლიტერატურაში.

V.3. ფილტრაციის, წყალგამტარობის, პიეზოგამტარობის და დონეგამტარობის კოეფიციენტების

განსაზღვრა დაუმყარებელი ფილტრაციის შემთხვევაში

ნავთობის საბადოების ჰიდროდინამიკური პარამეტრების საანგარიშოდ ფართოდ გამოიყენება ფილტრაციის კოეფიციენტის და პიეზოგამტარობის გამოთვლა დაუმყარებელი ფილტრაციის მეთოდით. ბოლო ხანებში აღნიშნულმა მეთოდმა ჰიდროგეოლოგიურ კვლევებშიც ჰპოვა გამოყენება. დამოკიდებულება ჭაბურღილში დონის დაწვევის სიდიდესა და დებიტს შორის დაწვევითი წყლების შემთხვევაში და დაუმყარებელი ფილტრაციის პირობებში აისახება ტეისის განტოლებით:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2.25at}{r^2} \quad (V.13).$$

მოცემული ფორმულა შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად: $S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2.25a}{r^2} + \frac{Q}{4\pi km} \ln t$. ათობით ლოგარითმზე გადასვლის შემდეგ გვექნება:

$$S = \frac{0.183Q}{km} \lg \frac{2.25a}{r^2} + \frac{0.183Q}{km} \lg t \quad (V.14).$$

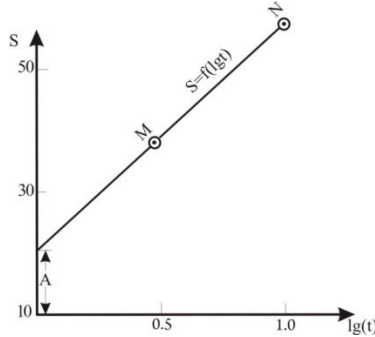
თუ შემოვიტანთ აღნიშვნებს:

$$\frac{0.183Q}{km} \lg \frac{2.25a}{r^2} = A \quad \text{და} \quad \frac{0.183Q}{km} = C$$

მაშინ, (V.14) ფორმულა ჩაიწერება შემდეგი სახით: $S = A + C \lg t$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფუნქციონალური დამოკიდებულება $S = f(\lg t)$ გამოიხატება წრფის განტოლებით.

ნახევრად ლოგარითმულ ფურცელზე აგებენ გრაფიკს (ნახ. V.2), რომლის აბცისათა ღერძზე

დროის ლოგარითმებს გადაზომავენ, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – დონის დაწვევის სიდიდეებს. გრაფიკი წარმოადგენს წრფეს რაიმე კუთხური კოეფიციენტით C და საწყისი ორდინატით - A .



ნახ. V.2. დონის დაწვევის დამოკიდებულება დროის ლოგარითმზე დაწნევის წყლების შემთხვევაში C კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$C = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (V.15).$$

A კოეფიციენტს უშუალოდ გრაფიკიდან ავიღებთ და გამოვთვლით წყალგამტარობას ($T = km$) ფორმულით: $km = \frac{0.183Q}{C}$ (V.16);

პიეზოგამტარობის კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით: $\lg a = 2\lg r - 0.35 + \frac{A}{C}$ (V.17). თუ გამოთ-

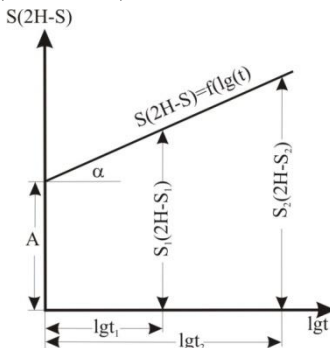
ვლა ხდება ცენტრალური ჭაბურღილის მონაცემებით, მაშინ r სიდიდე უნდა შეიცვალოს ჭაბურღილის რადიუსით r_0 , ხოლო სათვალთვალო ჭაბურღილის მონაცემების შემთხვევაში - r წარ-

მოადგენს მანძილს ცენტრალურიდან სათვალთვალო ჭაბურღილამდე.

განხილული შემთხვევა დაწნევით ფილტრაციას ასახავს. უწნეო წყალშემცველი ჰორიზონტების შესწავლისას ფილტრაციის და დონეგამტარობის კოეფიციენტების გამოთვლა შინაარსობრივად არ განსხვავდება წინა შემთხვევიდან, გარდა იმისა, რომ ნაცვლად $S = f(\lg t)$ გრაფიკისა, უნდა აიგოს $S(2H - S) = f(\lg t)$ ფუნქციის გრაფიკი. ეს გრაფიკიც წარმოადგენს წრფეს, რომლის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს: $S(2H - S) = \dots$ (V.18);

$$A = \frac{0.366Q}{k} \cdot \lg \frac{2.25a_{\text{დ.ბ.}}}{r^2}; \quad C = \frac{0.366Q}{k}.$$

ისევე, როგორც დაწნევითი წყლების შემთხვევაში A სიდიდე განისაზღვრება იმ მონაკვეთის სიგრძით, რომელსაც $S(2H - S) = f(\lg t)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულების გრაფიკი მოჰკვეთს ორდინატთა ღერძზე (ნახ. V.3).



ნახ. V.3. დონის დაწვევის დამოკიდებულება

დროის ლოგარითზე უწნეო წყლების შემთხვევაში

კუთხურ კოეფიციენტს გამოვთვლით ფორმულით: $C = \frac{S_2(2H - S_2) - S_1(2H - S_1)}{\lg t_2 - \lg t_1}$.

შესაბამისად, A და C ცნობილი სიდიდეებით, ფილტრაციის და დონეგამტარობის კოეფიციენტები გამოითვლება ფორმულებით:

$$k = \frac{0.366Q}{C} \quad (\text{V.19}); \quad \lg a_{\text{ღვ}} = 2 \lg r - 0.35 + \frac{A}{C} \quad (\text{V.20}).$$

ზემოთ განხილული დამოკიდებულებების ნათელსაყოფად განვიხილოთ პრაქტიკული მაგალითი.

მაგალითი. განვსაზღვროთ წყალგამტარობის და პიეზოგამტარობის კოეფიციენტები დაწნევითი პორიზონტიდან სრულყოფილი ჭაბურღილის შემთხვევაში ამოტუმბვის მონაცემებით, რომლებიც მოცემულია ცხრილ V.3-ში.

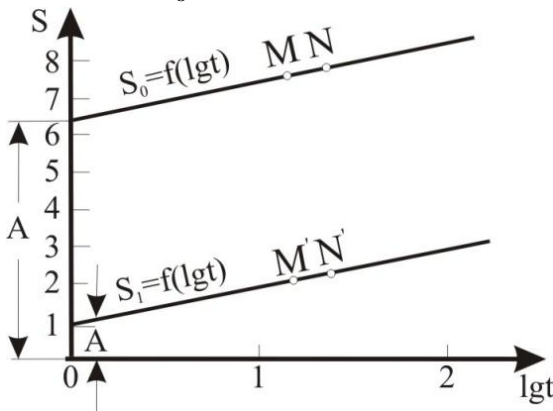
ცხრილი V.3

დაწნევითი პორიზონტიდან ამოტუმბვის მონაცემები

ამოტუმბვის დაწყებიდან გასული დრო t , სთ	დონის დაწვევა ცენტრალურ ჭაბურღილში S_0 , მ	დონის დაწვევა სათვალთვალო ჭაბურღილში, S_1 , მ
6	7.12	1.60
12	7.42	1.90
18	7.54	2.04
24	7.70	2.18
30	7.75	2.24
36	7.82	2.31

42	7.90	2.33
48	7.96	2.44
54	8.00	2.48
60	8.04	2.52
66	8.08	2.56
72	8.12	2.60

ამოტუმბვა ჩატარდა მუდმივი დებიტით $Q = 1200$ მ³/დღ.დ.; ცენტრალური ჭაბურღილის რადიუსი $r_0 = 0.1$ მ; მანძილი სათვალთვალო ჭაბურღილამდე $r = 100$ მ. ავაგებთ ორ გრაფიკს $S_0 = f(\lg t)$ და $S_1 = f(\lg t)$ (ნახ. V.4). S_0 და S_1 გამოსახულია მეტრებში, t - საათებში.



ნახ. V.4. დონის დაწვევის დამოკიდებულება დროის ლოგარითმზე დაწნევეთი პორიზონტის შემთხვევაში

გრაფიკიდან მოვხსნით A -ს მნიშვნელობებს: ცენტრალური ჭაბურღილისთვის - 6.4; სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის - 0.9.

გამოვთვალოთ კუთხური კოეფიციენტი (V.15) ფორმულით გრაფიკზე აღებული ორი M და N წერტილებისთვის (ცენტრალური ჭაბურღილი) და M_1 და N_1 წერტილებისთვის (სათვალთვალო ჭაბურღილი). მივიღებთ:

$$\text{ცენტრალური ჭაბურღილისთვის: } C = \frac{7.7 - 7.5}{1.4 - 1.2} = 1.$$

$$\text{სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის: } C = \frac{2.2 - 2.0}{1.4 - 1.2} = 1.$$

მაშასადამე, როგორც ცენტრალური, ისე სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის მივიღეთ C პარამეტრის ერთნაირი სიდიდე.

(V.16) და (V. 17) ფორმულებით ვანგარიშობთ წყალგამტარობის და პიეზოგამტარობის კოეფიციენტების სიდიდეებს:

$$T = km = \frac{0.183 \cdot 1200}{1.0} = 220 \text{ მ}^2/\text{დღეღამე}.$$

პიეზოგამტარობის კოეფიციენტი სათვალთვალო ჭაბურღილისთვის:

$$\lg a = 2 \lg 100 - 0.35 + \frac{0.9}{1.0} = 4.55 \quad ;$$

$$a = 3.58 \cdot 10^4 \text{ მ}^2/\text{სთ} = 8.5 \cdot 10^5 \text{ მ}^2/\text{დღ.დ.}$$

- ცენტრალური ჭაბურღილისთვის:

$$\lg a = 2 \lg 0.1 - 0.35 + \frac{6.4}{1.0} = 4.05 \quad ;$$

$$a = 1.12 \cdot 10^4 \text{ მ}^2/\text{სთ} = 2.7 \cdot 10^5 \text{ მ}^2/\text{დღ.დ.}$$

ცენტრალური ჭაბურღილის მონაცემებით ნაანგარიშევი პიეზოგამტარობის კოეფიციენტის

სიდიდე ნაკლებად სარწმუნოა, სანგრევისპირა ზონაში აღძრული ზეგავლენის გამო.

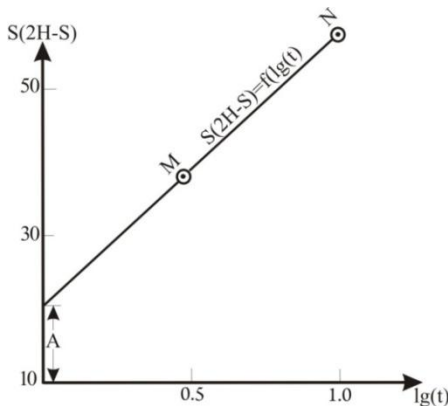
მაგალითი. განვსაზღვროთ ფილტრაციის და დონეგამტარობის კოეფიციენტები წყალშემცველი ნაპრალოვანი კირქვების ჰორიზონტში. წყალშემცველი ჰორიზონტის ზედაპირი თავისუფალია, ანუ ზედაპირზე დაწნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია. ჰორიზონტის სიმძლავრე 20 მეტრს შეადგენს. საცდელი ამოტუმბვა ჩატარდა მუდმივი დებიტით – 1000 მ³/დღ.დ. ამოტუმბვის პროცესში დონეები იზომებოდა სათვალთვალო ჭაბურღილში, რომელიც ცენტრალური ჭაბურღილიდან 70 მეტრით არის დაშორებული. ამოტუმბვის მონაცემები ასახულია ცხრილ V.4-ში.

ცხრილი V.4

უწნეო ჰორიზონტიდან ამოტუმბვის მონაცემები

ამოტუმბვის დაწყებიდან გასული დრო t , დღე/ღამე	დონის დაწევა სათვალთვალო ჭაბურღილში, S , მ	$S(2H - S)$	$\lg t$
0.5	0.37	14.48	-0.3
1.0	0.60	23.6	0
2.0	0.82	32.0	0.3
3.0	0.99	38.4	0.48
4.0	1.11	43.0	0.6
5.0	1.20	46.5	0.7
6.0	1.28	49.3	0.78
7.0	1.34	51.9	0.845
8.0	1.40	54.0	0.90
9.0	1.45	55.8	0.954
10.0	1.49	57.5	1.0

ვაგებთ გრაფიკს - $S(2H - S) = f(\lg t)$ (ნახ. V.3).



ნახ. V.5. დონის დაწევის დამოკიდებულება დროის ლოგარითმზე უწნეო წყლების შემთხვევაში

გრაფიკზე მოცემული M და N წერტილებისთვის:

$$C = \frac{57.5 - 38.4}{1.0 - 0.48} = 36.6.$$

$$k = \frac{0.366Q}{C} = \frac{0.366 \cdot 1000}{36.6} = 10 \text{ მ/დღ.ღ.}$$

$$\lg a_{\text{დ.ბ.}} = 2 \lg 70 - 0.35 + \frac{20.5}{36.6} = 3.90$$

$$a_{\text{დ.ბ.}} = 7943 \cdot 10^4 \text{ მ}^2/\text{დღ.ღ.} \approx 8 \cdot 10^3 \text{ მ}^2/\text{დღ.ღ.}$$

მაგალითი. წინამდებარე სახელმძღვანელოს ავტორთა უშუალო მონაწილეობით და მათი ზედამხედველობის ქვეშ ჩატარდა ბურღვითი და საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოები ქ. თეთრიწყაროს ტერიტორიაზე, რომელთა შედეგები ქვემოთ არის წარმოდგენილი.

ქ. თეთრიწყაროს დასახლებული ტერიტორიის სასმელი წყალმომარაგების მიზნით გაყვანილი ჭაბურღილი მდებარეობს ქალაქის ჩრდილოეთ პერიფერიაზე, იქ სადაც განლაგებულია წყლის შემკრები ორი რეზერვუარი, თითოეული 250 მ³ ტევადობისა.

ჭაბურღილში ჩატარდა ხანმოკლე საცდელი ამოტუმბვა, რომელიც განხორციელდა იტალიური წარმოების ჩასაძირი ელექტროტუმბოს საშუალებით. ტუმბოს ჩაძირვის სიღრმე - 75 მ. ელექტრული დონემზომის ჩვენების მიხედვით, ჭაბურღილში წყლის სტატიკური დონე -13.9 მ. შეადგენს.

წყალშემცველი ინტერვალის ფილტრაციული მახასიათებლების საანგარიშოდ გამოყენებულ იქნა ამოტუმბვის დამთავრების შემდეგ დონის აღდგენაზე დაკვირვების მონაცემები. ამასთანავე, აღსანიშნავია, რომ ანგარიში შესრულებულია წნევიანი ფილტრაციის ფორმულებით, რადგანაც მოცემულ შემთხვევაში სწორედ დაწნევით მიწისქვეშა წყალთან გვაქვს საქმე.

ხანმოკლე საცდელი ამოტუმბვის ფაქტობრივი მონაცემები ასახულია ცხრილ V.5-ში.

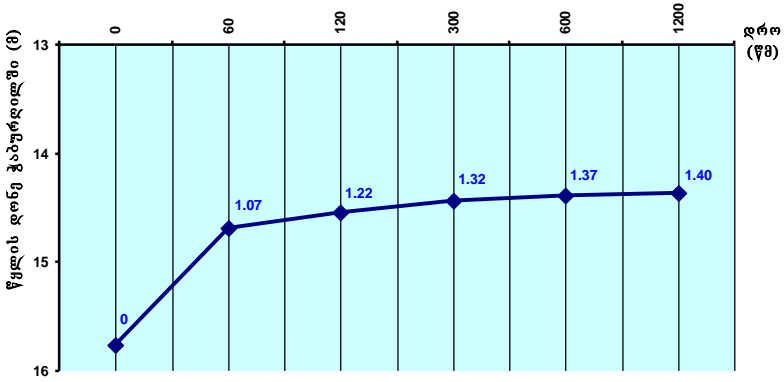
ცხრილი V.5

წყლის დონის აღდგენაზე დაკვირვების მონაცემთა ცხრილი

№№	ამოტუმბვის მწარმოებლურობა (Q), მ ³ /დღ.	დრო ამოტუმბვის დამთავრების შემდეგ		lgt, წთ	დონის აწევის სიდიდე (S), მ
		ტ, წმ	ტ, წთ		
1	2	3	4	5	6

1	129.6	60	1	0	1.07
2		120	2	0.3	1.22
3		300	5	0.7	1.32
4		600	10	1	1.37
5		1200	20	1.3	1.40

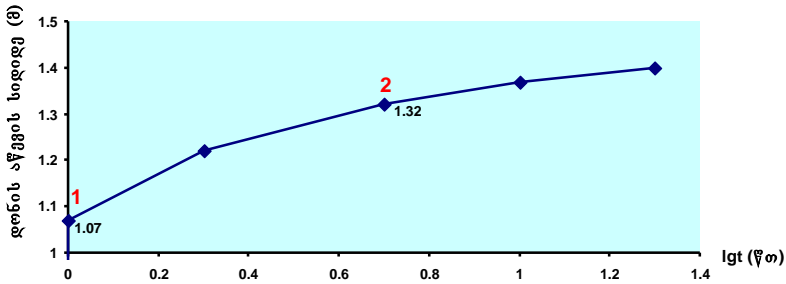
Q = 129.6 მ³/დღ. მუდმივი დებიტით ამოტუმბვის პროცესში, ერთი საათის შემდეგ დამყარდა დინამიური წონასწორობა ჭაბურღილის ლულაში ნაკადის ბუნებრივ შემოდინებასა და ამოტუმბვის მწარმოებლურობას შორის, ისე, რომ დონის შემდგომ დაწევას ადგილი აღარ ჰქონდა. დონის მაქსიმალური დაწევის სიდიდემ 1.86 მ შეადგინა, რაც შეესაბამება დინამიურ დონეს - 15.76 მ. ეს მაჩვენებელი მიჩნეულია საწყის წერტილად დონის აღდგენის სიდიდეების საანგარიშოდ. საილუსტრაციოდ ქვემოთ მოცემულია ორი გრაფიკი. პირველი გრაფიკი გამოხატავს ამოტუმბვის შეწყვეტის შემდეგ დონის აღდგენის მიმდინარეობას და მის დამოკიდებულებას დროზე (წამებში) (ნახ. V.6).



ნახ. V.6. დონის აღდგენის დამოკიდებულება დროზე ამოტუმბვის შეწყვეტის მომენტიდან

წყალშემცველი ფენის ფილტრაციული მახასიათებლების საანგარიშოდ მიზანშეწონილია ნახევრად ლოგარითული გრაფიკის გამოყენება.

ფუნქციონალური დამოკიდებულება $S = f(\lg t)$ დონის აღდგენის სიდიდესა და ამოტუმბვის შეწყვეტის შემდეგ გასულ დროის ლოგარითმს შორის ($\forall t$) მოცემულია ქვემოთ $S(m)$, $\lg t(\forall t)$ კოორდინატებში (ნახ. V.7).



ნახ. V.7. $S = f(\lg t)$ დამოკიდებულების გრაფიკი

ფილტრაციის კოეფიციენტის საანგარიშოდ გრაფიკზე ვირჩევთ ორ წერტილს (1 და 2), რომელთა კოორდინატებია:

$$1 \quad \lg t_1 = 0; \quad S_1 = 1.07 \text{ მ}$$

$$2 \quad \lg t_2 = 0.7; \quad S_2 = 1.32 \text{ მ}$$

კუთხური კოეფიციენტი გამოითვლება (V.15) ფორმულით. (V.15) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$C = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1} = \frac{1.32 - 1.07}{0.7 - 0} = \frac{0.25}{0.7} = 0.357$$

ფენის წყალგამტარებლობა იანგარიშება (V.16) ფორმულით. რიცხვითი სიდიდეების ჩასმის შემდეგ გვექნება:

$$Km = \frac{0.183 \cdot 129.6}{0.357} = \frac{23.72}{0.357} = 66.44 \text{ მ}^2/\text{დღ.ღამე}$$

ბურღვის მონაცემების მიხედვით წყალშემცველი ინტერვალი ლითოლოგიურად წარმოდგენილია ნაპრალოვანი კარბონატული ქვიშაქვებით. ინტერვალის სიმაღლე 5 – 10 მ ფარგლებშია. საშუალოდ მივიღოთ $m = 7$ მ. მაშინ, ფილტრაციის კოეფიციენტის სიდიდე ტოლი იქნება:

$$k = \frac{T}{m} = \frac{66.44}{7} = 9.49 \text{ მ/დღ.ღამე.}$$

საბოლოოდ შევირჩევთ $k = 10$ მ/დღ.ღ., რაც რეალური სიდიდეა მოცემული ლითოლოგიის წყალშემცველი ქანისთვის. როგორც ვხედავთ, ჭაბურღილით გახსნილი წყალშემცველი ინტერვალი საკმაოდ მაღალი ფილტრაციული თვისებებით ხასიათდება, რაც ჭაბურღილის საპროექტო დებიტით მუშაობის გარანტიაა.

V.4 ამოტუმბვის გავლენის დაყვანილი რადიუსის განსაზღვრა

ჭაბურღილში წყლის დონის დაწვევასა და ამოტუმბვის დებიტს შორის ფუნქციონალური დამოკიდებულების ფორმულაში $S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2.25at}{r^2}$ დონის დაწვევის სიდიდე ნულის ტოლია, როდესაც

გამოსახულება $\frac{2.25at}{r^2} = 1$. თუ მანძილს, რომელზეც ეს პირობა ვრცელდება, აღვნიშნავთ $r = R_{\text{გ}}$, სადაც $R_{\text{გ}}$ - დაყვანილი რადიუსია, გვექნება: $R_{\text{გ}}^2 = 2.25at$, ანუ $R_{\text{გ}} = 1.5\sqrt{at}$ (V.21). ფორმულა (V.21) გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც დაყვანილი რადიუსის გამოთვლა დაუმყარებელი ფილტრაციის რეჟიმში ხდება. a - პიეზოგამტარობის კოეფიციენტი.

მეორე მხრივ, თუ ამოტუმბვის პროცესში ადგილი აქვს დონეების სტაბილიზაციას, მაშინ დაყვანილი რადიუსის გამოთვლა შესაძლებელია ამოტუმბვის მონაცემებზე დაყრდნობით დიუპუის შემდეგი ფორმულით: $\lg R_{\text{გ}} = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{S_1 - S_2}$ (V.22),

სადაც S_1 და S_2 დონის დაწვევის სიდიდეებია პირველ და მეორე სათვალთვალო ჭაბურღილებში; r_1 და r_2 ამ ჭაბურღილების დაშორება ცენტრალური ჭაბურღილიდან.

ქვემოთ მოცემულია ამოტუმბვის დაყვანილი რადიუსის გამოთვლის პრაქტიკული მაგალითი.

მაგალითი. დაწნევითი წყალშემცველი ჰორიზონტიდან განხორციელდა საცდელი ამოტუმბვა მუდმივი დებიტით 800 მ³/დღ.დ., საცდელი ჭაბურღილის რადიუსი ტოლია 0.1 მ. დონეებზე დაკვირვებები ტარდებოდა ცენტრალურ და ორ სათვალთვალო ჭაბურღილებში. სათვალთვალო ჭაბურღილების დაშორება ცენტრალური ჭაბურღილიდან შეადგენს

50 და 100 მ. ამოტუმბვის მონაცემები V. 6 ცხრილის ფორმით არის წარმოდგენილი.

ცხრილი V.6

გავლენის დაყვანილი რადიუსის განსაზღვრა
ამოტუმბვის მონაცემებით

ამოტუმბვის დაწყებიდან გასული დრო t , სთ	დონის დაწვეა ცენ- ტრალურ ჭაბურღილში, S , მ	დონის დაწვეა პირველ სათ- ვალთვალო ჭაბურღილში, S_1 , მ	დონის დაწვეა პირველ სათ- ვალთვალო ჭაბურღილში, S_2 , მ
2	5.17	1.46	1.05
4	5.33	1.62	1.21
6	5.42	1.71	1.30
8	5.46	1.75	1.34
10	5.49	1.78	1.37
12	5.51	1.80	1.39
16	5.54	1.83	1.42
20	5.56	1.85	1.44
24	5.56	1.85	1.44
28	5.57	1.86	1.45
32	5.57	1.86	1.45
36	5.58	1.87	1.46
40	5.58	1.87	1.46
44	5.58	1.87	1.46
48	5.58	1.87	1.46

ამოტუმბვის ბოლო 14 საათის განმავლობაში დონეთა ცვლილებას ადგილი არ ჰქონია, ამის გამო ამოტუმბვა შეწყდა. ამოტუმბვის დამთავრების

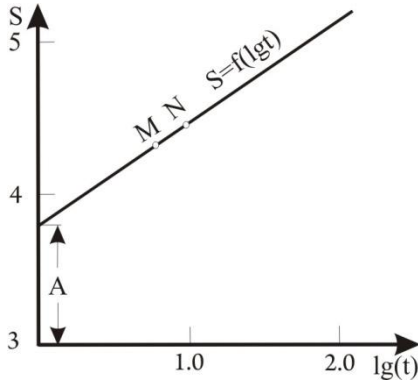
შემდეგ დონეების აღდგენაზე დაკვირვებების შედეგები ცხრილ V.7-ში არის ასახული.

ცხრილი V.6

ამოტუმბვის შეწყვეტის შემდეგ დონის აღდგენაზე დაკვირვების მონაცემები

ამოტუმბვის შეწყვეტიდან გასული დრო t , წთ	ცენტრალურ ჭაბურღილში დონის აღდგენა, S , მ	ამოტუმბვის შეწყვეტიდან გასული დრო t , წთ	ცენტრალურ ჭაბურღილში დონის აღდგენა, S , მ
1	3.79	13	4.56
2	4.00	14	4.58
3	4.12	15	4.60
4	4.21	20	4.69
5	4.27	25	4.76
6	4.33	30	4.81
7	4.38	35	4.86
8	4.41	40	4.90
9	4.45	45	4.93
10	4.48	50	4.96
11	4.51	55	4.99
12	4.54	60	5.02

იმისთვის, რომ დავრწმუნდეთ მოხდა თუ არა დონეების სტაბილიზაცია, ავაგოთ ფუნქციონალური დამოკიდებულების გრაფიკი $S = f(\lg t)$ (ნახ. V.8), დონის აღდგენაზე დაკვირვების მონაცემების მიხედვით და განვსაზღვროთ წყალგამტარობის და პიეზოგამტარობის კოეფიციენტები.



ნახ. V.8. დამოკიდებულება დონის აღდგენასა და დროის ლოგ-არითმს შორის ცდის მონაცემების მიხედვით

გრაფიკის მიხედვით $A = 3.79$. გრაფიკზე შერჩეული ორი ორი M და N წერტილებისთვის კუთხური კოეფიციენტის სიდიდე ტოლი იქნება:

$$C = \frac{4.48 - 4.34}{1.0 - 0.8} = \frac{0.14}{0.2} = 0.70.$$

(V.16) და (V.17) ფორმულებით გამოვთვლით წყალგამტარობის და პიეზოგამტარობის კოეფიციენტების სიდიდეებს:

$$T = km = \frac{0.183 \cdot 800}{0.7} = 209 \text{ მ}^2/\text{დღ.დ}$$

$$\lg a = 2 \lg 0.1 - 0.35 + \frac{3.79}{0.7} = 3.06,$$

$a = 1150 \text{ მ}^2/\text{წთ} = 1150 \cdot 1440 = 1.65 \cdot 10^6 \text{ მ}^2/\text{დღ.დ}$ a -სა და km -ის ნაანგარიშევი სიდიდეების მიხედვით, გამოვთვლით დონის დაწვევის სიდიდეს ამოტუმბვის დასრულების მომენტისთვის - $t = 48$ სთ (2 დღ.დ):

$$R_{\text{გ}} = 1.5\sqrt{at} = 1.5\sqrt{1.65 \cdot 10^6 \cdot 2} = 2720 \text{ მ}$$

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{R_{\text{გ}}}{r} = \frac{800}{6.28 \cdot 219} \ln \frac{2720}{0.1} = 0.61 \cdot 10.2 = 6.22 \text{ მ};$$

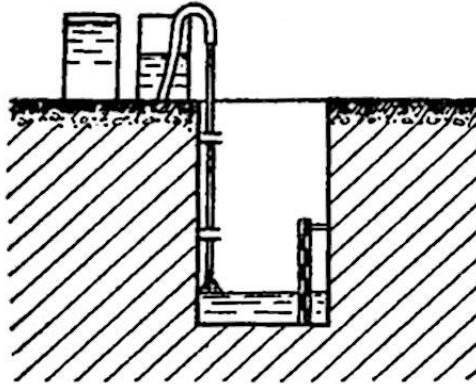
თუ მიღებულ სიდიდეს შევადარებთ ცხრილ V.6-ში ნაჩვენებ სიდიდეს დავინახავთ, რომ ეს უკანასკნელნი 64 სმ-ით ნაკლებია, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ სტაბილიზაციას ნამდვილად ჰქონდა ადგილი. ამ შემთხვევაში მართებულია ვისარგებლოთ დაყვანილი რადიუსის გამოსათვლელი ფორმულით:

$$\lg R_{\text{გ}} = \frac{1.87 \lg 100 - 1.46 \lg 50}{1.87 - 1.46} = 3.07, \quad R_{\text{გ}} = 1170 \text{ მ.}$$

V. 5 შურფიდან საცდელი ინფილტრაციის ხერხები

მელიორაციული სამუშაოების სწორად დასაპროექტებლად განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა აერაციის ზონის გრუნტების ფილტრაციული მახასიათებლების შესწავლას, რადგანაც ეს მახასიათებლები განსაზღვრავს საირიგაციო სამუშაოების რაციონალურად წარმართვის შესაძლებლობას. აერაციის ზონაში გრუნტების ფილტრაციის კოეფიციენტის დადგენის მიზნით ტარდება შურფიდან საცდელი ინფილტრაციის სპეციალური ცდები. არსებობს ცდის ჩატარების რამდენიმე ხერხი, რომელთა შორის უფრო გავრცელებულია ბოლდირევის, კამენსკის და ნესტეროვის მიერ შემოთავაზებული მეთოდები.

ბოლდირევის ხერხი. მშრალ გრუნტში ამოღებული შურფის სიღრმე იმგვარად უნდა შეირჩეს, რომ მისი ფსკერი (სანგრევი) გრუნტის წყლის ზედაპირს ზემოთ 3-5 მეტრით იყოს დაშორებული. შურფის პირზე დადგმული დაგრაღულირებული ჭურჭლიდან წვრილი მილაკის საშუალებით წყალს შურფის ფსკერს იმ ანგარიშით აწვდიან, რომ ცდის განმავლობაში შურფში წყლის დონე იყოს მუდმივი, დაახლოებით 10 სმ-ის სიმაღლეზე ფსკერიდან.



ნახ.V.9. ხელსაწყო შურფიდან ინფილტრაციის ცდისათვის (ბოლდირევის მიხედვით)

წყლის დონეზე დასაკვირვებლად ფსკერზე ლარტყა არის დამაგრებული. თუ დროის ერთეულში შურფში მიწოდებული წყლის რაოდენობას – Q გავყოფთ ფსკერის ფართობზე – F , მივიღებთ ინფილტრაციის საშუალო სიჩქარეს, რომელიც ტოლია:

$$v = \frac{Q}{F} \quad (\text{IV. 23}).$$

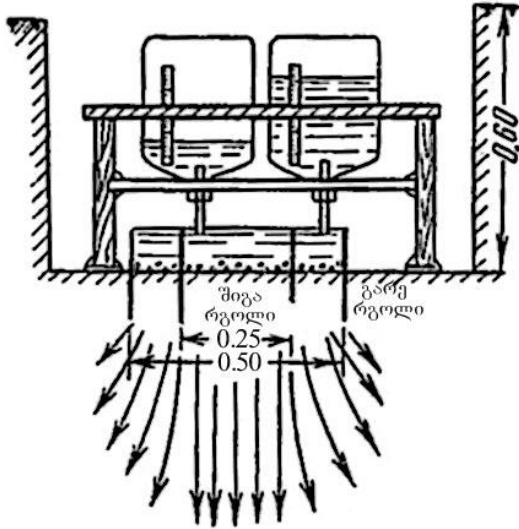
მეორე მხრივ, დარსის კანონის მიხედვით, ინფილტრაციის დროს წყალშედწვეადობის კოეფიციენტი ტოლია: $k = \frac{v}{J}$ (IV. 24).

იმის გამო, რომ შურფის ფსკერის ზემოთ წყლის დონე დაბალია და 10 სმ-ს არ აღემატება, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ დაწნევის გრადიენტი ერთის ტოლია და შესაბამისად, $k = v$.

ამრიგად, განვსაზღვრავთ რა ინფილტრაციის საშუალო სიჩქარეს (v), გაუტოლებთ მას ფილტრაციის კოეფიციენტს (k).

აღწერილი მეთოდი არ ითვალისწინებს შურფის გვერდებიდან წყლის შეწოვას და კაპილარული ძალების ზემოქმედებას, ამიტომ ეს ხერხი შედარებით ზუსტ სიდიდეს იძლევა ქვიშრობი გრუნტების შემთხვევაში, სადაც კაპილარული ძალების ზემოქმედება უმნიშვნელოა.

ნესტეროვის ხერხი. ეს მეთოდი გამოიყენება თიხური შედგენილობის გრუნტებში ინფილტრაციის შესასწავლად. შურფის ფსკერზე მოწყობილ ჩადრმაგებაში, ე.წ. ზუმფში (წყლის კოლექტორი) ჩასვამენ ფოლადის ორ შიდა და გარე რგოლს.



ნახ.V.9. ხელსაწყო შურფიდან ინფილტრაციის ცდისათვის (ნესტეროვის მიხედვით)

ორივე ზუმფში ასხამენ წყალს და ინარჩუნებენ მუდმივ დონეს, წყლით სავსე ორი გადმოყირავებული ბალონის საშუალებით. გარე ზუმფიდან წყალი ჩაჟონვაზე, გვერდით განდინებაზე და კაპილარულ შეწოვაზე იხარჯება, ხოლო შიდა რგოლიდან – მხოლოდ ინფილტრაციაზე. ამ ვარიანტში ინფილტრაციული ნაკადის განიკვეთის ფართობი შიდა რგოლის ფუძის ფართობის ტოლია.

ცდის დასრულების შემდეგ ჩაჟონვის სიღრმის დასადგენად შურფის ფსკერიდან გაჰყავთ ჭაბურღილი.

ფილტრაციის კოეფიციენტს ანგარიშობენ

ფორმულით:
$$k = \frac{Qz}{F(H_k + h + z)} \quad (\text{IV. 25}).$$

სადაც Q – შიდა რგოლის ფუძიდან დამყარებული ფილტრაციული ხარჯია; z – შურფის ფსკერიდან წყლის ჩაქონვის სიღრმე; $F = \pi r^2$ - r რადიუსის მქონე შიდა რგოლის განივკვეთის ფართობია; H_k – კაპილარული აწევის სიმაღლე, რომელიც ცდის საშუალებით განისაზღვრება; h – შიდა რგოლში წყლის ფენის სისქე.

**VI. მიწისქვეშა წყლების დამყარებული მოძრაობა
ანიზოტროპულ და არაერთგვაროვან
წყალშემცველ ქანებში**

**VI.1 არაერთგვაროვანი წყალშემცველი წყებების
ძირითადი სახეობები**

თუ წყალშემცველ წყლებს ერთი და იგივე ლითოლოგიური შედგენილობა და ფილტრაციის კოეფიციენტი აქვს, მას ერთგვაროვანი ეწოდება. ერთგვაროვანი წყება შეიძლება იყოს იზოტროპული ან ანიზოტროპული. იზოტროპულია იმ შემთხვევაში, როდესაც ქანის წყალგამტარობა ყველა მიმართულებით ერთნაირია, ანუ არ არის დამოკიდებული წყლის მოძრაობის მიმართულებაზე. თუ ქანის წყალგამტარობა ერთი მიმართულებით მეტია, ვიდრე სხვა მიმართულებით, ასეთ ქანს ანიზოტროპული ეწოდება. ანიზოტროპული ქანის მაგალითად გამოდგება ლენტიესებური თიხები (წყალგამტარობა ჰორიზონტალური მიმართულებით მეტია, ვიდრე ვერტიკალური მიმართულებით) და ლიოსი, რომლის წყალგამტარობა ვერტიკალური მიმართულებით მეტია, ვიდრე ჰორიზონტალურად.

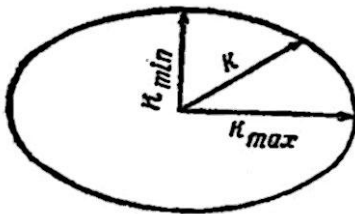
ანიზოტროპულობის ცნება არ უნდა გაავივივოთ წყალშემცველი ფენის არაერთგვაროვნების ცნებასთან. ანიზოტროპია ქანის სტრუქტურული თავისებურებებით არის განპირობებული, ხოლო არაერთგვაროვნება ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მიმართულებით წყალშემცველი ფენის ლითოლოგიური შედგენილობის განსხვავებით. არა-

ერთგვაროვანი წყალშემცველი ფენები ბუნებაში უფრო ხშირად გვხვდება. განსაკუთრებით დამახასიათებელია არაერთგვაროვანი წყალშემცველი ფენების გავრცელების სამი შემთხვევა:

1. ფენები, რომლებიც აგებულია სხვადასხვა წყალგამტარობის შრეების მონაცვლეობით. ამგვარ არაერთგვაროვნებას ხშირად შრეებრივ არაერთგვაროვნებას უწოდებენ.
2. ორშრიანი ფენები – მეტი მნიშვნელობა ენიჭება იმ შემთხვევას, როდესაც ზედა შრის წყალგამტარობა ნაკლებია ქვედასთან შედარებით; ამგვარი აგებულება დამახასიათებელია დიდი მდინარეების ალუვიური ნალექებისათვის;
3. ფენები, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია წყალგამტარობის მკვეთრი ცვლა ჰორიზონტალრი მიმართულებით.

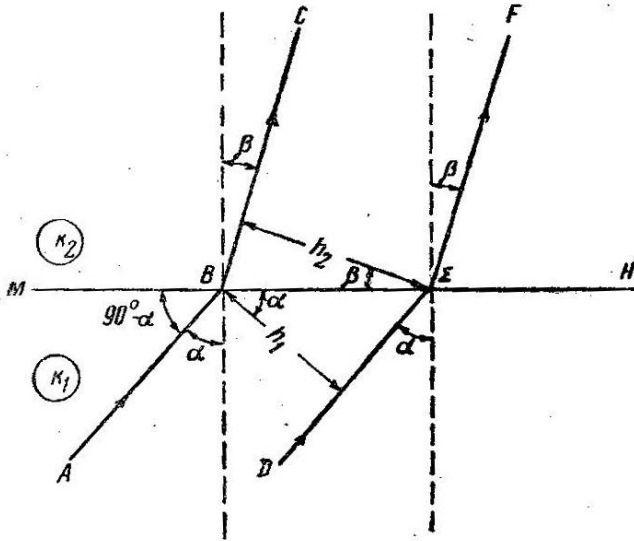
VI.2 ანიზოტროპულ და არაერთგვაროვან ქანებში წყლის მოძრაობის ძირითადი კანონზომიერებები

ანიზოტროპულ ფენებში ფილტრაციის კოეფიციენტის სიდიდე მოძრაობის მიმართულებაზე არის დამოკიდებული (ნახ. VI.1).



ნახ. VI.1. ანიზოტროპული ქანის წყალშედწევადობის ეპიურა

წელის ჭაველების გადასვლისას სხვადასხვა წყალგამტარობის შრეების ზედაპირზე, ხდება ნაკადის წირების გარდატეხა (VI.2).



ნახ. VI.2. ნაკადის წირის გარდატეხა სხვადასხვა წყალშელწვევლობის ორი შრის გამყოფ ზედაპირზე

ნაკადის წირების გარდატეხა ემორჩილება შემდეგ განტოლებას: $\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{k_1}{k_2}$ (VI.1), სადაც α არის კუთხე შრეების გამყოფი ზედაპირისადმი მართობსა და ნაკადის წირის მიმართულებას შორის იმ შრეში, რომლისთვისაც ფილტრაციის კოეფიციენტი უდრის k_1 . β კუთხე იმავე მართობსა და იმ შრეში ნაკადის წირს შორის, რომელშიც ფილტრაციის კოეფიციენტი უდრის k_2 .

ქვემოთ მოგვყავს ამ განტოლების გამოყვანა კამენსკის მიხედვით. გამოვიყენოთ ფილტრაციული ნაკადის ელემენტი, რომელიც ნაკადის ორი წირით ABC და DEF არის შემოსაზღვრული (ნახ. VI.2). დავეწეროთ დარსის კანონის მიხედვით ერთეული ხარჯის განტოლება თითოეული შრისათვის. $q_1 = k_1 h_1 I_1$; $q_2 = k_2 h_2 I_2$. რამდენადაც $q_1 = q_2$ ამიტომ, $k_1 h_1 I_1 = k_2 h_2 I_2$ (VI.2).

(VI.2) ნახაზიდან ჩანს, რომ $h_1 = BE \cos \alpha$; $h_2 = BE \cos \beta$. თუ h_1 და h_2 სიდიდეებს შევიტანთ (VI.2) ფორმულაში და შევკვეცავთ BE მივიღებთ: $k_1 I_1 \cos \alpha = k_2 I_2 \cos \beta$ (VI.3). გამოვსახოთ გრადიენტები I_1 და I_2 მათი ტანგენციალური შემდგენლებით $I_1^{(t)}$ და $I_2^{(t)}$ შრეების გამყოფი ზედაპირის გასწვრივ:

$$I_1 = \frac{I_1^{(t)}}{\sin \alpha} \quad I_2 = \frac{I_2^{(t)}}{\sin \beta}.$$

I_1 და I_2 მიღებული სიდიდეების შეტანით (VI.3)

განტოლებაში გვექნება: $k_1 \frac{I_1^{(t)} \cos \alpha}{\sin \alpha} = k_2 \frac{I_2^{(t)} \cos \beta}{\sin \beta}$ (VI.4).

იმის გამო, რომ გრადიენტის ტანგენციალური შემდგენლები შრეების გამყოფი ზედაპირის გასწვრივ ერთმანეთის ტოლია, ანუ $I_1^{(t)} = I_2^{(t)}$, მაშინ (VI.3) განტოლება შეიძლება შემდგენაირად ჩავწეროთ:

$$k_1 \operatorname{ctg} \alpha = k_2 \operatorname{ctg} \beta \quad \text{ან} \quad \frac{k_1}{k_2} = \frac{\operatorname{ctg} \beta}{\operatorname{ctg} \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \quad (\text{VI.5})$$

რისი დამტკიცებაც გვინდოდა. (VI.5) ტოლობა გვიჩვენებს, რომ რაც მეტია განსხვავება წყალგამტარობებს შორის, მით მეტი იქნება ნაკადის წირის გარდატეხა შრეების გამყოფი ზედაპირის გადაკვეთაზე.

იგივე განტოლება გვიჩვენებს, აგრეთვე, რომ ერთ-ერთი შრის წყალგამტარობის გადიდებას მივყავართ ნაკადის წირის დახრის შემცირებისაკენ (k_1 გადიდება იწვევს $tg\alpha$ გადიდებას და აქედან მოსახდვრე კუთხის შემცირებას ($90 - \alpha$)), რომელიც განსაზღვრავს ნაკადის წირის გადახრას შრეების გამყოფი ზედაპირიდან (ნახ. VI.2).

ნაკადის წირის გარდატეხის საერთო კანონზომიერებიდან ორი შემთხვევა გამოიყოფა, როდესაც ნაკადის წირის გარდატეხა არ ხდება:

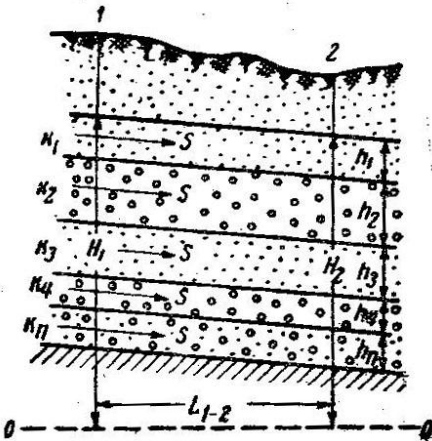
- ა) წყლის ფილტრაციისას შრეობრიობის გასწვრივ, რასაც ადგილი აქვს შრეებრივი არაერთგვაროვნებისას;
- ბ) წყლის ფილტრაციისას შრეობრიობის სიბრტყის მართობულად.

შრეობრიობის გასწვრივ წყლის ფილტრაციისას ფილტრაციის კოეფიციენტი ნაკადის წირზე რჩება მუდმივ სიდიდედ, ამიტომ არ არის აუცილებლობა ნაკადის წირის გარდატეხისა, როდესაც წყალი ერთსა და იმავე ფენში მოძრაობს. წყლის ფილტრაციისას შრეობრიობის სიბრტყის მართობულად კუთხე ($\beta = 0$), მაშინ (VI.1) განტოლებიდან

$tg\alpha = tg\beta \frac{k_1}{k_2}$ აგრეთვე უდრის ნულს ანუ $\alpha = 0$. ამგვარად, არც ამ შემთხვევაში აქვს ადგილი ნაკადის წირის გარდატეხას.

VI.2.1 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა შრეობრიობის გასწვრივ მოძრაობისას

განვიხილოთ წყლის მოძრაობა არაერთგვაროვან ქანში შრეობრიობის გასწვრივ. ამგვარი მოძრაობისას, ნაკადის ერთეული ხარჯი წყალშემცველი ფენის თითოეულ შრეში შეიძლება გამოისახოს დარსის კანონის მიხედვით შემდეგნაირად (ნახ. VI.3).



k_1, k_2, k_3, k_4, k_n - შრეების ფილტრაციის კოეფიციენტები;
 h_1, h_2, h_3, h_4, h_n - შრეების სიმკლავრეები;
 S - ნაკადის წირები;
 H_1 და H_2 - გრუნტის წყლების პიეზომეტრული დაწნევები 1 და 2 კვეთებში; L_{1-2} - მანძილი 1 და 2 კვეთებს შორის

ნახ. VI.3. გრუნტის წყლების მოძრაობა შრეების პარალელურად

პირველ შრეში $q_1 = k_1 h_1 I$;

მეორე შრეში $q_2 = k_2 h_2 I$;

რიგით რომელიმე n შრეში $q_n = k_n h_n I$

სადაც k_1, k_2, \dots, k_n ფილტრაციის კოეფიციენტები 1, 2, ... n შრეებში; h_1, h_2, \dots, h_n შესაბამისი შრეების სიძლიავერები; I – დაწნევის გრადიენტი, რომელიც საერთოა ყველა შრისთვის. წვერებად დაჯგუფების შემდეგ მივიღებთ წყალშემცველ ფენში ერთეულ სარჯს:

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = (k_1 h_1 + k_2 h_2 + \dots + k_n h_n) I \quad (\text{V.6}).$$

განტოლების მარჯვენა მხარის გამრავლებით და გაყოფით $h_1 + h_2 + \dots + h_n$ -ზე მივიღებთ:

$$q = \frac{(k_1 h_1 + k_2 h_2 + \dots + k_n h_n)(h_1 + h_2 + \dots + h_n) I}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (\text{VI.7})$$

(VI.7) ფორმულა ასახავს ფილტრაციის პროცესს n შრიან გარემოში. თუ ავიღებთ პრაქტიკაში უფრო გავრცელებულ შემთხვევას, როდესაც წყალშემცველი ფენი ორი შრით არის წარმოდგენილი, (VI.7) ფორმულა გამარტივდება და შემდეგ სახეს

$$\text{მიიღებს: } q = (k_1 h_1 + k_2 h_2) \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (\text{VI.8})$$

(VI.7) განტოლების მარჯვენა მხარეს მოცემული გამოსახულება კამენსკის მიხედვით, წარმოადგენს წყალშემცველი წყების საშუალო ფილტრაციის კოეფიციენტს შრეობრიობის გასწვრივ წყლის მოძრაობისას:

$$k_{\text{საშ}} = \frac{(k_1 h_1 + k_2 h_2 + \dots + k_n h_n)}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \quad (\text{VI.9})$$

პოლუბარინოვა – კონინა ამ სიდიდეს ექვივალენტს ანუ ფილტრაციის კოეფიციენტის დაყვანილ სიდიდეს უწოდებს. ეს არის ცალკეული შრეების ფილტრაციის კოეფიციენტების შეწონილი სიდიდეები მათი სიმძლავრეების გათვალისწინებით. თუ შრეების ფილტრაციის კოეფიციენტები ერთმანეთის ტოლია, მაშინ (VI.9) ფორმულაში შესაძლებელია ფრჩხილებს გარეთ მათი გამოტანა და ამგვარად ფილტრაციის საშუალო კოეფიციენტი აღმოჩნდება ერთგვაროვანი ფენის ფილტრაციის კოეფიციენტის k -ს ტოლი.

(VI.7) ფორმულაში (VI.9) გამოსახულების შეტანით მივიღებთ: $q = k_{\text{საშ}} \sum_{i=1}^n h_i I$ (VI.10).

ამგვარად, შრეობრიობის გასწვრივ წყლის მოძრაობისას ნაკადის ერთეული ხარჯი შეიძლება გამოვთვალოთ დარსის ფორმულით, თუ მასში ფილტრაციის კოეფიციენტის (k) სიდიდეს შევცვლით ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო $k_{\text{საშ}}$ სიდიდით.

მაგალითი. წყალშემცველი ფენი ქვიშის ორი შრისგან შედგება, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტები და სიმძლავრეები შესაბამისად უდრის: $k_1 = 5.45$ მ/დღ.დ., $h_1 = 5$ მ; $k_2 = 3.50$ მ/დღ.დ., $h_2 = 10$; განსახილველ უბანზე გრუნტის წყლების დაწნევაები ტოლია: $H_1 = 35.48$ მ; $H_2 = 32.48$ მ; იმ წერტილებს

შორის მანძილი, სადაც წნევები გაიზომა, 500 მ შეადგენს. განსაზღვროთ იმ ნაკადის ხარჯი, რომელიც შრეობრიობის პარალელურად მოძრაობს. თუ რიცხვით სიდიდეებს შევიტანთ (VI.8) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$q = (5.45 \cdot 5 + 3.50 \cdot 10) \frac{35.48 - 32.48}{500} = 0.379 \text{ მ}^3/\text{დღ.ღ}$$

VI.2.2 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა შრეობრიობის პერპენდიკულარული მიმართულებით წყლის მოძრაობისას

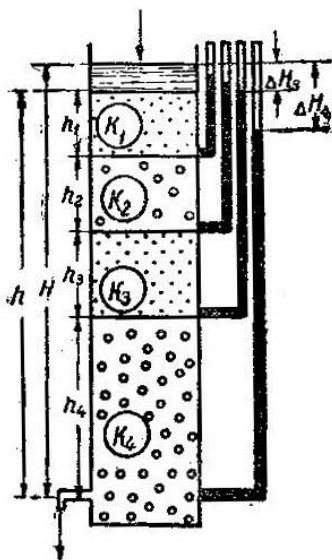
შრეობრიობის მართობულად მოძრაობისას ფილტრაციის საშუალო კოეფიციენტის მნიშვნელობა უკვე განსხვავებულია შრეობრიობის გასწვრივ მოძრაობის სიდიდისგან. თითოეული შრისთვის ფილტრაციის სიჩქარე შეიძლება გამოისახოს დარსის კანონის მიხედვით შემდეგნაირად (ნახ. VI.4):

$$\text{პირველი შრისთვის } v = k_1 J_1 = k_1 \frac{\Delta H_1}{h_1};$$

$$\text{მეორე შრისთვის } v = k_2 J_2 = k_2 \frac{\Delta H_2}{h_2}; \quad (\text{VI.11})$$

$$\text{რიგით } n \text{ შრისთვის } v = k_n J_n = k_n \frac{\Delta H_n}{h_n}$$

სადაც $\Delta H_1, \Delta H_2, \dots, \Delta H_n$ თითოეულ შრეში წნევის დაცემის სიდიდეა; h_1, h_2, \dots, h_n – შრის სიმძლავრეები; k_1, k_2, \dots, k_n – ფილტრაციის კოეფიციენტები.



h - ფილტრაციის მანძილი;
 H - პიეზომეტრული დაწნევა;
 $\sum \Delta H$ - ფილტრაციის დროს
 დაწნევის საერთო დანაკარგი

ნახ. VI.4. გრუნტის წყლების მოძრაობა შრეობრიობის მართობულად

(VI.11) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\Delta H_1 = \frac{vh_1}{k_1}, \quad \Delta H_2 = \frac{vh_2}{k_2}, \quad \Delta H_n = \frac{vh_n}{k_n} \quad (\text{VI.12})$$

ცალკეული წევრების შეკრებით მივიღებთ:

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_n = v \left(\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n} \right) \quad (\text{VI.13}).$$

(VI.13) განტოლების მარცხენა მხარე წარმოადგენს ფილტრაციისას დაწნევის დაცემის ჯამურ მნიშვნელობას, რომელიც აღვნიშნოთ ΔH . იმის გა-

მო, რომ $I = \frac{\Delta H}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}$ (VI.14), მაშინ (VI.13) და

(VI.14)-დან მივიღებთ:

$$v = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n}} \quad (\text{VI.15}).$$

მაგრამ დარსის კანონის მიხედვით $v = k_{\text{საშ.}}$.

$$\text{მაშასადამე, } k_{\text{საშ.}} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n}} \cdot J \quad (\text{VI.16}).$$

თუ შევადარებთ შრეობრიობის გასწვრივ ნაკადის მოძრაობისას ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო სიდიდეს (VI.9) შრეობრიობის მართობულად მოძრაობისას ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო სიდიდეს (VI.16), დავრწმუნდებით, რომ პირველი სიდიდე არის მაქსიმალური ($k_{\text{მაქ}}$), ხოლო მეორე – მინიმალური ($k_{\text{მინ}}$).

ასე მაგალითად, თუ გვაქვს ერთნაირი სიმკვარის ორი შრე $h_1 = h_2 = h$, მაგრამ ფილტრაციის კოეფიციენტის განსხვავებული სიდიდეებით, მაშინ ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობის გამოსათვლელი ფორმულები შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$k_{\text{მაქ. საშ.}} = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (\text{VI.17}); \quad k_{\text{მინ. საშ.}} = \frac{2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} \quad (\text{VI.18}).$$

დავუშვათ, რომ $k_1 > k_2$, მაშინ შეიძლება დავწეროთ $k_1 = \alpha k_2$. სადაც $\alpha > 1$. (VI.17) ფორმულის გამოყენებით (VI.18) ფორმულაზე მივიღებთ:

$$\frac{k_{\text{მაქ. საშ.}}}{k_{\text{მინ. საშ.}}} = \frac{2 + \frac{\alpha^2 + 1}{\alpha}}{4}$$

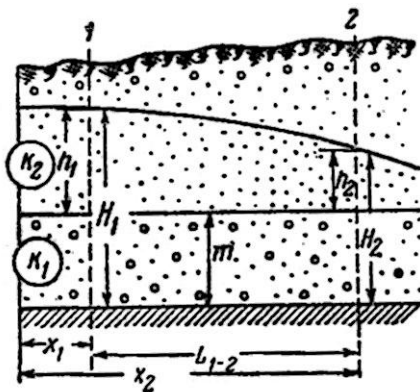
ძნელი არ არის დავრწმუნდეთ, რომ $\alpha > 1$, ნებისმიერი მნიშვნელობისას გამოსახულება $\frac{\alpha^2 + 1}{\alpha}$

მეტია ორზე. მაშასადამე, $\frac{k_{\text{მაქ. საშ.}}}{k_{\text{მინ. საშ.}}} > 1$.

იმ შემთხვევაში, თუ ნაკადის მოძრაობა ხდება შრეობრიობისადმი რაიმე კუთხით, საშუალო ფილტრაციის კოეფიციენტს ექნება შუალედი მნიშვნელობა მაქსიმუმსა და მინიმუმს შორის.

VI.2.3 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა ორშრიან ფენში მოძრაობისას

იმ შემთხვევაში, როდესაც ნაკადის მოძრაობა ხდება ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგები გვერდით წარმოდგენილ ორშრიან გარემოში, ნაკადის ქანობის მცირე სიდიდეებისას, მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გრუნტის წყლების მოძრაობა საერთო დეპრესიული მრუდით ზედა შრეში. ამასთან იგულისხმება, რომ ზედა შრეში ნაკადის ზედაპირი თავისუფალია ანუ უწნეო, ხოლო ქვედა შრეში ზედაპირი დაწნევითია (ნახ. VI. 5).



ნახ. VI.5. გრუნტის წყლების მოძრაობა ორშრიან წყებაში

თუ დაწნევას გადავთვლით ზედა შრის საგე-
ბიდან, შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი განტოლება:

$$q = - \left(k_1 m \frac{dh}{dx} + k_2 h \frac{dh}{dx} \right) \quad (\text{VI.19}).$$

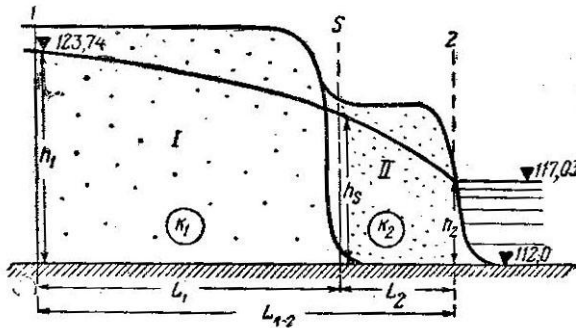
(VI.19) განტოლების ინტეგრებით 1-დან 2 კვე-
თამდე და $x_2 - x_1 = L_{1-2}$, მივიღებთ კამენსკის ფორმუ-

$$\text{ლას: } q = k_1 m \frac{h_1 - h_2}{L_{1-2}} + k_2 \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_{1-2}} \quad (\text{VI.20}).$$

ფორმულა (IV.20) გამოიყენება მაშინ, როდესაც ფილტრაციის კოეფიციენტების სიდიდეებს შორის განსხვავება დიდი არ არის. ფილტრაციის კოეფიციენტის სიდიდეებს შორის დიდი განსხვავებისას (რამდენიმე ათეულჯერ და მეტი) და აგრეთვე, ზედა და ქვედა შრეებში დაწნევის დიდი განსხვავებისას, მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა შრეებრივ ფენებში ძალზე რთულია და სპეციალურ ლიტერატურაში არის აღწერილი.

VI.2.4 ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა მკვეთრად ცვალებადი წყალგამტარობის ფენში

ეს შემთხვევა დამახასიათებელია მდინარეთა ხეობებისთვის, რომლებზეც განვითარებულია დელუვიური საფარით გადაფარული ტერასული ნალექები (ნახ. VI.6).



ნახ. VI.6 გრუნტის წყლების მოძრაობა ქანების წყალგამტარობის მკვეთრი ცვლილებისას პორიზონტალური მიმართულებით
I – ჭალისზედა ტერასა; II – ჭალის ტერასა

ნახაზ VI.6-ის მიხედვით, შემოვიღოთ შემდეგი აღნიშვნები: h_1 I ფენის სიმძლავრე 1 კვეთში, h_s ფენის სიმძლავრე s კვეთში, სადაც ხდება I ფენის შერწყმა II ფენთან; h_2 - II ფენის სიმძლავრე იმ ადგილას, სადაც დეპრესიული მრუდი გამოდის დრენში (კვეთი 2). L_1 და L_2 მანძილები 1- s და s -2 კვეთებს შორის. შევადგინოთ ნაკადის ერთეული

ხარჯის განტოლება I და II ფენებისთვის განსახილველ კვეთებს შორის $1-s-2$. I ფენში ერთეული

$$\text{ხარჯი ტოლია: } q = k_1 \frac{h_1^2 - h_s^2}{2L_1} \quad (\text{VI.21})$$

$$\text{II ფენში: } q = k_2 \frac{h_s^2 - h_2^2}{2L_2} \quad (\text{VI.22})$$

(VI.21) და (VI.22) განტოლებების შეკრებით

$$\text{მივიღებთ: } h_1^2 - h_2^2 = 2q \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \right) \quad (\text{VI.23});$$

საიდანაც გამოდის კამენსკის ფორმულა;

$$q = \frac{h_1^2 - h_s^2}{2 \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \right)} \quad (\text{VI.24})$$

(VI.21) და (VI.22) ფორმულებით შესაძლებელია განვსაზღვროთ ნაკადის სიმძლავრე I და II ფენების კონტაქტში (კვეთი s) ამისთვის საჭიროა ერთმანეთს გაუფტოლოთ განტოლებების მარჯვენა ნაწილები. აღგებრული გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$h_s = \sqrt{\frac{k_1 L_2 h_1^2 + k_2 L_1 h_2^2}{k_1 L_2 + k_2 L_1}} \quad (\text{VI.25})$$

VII თავი. ბრუნტის წყლების დაუმყარებელი მოძრაობა

VII.1 საერთო ცნობები

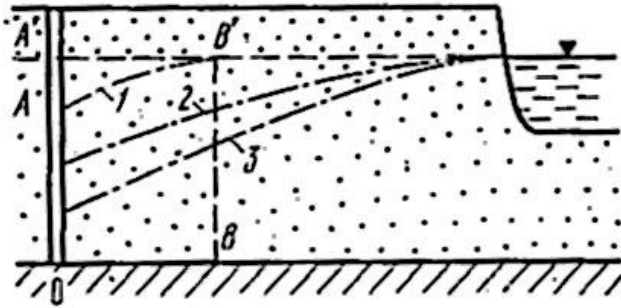
გრუნტის წყლების დაუმყარებელი მოძრაობა განსაკუთრებით მკვეთრად ვლინდება მაშინ, როდესაც იცვლება მათი კვების ან დრენირების პირობები, რაც შეიძლება ბუნებრივი და ხელოვნური მიზეზებით იყოს გამოწვეული. ბუნებრივ მიზეზებს მიეკუთვნება წყალშემცველი ჰორიზონტის კვების ფართობზე ატმოსფერული ნალექების არათანაბარი გამოყოფა, თოვლდნობა, წყალდიდობები. ხელოვნურ მიზეზებს მიეკუთვნება საექსპლუატაციო ჭაბურღილებიდან წყლის ამოტუმბვა, წყლის გადაგდება, წყლის დონის აწევა მდინარეში კაშხლის აშენების და წყალსაცავის შექმნის შედეგად, მორწყვა, ტბების და დაჭაობებული ფართობების დაშრობა.

დაუმყარებელი მოძრაობა ვლინდება გრუნტის წყლის დონის ცვლილებაში, რაც განაპირობებს დაწნევის გრადიენტის, ფილტრაციის სიჩქარის და ნაკადის ხარჯის ცვლილებას.

დამყარებული ფილტრაციისგან განსხვავებით, დაუმყარებელი (არასტაციონალური) ფილტრაციის ამოცანების ანალიზი უნდა ითვალისწინებდეს დროში წყალშემცველი სისტემის მოცულობის ცვლილებას (აგრეთვე სხვა მახასიათებლებსაც). შესაბამისად, ძირითად ფილტრაციულ პარამეტრებს შორის, რომლებიც ამ სისტემის მდგომარეობას ასახავს (მაგალითად, წყალგამტარობა),

განსაზღვრას ექვემდებარება გრაფიტაციული და დრეკადი წყალგაცემის კოეფიციენტები, აგრეთვე დონეგამტარობის და პიეზოგამტარობის კოეფიციენტები, რომლებიც წყალშემცველ კომპლექსში ფილტრაციული შეშფოთებების გავრცელებას ახასიათებს.

მაგალითი. ვთქვათ, ჭაბურღილი მუშაობს უწნეო ჰორიზონტის პირობებში, მდინარესთან ახლოს, მუდმივი დებიტით.



ნახ. VII.1. მდინარესთან ახლომდებარე ჭაბურღილისკენ ფილტრაციის სქემა

ნახაზ VII.1-ზე ნაჩვენებია ამოტუმბვის პროცესში დეპრესიული ძაბრის მდებარეობა დროის სხვადასხვა მომდევნო მომენტში. დასაწყისში, პირველ მომენტში (მაგალითად, 1 მრუდი) ჭაბურღილიდან წყლის ამოტუმბვა ხდება უშუალოდ ფენის იმ ზონიდან ($OA'B'$), რომელშიც უკვე აღინიშნება დონეების დაწვევა. აქ ფენის დრეკად შეკუმშვას აქვს ადგილი (გამომუშავდება მისი დრეკადი მარაგი), ანუ წყლის თავისუფლად შემოდ-

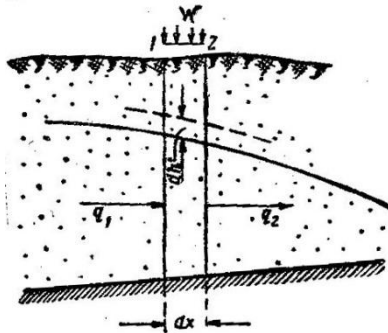
ინება ხდება ზედა, დაშრობადი ზონიდან (იხარჯება ფენის გრავიტაციული მარაგი). ჭაბურღილის საშუალებით წყლის ამოღების კომპენსაცია შეიძლება ხდებოდეს მხოლოდ ფენის სიღრმეში და გავრცელებაზე დონის დაწვევის პროცესის შემდგომი განვითარებით. დროთა განმავლობაში, დეპრესიული ძაბრი მდინარეს მიაღწევს (მრუდი 2), ანუ აქ აღიძვრება დაწვევის ისეთი გრადიენტი, რომელიც განაპირობებს მდინარეული წყლების ფენში გადასვლას. დაწვევის შემდგომ შემცირებას და შესაბამისად ფილტრაციის გრადიენტების ზრდას, შედეგად მოსდევს მდინარის წყლის შემოდინება ფენში მანამ, სანამ მდინარიდან შემოდინებული ნაკადის ხარჯი არ გაუტოლდება ჭაბურღილის მწარმოებლურობას. ამ მომენტიდან დაწყებული (მრუდი 3) წყლის მთლიანი ადება უზრუნველყოფილია მდინარიდან ჭაბურღილისკენ ტრანზიტული ნაკადით. საკუთრივ ფენი ამ დროს წყალს აღარ იძლევა, მასში დაწვევა არ იცვლება და მყარდება მოძრაობის დამყარებული რეჟიმი.

ამგვარად, მოძრაობის არასტაციონალური რეჟიმისთვის დამახასიათებელია წყალშემცველ სისტემებში დრეკადი (დაწვევითი ფენის შემთხვევაში) ან დრეკად-გრავიტაციული (უწნეო ფენის შემთხვევაში) მარაგების გამომუშავება, რომელსაც თან ახლავს დროში დაწვევის ცვლილება $H=f(x,y,t)$. შესაბამისად, ფილტრაციის განტოლებებში ჩნდება დროის წარმოებულები, რომლებიც პასუხობს ან დრეკად (დაწვევით ფენებში) ან გრავიტაციულ

(უწნეო ფენებში) წყალგაცემას. ამ განტოლებების ამოხსნა არსებითად ბევრად უფრო რთულია, ვიდრე სტაციონალური ფილტრაციის პროცესების შემთხვევაში. ამ მიზნით, მაქსიმალურად ეფექტურია ოპერაციული გამოთვლების მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია ლაპლასის ან ლაპლას-კარსონის განტოლებების ინტეგრალურ გარდაქმნებთან.

VII.2 ბუსინესკის განტოლება

ბუსინესკის განტოლება წარმოადგენს მიწისქვეშა წყლების დაუმყარებელი მოძრაობის ძირითად დიფერენციალურ განტოლებას. მისი გამოყვანა შემდეგ დებულებებზე არის დამყარებული: ავიღოთ ფილტრაციული ნაკადის ორი განივი კვეთი – 1 და 2; რომლებიც ერთმანეთისგან dx მანძილით არის დაშორებული. დასკვნის გასამარტივებლად მივიღოთ, რომ ნაკადი ერთგანზომილებიანია, ანუ მოძრაობს მხოლოდ x ღერძის გასწვრივ. 1 და 2 კვეთებით გამოყოფილია ფილტრაციული ნაკადის რომელიმე ელემენტი, რომლის სიგრძე არის dx .



ნახ. VII.2. გრუნტის წყლის ნაკადის ელემენტი

დაუმყარებელი მოძრაობის პირობებში

შევადგინოთ მიწისქვეშა წყლების ბალანსის განტოლება შემდეგი დებულებიდან გამომდინარე: dt დროის განმავლობაში წყლის შემოდინება ფილტრაციული ნაკადის ზემოთ გამოყოფილ ელემენტში ორი სიდიდისგან შედგება: წყლის გვერდითი შემოდინება I წახნაგიდან, რომელიც ტოლია $q_1 dt$ და წყლის შემოდინება ზემოდან ატმოსფერული ნალექების ინფილტრაციის ხარჯზე, რომელიც ტოლია $w dt dx$, სადაც w ინფილტრაციის ანუ ზემოდან ჩაქონილი წყლის სიდიდეა. გრუნტის წყლის სარკის ერთეულ ფართობზე დროის იმავე მონაკვეთში მე-2 წახნაგიდან წყლის გადინების სიდიდე ტოლი იქნება $q_2 dt$. შესაბამისად, შემოდინებასა და გადინებას შორის სხვაობით გამოწვეული წყლის მოცულობის საერთო ცვლილება გამოყოფილ ფილტრაციულ ელემენტში, ტოლი იქნება:

$$dv = (q_1 + w dx - q_2) dt \quad (\text{VII.1})$$

q_1 , q_2 და w სიდიდეების მიხედვით, dv შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი სიდიდე. იმის გამო, რომ წყალი უმნიშვნელოდ იკუმშება (წყლის მოცულობითი კუმშვის კოეფიციენტი ტოლია 1:20000) გამოყოფილ ელემენტში მისი მოცულობის შემცირება გამოიწვევს გრუნტის წყლის დონის ცვლილებას dh სიდიდით. თუ წყლით ქანის გაჯერების დეფიციტს კაპილარული არშისის ზემოთ აღვნიშნავთ μ -თი, მაშინ წყლის მოცულობის ცვლილება dv

გამოყოფილ ელემენტში შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ: $dv = \mu \cdot dh \cdot dx$ (VII.2).

(VII. 1) და (VII.2) განტოლებების შედარებით მივიღებთ: $q_1 + w \cdot dx - q_2) \cdot dt = \mu \cdot dh \cdot dx$ (VII.3).

(VII.3) გამოსახულება წარმოადგენს გრუნტის წყლის ბალანსის განტოლებას dt დროის განმავლობაში, როდესაც ფილტრაციული ნაკადის სიგრძე ტოლია dx . თუ გარდავქმნით (VII.3) ფორმულას, მივიღებთ:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q_1 + wdx - q_2}{\mu \cdot dx} \quad (\text{VII.4})$$

განტოლება (VII.4) ასახავს გრუნტის წყლის დონის ცვლილების სიჩქარეს. ამ განტოლებაში q_1 სიდიდე წარმოადგენს ერთეულ ხარჯს, რომელიც გამოისახება დიუპუის ფორმულით:

$$q_1 = -kh \frac{\partial H}{\partial x} \quad (\text{VII.5}).$$

(VII.4) განტოლებაში შემავალი q_2 სიდიდე, თავის მხრივ, შეიძლება გამოვსახოთ: $q_2 = q_1 + dq_1$ (VII.6),

სადაც dq_1 - გრუნტის წყლის ერთეული ხარჯის მატებაა ფილტრაციული ნაკადის გამოყოფილ ელემენტში dt დროის განმავლობაში.

დიფერენციალის თეორიიდან ცნობილია, რომ სრული დიფერენციალი შეიძლება გამოვსახოთ კერძო წარმოებულით, სახელდობრ:

$$dq_1 = \frac{\partial q_1}{\partial x} \cdot dx \quad (\text{VII.7})$$

თუ (VII.5) განტოლებიდან (VII.7) განტოლების მარჯვენა მხარეს შევიტანოთ q_1 მნიშვნელობას, გვექ-

$$ნება: dq_1 = \frac{\partial}{\partial x} \left(-kh \frac{\partial H}{\partial x} \right) \cdot dx = -k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) \cdot dx \quad (\text{VII.8}).$$

თუ გავითვალისწინებთ q_1 და dq_1 მნიშვნელობებს (VII. 6) ფორმულას შემდეგნაირად ჩავწერთ:

$$q_2 = q_1 + dq_1 = -kh \frac{\partial H}{\partial x} - k \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) dx \quad (\text{VII.9}).$$

შემდეგ, თუ (VII.4) ფორმულაში შევიტანოთ q_1 მნიშვნელობას (VII.9) ფორმულიდან გვექნება:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{w}{\mu} \quad (\text{VII.10})$$

მიღებული გამოსახულება წარმოადგენს ბუსინესკის განტოლებას, იმ შემთხვევისათვის, როდესაც წყალგაუმტარი საგები დახრილია.

წყალშემცველი ფენის ჰორიზონტალური განლაგების შემთხვევაში დაწნევა შეგვიძლია ავითვალოთ წყალგაუმტარი საგების სახურავიდან, მაშინ $H = h$ და ბუსინესკის განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{w}{\mu} \quad (\text{VII.11}).$$

ბუსინესკის (VII.10) და (VII.11) განტოლებები უჩვენებს, რომ დაუმყარებელი მოძრაობისას გრუნტის წყლების დონის ცვალებადობის სიჩქარე პირდაპირ დამოკიდებულებაშია ფილტრაციის კოეფიციენტთან და ქანის სიმძლავრესთან, აგრეთვე

ინფილტრაციის სიდიდესთან და უკუდამოკიდებულებშია გაჯერების არასაკმარისობასთან (ან წყალგაცემასთან).

ბუსინესკის განტოლება არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებაა, რომელსაც ზუსტი ამოხსნა არ გააჩნია. ყველა ამონახსნი დაფუძნებულია ბუსინესკის განტოლების გაწრფივებაზე (ლინეარიზაციაზე), როდესაც შემოგვაქვს ნაკადის “საშუალო სიმძლავრის” ცნება.

VII.2.1 ბუსინესკის ხერხი (პირველი რიგის ლინეარიზაცია)

ცვლადი სიდიდე h , რომელიც (VII.10) განტოლების მარჯვენა ნაწილის ფრჩხილებში არის მოთავსებული უნდა შევცვალოთ მუდმივი სიდიდით, რომელიც ტოლია h საშ. h საშ.-ს გამოტანით

დიფერენციალის ნიშნიდან და $\frac{kh}{\mu}$ აღნიშვნით a^2 -ით

(VII.10) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{dh}{dt} = a^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{w}{\mu} \quad \text{(VII.12).}$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც $w = 0$, (VII.12) განტოლება წარმოადგენს ფურიეს განტოლებას. იგი კარგად არის შესწავლილი თბოგამტარობის თეორიაში და აქვს რიგი ამონახსნებისა განსაზღვრული სასაზღვრო პირობების დროს.

VII.2.2 ბაგროვ-ვერიგინის ხერხი

(მეორე რიგის ლინეარიზაცია)

აღნიშნული ავტორების მიერ შემოთავაზებულია ბუსინესკის განტოლების ლინეარიზაცია წყალ-გაუმტარი საგების კორიზონტალური მდებარეობის შემთხვევაში.

ლინეარიზაციის მიზნით (VII.10) განტოლების ორივე მხარე მრავლდება h -ზე.

$$h \frac{dh}{dt} = \frac{kh}{\mu} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{wh}{\mu} \quad (\text{VII.13}).$$

შემდეგ, (VII.13) განტოლების მარცხენა მხარეს სიდიდე h შევიტანოთ დიფერენციალის ნიშნის ქვეშ:

$$\frac{d \left(\frac{h^2}{2} \right)}{dt} = \frac{kh}{\mu} \cdot \frac{\partial^2 \left(\frac{h^2}{2} \right)}{\partial x^2} + \frac{wh}{\mu}.$$

თუ შემოვიტანოთ აღნიშვნებს $\frac{h^2}{2} = u$; $\frac{kh}{\mu} = a^2$;

$$\frac{wh}{\mu} = b, \text{ მივიღებთ: } \frac{du}{dt} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b \quad (\text{VII.14}).$$

სიდიდე h , რომელიც “ a ” და “ b ” კოეფიციენტებში შედის მიღებულია მუდმივ სიდიდედ, რომელიც რაიმე საშუალო სიმძლავრის ($h_{\text{საშ.}}$) ტოლია. მეორე რიგის ლინეარიზაცია უფრო ზუსტია, თანაც დაუმყარებელი ფილტრაციის ამოცანების ამოხსნის ზღვრული შემთხვევისთვის, როდესაც $t = \infty$, ვღებულობთ გრუნტის წყლების დამყარებული მოძ-

რაობის დებრესიული მრუდის განტოლებას, რაც ქვემოთ არის ნაჩვენები.

$$\text{დამყარებული მოძრაობის შემთხვევაში } \frac{du}{dt} = 0$$

, შესაბამისად, (VII.14) ფორმულის მიხედვით,

$$a^2 \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b = 0 \quad (\text{VI.15}), \quad \text{ანუ} \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -\frac{b}{a^2} \quad (\text{VII.16}).$$

განტოლებაში b და a^2 სიდიდეების შეტანით, მი-

$$\text{ვიღებთ:} \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -\frac{wh}{\mu} : \frac{kh}{\mu} = -\frac{w}{k} \quad (\text{VII.17}).$$

გამოსახულების ორმაგი ინტეგრებით გვექნება:

$$u = -\frac{w}{2k} x^2 + Cx + D \quad (\text{VII.18}).$$

იმის გამო $u = \frac{h^2}{2}$, ამ სიდიდის შეტანით

$$(\text{VII.18})\text{-ში მივიღებთ: } \frac{h^2}{2} = -\frac{w}{2k} x^2 + Cx + D \quad (\text{VII.19}).$$

C მუდმივას განსაზღვრის მიზნით მოვახდინოთ (VII.19) განტოლების დიფერენცირება x

$$\text{-ის მიმართ: } \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{w}{k} x + C \quad (\text{VII.20}).$$

ავიღოთ შემთხვევა, როდესაც საანგარიშო კვეთი გადის მდინარის კალაპოტში, სადაც $x = 0$,

$$\text{მაშინ (VII.20) განტოლება მიიღებს სახეს: } \frac{\partial u}{\partial x} = C$$

$$(\text{VII.21}).$$

განვსაზღვროთ $\frac{\partial u}{\partial x}$ და C . ამისათვის ჩავწეროთ გრუნტის წყლების ხარჯის განტოლება დიუპუის მიხედვით საწყისი კვეთისთვის:

$$q_1 = kh \frac{\partial h}{\partial x} \quad (\text{VII.22}).$$

გამომდინარე იქიდან, რომ $h \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^2}{2} \right)$,

გვექნება: $q_1 = k \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^2}{2} \right)$ (VII.23). თუ გავით-

ვალისწინებთ, რომ $\frac{h^2}{2} = u$, მივიღებთ: $q_1 = k \frac{\partial u}{\partial x}$

(VII.24) საიდანაც $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{q_1}{k}$ (VII.25). (VII.25) და (VII.21)

განტოლებების შედარებით გვექნება: $C = \frac{q_1}{k}$ (VII.26).

ამჯერად განვსაზღვროთ მუდმივა D . ამისათვის (VII.19) განტოლებაში შევიტანოთ საწყისი კვეთის კოორდინატები $x=0$ და $h=h_1$, მაშინ გვექნება:

$$D = \frac{h_1^2}{2}.$$

(VII.19) განტოლებაში C და D კოეფიციენტების შეტანით ვღებულობთ კამენსკის (II.25) განტოლებას, ანუ გამოსახულებას, რომლის საშუალებითაც ხდება გრუნტის წყლების დამყარებული მოძრაობისას დეპრესიული მრუდის აგება.

**VIII თავი. ჰიდროგეოლოგიური ამოცანების
ბადასაწყვეტად დაუმყარებელი მოძრაობის
ბანტოლების ამოხსნის ანალიტიკური
მეთოდების გამოყენება**

**VIII.1 წყაროების რეჟიმის პროგნოზი
ბუსინესკი – მაიეს მიხედვით**

ბუსინესკის და მაიეს მიერ დაუმყარებელი მოძრაობის განტოლება გამოყენებულ იქნა იმ წყაროების რეჟიმის პროგნოზისთვის, რომლებითაც საფრანგეთის დიდი ქალაქების წყალმომარაგება ხორციელდება. ამ წყაროების რეჟიმზე ხანგრძლივი დეტალური დაკვირვებების შედეგად დადგინდა, რომ წლის გვაღვიან პერიოდში ($\omega = 0$), როდესაც წყაროების კვებას ადგილი აქვს მხოლოდ წყაროების მკვებავი მიწისქვეშა წყლების მარაგების გამომუშავების ხარჯზე, წყაროების დებიტი კლებულობს გარკვეული მრუდის შესაბამისად.

გამოკვლეულ იქნა წყაროების რეჟიმის ორი შემთხვევა.

პირველი შემთხვევა. გრუნტის წყლების დონეთა ცვალებადობის სიდიდესთან შედარებით წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე h იმდენად დიდია, რომ შეიძლება ჩავთვალოთ $h = h_{საშ}$. ამ შემთხვევაში, წყაროს დებიტის მრუდი გამოისახება განტოლებით: $Q = Q_0 e^{-at}$ (VIII.1), სადაც Q – წყაროს ის საძიებო დებიტია, დროის იმ მომენტში, რომლის ათვლა ხდება გვაღვიანი პერიოდის დაწყებიდან; Q_0

-წყაროს დებიტი იმ მომენტში, როდესაც შეწყდა კვება მიწისქვეშა წყლების ხარჯზე; a - გაღარიბების კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით: $a = \frac{\pi^2 kh_{საშ.}}{4\mu L^2}$ (VIII.2),

სადაც k - წყალშემცველი ფენის ფილტრაციის კოეფიციენტი; $h_{საშ.}$ - წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე; μ - წყალგაცემა; L - წყაროს გამოსავლის დაშორება გრუნტის წყლების წყალგამყოფიდან.

გაღარიბების კოეფიციენტის გამოთვლა შესაძლებელია უშუალოდ (VIII.1) განტოლებიდან იმ შემთხვევაში, როდესაც ცნობილია წყაროს საწყისი დებიტი Q_0 და დებიტი Q , დროის რომელიმე t მომენტში. ამ შემთხვევაში (VIII.1) განტოლების გალოგარითმებით მივიღებთ:

$$\ln Q = \ln Q_0 - at, \text{ საიდანაც } a = \frac{\ln Q_0 - \ln Q}{t} \text{ (VIII. 3).}$$

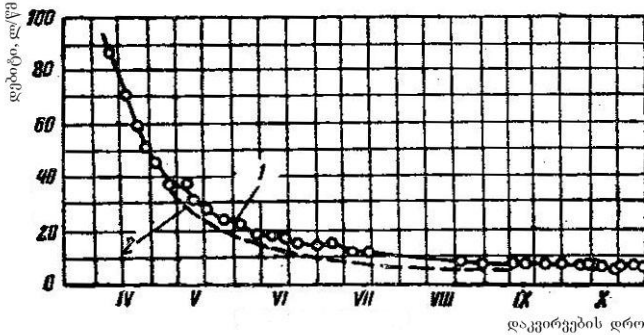
მეორე შემთხვევა. წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე h მცირე სიდიდეა და ამიტომ, მუდმივად არ ჩაითვლება. მიახლოებითი გამოთვლის შედეგად, დებიტის მრუდის შემდეგ განტოლებას მივიღებთ:

$$Q = Q_0 \frac{1}{(1+at)^2} \text{ (VIII.4).}$$

ამ განტოლებაში გაღარიბების a კოეფიციენტს უკვე სხვა მნიშვნელობა აქვს:

$$a = 5.772 \frac{kv}{4\mu L^3} \quad (\text{VIII. 5}).$$

სადაც v არის წყალშემცველი ფენის მოცულობა გრუნტის წყლების წყალგამყოფიდან წყაროს გამოსავლამდე.



ნახ. VIII.1. წყაროს დებიტის მრუდები

1 – დატანილია დაკვირვების ფაქტობრივი მონაცემებით; 2 – გაანგარიშების მიხედვით

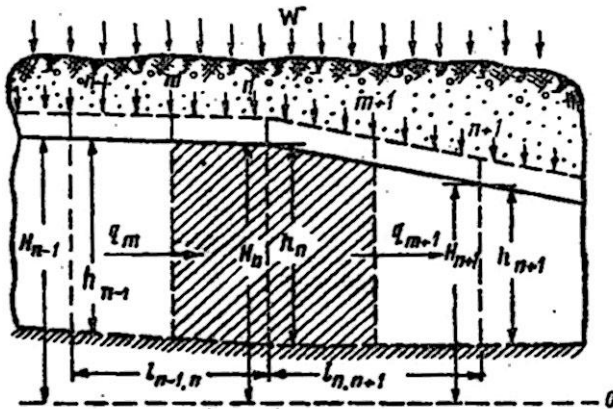
ნახ. VIII.1-ზე ნახვენებია დებიტის ორი მრუდი, რომელთაგან ერთი (1) აგებულია ფაქტობრივი მონაცემების მიხედვით, ხოლო მეორე (2) (VIII.4) განტოლების მიხედვით. გრაფიკი გვიჩვენებს, რომ დებიტის მრუდები ერთმანეთთან საკმარისად ახლოსაა.

VIII.2 სასრულ სხვაობათა მეთოდის კამენსკის განტოლებები

სასრულ სხვაობათა განტოლებები გამოყვანილია გ. კამენსკის მიერ ერთგანზომილებიანი და ორგანზომილებიანი ნაკადებისთვის.

ა) ერთგანზომილებიანი ნაკადი

გრუნტის წყლების დაუმყარებელი მოძრაობის განტოლების გამოსაყვანად გ. კამენსკი ბრტყელ ნაკადში სამ ვერტიკალურ კვეთს გამოჰყოფს. $n-1$, n , $n+1$, რომლებიც ერთმანეთისგან დაშორებულია $l_{n-1, n}$ და $l_{n, n+1}$ მანძილებით. შუა კვეთი n გატარებულია იმ წერტილზე, სადაც ხდება წყალგაუმტარი საგების გადაღუნვა, სხვადასხვა წყალგამტარობის შრეების საზღვარზე; n კვეთიდან მარცხნივ მდებარეობს შრე ფილტრაციის კოეფიციენტი k_m სილიდით, ხოლო მარჯვნივ k_{m+1} სილიდით. თუ აღნიშნულ კვეთებს შორის გავატარებთ შუალედ m და $m+1$ კვეთებს, გამოიყოფა ფილტრაციული ნაკადის ელემენტი, რომლის სიგრძე შეადგენს $\frac{l_{n-1, n} + l_{n, n+1}}{2}$ (ნახაზზე დაშტრიხულია) (ნახ. VIII.2).



ნახ. VIII.2. გრუნტის წყლების დაუმყარებელი მოძრაობის სასრულ სხვაობათა მეთოდით გაანგარიშების სქემა (გ. კამენსკის მიხედვით)

შევადგინოთ წყლის ბალანსის განტოლება ამ ელემენტისთვის. ანგარიში დაფუძნებულია იმ დებულებებზე, რომლებიც დიუკუის განზოგადებული განტოლებიდან გამომდინარეობს (II.10). ფილტრაციული ნაკადის გამოყოფილ m ელემენტში კვეთიდან დროის საწყის s მომენტში შემოედინება ნაკადი, რომლის ერთეული ხარჯი შეადგენს:

$$q_m = k_m \frac{h_{n-1, s} + h_{n, s}}{2} \cdot \frac{H_{n-1, s} + H_{n, s}}{l_{n-1, n}} \quad (\text{VIII.6}).$$

$m+1$ კვეთიდან დროის იმავე მომენტში გაედინება ნაკადი, რომლის ერთეული ხარჯი ტოლია:

$$q_{m+1} = k_{m+1} \frac{h_{n, s} + h_{n+1, s}}{2} \cdot \frac{H_{n, s} + H_{n+1, s}}{l_{n, n+1}} \quad (\text{VIII.7}).$$

გარდა ამისა, ზემოდან ინფილტრაციის ხარჯზე გრუნტის წყლების სარკეზე დაედინება ნაკადი, რომლის ერთეული ხარჯი ტოლია:

$$q_{\text{ინფ.}} = \omega \frac{l_{n-1, n} + l_{n, n+1}}{2} \quad (\text{VIII. 8}),$$

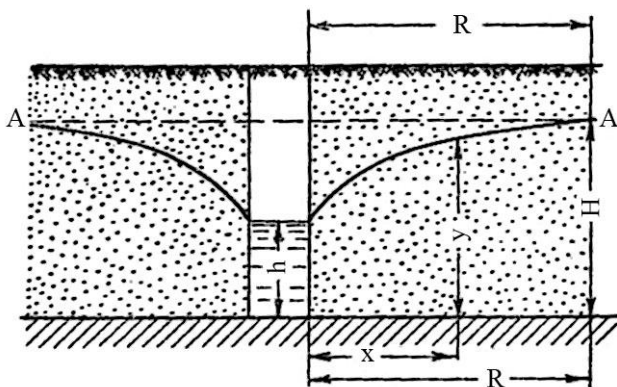
სადაც ω არის გრუნტის წყლების სარკის ერთეულ ფართობზე ზევიდან ინფილტრაციის შედეგად ჩაუნილი წყლის რაოდენობა.

IX. მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა წყალამღები ნაბეზობებისკენ

წყალამღებ ნაბეზობებს მიეკუთვნება ტრანშეა, გალერეა, ჭაბურღილი, ჭები, შახტი (ჭაური) და სხვ. განვიხილოთ მიწისქვეშა წყლების წყალამღებ ნაბეზობებში შემოდინების ძირითადი დებულებები.

IX.1 წყლის მოდინება წყალშემკრებ გალერეაში

ნახაზ IX.1-ზე ნაჩვენებია სრულყოფილი გალერეა, რომელშიც გრუნტის წყლების A-A სტატიკური დონე სანგრევიდან H სიმაღლეზე მდებარეობს.



ნახ. IX.1. წყალშემკრები გალერეის სქემა

გალერეაში წყლის შემოდინებისას გრუნტის წყლების დონე დაიწევს რაიმე h სიმაღლემდე და წარმოიქმნება დებრესიული მრუდი, რომლის რადიუსი ტოლია R .

ტრანშეაში ან გალერეაში ერთი მხრიდან შე-
 მოდინების ერთეული ხარჯი (q) (ანუ ხარჯი სიგრ-
 ძის ერთ მეტრზე) გამოისახება ფორმულით:

$$q = k \frac{H^2 - h^2}{2R} \quad (\text{IX.1}),$$

სადაც k – ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღ.დ.

H – წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრე, მ;

h – დაშორება წყალგაუმტარი საგებიდან გა-
 ლერეაში წყლის დონემდე, მ; R – გავლენის რადი-
 უსი, მ.

ორი მხრიდან გალერეაში წყლის მოდინების
 ერთეული ხარჯი ტოლი იქნება: $q = 2 \frac{(H^2 - h^2)}{2R} k$, თუ

გალერეას სიგრძე შეადგენს L მეტრს, მაშინ ორი
 მხრიდან წყლის მოდინების საერთო ხარჯი ტოლი
 იქნება:

$$Q = qL = \frac{2k(H^2 - h^2)L}{2R} \quad \text{ანუ} \quad Q = Lk \frac{(H^2 - h^2)}{R} \quad (\text{IX.2}).$$

(IX.2) ფორმულით Q , L , k , H და h ცნობი-
 ლი სიდიდეებიდან განვსაზღვრავთ გავლენის რა-

$$\text{დიუსს: } R = Lk \frac{(H^2 - h^2)}{Q} \quad (\text{IX.3}).$$

მაგალითი. განვსაზღვროთ წყლის შემოდინება
 გალერეაში თუ წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმ-
 ძლავრე $H = 3$ მ, გალერეაში წყლის სვეტის
 სიმაღლე $h = 1$ მ, გავლენის რადიუსი $R = 50$ მ,

ფილტრაციის კოეფიციენტი $k = 10$ მ/დღ.დ, გალერეის სიგრძე $L = 100$ მ.

(IX.2) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით

$$\text{მივიღებთ: } Q = 100 \cdot 10 \frac{(3^2 - 1^2)}{50} = 160 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

IX.2 წყლის მოდინება გრუნტის წყლის ჭაში

ერთგვაროვან უწნეო წყალშემცველ ფენში გაყვანილი ჭიდან წყლის ამოტუმბვის პროცესში ჭის ირგვლივ წარმოიქმნება დეპრესიული ძაბრი, წყლის დონის მაქსიმალური დაწვეით უშუალოდ ჭაში. ჭიდან დაშორების კვალობაზე დონის დაწვევა მცირდება და იმ მანძილზე, რომელიც გაველენის რადიუსის (R) ტოლია, დონის დაწვევის სიდიდე უდრის ნულს.

თუ დეპრესიული ძაბრის ფარგლებში ჭის ცენტრიდან ავიღებთ რაიმე x მანძილს და ამ კვეთში ორდინატა შეადგენს y (ნახ. IX.2), მაშინ აღნიშნული კვეთიდან წყლის მოდინების სიდიდე Q ტოლი იქნება: $Q = Fu$ (IX.4),

სადაც $F = 2\pi xy$ – ცილინდრული ზედაპირის ფართობია, როდესაც ცილინდრის სიმაღლე ტოლია y , რადიუსი კი x ; $v = kJ = k \frac{dy}{dx}$ – ფილტრაციის სიჩქარე;

ამგვარად, (IX.4) განტოლება შეიძლება

$$\text{ჩავწეროთ ფორმით: } Q = 2\pi xyk \frac{dy}{dx} \text{ (IX.5).}$$

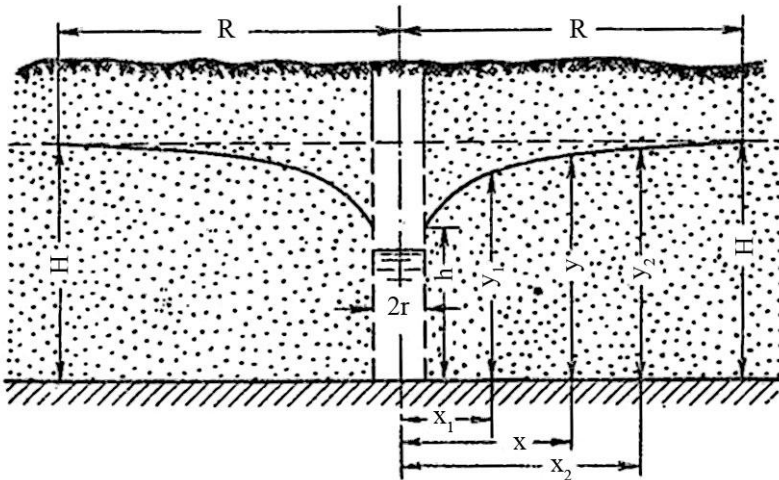
(IX.5) გამოსახულებიდან მათემატიკური გარდაქმნების გზით მივიღებთ დიუპუის ფორმულას გრუნტის წყლის სრულყოფილ ჭაში წყლის მოდინების განსასაზღვრად:

$$Q = \frac{\pi k(H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r} \quad (\text{IX.6}),$$

სადაც H , h , R და k იგივე სიდიდეებია, რაც გალერეაში წყლის მოდინების ფორმულაში; r - ჭის რადიუსი. (IX.6) ფორმულაში ნატურალურ ლოგარითმს ათობითი ლოგარითმით შევცვლით და შევიტანთ π რიცხვით მნიშვნელობას, მივიღებთ ფორმულას, რომელიც უფრო მოსახერხებელია

პრაქტიკული გამოყენებისთვის:
$$Q = 1.366k \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r}$$

(IX.7).

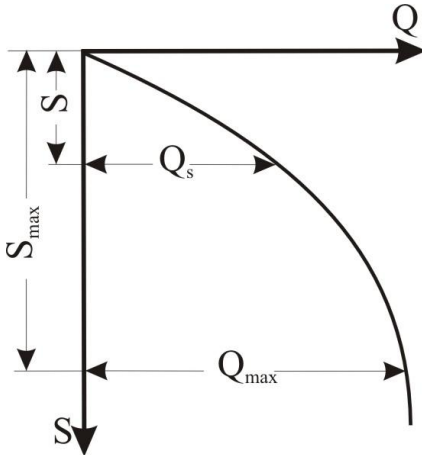


ნახ. IX.2. გრუნტის წყლის ჭის დებრესიული ძაბრის სქემა

ჭის დებიტის დამოკიდებულება დონის დაწვევის სიდიდეზე გამოიხატება პარაბოლური მრუდით (ნახ. IX.3), რომლის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$(H-s)^2 = a(Q_{\text{მაქს.}} - Q_{\text{დ.წ.}}) \quad (\text{IX.8})$$

სადაც H – წყალშემცველი ფენის სიმძლავრეა, მ; s – ამოტუმბვის პროცესში ჭაში წყლის დონის დაწვევა, მ; $Q_{\text{მაქს.}}$ – ჭის დებიტი წყლის დონის დაწვევისას წყალშემცველი ფენის მთლიან სიმძლავრეზე (მაქსიმალური დებიტი), მ³/სთ; $Q_{\text{დ.წ.}}$ – ჭის დებიტი s სიდიდით დონის დაწვევის დროს, მ³/სთ; a – პროპორციულობის კოეფიციენტი.



ნახ. IX.3. ჭის დებიტის წყლის დონის დაწვევაზე დამოკიდებულების მრუდი

(IX.8) გამოსახულება ცნობილია ჭის დებიტის მრუდის განტოლების სახელწოდებით. თუ $s=0$ და

$$Q_{დ.წ.} = 0, \text{ მაშინ } a = \frac{H^2}{Q_{მაქს.}} \quad (\text{IX.9}).$$

ამ სიდიდის შეტანით ჭის დებიტის მრუდის (IX.8) განტოლებაში გვექნება:

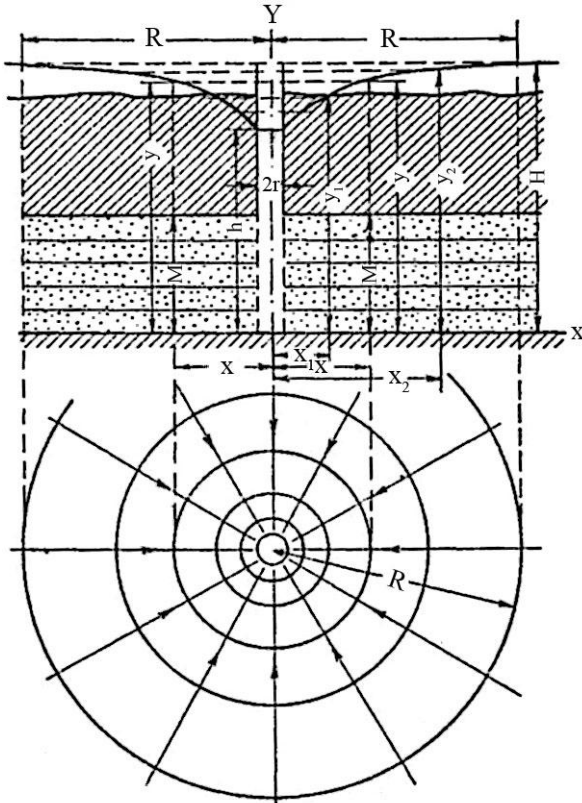
$$(H-s)^2 = \frac{H^2}{Q_{მაქს.}} (Q_{მაქს.} - Q_{დ.წ.}) \quad (\text{IX.10}).$$

ეს ფორმულა საშუალებას გვაძლევს გამოთვალოთ გრუნტის წყლის ჭის მაქსიმალური დებიტი $Q_{მაქს.}$, თუ ცნობილია წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე H და ჭის დებიტი s დონის დაწვევისას. აღნიშნული ფორმულა მიახლოებითია, რადგანაც დაშვებულია, რომ ჭაში წყლის დონე შეიძლება დაეწიოს წყალშემცველი ფენის მთლიან სიმძლავრეზე. სინამდვილეში წყლის დონის დაწვევა ჭაში დასაშვებია სიმძლავრის არაუმეტეს $2/3$ ნაწილისა ანუ $s=0.75H$.

IX.3 წყლის მოდინება არტეზიულ ჭაბურღილში

დაწნევითი წყალშემცველი ფენის ჭაბურღილით გადაკვეთისას წყალი ბუნებრივი ჰიდროსტატიკური დაწნევის გავლენით წყალშემცველი ფენის სახურავის ზემოთ ამოდის და გარკვეულ დონეზე ჩერდება. ასეთი ჰორიზონტიდან წყლის ამოტუმბვის დროს წარმოიქმნება დეპრესიული ძაბრი, რომელიც გრუნტის წყლის დეპრესიული ძა-

ბრისგან განსხვავებით წყალშემცველი ფენის სახურავის ზემოთ მდებარეობს (ნახ. IX.4).



ნახ. IX.4. ნაკადის წირები არტეზიული ჭაბურღილის ზემოქმედების სფეროში

თუ ჩავთვლით, რომ დაწნევითი წყალშემცველი ფენის M სიმძლავრე მუდმივი სიდიდეა, შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი გამოსახულება სრულყოფილი ჭაბურღილისთვის დაწნევით ფენში:

$$Q = \frac{2\pi kM(H-h)}{\ln \frac{R}{r}} \quad (\text{IX.11}).$$

თუ შევიტანთ π რიცხვით მნიშვნელობას და ნატურალურს შევცვლით ათობითი ლოგარითით მივიღებთ: $Q = 2.73 \frac{kM(H-h)}{\lg R - \lg r}$ (IX.12), რადგანაც

$$H-h = s, \text{ გვექნება: } Q = 2.73 \frac{kMs}{\lg R - \lg r} \quad (\text{IX.13}).$$

მაგალითი. ჭაბურღილით გახსნილია დაწნევის ვყლები, რომლებიც დაკავშირებულია 16.0 მ სიმაღლის ქვიშის ფენთან. ქვიშის ფილტრაციის კოეფიციენტი ტოლია 10 მ/დღ.დ; ჭაბურღილის დიამეტრი – 0.1 მ; გავლენის რადიუსი – 100 მ; განვსახდვროთ ჭაბურღილში წყლის მოდინების სიდიდე დაწნევის დონის 5 მეტრით დაწვევისას.

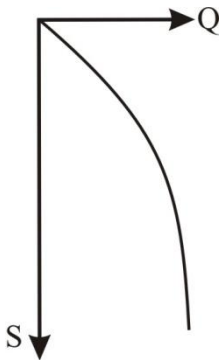
ვანგარიშობთ არტეზიული ჭაბურღილის დებიტიტს დიუპუის (IX.13) ფორმულით:

$$Q = \frac{2.73kMs}{\lg R - \lg r} = \frac{2.73 \cdot 10 \cdot 16.0 \cdot 5.0}{\lg 100 - \lg 0.1} = 728.0 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ}$$

(IX.13) ფორმულიდან ჩანს, რომ არტეზიული ჭაბურღილის დებიტიტ დონის დაწვევის პირდაპირპროპორციულია $Q = qs$ (IX.14), სადაც q – ჭაბურღილის ხვედრითი დებიტია, ანუ წყალმოდენის სიდიდე დონის 1 მეტრით დაწვევისას, მ/დღ.დ; s – დონის დაწვევის მოცემული სიდიდე, მ.

უნდა აღინიშნოს, რომ მოცემული შემთხვევა მართებულია დონის მხოლოდ მცირე სიდიდით

დაწვევისას, რომელიც არ აღემატება ჰიდრო-სტატიკური დაწნევის 25%-ს. დონის უფრო დიდი დაწვევისას იზრდება წყლის მოძრაობისადმი წინააღმდეგობა, როგორც საკუთრივ წყალშემცველ ფენში, ასევე ნაკადის ფილტრის დიობებში შეღწევისას. ამის გამო, დებიტის ცვლილება დონის დაწვევის პროპორციული კი არ იქნება, ანუ წრფით არ გამოისახება, არამედ მრუდით (ნახ. IX.5), რომლის განტოლებას შემდეგი სახე აქვს: $s = aQ + bQ^2$ (IX.15), სადაც a და b კოეფიციენტებია, რომლებიც დამოკიდებულია იმ წინააღმდეგობებზე, რასაც წყალი აწყდება ფენში მოძრაობისას, ჭაბურღილის ლულაში შეღწევისას და ფილტრში აღმავალი მოძრაობისას. Q ჭაბურღილის დებიტია s დონის დაწვევისას.



ნახ. IX.5. არტეზიული ჭაბურღილის დებიტის მრუდი

(IX.15) განტოლებიდან ჩანს, რომ დონის დაწვევისას მოცემული სიდიდით არტეზიული

ჭაბურღილის დებიტის განსასაზღვრავად საჭიროა ამოტუმბვის ჩატარება დონის არანაკლებ ორი დაწვევისას (რათა განვსაზღვროთ a და b კოეფიციენტების სიდიდეები). როგორც ვხედავთ, (IX.15) გამოსახულება კვადრატულ განტოლებას წარმოადგენს. შესაბამისად, დონის მოცემული დაწვევისას საანგარიშოდ შეიძლება ვისარგებლოთ ფორმულით:

$$Q = \frac{\sqrt{a^2 + 4bs} - a}{2b} \quad (\text{IX.16}).$$

a და b კოეფიციენტების განსაზღვრა შესაძლებელია საცდელი ამოტუმბვების გზით შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

$$\begin{cases} b = \frac{s_2 Q_1 - s_1 Q_2}{Q_1 Q_2 (Q_2 - Q_1)}; \\ a = \frac{s_1}{Q_1} - b Q_1 \end{cases} \quad (\text{IX.17})$$

სადაც Q_1 – ჭაბურღილის დებიტია დონის s_1 სიდიდის დაწვევისას; Q_2 – ჭაბურღილის დებიტი დონის s_2 სიდიდის დაწვევისას;

აღსანიშნავია, რომ ფორმულა (IX.16) სამართლიანია იმ პირობით, როდესაც $\frac{s}{s_{\text{მაქს}}} < 2$, სა-

დაც $s_{\text{მაქს}}$. ამოტუმბვისას მიღწეული დონის მაქსიმა-

ლური დაწვევა; s – დონის წინასწარ დათქმული დაწვევა.

მაგალითი. დაწვევითი წყლების შემცველი ქვიშის ფენიდან ამოტუმბვის შედეგად მიღებულ იქნა შედეგები:

ცხრილი IX.1

დონის დაწვევა, მ	1.8	4.1
დებიტი, ლ/წმ	8.3	15.8

განვსახდვროთ ჭაბურღილის დებიტი დონის 7 მეტრით დაწვევისას.

(IX.17) ფორმულაში ამოტუმბვის რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$\begin{cases} b = \frac{4.1 \cdot 8.3 - 1.8 \cdot 15.8}{8.3 \cdot 15.8 (15.8 - 8.3)} = 0.006; \\ a = \frac{1.8}{8.3} - 0.006 \cdot 8.3 = 0.167 \end{cases}$$

(IX.16) ფორმულის მიხედვით, დონის $s = 7$ მეტრით დაწვევისას ჭაბურღილის დებიტი ტოლია:

$$Q = \frac{\sqrt{0.167^2 + 4 \cdot 0.006 \cdot 7} - 0.167}{2 \cdot 0.006} \approx 23 \text{ ლ/წმ.}$$

IX.4 დამატებითი მონაცემები გავლენის რადიუსის შესახებ

გავლენის რადიუსის საანგარიშოდ ლიტერატურაში მრავალი ფორმულა არსებობს.

გავლენის რადიუსის სიდიდე შეიძლება გამოვთვალოთ დიუპუის ფორმულიდან შემდეგი განტოლების მიხედვით: $\ln R = \frac{Q}{\pi k(H^2 - h^2)} + \ln r$ (IX.18). ეს

განტოლება დონის დაწვევის დიდი სიდიდეებისას მომატებულ შედეგებს იძლევა. ი. შულცეს მიერ გავლენის რადიუსის საანგარიშოდ შემოთავაზებულია შემდეგი ფორმულა:

$$R = \sqrt{\frac{6HkT}{\mu}} \quad (\text{IX.19}),$$

სადაც T – ამოტუმბვის დაწვევიდან გასული დროა; μ – ქანის წყალგაცემა.

(IX.19) ფორმულაში R და H გამოსახულია მეტრებში, k – მ/წმ ან მ/დღ, T – წამებში ან დღე-ღამეში.

ი. კუსაკინის მიერ გავლენის რადიუსის გამოყვანილი საანგარიშო ფორმულა შემდეგი სახისაა:

$$R = 47 \sqrt{\frac{6HkT}{\mu}} \quad (\text{IX.20}),$$

(IX.20) ფორმულაში k გამოსახულია მ/წმ-ში; T – საათებში, დანარჩენი აღნიშვნები (IX.19) ფორმულის ანალოგიურია;

(IX.19) და (IX.20) ფორმულებში შემავალი სიდიდე T ამოტუმბვის ხანგრძლივობაა, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ამოტუმბვის გავლენის რადიუსი იცვლება დროის მიხედვით. თუმცა, ეს დებულება მართებულია მხოლოდ გარკვეულ საზღვრებში,

რადგანაც ამოტუმბვის გავლენის რადიუსი უსასრულოდ არ შეიძლება იზრდებოდეს.

თუ ზემოთ მოყვანილი ფორმულებით ვიმსჯელებთ თითქოს გავლენის რადიუსი არ არის დამოკიდებული ამოტუმბვის დებიტზე და მასში დონის დაწვევის სიდიდეზე, რაც სინამდვილეს არ შეესაბამება. ცდებით დადგენილია, რომ რაც უფრო დიდია ჭაბურღილის დებიტი ან დონის დაწვევა, მით უფრო მეტია ამოტუმბვის გავლენის სიდიდე.

ჭაბურღილის დებიტის სიდიდე გათვალისწინებულია დიუპუის ფორმულაში:

$$\ln R = \frac{Q}{\pi k(H^2 - h^2)} + \ln r \quad (\text{IX.21})$$

კოხენის ფორმულა ამ დამოკიდებულებას შემ-

დგენაირად გამოხატავს: $R = \sqrt{\frac{12T}{\mu}} \sqrt{\frac{qk}{\pi}} \quad (\text{IX.22}).$

ამოტუმბვის გავლენის რადიუსის საორიენტაციო სიდიდეების დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ ქვემოთ მოცემული ცხრილის (ცხრ IX.2) მონაცემებით.

ცხრილი IX.2

ამოტუმბვის რადიუსის დამოკიდებულება წყალ-შემცველი ფენის ლითოლოგიაზე

ქანის დასახელება	ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღ.დ	ჭაბურღილის დებიტი დონის დაწვევის 5 - 6 მ სიდიდისას, მ ³ /სთ	გავლენის რადიუსი, მ
------------------	--------------------------------	--	---------------------

მტვრისებური, თისოვანი ქვიშა, 0.01 – 0.05 მმ ფრაქციის სიჭარბით	0.5-1.0	0.1-0.3	65
მტვრისებური ერთგვაროვანი ქვიშა 0.01 – 0.05 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	1.5-5.0	0.2-0.4	65
წვრილმარცვლოვანი თისოვანი ქვიშა 0.1 – 0.25 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	10-15	0.5-0.8	75
წვრილმარცვლოვანი ერთგვაროვანი ქვიშა 0.1 – 0.25 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	20-25	0.8-1.7	75
საშუალო მარცვლოვანი თისოვანი ქვიშა 0.25 – 0.5 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	20-25	0.6-1.0	100
საშუალო მარცვლოვანი ერთგვაროვანი ქვიშა 0.25 – 0.5 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	35-50	15-20	100
მსხვილმარცვლოვანი, მცირედ თისოვანი ქვიშა 0.5 – 1.0 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	35-40	20-25	100
მსხვილმარცვლოვანი ერთგვაროვანი ქვიშა 0.5 – 1.0 მმ ფრაქციის სიჭარბისას	60-75	40-50	125
სრეში	100-125	75-100	150

დასასრულს აღვნიშნავთ, რომ მიწისქვეშა წყლების დინამიკის საფუძვლების დაუფლება აუცილებელი წინაპირობაა ახალგაზრდა სპეციალისტის ჰიდროგეოლოგიის სფეროში წარმატებული მუშაობისათვის. ჩვენი ქვეყნის სინამდვილეში საკითხის უდავო აქტუალობა იმ უცილობელი ფაქტიდან გამომდინარეობს, რომ საქართველო, ტერიტორიული სიმცირის მიუხედავად, მიწისქვეშა და ზედაპირული

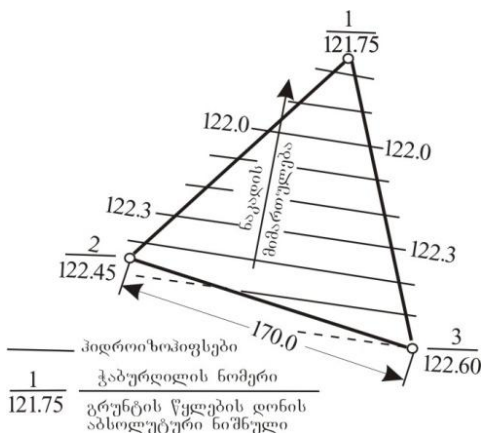
წყლების რესურსით უმდიდრესი ქვეყნების რიცხვს მიეკუთვნება. ამ რესურსის რაციონალურად გამოყენება ქვეყნის განვითარებისთვის უაღრესად საჭირო მეურნეობის ისეთ სახეობებში, როგორცაა ჰიდროელექტროსადგურების, მელიორაციული დასაშრობი და სარწყავი სისტემების, წყალმომარაგების ქსელების და ა.შ. მშენებლობა, აგრეთვე სამთო-მომპოვებელი მიწისქვეშა და ზედაპირული ნაგებობების ჰიდროგეოლოგიური მომსახურება შეუძლებელია მიწისქვეშა წყლების დინამიკაში კვალიფიციური კადრების მომზადების გარეშე. წინამდებარე სახელმძღვანელო სწორედ ამ მიზნის მიღწევის მოკრძალებული ცდაა.

ღანართი

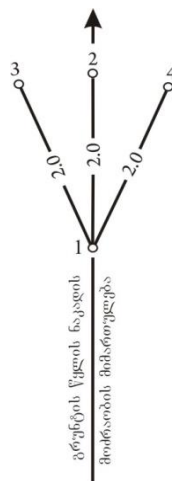
ტიპური ამოცანები მიწისქვეშა წყლების დინამიკაში

მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის მიმართულების და სიჩქარის განსაზღვრა

ამოცანა 1. გრუნტის წყლების მოძრაობის მიმართულების განსაზღვრის მიზნით გაყვანილ იქნა სამი ჭაბურღილი, რომლებიც განლაგებულია ტოლგვერდ და სამკუთხედის წვეროებში. სამკუთხედის გვერდების სიგრძე ტოლია 170 მ;



ნახ. 1

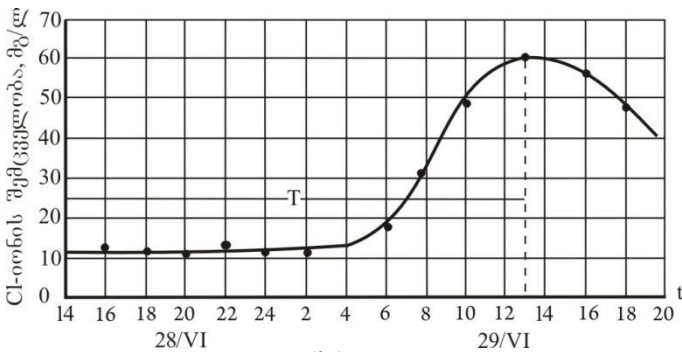


ნახ. 2

ბურღვის დამთავრების შემდეგ ყველა ჭაბურღილში გაზომილ იქნა გრუნტის წყლების დონეების ნიშნულები და აგებულ იქნა ჰიდროიზოჰიფსები კვეთის სიმაღლით 0.1 მ. ჰიდროიზოჰიფსებისადმი მართობული ხაზი მიუთითებს გრუნტის წყლის ნაკადის მიმართულებაზე (ნახ. 1).

გრუნტის წყლების ნაკადის სიჩქარის განსაზღვრად იმავე უბანზე მოეწყო ჭაბურღილების საცდელი

ბუჩქი (ნახ. 2). 28 ივნისის დღის 2 საათზე ჩასატვირთ №1 ჭაბურღილში ჩაასხეს ამონიუმის ქლორიდის ხსნარი (NH_4Cl). სათვალთვალო 2, 3 და 4 ჭაბურღილებიდან საათში ერთხელ იღებდნენ წყლის სინჯებს და საზღვრავენ მათში ქლორ-იონის შემცველობას. ინდიკატორის ჩასხმამდე განსაზღვრული იყო, რომ გრუნტის წყალში ქლორ-იონის შემცველობა ტოლია 12 მგ/ლ. აღებულ სინჯებში ქლორ-იონის შემცველობის განსაზღვრას დროის მიხედვით ასახავს ნახ. 3.

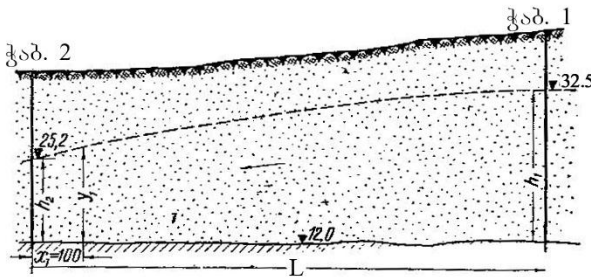


ნახ. 3

ამოხსნა: გრუნტის წყლის მოძრაობის სიჩქარე განსაზღვრება ფორმულით: $v = \frac{L}{T}$ (1), სადაც L არის მანძილი ჩასატვირთი ჭაბურღილიდან სათვალთვალო ჭაბურღილებამდე; T - დრო, ჩატვირთვის მომენტიდან იმ მომენტამდე, როდესაც სათვალთვალო ჭაბურღილებში ქლორის კონცენტრაციამ მაქსიმუმს მიაღწია. როგორც მეორე და მესამე ნახაზებზე არის ნაჩვენები, $L=2.0$ მ; $T=23$ საათი. ამრიგად, სიჩქარის ფორმულიდან გამომდინარე, $v = \frac{L}{T} = \frac{2.0}{23.0} = 0.087$ მ/საათში ანუ 2.09 მ/დღ.

მიწისქვეშა წყლების ხარჯის განსაზღვრა და დებრესიის მრუდის აგება ერთგვაროვან ფენებში. წყალშემცველი ფენი პოროზონტალური წყალგაუმტარი საგებით

ამოცანა 2. გრუნტის წყლით გაჯერებული ერთგვაროვანი საშუალომარცვლოვანი ქვიშის ფენი, რომელიც განლაგებულია პორიზონტალურ წყალგაუმტარ შრეზე. №1 ჭაბურღილში (დინებიდან ზედა) გრუნტის წყლების დონის ნიშნული არის 32.5 მ. №2 ჭაბურღილში, რომელიც №1 ჭაბურღილიდან $l = 1000$ მეტრით არის დაშორებული დინების მიმართულებით გრუნტის წყლების დონე დაფიქსირებულია 25.2 მეტრის ნიშნულზე. წყალგაუმტარი საგები ფენის ნიშნული ტოლია 12.0 მ. ქვიშის ფილტრაციის კოეფიციენტი უდრის 7.5 მ/დღ.დ.



ნახ. 4

განესაზღვროთ ერთეული ხარჯი და გრუნტის წყლის 150 მ სიგანის ნაკადის ხარჯი; ავაგოთ გრუნტის წყლების დებრესიის მრუდი და გამოვთვალოთ დებრესიის მრუდის დონის ნიშნულები ყოველი 100 მ შემდეგ.

ამოხსნა: ერთეული ხარჯი განისაზღვრება დიუპუის

ფორმულით:
$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} \quad (1),$$
 სადაც h_1 და h_2 წყალ-

შემცველი ფენის სიმძლავრებია, შესაბამისად, პირველ და მეორე ჭაბურღილებში.

l - ჭაბურღილებს შორის მანძილი; B სიგანის გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი ტოლია $Q = qB$ (2).

№1 ჭაბურღილში წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე ტოლია $h_1 = 32.5 - 12.0 = 20.5$ მ; ანალოგიურად

№2 ჭაბურღილში $h_2 = 25.2 - 12.0 = 13.0$ მ. (1) ფორმულის მიხედვით ერთეული ხარჯი ტოლია:

$$q = 7.5 \frac{20.5^2 - 13.2^2}{2 \cdot 1000} = 0.922 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

$B = 150$ მ სიგანის გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი ტოლი იქნება: $Q = 0.922 \cdot 150 = 138.3$ მ³/დღ.დ.

დეპრესიის მრუდის Y ორდინატა გამოითვლება ფორმულით:

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2)} \quad (3), \text{ სადაც } Y \text{ წყლის დონეა}$$

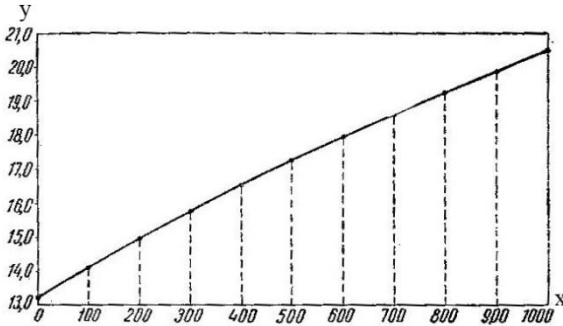
№2 ჭაბურღილიდან x მანძილზე. თუ შევიტანთ x -ის სხვადასხვა სიდიდეებს ბიჯით $x_1 = 100$ მ, მივიღებთ Y_1 , Y_2 და ა.შ. სიდიდეების თანამიმდევრობას.

$$y = \sqrt{13.2^2 + \frac{100}{1000}(20.5^2 - 13.2^2)} = 14.10$$

x -ის სხვა მნიშვნელობების შესაბამისი y -ის ანგარიშით მიღებული სიდიდეები (მ) ნაჩვენებია ქვემოთ.

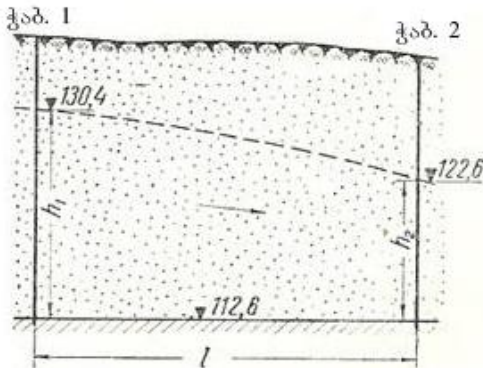
ჭაბ. 2						ჭაბ. 1				
0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
13.20	14.1	14.95	15.75	16.51	17.24	17.94	18.61	19.26	19.89	20.50

ამ მონაცემებით აგებული დეპრესიული მრუდი ნაჩვენებია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 5

ამოცანა 3. სხვადასხვა მარცვლოვანი ქვიშა შეიცავს გრუნტის წყალს. წყლის დონის ნიშნული №1 ჭაბურღილში (დინების ზედა მხარეს) ტოლია 130.4 მ, ხოლო №2 ჭაბურღილში, რომელიც დინების მიმართულებით დაშორებულია №1 ჭაბურღილიდან 2000 მეტრით წყლის დონის ნიშნული არის 122.6 მ. წყალგაუმტარი საგები ფენი ჰორიზონტალურია და მისი ზედაპირის ნიშნული არის 112.6 მ. წყალშემცველი ფენის ფილტრაციის კოეფიციენტი უდრის 16.2 მ/დღ.



ნახ. 6

გამოთვალეთ ერთეული ხარჯი და გრუნტის წყლის ნაკადის 500 მ სიგანის ხარჯი; გამოთვალეთ წყლის სარკის ნიშნულები ყოველი 200 მ შემდეგ; ავაგოთ დეპრესიის მრუდი.

ამოხსნა: ერთეული ხარჯი განისაზღვრება დიუპუის

ფორმულით: $q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}$ (1), სადაც h_1 და h_2 წყალ-

შემცველი ფენის სიმაღლეებია, შესაბამისად პირველ და მეორე ჭაბურღილებში; l - ჭაბურღილებს შორის მანძილი; B - სივანის გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი ტოლია $Q = qB$ (2).

№1 ჭაბურღილში წყალშემცველი ფენის სიმაღლე ტოლია $h_1 = 32.5 - 12.0 = 20.5$ მ;

ანალოგიურად, №2 ჭაბურღილში $h_2 = 25.2 - 12.0 = 13.0$ მ.

(1) ფორმულის მიხედვით, ერთეული ხარჯი ტოლია: $q = 7.5 \frac{20.5^2 - 13.2^2}{2 \cdot 1000} = 0.922$ მ³/დღ.დ.

$B = 150$ მ სივანის გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯი ტოლი იქნება: $Q = 0.922 \cdot 150 = 138.3$ მ³/დღ.დ.

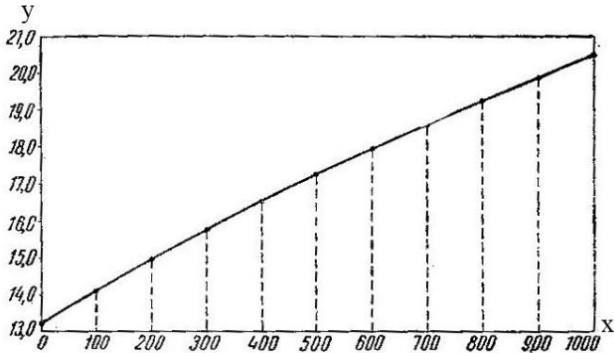
დეპრესიის მრუდის Y ორდინატა გამოითვლება

ფორმულით: $y = \sqrt{h_2^2 + \frac{x}{l}(h_1^2 - h_2^2)}$ (3).

სადაც y წყლის დონეა №2 ჭაბურღილიდან x მანძილზე. თუ შევიტანთ x -ის სხვადასხვა სიდიდეებს, ბიჯით $x_1 = 100$ მ, მივიღებთ y_1 , y_2 და ა.შ. სიდიდეების თანამიმდევრობას.

$$y = \sqrt{13.2^2 + \frac{100}{1000}(20.5^2 - 13.2^2)} = 14.10$$

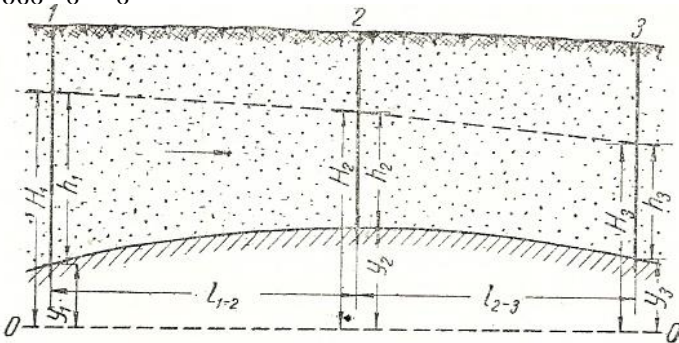
ანალოგიურად y -ის შემდგომი სიდიდეები შეესაბამება x -ის შემდგომ სიდიდეებს $x=100$ მ ბიჯით.



ნახ. 7

წყალშემცველი ფენი დახრილი წყალგაუმტარით

ამოცანა 4. გ. კამენსკის მიახლოებითი მეთოდის გამოყენებით განვსაზღვროთ წყლის დონის ნიშნული შუალედ კვეთში და ნაკადის ხარჯი; დავადგინოთ დებრესიის მრუდის ფორმა 1-2 და 2-3 კვეთების მონაკვეთებზე.



ნახ. 8

საწყისი საანგარიშო მონაცემები: $H_1 = 88.0$ მ; $H_2 = ?$;
 $H_3 = 82.0$ მ; $K = 4.8$ მ/დღ.დ; $y_1 = 25.0$ მ; $y_2 = 40.0$
 მ; $y_3 = 30.0$ მ; $l_{1-2} = 140.0$ მ; $l_{2-3} = 110.0$ მ;

ამოხსნა: განვსაზღვროთ წყლის დონის ნიშნული მეორე კვეთში. ამისთვის, თავდაპირველად უნდა განვსაზღვროთ წყალშემცველი ფენის სიმძლავრეები 1, 2 და 3 კვეთებში.

$$h_1 = H_1 - y_1 = 88.0 - 25.0 = 63.0 \text{ მ};$$

$$h_3 = H_3 - y_3 = 82.0 - 32.0 = 52.0 \text{ მ};$$

$$h_2 = H_2 - y_2 = H_2 - 40.0$$

შევადგინოთ ერთეული ხარჯის ორი განტოლება 1-2 და 2-3 კვეთებისათვის და გავეტოლოთ ისინი ერთმანეთს:

$$\frac{(h_1 + h_2)(H_1 - H_2)}{l_{1-2}} = \frac{(h_2 + h_3)(H_2 - H_3)}{l_{2-3}}; \text{ რიცხვითი}$$

სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$\frac{(63.0 + H_2 - 40.0)}{140.0} = \frac{(H_2 - 40.0 + 52.0)(H_2 - 82.0)}{110.0}$$

აქედან $H_2 = 84.8 \text{ მ}$.

ერთეული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$q = k \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l} \quad (1)$$

ვპოულობთ h_2 : $h_2 = H_2 - y_2 = 88.8 - 40.0 = 44.8 \text{ მ}$; მაშასადამე,

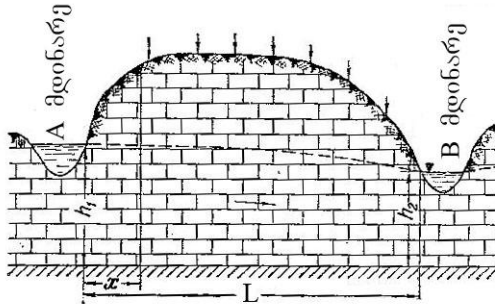
$$q = 4.8 \cdot \frac{63 + 44.8}{2} \cdot \frac{88 - 84.8}{140} = 5.92 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

დეპრესიის მრუდის ფორმა გამოითვლება შემდეგნაირად: 1-2 უბანზე $h_1 > h_2$, $63.0 > 44.8$. მაშასადამე, 1-2 უბანზე დეპრესიული მრუდი წარმოადგენს დაღმავალ მრუდს იმის მიუხედავად, რომ წყალგაუმტარ საგებს უკუდახრა აქვს;

2-3 უბანზე $h_2 < h_3$, ანუ $44.8 < 52.0$. მაშასადამე 2-3 უბანზე დეპრესიული მრუდი არის წყალგაუმტარი საგების გასწვრივ მიმართული მრუდი.

გრუნტის წყლების ხარჯის და ინფილტრაციის სიდიდის განსაზღვრა. მდინარეთაშუეთის მასივზე დებრესიული მრუდის აგება

ამოცანა 5. განვსაზღვროთ ფილტრაციის სიდიდე A მდინარიდან B მდინარემდე 8 კმ-ის მანძილზე და ერთეული ხარჯი A მდინარიდან 300 მეტრის დაშორებით, ატმოსფერული ნალექების ინფილტრაციის გათვალისწინებით.



ნახ. 9

გრუნტის წყლები დაკავშირებულია ნაპრალოვან კირქვებთან, რომელთა ფილტრაციის კოეფიციენტი ტოლია 40 მ/დღ. წყალგაუმტარი საგები გვერდი ჰორიზონტალურია. წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე A მდინარესთან 100.0 მეტრია, ხოლო B მდინარესთან – 90.0 მეტრი. მდინარეთა კალაპოტებს შორის მანძილი 10 კმ-ს შეადგენს. ატმოსფერული ნალექების წლიური რაოდენობა ტოლია 400 მმ. მივიღოთ, რომ ატმოსფერული ნალექების წლიური რაოდენობის 30% ინფილტრაციაზე მოდის.

ამოხსნა: თავდაპირველად გამოვთვალოთ ინფილტრაციის w სიდიდე, ანუ წყლის ის რაოდენობა, რომელიც ჩაიქონება დედამიწის ზედაპირიდან ერთეულ ფართობზე

$$\text{დროის ერთეულში: } w = \frac{400 \times 0.3}{365 \times 1000} \approx 0.00033 \text{ მ/დღ.დ.}$$

შემდეგ დავადგინოთ, აქვს თუ არა ადგილი წყლის ფილტრაციას A მდინარიდან B მდინარეში, რისთვისაც გამოვიყენოთ კამენსკის ფორმულა:

$$q_1 = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} - w \frac{L}{2} \quad (1),$$

სადაც q_1 - გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯია საწყის კვეთში A მდინარესთან;

h_1 - წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე A მდინარესთან;

h_2 - წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე B მდინარესთან;

L - მდინარეებს შორის მანძილი.

რიცხვითი სიდიდეების შეტანით (1) ფორმულაში მივიღებთ:

$$q_1 = 40 \times \frac{100^2 - 90^2}{2 \times 10000} - 0.00033 \times \frac{10000}{2} = 2.15 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

იმდენად, რამდენადაც $q_1 > 0$, გრუნტის წყლების წყალგამყოფი არ არსებობს. მაშასადამე, ხდება წყლის ფილტრაცია A მდინარიდან B მდინარეში ერთეული ხარჯით 2.15 მ³/დღ.დ.

თუ ავიღებთ მდინარის ნაპირის სიგრძის 8 კმ-იან მონაკვეთს მაშინ ფილტრაციული დანაკარგები გამოისახება რიცხვით: $2.15 \times 8 \text{ 000} = 17 \text{ 200}$ მ³/დღ.დ.

A მდინარიდან 300 მეტრით დაშორებულ კვეთში ერთეული ხარჯი შეიძლება განვსაზღვროთ ფორმულით:

$q_x = q_1 + wx$. სადაც q_x - გრუნტის წყლის ნაკადის ხარჯია A მდინარიდან x მანძილზე. წინა ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

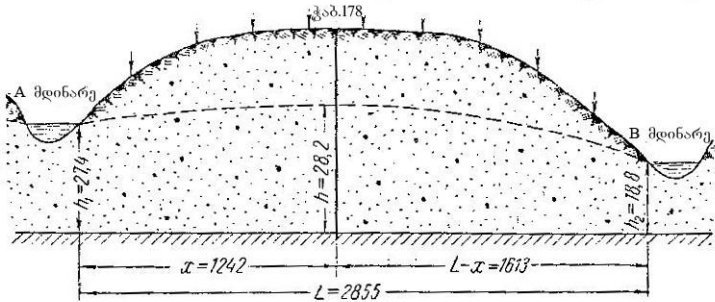
$$q_x = 2.15 + 0.00033 \times 300 = 2.25 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

ამოცანა 6: წყალშემცველი ფენი, რომლის ფილტრაციის კოეფიციენტი ტოლია 4.8 მ/დღ.დ., ქვემოდან შემოსაზღვრულია ჰორიზონტალური წყალგაუმტარი საგებით. მდინარეთა კალაპოტებს შორის მანძილი შეადგენს 2 კმ-ს.

წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე A მდინარესთან ტოლია 20.5 მ, ხოლო B მდინარესთან 12.4 მ. ატმოსფერული ნალექების წლიური რაოდენობა არის 584 მმ.

განვსაზღვროთ არსებობს თუ არა გრუნტის წყლების წყალგამყოფი მდინარეთა შუეთში და როგორია გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი (ინფილტრაციის გათვალისწინებით) A მდინარის კალაპოტიდან 400 მეტრის მანძილზე. ინფილტრაციის სიდიდედ მივიღოთ ნალექების წლიური რაოდენობის 15%.

ამოცანა 7. განვსაზღვროთ ინფილტრაციის სიდიდე (მმ/წელიწადი) მდინარეთაშუეთის მასივისათვის, რომელიც აგებულია ქვიშებით, ფილტრაციის კოეფიციენტით 6 მ/დღ., ატმოსფერული ნალექების საშუალოწლიური რაოდენობა ტოლია 550 მმ. დანარჩენი სიდიდეები მოცემულია სქემაზე (ნახ. 10).



ნახ. 10

ამოხსნა. ინფილტრაციის სიდიდეს განვსაზღვრავთ

ფორმულით:
$$Q = k \left[\frac{h^2 - h_1^2}{(L-x)x} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L-x)L} \right] \quad (1).$$

(1) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

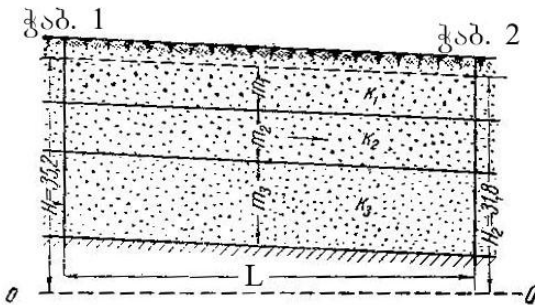
$$\omega = 6 \left[\frac{28.2^2 - 27.4^2}{(2.855 - 1.242)1.242} + \frac{27.4^2 - 18.8^2}{(2.855 - 1.242)2.855} \right] = 0.00067$$

მ/დღე, ანუ 244 მმ/წელიწადი, რაც შეადგენს $\frac{244}{550} \times 100 = 44.4\%$ წლიური ნალექების რაოდენობიდან.

გრუნტის წყლების ხარჯის განსაზღვრა შრეებრივ-ჰორიზონტალურ ფენებში

ამოცანა 8. განვსაზღვროთ გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი დახრილ ფენში, რომელიც შედგება სხვადასხვა წყალგამტარობის სამი ქვიშიანი შრისაგან, როდესაც გრუნტის წყლების მოძრაობა თანაბარია. ქვიშიან წყებას საგებად თიხა უდევს.

საანგარიშო მონაცემებია: №1 ჭაბურღილში წყლის დონე მდებარეობს 35.2 მ ნიშნულზე, №2 ჭაბურღილში – 31.8 მ ნიშნულზე. ქვედა შრის სიმძლავრე 8 მ-ია, შუასი – 4.6 მ., ხოლო ზედა შრის – 6.0 მ. ზედა შრის ფილტრაციის კოეფიციენტი 7.2 მ/დღე ტოლია, შუასი – 5.6 მ/დღე, ხოლო ქვედასი – 3.2 მ. ჭაბურღილებს შორის მანძილი 470 მ.



ნახ. 11

ამოხსნა: განვსაზღვროთ ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა:

$$k_{საშ.} = \frac{\sum km}{\sum m} = \frac{k_1 m_1 + k_2 m_2 + k_3 m_3}{m_1 + m_2 + m_3} \quad (1),$$

რიცხვითი სიდიდეების შეტანით (1) ფორმულაში მივიღებთ:

$$k_{\text{საშ.}} = \frac{7.2 \times 6.0 + 5.6 \times 4.6 + 3.2 \times 8.0}{6.0 + 4.6 + 8.0} = 5.08 \text{ მ/დღ.დ.}$$

გამოვთვალოთ გრუნტის წყლის ნაკადის ქანობი:

$$I = \frac{H_1 - H_2}{l} = \frac{35.2 - 31.8}{470} = \frac{3.4}{470} = 0.0072$$

გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით: $q = k_{\text{საშ.}} m I$ (2),

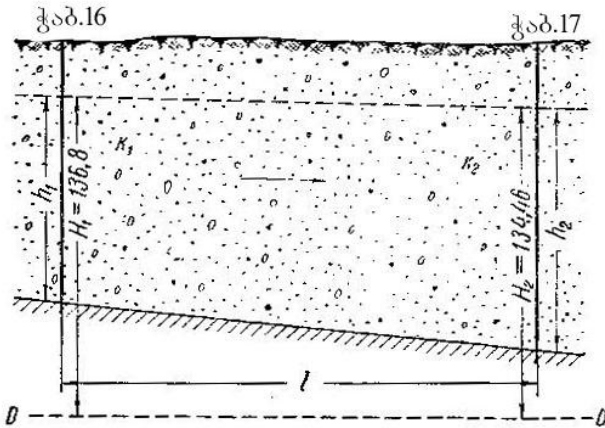
(2) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ: $q = 5.08 \times 18.6 \times 0.0072 = 0.68 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$

ამოცანა 9. ორი სხვადასხვა წყალგამტარობის ქვიშიანი ფენისგან შემდგარი წყალშემცველი წყება გახსნილია ორი ჭაბურღილით, რომლებიც განლაგებულია ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით და დაშორებულია ერთმანეთისგან 500 მ. წყალშემცველი ფენების სიმძლავრეები მუდმივია მთლიან გავრცელებაზე და შეადგენს ზედა შრისთვის 5.0 მ, ქვედა შრისთვის – 10.0 მ. ჭაბურღილებში წყლის დონეებს შორის სხვაობა ტოლიაა 3.0 მ. ზედა შრის ფილტრაციის კოეფიციენტი არის 5.65 მ/დღ.დ., ქვედასი – 3.5 მ/დღ.დ. წყალშემცველი წყება ქვემოდან შემოსაზღვრულია თიხის ფენით, რომელიც ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით არის დახრილი. განვსაზღვროთ გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი.

ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა ფენის საერთო არაერთგვაროვნების პირობებში.

ამოცანა 10. №16 და №17 საძიებო ჭაბურღილებით, რომლებიც განლაგებულია გრუნტის წყლის ნაკადის მიმართულებით გახსნილია მიწისქვეშა წყლები არაერთგვაროვანი ფილტრაციული თვისებების ქვიშებში. №16 ჭაბურღილში წყალშემცველი ქვიშების სიმძლავრე არის 13.1 მ, ხოლო №17 ჭაბურღილში – 15.4 მ.

ფილტრაციის კოეფიციენტების საშუალო სიდიდეები შესაბამისად ტოლია 3.7 და 4.9 მ/დღ. №16 ჭაბურღილში გრუნტის წყლის დონე დამყარდა 136.18 მ, ხოლო №17 ჭაბურღილში - 134.46 მ. ჭაბურღილებს შორის მანძილი 300 მეტრია, წყალგაუმტარი საგები თიხების დახრილობა ემთხვევა გრუნტის ნაკადის მოძრაობის მიმართულებას.



ნახ. 12

გამოვიანგარიშოთ გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯი.

ამოხსნა: გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეულ ხარჯს ვანგარიშობთ კამენსკის ფორმულით, რომელიც გამოყვანილია რთული აგებულების არაერთგვაროვანი ფენების-

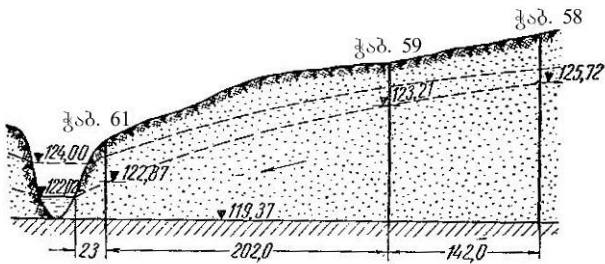
$$q = \frac{k_1 h_1 + k_2 h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l} \quad (1)$$

რიცხვითი სიდიდეების შეტანით (1) ფორმულაში მივიღებთ:

$$q = \frac{3.7 \times 13.1 + 4.9 \times 115.4}{2} \cdot \frac{136.18 - 134.46}{300} = 0.355 \text{ მ}^3/\text{დღ.ღ}$$

გრუნტის წყლების შეტბორვის განსაზღვრა ერთგვაროვან ჰორიზონტალურ ფენში ინფილტრაციის გაუთვალისწინებლად

ამოცანა 11. განვსაზღვროთ გრუნტის წყლების შეტბორვა №№61, 59 და 58 ჭაბურღილებში, რომლებიც განლაგებულია ალუვიური საშუალომარცვლოვანი ქვიშებით აგებულ მდინარის ტერასაზე, იმ პირობებში, როდესაც მდინარეში წყალი აიწვეს 124.0 მ ნიშნულამდე. წყალგაუმტარი ფენი ჰორიზონტალურია (ნახ. 13). საანგარიშო მონაცემები მოყვანილია ცხრილში.



ნახ. 13

კვეთი	დაშორება მდინარიდან (მ)	წყალგაუმტარი სახურავის აბსოლუტური ნიშნული (მ)	შეტბორვამდე წყლის დონის აბსოლუტური ნიშნული (მ)
მდინარე	-	119.37	122.02
ჭაბ.61	23.0	119.37	122.87
ჭაბ.59	225.0	119.37	123.21
ჭაბ.58	367.0	119.37	125.72

ამოხსნა: განვსაზღვროთ შეტბორვის სიდიდე №61 ჭაბურღილში შემდეგი ფორმულით:

$$z_{61} = \sqrt{h_{61}^2 - h_r^2 + (h_r + z_r)^2} - h_{61} \quad (1),$$

სადაც z_{61} №61 ჭაბურღილში შეტბორვის სიდიდეა;

h_{61} - №61 ჭაბურღილში წყლის დონე შეტბორვამდე;

h_r - წყლის დონე მდინარეში შეტბორვამდე;

z_r - მდინარეში შეტბორვის სიდიდე;

(1) ფორმულაში ცხრილის მონაცემების სიდიდეების შეტანით, მივიღებთ:

$$z_{61} = \sqrt{3.50^2 - 2.65^2 + (2.65 + 1.98)^2} - 3.5 = 1.66 \text{ მ}$$

№59 ჭაბურღილში შეტბორვა ტოლია

$$\begin{aligned} z_{59} &= \sqrt{h_{59}^2 - h_{61}^2 + (h_{61} + z_{61})^2} - h_{59} = \\ &= \sqrt{3.84^2 - 3.50^2 + (3.50 + 1.66)^2} - 3.84 = 1.56 \text{ მ} \end{aligned}$$

№58 ჭაბურღილში შეტბორვა ტოლია

$$\begin{aligned} z_{58} &= \sqrt{h_{58}^2 - h_{59}^2 + (h_{59} + z_{59})^2} - h_{58} = \\ &= \sqrt{6.35^2 - 3.84^2 + (3.84 + 1.56)^2} - 6.35 = 1.05 \text{ მ} \end{aligned}$$

შეტბორვის შემდეგ წყლის დონეთა ნიშნულები იქნება:

ჭაბ. 61 $122.87 + 1.66 = 124.53$ მ

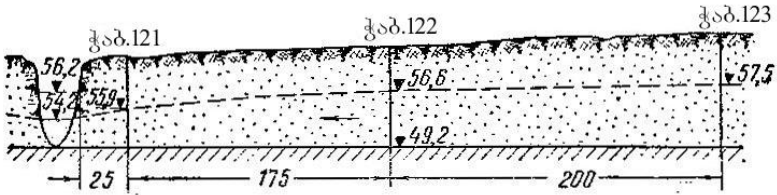
ჭაბ. 59 $123.21 + 1.56 = 124.77$ მ;

ჭაბ. 58 $125.72 + 1.05 = 126.77$ მ

ამოცანა 12. კორიზონტალურ წყალგაუმტარ ფენზე განლაგებული გრუნტის წყლები მოქცეულია სხვადასხვამარცვლოვან ქვიშებში და გახსნილია №№ 121, 122 და 123 ჭაბურღილებით (ნახ. 14). ცხრილის მონაცემებით განვსაზღვროთ ჭაბურღილებში გრუნტის წყლის შეტბორვის სიდიდეები, თუ მდინარეში წყლის დონემ აიწია 56.2 მ ნიშნულამდე.

კვეთი	დაშორება მდინარიდან (მ)	წყალგაუმტარი სახურავის აბსოლიტური ნიშნული (მ)	შეტბორვამდე წყლის დონის აბსოლუტური ნიშნული (მ)
მდინარე	-	49.2	54.2
ჭაბ.121	25	49.2	55.9
ჭაბ.122	200	49.2	56.6

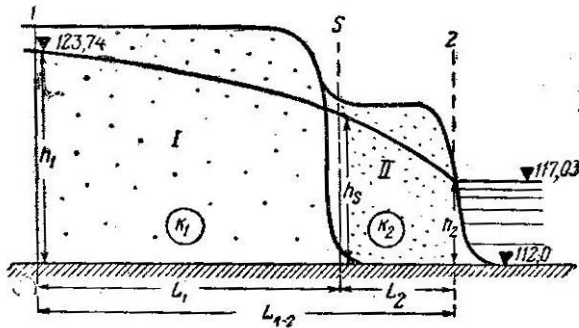
ჭაბ.123	400	49.2	57.5
---------	-----	------	------



ნახ. 14

ნაკადის ხარჯის განსაზღვრა ისეთ ფენაში, რომელშიც ჰორიზონტალური მიმართულებით წყალგამტარობა მკვეთრად იცვლება

ამოცანა 13. განსაზღვროთ გრუნტის წყლის იმ ნაკადის ხარჯი, რომლის დრენირება ხდება მდინარით და აგრეთვე წყალშემცველი ფენის სიმძლავრე შრეების კონტაქტში, შემდეგი მონაცემების მიხედვით: ძირითადი ქანებით აგებულ ნაპირზე გაყვანილი №1 ჭაბურღილში წყლის დონის აბსოლუტური ნიშნული, მდინარეში წყლის პირიდან 300 მეტრის დაშორებით ტოლია 123.74 მ., ხოლო მდინარეში – 117.03 მ. წყალგაუმტარი საგები ჰორიზონტალურია. მისი აბსოლუტური ნიშნული შეიძლება ჩავთვალოთ - 112.0 მ. მანძილი მდინარიდან საპროექტო ჭაბურღილამდე 50 მეტრია. ლაბორატორიული განსაზღვრების გზით ფილტრაციის კოეფიციენტების სიდიდეები შემდეგია: ტერასის ქვიშებისთვის 15.0 მ/დღ.დ; ძირითადი ქანებით აგებული ნაპირისთვის 9.0 მ/დღ.დ.



ნახ. 15

გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეულ ხარჯს განვსაზღვრავთ კამენსკის ფორმულით:

$$q = \frac{h_1^2 - h_s^2}{2 \left(\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} \right)} \quad (1)$$

(1) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$q = \frac{(123.74 - 112.0)^2 - (117.03 - 112.0)^2}{2 \left(\frac{300 - 50}{15} + \frac{50}{9} \right)} = 2.52 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

წყალშემცველი ფენის სიმძლავრეს შრეების კონტაქტზე გამოვთვლით ფორმულით:

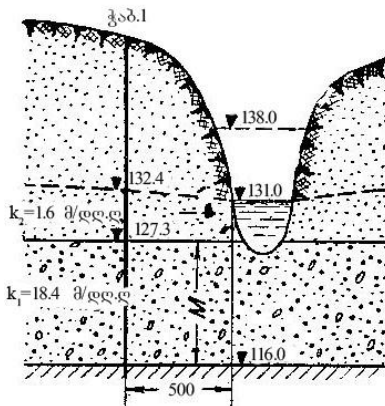
$$h_s = \sqrt{\frac{k_1 L_2 h_1^2 + k_2 L_1 h_2^2}{k_1 L_2 + k_2 L_1}} \quad (2),$$

(2) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$h_s = \sqrt{\frac{15 \times 50 (123.74 - 112.0)^2 + 9 \times 300 (117.03 - 112.0)^2}{12 \times 50 + 9 \times 300}} = 7.04 \text{ მ}$$

ამოცანა 14. განვსაზღვროთ №1 ჭაბურღილში, რომელიც მდინარის ნაპირიდან 500 მეტრით არის დაშორებული, გრუნტის წყლების დონის ნიშნული შეტბორვის შემდეგ. მდინარეზე გათვალისწინებულია წყალსაცავის მოწყობა შეტბორვით 138.0 მ ნიშნულამდე.

მდინარის ტერასა, რომელზეც ჭაბურღილი არის გაყვანილი ქვიშების ორშრიანი წყებით არის აგებული, ამასთან ქვედა შრე უფრო წყალგამტარია, ვიდრე ზედა. დანარჩენი გაანგარიშებისთვის საჭირო მონაცემები ნახ. 16-ზე არის ნაჩვენები.



ნახ. 15

ამოხსნა. №1 ჭაბურღილში შეტბორვის სიდიდეს განვსაზღვრაოთ ფორმულით:

$$k_1 M (H_1 - H_{მდ.}) + 0.5 k_2 (h_1 + h_{მდ.}) (H_1 - H_{მდ.}) =$$

$$= k_1 M (H_1 - H_{მდ.}) + 0.5 k_2 (h_1' + h_{მდ.}') (H_1' - H_{მდ.}') \quad (1)$$

სადაც M ქვედა შრის სიმძლავრეა;

k_1 - ქვედა შრის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

k_2 - ზედა შრის ფილტრაციის კოეფიციენტი;

განვსაზღვროთ ქვიშის ზედა შრის სიმძლავრე №1 ჭაბურღილში (h_1'), აგრეთვე მდინარესთან შეტბორვამდე ($h_{მდ.}$) და შეტბორვის შემდეგ ($h_{მდ.}'$).

$$h_1 = 132.4 - 127.3 = 5.1 \text{ მ};$$

$$h_{მდ.} = 131.0 - 127.3 = 3.7 \text{ მ};$$

$$h_{მდ.}' = 138.0 - 127.3 = 10.7 \text{ მ}.$$

იმის მხედველობაში მიღებით, რომ $H_1' = H_1 + z_1$,

$$h_1' = h_1 + z_1 \text{ და ქვედა შრის საშუალო სიმძლავრე ჭაბურღილიდან მდინარემდე მონაკვეთზე 11.3 მ შეადგენს, რიცხვითი სიდიდეების ჩასმით (1) ფორმულაში მივიღებთ: } \\ 18.4 \times 11.3 \times (132.4 - 131.0) + 0.5 \times 1.6 \times (5.1 + 3.7) \times \\ \times (132.4 - 131.0) = 18.4 \times 11.3 \times (132.4 + z_1 - 138.0) + \\ + 0.5 \times 1.6 \times (5.1 + z_1 + 10.70) \times (132.4 + z_1 - 138.0),$$

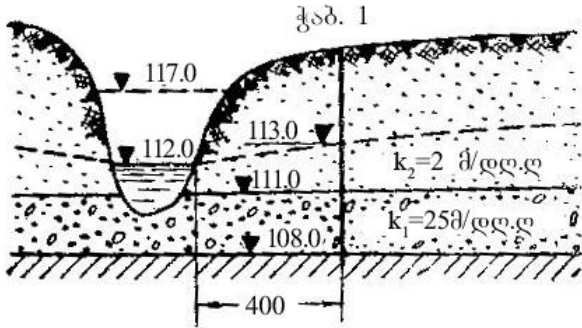
საიდანაც $z_1 = 6.93$ მ.

შეტბორვის შემდეგ №1 ჭაბურღილში გრუნტის წყლების დონის აბსოლუტური ნიშნული ტოლი იქნება:

$$H_1' = H_1 + z_1 = 132.4 + 6.93 = 139.33 \text{ მ}$$

ამოცანა 15. იმ მდინარის ხეობა, რომელშიც წყალსაცავი უნდა დაპროექტდეს, ფსკერზე აგებულია მსხვილმარცვლოვანი ქვიშებით, ფილტრაციის კოეფიციენტით 25 მ/დღ. ეს შრე გადაფარულია წვრილმარცვლოვანი ქვიშების შრით, ფილტრაციის კოეფიციენტით 2 მ/დღ. კაშხლის აშენების შემდეგ მდინარის კალაპოტში წყლის დონის მატებამ უნდა შეადგინოს 5 მ.

განვსაზღვროთ წყლის დონის აწევა და დონის აბსოლუტური ნიშნული №1 ჭაბურღილში, რომელიც მდინარიდან 400 მეტრით არის დაშორებული.



ნახ. 17

ცალკეული ჭაბურღილის გავლენის რადიუსის განსაზღვრა

ამოცანა 16. იმ ჭაბურღილიდან, რომელმაც ქვიშრობ ქანებში, მიწის ზედაპირიდან 4.7 მეტრის სიღრმეზე გახსნა გრუნტის წყლის ჰორიზონტი, ჩატარდა უწყვეტი ამოტუმბვა 18 საათის განმავლობაში. წყალშემცველი ქვიშების სიმძლავრე 9.4 მეტრია. ქვიშის წყალგაცემა შეადგენს 0.19, ხოლო ფილტრაციის კოეფიციენტი 0.0002 მ/წმ. განესაზღვროთ ჭაბურღილის გავლენის რადიუსი.

ამოხსნა. გავლენის რადიუსს გამოვთვლით ი. კუსაკინის ფორმულით:

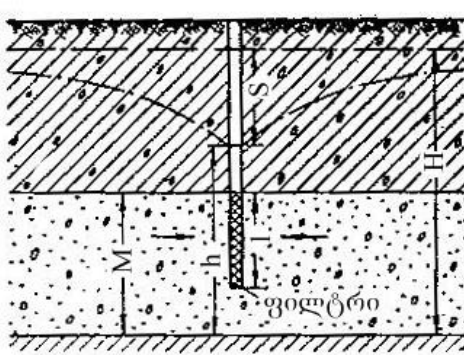
$$R = 47 \sqrt{\frac{6HkT}{\eta}} \quad (1),$$

- სადაც H - წყალშემცველი ქვიშების სიმძლავრეა, მ;
- k - ქვიშების ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/წმ;
- T - ამოტუმბვის ხანგრძლივობა, საათი;
- η - ქვიშის წყალგაცემა.

(1) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ: $R = 47 \sqrt{\frac{6 \cdot 9.4 \cdot 0.0002 \cdot 18}{0.19}} = 48.6 \text{ მ} \approx 50 \text{ მ}$

**ჭაბურღილებში წყლის მოძინების განსაზღვრა დაწნევის-
თი წყლების პირობებში**

ამოცანა 17. საშუალომარცვლოვან ქვიშებთან და-
კავშირებული 11.6 მ სიმაღლის არტეზიული ჰორიზონ-
ტი გახსნილია ჭაბურღილით, რომელშიც ჩასმულია 4.5 მ
სიგრძის ფილტრი. ჭაბურღილის დიამეტრი ტოლია 254
მმ. გაელების რადიუსი მიღებულია 150 მ-ის ტოლად.
ფილტრაციის კოეფიციენტი უდრის 8.4 მ/დღ.
განვსაზღვროთ ჭაბურღილის დებიტი დონის 5 მეტრით
დაწვეისას.



ნახ. 18

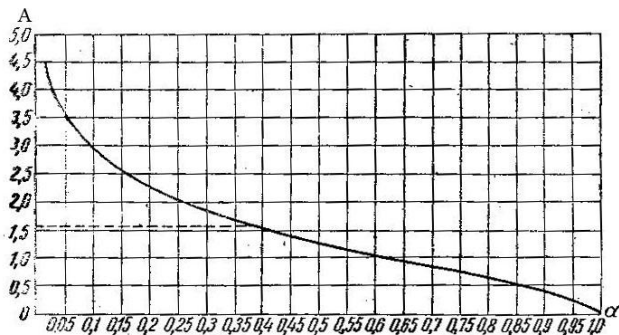
ამოხსნა. იმის გამო, რომ ფილტრის სიგრძე მეტია
წყალშემცველი ფენის სიმაღლის მესამედზე ($l > \frac{1}{3}M$
), ჭაბურღილის დებიტს გამოვთვლით მასკეტის ფორ-
მულით:

$$Q = \frac{kMs}{0.366 \left[\frac{l}{2\alpha} \left(2lg \frac{4M}{r} - A \right) - lg \frac{4M}{R} \right]} \quad (1),$$

სადაც $\alpha = \frac{l}{M}$ ფილტრის მუშა ნაწილის შეფარდებაა

წყალშემცველი ფენის სიმაღლესთან;

A – განყენებული სიდიდე, რომელიც დამოკიდებულია α
და განისაზღვრება გრაფიკიდან.



ნახ. 19

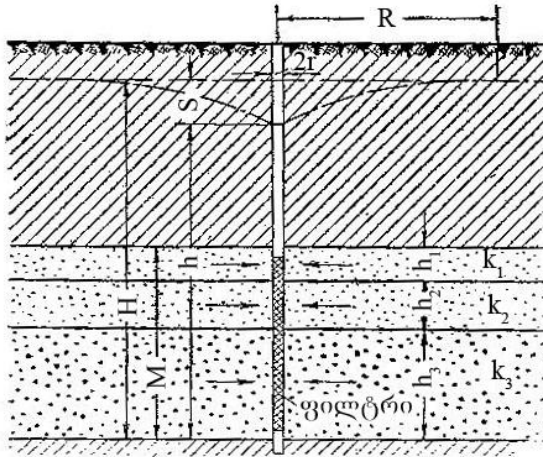
გპოულობთ α და A მნიშვნელობებს:

$$\alpha = \frac{4.5}{11.6} = 0.39 \approx 0.4.$$

გრაფიკიდან განვსაზღვრავთ, რომ $\alpha = 0.4$ სიდიდისას $A = 1.6$. ზემოთ მოცემულ (1) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით, ვგებულობთ არტეზიული ჭაბურღილის დებიტს:

$$Q = \frac{8.4 \times 11.6 \times 5.0}{0.366 \left[\frac{1}{2 \times 0.4} \left(2 \lg \frac{4 \times 11.6}{0.127} - 1.6 \right) - \lg \frac{4 \times 11.6}{150} \right]} = 270.7 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ}$$

ამოცანა 18. განვსაზღვროთ იმ ჭაბურღილის დებიტი, რომელმაც წყალი გახსნა წყალგამტარობის მიხედვით არაეთევაროვან ქვიშებში. წყალშემცველი ფენი სამი შრისგან შედგება, რომელთა სიმძლავრეებია 3.5; 4.8 და 11.5 მ., ხოლო ფილტრაციის კოეფიციენტები შესაბამისად ტოლია 4.23; 3.72 და 8.97 მ/დღ.დ. ქვიშები გადაფარულია და ქვემოდანაც შემოსაზღვრულია თიხის ფენებით. ზემოდან განლაგებული თიხის ფენის საგების ქვეშ დაწნევა შეადგენს 17.5 მ-ს, დონის დაწევა ამოტუმბვის პროცესში – 4.8 მ. ჭაბურღილის ფილტრის დიამეტრი ტოლია 150 მმ. გავლენის რადიუსის სიდიდე 400 მ-ია.



ნახ. 20

ამოხსნა. თავდაპირველად განვსაზღვრავთ ფილტრაციის კოეფიციენტის საშუალო სიდიდეს:

$$k_{საშ.} = \frac{4.23 \times 3.5 + 3.72 \times 4.8 + 8.97 \times 11.5}{3.5 + 4.8 + 11.5} = 6.86 \text{ მ/დღ.ღ}$$

$Q = \frac{2.73kMs}{\lg R - \lg r}$ ფორმულით გამოვთვალოთ ჭაბურღილის დებიტს:

$$Q = \frac{2.73k_{საშ.}Ms}{\lg R - \lg r} = 2.73 \times \frac{6.86 \times 19.8 \times 4.8}{\lg 400 - \lg 0.075} = 477.0 \text{ მ}^3/\text{დღ.ღ}$$

კაშხლის ქვეშე ფილტრირებული წყლის ხარჯის განსაზღვრა

ამოცანა 19. კაშხლის ფუძეში განლაგებულია საშუალო-მარცვლოვანი ქვიშები, ფილტრაციის კოეფიციენტით 8.4 მ/დღ.ღ. ქვიშის ფენის სიმძლავრე 12.0 მეტრია. დაწნევა კაშხალთან – 4.5 მ. ფუძეზე კაშხლის სიგანე შეადგენს 28 მ-ს. კაშხლის სიგრძე 100 მ-ია.

განვსაზღვროთ კაშხლის ქვეშე ფილტრაციაზე წყლის ხარჯი.

ამოხსნა. განვსაზღვროთ ფილტრაციული ხარჯი პავლოვსკის ფორმულით: $Q = kHLQ_r$ (1),

სადაც H კაშხლის მიერ შექმნილი დაწნევის სიმაღლეა; L - კაშხლის სიგრძე; Q_r - “დაყვანილი ხარჯი”,

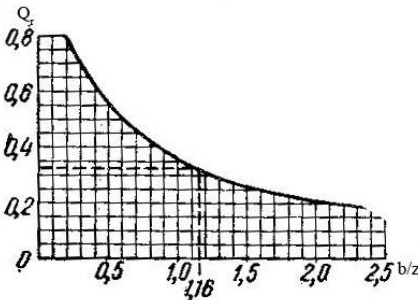
რომელიც დამოკიდებულია $\frac{b}{z}$ (b - ფლუტბეტის სიგანის

ნახევარია, z - წყალგაუმტარი ფენის განლაგების სიღრმე, ათვლილი კაშხლის ფუძიდან) და განისაზღვრება გრაფიკით.

გრაფიკის მიხედვით (ნახ. 21) ვპოულობთ, რომ

შეფარდებას $\frac{b}{z} = \frac{14.0}{12.0} = 1.16$ შეესაბამება სიდიდე

$$Q_r = 0.325.$$



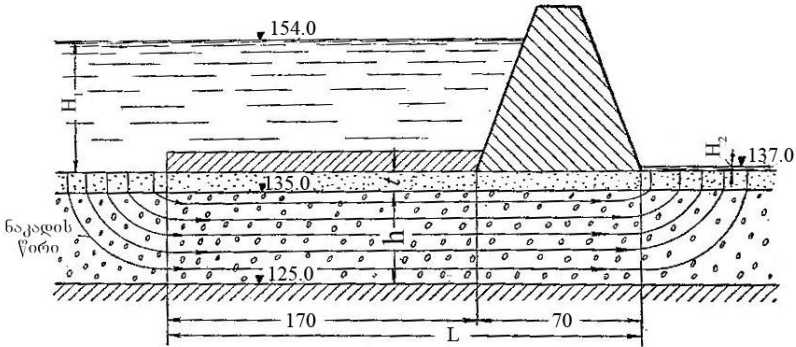
ნახ. 21

(1) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით ვგებულობთ ფილტრაციული ხარჯის სიდიდეს:

$$Q = 8.4 \times 4.5 \times 100 \times 0.325 = 1228.5 \text{ მ}^3/\text{დ.დ.}$$

ამოცანა 20. კაშხალი უნდა დაპროექტდეს ქანების ორშრიან წყებაზე. ზედა, 2.0 მ სიმძლავრის ფენი წარმოდგენილია მსხვილმარცვლოვანი ქვიშებით, ფილტრაციის კოეფიციენტით 43.2 მ/დღ.დ. ქვედა ფენი, რომლის სიმძლავრე 10.0 მ-ია, წარმოდგენილია კენჭნარით, ფილტრაციის კოეფიციენტით 397.0 მ/დღ.დ.

კენტნარს ქვეშ უდევს თიხის ფენი. საანგარიშოდ საჭირო დანარჩენი მონაცემები ასახულია ნახ. 22-ზე.



ნახ. 22

გ. კამენსკის ფორმულებით განვსაზღვროთ ერთეული ხარჯი კაშხლის ფუძის ქვეშ და დაწნევის გრადიენტი ზედა შრეში კაშხლის ფუძესთან.

ამოხსნა. კამენსკის ფორმულის მიხედვით, განვსაზღვროთ ერთეული ხარჯი:

$$q = \frac{H_1 - H_2}{\frac{L}{hk_1} + 2\sqrt{\frac{t}{k_1k_2h}}} \quad (1)$$

სადაც H_1 და H_2 წყლის ზედაპირის ნიშნულებია შესაბამისად, ზედა და ქვედა ბიეფებში; L - კაშხლის სიგანე ფუძეზე; t - ზედა ფენის სიმძლავრე; k_1 - ზედა ფენის ფილტრაციის კოეფიციენტი; h - ქვედა ფენის სიმძლავრე; k_2 - ქვედა ფენის ფილტრაციის კოეფიციენტი.

(1) ფორმულაში რიცხვითი სიდიდეების შეტანით მივიღებთ:

$$q = \frac{154.0 - 137.0}{\frac{240}{10.0 \times 397.0} + 2\sqrt{\frac{2.0}{43.2 \times 397.0 \times 10.0}}} = 255.3 \text{ მ}^3/\text{დღ.დ.}$$

ვპოულობთ დაწნევის საშუალო გრადიენტს ზედა ფენში,

$$\text{კაშხლის ფუძესთან: } J_0 = \frac{H_1 - H_2}{2t + L \sqrt{\frac{k_1 \cdot t}{k_2 \cdot h}}} \quad (2)$$

რიცხვითი სიდიდეების შეტანით (2) ფორმულაში

$$\text{მივიღებთ: } J_0 = \frac{154.0 - 137.0}{2 \times 2.0 + 240 \sqrt{\frac{43.2}{397.0} \cdot \frac{2.0}{10.0}}} = 0.43$$

ლიტერატურა

1. ა. ნადარეიშვილი. მიწისქვეშა წყლების მარაგების შეფასების მეთოდები. გამომცემლობა “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი, 2001, 174 გვ.
2. გ. კამენსკი. მიწისქვეშა წყლების ძებნა-ძიება (თარგმანი რუსულიდან). გამომცემლობა “ცოდნა”, თბილისი, 1964, 411 გვ.
3. Справочное руководство гидрогеолога (редактор Максимов В.М.), т. 1. Изд. «Недра», Ленинградское отделение, Ленинград, 1967, с. 502.
4. Силин-Бекчурин А.И. Динамика подземных вод. Изд. Московского университета, 1958, с. 243.
5. Шестаков В.М., Кравченко И.П., Пашковский И.С. Практикум по динамике подземных вод. Изд. Московского университета, 1969, с. 220.
6. Шестаков В.М., Кравченко И.П., Штенгелов Н.С. Практикум по динамике подземных вод. Изд. Московского университета, 1987, с. 223.
7. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. Москва, «Недра», 1983, с. 257.
8. Богомолов Г.В., Силин-Бекчурин А.И. Специальная гидрогеология. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, Москва, 1955, с. 247.
9. Биндемман Н.И., Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Изд. «Недра», Москва, 1970, с. 215.
10. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. Изд. Московского университета, 1979, с. 368.
11. Каменский Г.Н., Климентов П.П., Овчинников А.М. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Государственное издательство геологической литературы, Москва, 1953, с. 355.

12. Климентов П.П. Сборник задач по динамике подземных вод. Государственное издательство геологической литературы, Москва, 1951, с. 127
13. უ. ზვიადაძე, მ. მარდაშოვა. ქ. თეთრიწყაროს ცენტრალიზებული წყალმომარაგების ალტერნატიული ვარიანტის შესწავლის მიზნით ჩატარებული საველე საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოების ანგარიში. სტუ-ს ბიბლიოთეკა, თბილისი, 2007 წ.
14. უ. ზვიადაძე, მ. მარდაშოვა. ანგარიში ელბაქიდის დაღმართის და საქანელას ქუჩის სარეკონსტრუქციო ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდრო-გეოლოგიური პირობების შესახებ. სტუ-ს ბიბლიო-თეკა, თბილისი, 2008 წ.