

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
უ.ზვიადაძე, მ. მარღაშოვა

საინჟინრო გეოლოგია  
(სახელმძღვანელო)



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ლოგო

დამტკიცებულია სტუის  
სარედაქციო-საგამომ-  
ცემლო საბჭოს მიერ

გამომცემლობა “ტექნიკური უნივერსიტეტი”  
თბილისი  
2011

უაკ 624.131.31

წინამდებარე დამხმარე სახელმძღვანელოში საინჟინრო გეოლოგიის საკითხთა ფართო წრე არის განხილული. განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი ისეთი საინჟინრო-გეოდინამიკური პროცესების აღწერას, როგორცაა კარსტი, სუფოზია, ჯდენები, მეწერები და სხვ., რამდენადაც ჩვენი ქვეყნის ტერიტორიისთვის დამახასიათებელი რთული რელიეფის და სპეციფიკური, მრავალფეროვანი კლიმატის პირობებში აღნიშნული პროცესები ფართოდ არის წარმოდგენილი საქართველოში და განსაკუთრებით მის მაღალმთიან რეგიონებში. სათანადოდ არის გაშუქებული აგრეთვე ჰიდროგეოლოგიის ზოგიერთი საკვანძო საკითხი, რომელთა განხილვის საჭიროება ეჭვგარეშეა, რადგანაც ერთი და იგივე გრუნტის მზიდუნარიანობა და მშენებლობის პრაქტიკაში მისი გამოყენების პირობები სრულიად განსხვავებულია იმის მიხედვით, მშრალია გრუნტი თუ წყალთან კონტაქტში იმყოფება.

ნაშრომი ძირითადი სახელმძღვანელოა ჰიდროგეოლოგიის და საინჟინრო გეოლოგიის მიმართულების მაგისტრატურის და ბაკალავრიატის სასწავლო დისციპლინებში. წარმოდგენილი დამხმარე სახელმძღვანელო შინაარსობრივად და სტრუქტურულად მაქსიმალურად არის მორგებული სასწავლო დისციპლინების სილაბუსებზე.

რეცენზენტები:

სრული პროფესორი  
ასოც. პროფესორი

უ. კავთიაშვილი  
მ. ლაპიაშვილი

# შ ი ნ ა ა რ ს ი

## შესავალი

საინჟინრო გეოლოგიის განმარტება, კვლევის  
თეორიული ამოცანები და მეთოდები . . . . . 6

### თავი I.

ზოგადი ჰიდროგეოლოგიის საფუძვლები . . . . . 11

1. წყლის სახეობანი ქანებში, ქანების წყლოვანი  
თვისებები . . . . . 12

2. მიწისქვეშა წყლების სახეობანი . . . . . 21

3. გრუნტის წყლები . . . . . 22

4. გრუნტის წყლების რეჟიმი . . . . . 25

5. არტეზიული წყლები. . . . . 27

6. მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის მიმართუ-  
ლების და სიჩქარის განსაზღვრა . . . . . 30

7. ხაზობრივი ფილტრაციის ძირითადი კანონი  
(დარსის კანონი) . . . . . 32

8. ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრის  
ხერხები . . . . . 36

9. მიწისქვეშა ნაკადის ერთეული ხარჯის  
განსაზღვრა . . . . . 43

10. მიწისქვეშა წყლების აგრესიულობა რკინისა  
და ბეტონის კონსტრუქციების მიმართ . . . . . 47

თავი II. საინჟინრო გეოლოგიის საფუძვლები . . . . . 50

1. ქანების საინჟინრო-გეოლოგიური კლასი-  
ფიკაცია . . . . . 50

2. ქანების ფიზიკური თვისებები . . . . . 54

2.1 ხვედრითი წონა, ანუ სიმკვრივე . . . . .	54
2.2 მოცულობითი წონა . . . . .	55
2.3 ფორიანობა . . . . .	56
2.4 ტენიანობა . . . . .	59
2.5 თიხური ქანების პლასტიკურობა . . . . .	60
2.6 გრანულომეტრიული შემადგენლობა . . . . .	64
3. ქანების მექანიკური თვისებები . . . . .	67
3.1 წინაღობა კუმშვაზე (კომპრესია) . . . . .	67
3.2 წინაღობა ძვრაზე . . . . .	73
თავი III.	
საინჟინრო-ბეოლოგიური პროცესები . . . . .	79
1. დაწოლის (დატვირთვის) გავლენით ქანების შემკვრივება . . . . .	80
2. ქანების შემკვრივება ტენიანობის გადიდების შედეგად (ლიოსისებური ქანების ჯდომადობა) . . . . .	82
3. თიხური ქანების შემკვრივება ტენიანობის შემცირების შედეგად . . . . .	87
4. პროცესები, რომლებიც დაკავშირებულია ქანების მოცულობის გადიდებასთან . . . . .	88
5. ქანების მოცულობის შეცვლა სუფოზიური პროცესების გავლენით . . . . .	91
5.1 მექანიკური სუფოზია . . . . .	91
5.2 ქიმიური სუფოზია (კარსტი) . . . . .	92
6. პროცესები, რომლებიც ქანების ძვრასთან და გადაადგილებასთან არის დაკავშირებული . . . . .	95
6.1 მეწყრული პროცესის დინამიკა . . . . .	104

6.2 მეწყერების კლასიფიკაცია . . . . .	109
6.3 მეწყერული ფერდობების და ხელოვნური ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშება . .	112
6.4 ფერდობების მდგრადობის შეფასება სააგ- ტომობილო გზის ვაკისის მოწყობასთან დაკავშირებით . . . . .	117
6.5 მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებები . . . . .	120
თავი IV.	
სეისმური მოვლენები და ანტისეისმური მშენებლობა . . . . .	126
თავი V.	
სამთო წნევა, ქანების და დედამიწის ზედა- პირის დაძვრა . . . . .	133
1. სამთო წნევის განსაზღვრა . . . . .	134
2. სამთო წნევის და მისგან გამოწვეული დეფორ- მაციების გაზომვა . . . . .	135
3. ქანების დაძვრა . . . . .	136
4. დედამიწის ზედაპირის დაძვრა . . . . .	137
დასკვნა	140
ლიტერატურა	141

## შესავალი

### საინჟინრო გეოლოგიის განმარტება, კვლევის თეორიული ამოცანები და მეთოდები

ცნობილია, რომ გეოლოგია არის მეცნიერება დედამიწის შესახებ, რომელიც შეისწავლის დედამიწის სფეროს (განსაკუთრებით მისი ზედა ნაწილის – ლითოსფეროს) შედგენილობას, აგებულებას და დედამიწის, როგორც პლანეტის, გეოლოგიური განვითარების ისტორიას.

საინჟინრო გეოლოგია ზოგადად გეოლოგიის ცალკე დარგია და წარმოადგენს მეცნიერებას სხვადასხვა დანიშნულების მშენებლობისა და ტერიტორიის სამეურნეო ათვისების გეოლოგიური პირობების შესახებ. იგი სწავლობს და აფასებს იმ გეოლოგიურ ფაქტორებს, რომლებიც ზემოქმედებს საინჟინრო ნაგებობაზე; მისი მშენებლობის ადგილის შერჩევაზე, კონსტრუქციაზე, სამუშაოს წარმოების მეთოდზე და ა.შ.

საინჟინრო გეოლოგია განიხილავს ქანს, როგორც საძირკველს ნებისმიერი ტიპის ნაგებობისთვის და, მეორე მხრივ, როგორც გარემოს, რომელშიც გათვალისწინებულია სამშენებლო სამუშაოების შესრულება. აქ იგულისხმება, ძირითადად, მიწისქვეშა ნაგებობები – სატრანსპორტო გვირაბები, საითო გამონამუშევრები, დახურული სადერივაციო გვირაბები, სამხედრო სტრატეგიული დანიშნულების ობიექტები და ა.შ.

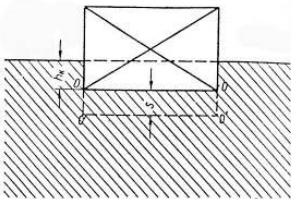
საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევები დროში წინ უსწრებს მშენებლობას და წინასწარი დაპროექ-

ტების სტადიაზე ტარდება. თუმცა, ზოგიერთი საკითხის დაზუსტება შეიძლება მუშა ნახაზების ან უშუალოდ მშენებლობის სტადიაზეც მოხდეს. გამოკვლევების მთავარი მიზანი არის მშენებლობის დასაბუთება საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით.

ისევე, როგორც მეცნიერების ნებისმიერ დარგს, საინჟინრო გეოლოგიას აქვს კვლევის თეორიული ამოცანები, რომელთაგან აღვნიშნავთ მთავარს.

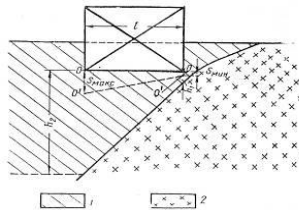
1. სხვადასხვა ნაგებობების ქვეშ განლაგებული ქანების (გრუნტის) შედგენილობის და აგებულების შესწავლა, რადგანაც სწორედ ეს მაჩვენებლები განსაზღვრავს ქანის ქცევას სამშენებლო დატვირთვის პირობებში.

ნათქვამის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ სქემა.



ნახ. 1. სქემა, რომელიც გვიჩვენებს იმ ნაგებობის დაჯდომას, რომელიც აშენებულია თიხური ქანებით წარმოდგენილ ერთგვაროვან საპირკველზე;

$h_x$  - ქვაბულის სიღრმე;  $o-o'$  - საპირკველის სიბრტყე;  $S$  - ნაგებობის დაჯდომის სიდიდე



ნახ. 2. სქემა, რომელიც გვიჩვენებს ნაგებობის დაჯდომას არაერთგვაროვანი საპირკველის შემთხვევაში;

1-თიხა; 2 - გრანიტი;  $h_1$  და  $h_2$  - თიხის სიმძლავრე ნაგებობის საპირისპირო კვეთებში;  $S_{max}$  და  $S_{min}$  - ნაგებობის მაქსიმალური და მინიმალური დაჯდომის სიდიდეები;  $l$  - ნაგებობის სიგრძე;

პირველ შემთხვევაში საძირკვლის გრუნტი მთლიან მასაში ერთგვაროვანი ჰომოგენური თიხნარით არის წარმოდგენილი. გრუნტის დამატებითი შემჭიდროება ( $S$ ), რომელიც ნაგებობის წონით არის გამოწვეული, თანაბარია ფუნდამენტის მთლიან ფართობზე, რის გამოც ნაგებობის დეფორმაციას ადგილი არ აქვს.

მეორე შემთხვევაში ფუნდამენტის ქვეშ შედგენილობით და აგებულებით ერთმანეთისაგან სრულიად განსხვავებული ქანები არის განლაგებული. კერძოდ, ჭრილის ქვედა ნაწილი წარმოდგენილია ძალზე მტკიცე, კლდოვანი ქანით. ამიტომ ნაგებობის იმ კვეთში, სადაც საკონტაქტო ზედაპირი არაღრმად არის განლაგებული, ნაგებობის წონით გამოწვეული დამატებითი შემჭიდროება მინიმალურია ( $S_{\min}$ ), ხოლო მის მოპირდაპირე კვეთში საძირკვლის გრუნტის დაჯდომა მაქსიმალურია ( $S_{\max}$ ). ნაგებობის არათანაბარი დაჯდომის ხარისხი გამოითვლება ფორმულით:

$$i = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{l}$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც არათანაბარი დაჯდომის ხარისხი აღემატება კონსტრუქციის მდგრადობის მარაგს, ადგილი აქვს ნაგებობის დეფორმაციას, ზოგჯერ ნგრევასაც კი.

2. ისეთი გეოლოგიური პროცესების შესწავლა, რომლებიც მიმდინარეობდა სამშენებლო უბანზე მშენებლობის დაწყებამდე ან აღიძრა შემდგომში ბუნებრივად არსებულ წონასწორულ მდგომარეობაში საინჟინრო ჩარევის შედეგად. ამ პროცესებს მიეკუთვნება:

დაჯდომა, შეკლება, ჯდენა, ბურცვა-გაჯირ-  
ჯვება, სუფოზია, მეწყერი, გამოფიტვა და ა.შ.

3. სასარგებლო წიაღისეულის საბადოების დამუ-  
შავების საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების  
შესწავლა. აქ იგულისხმება საბადოების დამუ-  
შავება როგორც მიწისქვეშა სამთო გამონამუ-  
შევრებით (შახტა, შტოლნა, შტრეკი და სხვ.),  
ასევე დამუშავება ღია წესით, კარიერების  
საშუალებით. აღნიშნული ამოცანის გადაწყ-  
ვეტისას მნიშვნელოვანია ისეთი საკითხების  
შესწავლა, როგორცაა მასივის ფიზიკური  
მდგომარეობა, საინჟინრო-გეოლოგიური პრო-  
ცესები, ტემპერატურული პირობები, გამონამუ-  
შევრებში მიწისქვეშა წყლების მოდინება,  
მათი ქიმიური შედგენილობა და სამშენებლო  
მასალების მიმართ აგრესიულობა, სამთო  
წნევების განაწილება და სხვ.
4. სადღეისოდ არსებული საინჟინრო-გეოლოგიუ-  
რი ღონისძიებების სრულყოფა და ნაგებობათა  
მშენებლობისა და ექსპლუატაციის კონკრე-  
ტული საჭიროებებიდან გამომდინარე, უფრო  
თანამედროვე ღონისძიებების შემუშავება.

საინჟინრო გეოლოგიის ზემოთ ჩამოთვლილი  
ამოცანების გადასაწყვეტად შემდეგი ძირითადი  
მეთოდები გამოიყენება:

1. ტერიტორიის გეოლოგიური განვითარების ბუ-  
ნებრივ - ისტორიული ანალიზი ანუ *გეოლოგი-  
ური მეთოდი*. ამ უმთავრესი მეთოდის გამო-  
ყენების ეფექტიანობა მთლიანად გეოლოგიის  
თეორიულ ცოდნაზე და პრაქტიკულ გამოცდი-  
ლებაზე არის დამოკიდებული, რადგანაც  
მხოლოდ ამ მონაცემებზე დაყრდნობით არის

- შესაძლებელი სამშენებლო ობიექტის გეოლოგიური გარემოს სწორად შეფასება;
2. *ექსპერიმენტული მეთოდი*, ანუ ქანების წყლოვანი, ფიზიკური და მექანიკური თვისებების შესწავლა ლაბორატორიულ პირობებში ან უშუალოდ ველზე სპეციალური ხელსაწყოების და აპარატურის გამოყენებით; ქანების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებში იგულისხმება ისეთი მახასიათებლების განსაზღვრა, როგორცაა სიმკვრივე, მოცულობითი წონა, ტენიანობა, პლასტიკურობა, კომპრესია, წინაღობა ძვრაზე და სხვ. ამ მახასიათებლების რაოდენობრივი მაჩვენებლები ნაგებობათა დაპროექტების საფუძველს შეადგენს.
  3. *ანალოგიის მეთოდი* იმ შემთხვევაში გამოიყენება, როდესაც მშენებლობის გეოლოგიური გარემო და ნაგებობის კონსტრუქცია მსგავსია უკვე არსებული სხვა ობიექტისა. ამ დროს, გამოცდილებაზე დაყრდნობით, შესაძლებელია საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევების მოცულობის მკვეთრად შემცირება და შესაბამისად, სამუშაოების დაჩქარება და მათი გაიაფება;
  4. *მოდელირების მეთოდი* მდგომარეობს ბუნებრივ პირობებთან მაქსიმალურად მიახლოებული საცდელი მოდელის დამზადებაში, რომელსაც ლაბორატორიაში გამოცდიან. ეს მეთოდი ძვირადღირებულია, რის გამოც მას მხოლოდ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი და პასუხსაგები ობიექტების მშენებლობისას იყენებენ, როგორცაა მაგალითად, მსხვილი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები – კაშხლები, წყალსაცავები, სადურიაციო გვირაბები და ა.შ.

საინჟინრო გეოლოგია დაკავშირებულია გეოლოგიური მეცნიერების სხვადასხვა დარგებთან, როგორცაა მინერალოგია (მეცნიერება მინერალების შესახებ), პეტროგრაფია (მეცნიერება ქანების შესახებ), გრუნტების მექანიკა (მეცნიერება გრუნტების თვისებების შესახებ) და სხვ. საინჟინრო გეოლოგია განსაკუთრებით მჭიდროდ არის დაკავშირებული ჰიდროგეოლოგიასთან, რომელიც წარმოადგენს მეცნიერებას მიწისქვეშა წყლების შესახებ. მშრალ მდგომარეობაში ქანის ფიზიკური და მექანიკური თვისებები, მისი მზიდუნარიანობა მკვეთრად განსხვავდება ანალოგიური მანქანებისაგან წყალში დასველების შემდეგ. ამის გამო, ჰიდროგეოლოგიის საფუძვლების ცოდნა აუცილებელი წინაპირობაა ინჟინერ-გეოლოგის წარმატებული საქმიანობისთვის.

## **თავი I. ზოგადი ჰიდროგეოლოგიის საფუძვლები**

ჰიდროგეოლოგია არის მეცნიერება მიწისქვეშა წყლების შესახებ, რომელიც შეისწავლის ამ წყლების წარმოშობას, მიწის ქერქში მათი გავრცელების კანონზომიერებებს, მოძრაობის კანონებს და ქიმიურ შედგენილობას. მიწისქვეშა წყლები ორგვარი თვალსაზრისით შეიძლება იქნას განხილული:

- როგორც სასარგებლო წიაღისეული, რომლის ბაზაზეც წყდება ადამიანთა საზოგადოებისათვის უმნიშვნელოვანესი, სხვადასხვა დანიშნულების წყალმომარაგების ამოცანა;
- როგორც ხელშემშლელი ფაქტორი ნაგებობათა მშენებლობის და მათი შემდგომი ექსპლუატაციის პროცესში.

საინჟინრო – გეოლოგიურ კვლევებში მიწის-  
ქვეშა წყლების როლი სწორედ ნეგატიურ ზემოქმე-  
დებაში ვლინდება.

ჰიდროგეოლოგია შინაარსობრივად კომპლექ-  
სური მეცნიერებაა და მოიცავს ზოგად ჰიდრო-  
გეოლოგიას, მიწისქვეშა წყლების დინამიკას, რეგიო-  
ნულ ჰიდროგეოლოგიას, სწავლებას მინერალური,  
სამკურნალო, თერმული და სამრეწველო წყლების  
შესახებ და ა.შ.

## 1. წყლის სახეობანი ქანებში, ქანების წყლოვანი თვისებები

ბუნებაში აბსოლუტურად მშრალი ქანი არ  
არსებობს. თვით სრულკრისტალური ინტრუზიული  
ქანებიც კი შეიცავს წყალს ამა თუ იმ რაოდენობით.  
ქანში წყლის არსებობის შემდეგ ძირითად ფორმებს  
არჩევენ:

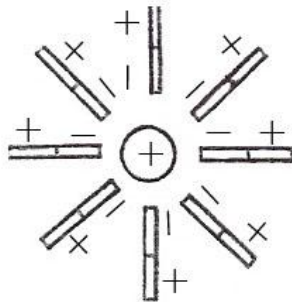
- წყალი ორთქლის სახით;
- ფიზიკურად შეკავშირებული ანუ ბმული წყალი;
- თავისუფალი წყალი;
- წყალი მინერალთა შემადგენლობაში.

განვიხილოთ ეს სახეობანი.

წყლის ორთქლი დამახასიათებელია უმთავ-  
რესად 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

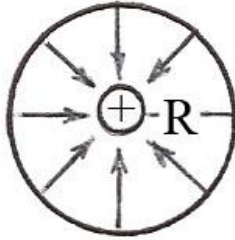
შედგენილობის, წვრილდისპერსული ( $d \leq 0.002$  მმ) ქანებისთვის. თიხის წვრილდისპერსული ნაწილაკები, როგორც წესი, დადებითი ან უარყოფითი მუხტის მატარებელია, იმის მიხედვით, თუ რომელი იონებია აღსორბირებული ნაწილაკის ზედაპირზე. ამის შედეგად ნაწილაკის ირგვლივ წარმოიქმნება ელექტრული ველი, რომელიც მიიზიდავს რა წყლის დიპოლური აღნაგობის მოლეკულებს, ეწინააღმდეგება წყლის თავისუფლად გადაადგილებას.



**ნახ. 3. თიხის ნაწილაკებით წყლის მოლეკულების აღსორბცია**

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

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



ნახ. 4. ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის სქემა

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

ქანში ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის არსებობა გაიგივებულია ქანის მოლეკულური ტენტევალობის ცნებასთან, რომლის ქვეშ იგულისხმება ქანის უნარი შეაკავოს ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის გარკვეული რაოდენობა, ანუ იმ წყლისა, რომელიც ფორებსა და სიცარიელებს კი არ ავსებს, არამედ ჰიდრატული ან სოლვატური გარსების სახით გვხვდება და დაკავშირებულია ქანის ნაწილაკებთან ზედაპირული სორბციული ძალებით. ამასთან, ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის იმ მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელიც შეიძლება შეაკავოს ქანმა მარცვლების ზედაპირზე, მაქსიმალურ მოლეკულურ ტენტევალობას უწოდებენ და აღნიშნავენ -  $W_{აა.ტ}$ .

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

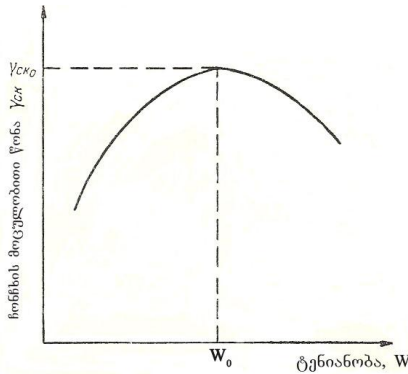
ფიზიკურად შეკავშირებული წყალი უშუალო ზეგავლენას ახდენს ქანის, როგორც საძირკვლის გრუნტის ზოგიერთ მნიშვნელოვან მახასიათებელზე - კერძოდ, კუმშვადობაზე, პლასტიკურობაზე, წყალ-

გამტარობაზე, წყალგაცემაზე და ა.შ. ამ მახასიათებლებს მოგვიანებით განვიხილავთ, აქ კი აღვნიშნავთ, რომ ქანის წყალგაცემა არის სხვაობა სრულ ტენტევალობასა და მაქსიმალურ მოლეკულურ ტენტევალობას შორის:  $W_{\text{წკ}} = W_{\text{სრტ}} - W_{\text{მმტ}}$ .

სადაც  $W_{\text{სრტ}}$  - ქანის სრული ტენტევალობაა, ანუ ტენის ის მაქსიმალური რაოდენობა, რომელიც შეიძლება დაიტოს ერთეული მოცულობის ქანმა სრული გაჯერების პირობებში, როდესაც ქანში არსებული ყველა ფორი და სიცარიელე შევსილია გრავიტაციული წყლით. მაშასადამე, წყალგაცემა ახასიათებს ქანის უნარს გასცეს მასში არსებული წყალი თავისუფალი გამოდინების პირობებში. ცხადია, რაც უფრო მეტია ქანის მაქსიმალური მოლეკულური ტენტევალობა, მით უფრო ნაკლებია მისი წყალგაცემა და პირიქით. კერძოდ, თიხური შედგენილობის ქანში არსებული ტენის 95-98% ფიზიკურად შეკავშირებულ მდგომარეობაში იმყოფება და თავისუფლად გამოდინების უნარს მოკლებულია, შესაბამისად, წყალგაცემა აქ 2-5%-ს არ აღემატება, მაშინ, როდესაც ქვიშნარ გრუნტებში არსებული წყლის ძირითადი მასა თავისუფალი წყალია და ამის გამო, წყალგაცემის სიდიდე 95-98%-ს შეადგენს. აღნიშნული გარემოება ნათლად ვლინდება სამშენებლო ქვაბულის მოწყობისას, სახელოდობრ, თიხნარ ქანში ჩაღრმავებული ქვაბული პრაქტიკულად მშრალია, ქვიშიან ქანებში ქვაბულის მოწყობა კი, უმეტეს შემთხვევაში, ქვაბულიდან წყლის ამოტუმბვასთან ან დრენაჟის აუცილებლობასთან არის დაკავშირებული. ქანის წყალგაცემის მახასიათებელს დიდი მნიშვნელობა აქვს ზოგიერთი პრაქტიკული საკითხის გადაწყვეტისას,

მაგალითად, დრენაჟის სისტემის მშენებლობისას ქანის დაშრობის შესაძლებლობის და ინტენსიურობის დასადგენად, ქვაბულში წყლის მოდინების გამოსაანგარიშებლად და ა.შ.

პრაქტიკული თვალსაზრისით საინტერესოა ქანის მოცულობით წონასა და მაქსიმალურ მოლეკულურ ტენტევადობას შორის დამოკიდებულების საკითხი. ფუნქციონალურად ეს დამოკიდებულება აისახება მრუდის სახით, გადაღუნვის ერთი მაქსიმალური ორდინატით.



**ნახ. 5. თიხნარის ტენიანობის გავლენა მის შემკვრივებაზე დინამიური დატვირთვის პირობებში**

$W_0$  - შემკვრივების ოპტიმალური ტენიანობა (ახლოსაა მაქსიმალური მოლეკულური ტენტევადობის სიდიდესთან);  $\gamma_{ჩონჩხ}$  - ჩონჩხის მოცულობითი წონა ოპტიმალური ტენიანობის დროს

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ქანის ოპტიმალურ (მაქსიმალურ) მოცულობით წონას ( $\gamma_{ოპტ}$ ), რომლის

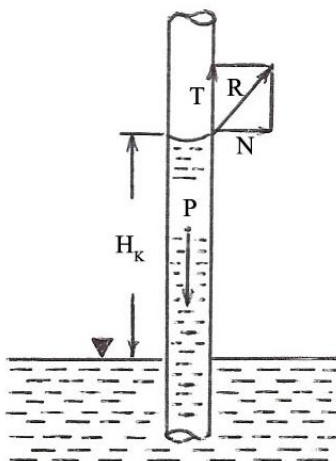
დროსაც ქანის კუმშვადობის კოეფიციენტი მინიმალურია, შეესაბამება ტენიანობის ასევე ოპტიმალური სიდიდე ( $W_{\text{ოპტ}}$ ). სათანადო გაზომვებით დადგენილია, რომ ტენიანობის ეს ოპტიმალური სიდიდე მაქსიმალური მოლეკულური ტენტევადობის ( $W_{\text{მ.ტ.}}$ ) ტოლია. აღნიშნული გარემოება გამოიყენება არამკვრივი გრუნტის მოცულობითი წონის ხელოვნურად გასადიდებლად, ანუ მის შესამჭიდროებლად, რათა ნაგებობის წონით გამოწვეულმა დამატებითმა დაჯდომამ არ გადააჭარბოს დასაშვებ სიდიდეს. ამ მიზნით მიმართავენ გრუნტის დატკეპნას, რაც სპეციალური სატკეპნი მექანიზმებით ხორციელდება. დატკეპნის პროცესში ხდება გრუნტის დატენიანება წყლის ცალკეული ულუფებით, სანამ ტენიანობა მაქსიმალური მოლეკულური ტენტევადობის სიდიდეს არ მიაღწევს. თუ მიწოდებული წყლის რაოდენობამ ამ სიდიდეს გადააჭარბა, ადგილი ექნება უკუეფექტს, ანუ მოცულობითი წონის შემცირებას.

### თავისუფალი წყალი

ქანში ორი სახეობის თავისუფალი წყალი გვხვდება:

- ა) კაპილარული და
- ბ) 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. 6. კაპილარში სითხის მოძრაობის სქემა

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

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

ვლება ფორმულით: 
$$H_{\text{კ}} = \frac{2a^2}{r\gamma g}$$

სადაც  $H_{\rho}$  - წყლის კაპილარული აწვევის სიმაღლეა, სმ;  $a$  - კაპილარული მუდმივა;  $r$  - კაპილარის რადიუსი, სმ;  $\gamma$  - წყლის სიმკვრივე, გ/სმ<sup>3</sup>;  $g$  - თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, სმ/წმ<sup>2</sup>.

კაპილარული აწვევის ძალა, ანუ წყლის მენისკის ამწვევი ძალა, შეფარდებული კაპილარის წრიული კვეთის ერთეულ ფართობთან, გამოითვლება ლაპლასის ფორმულით:  $P_{\rho} = \frac{2\sigma}{r}$

კაპილარული აწვევის ზონაში განვითარებული დამატებითი დაწნევა კი, გამოითვლება ფორმულით:  $\sigma_{\rho} = H_{\rho}\gamma$ , სადაც

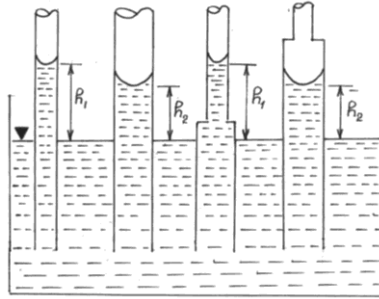
$H_{\rho}$  - კაპილარული აწვევის სიმაღლეა, სმ;

$\gamma$  - წყლის სიმკვრივე, გ/სმ<sup>3</sup>;

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

$$H_{\rho} = \frac{29.8}{d}$$

სადაც  $d$  - კაპილარის დიამეტრია, მმ. კაპილარული აწვევის სიმაღლესა და კაპილარის დიამეტრს შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულების საილუსტრაციოდ განვიხილოთ სქემა.



ნახ. 7. კაპილარული აწევის სიმაღლის დამოკიდებულება კაპილარის დიამეტრზე

პირველი მილი უფრო წვრილია, ვიდრე მეორე, ამიტომ კაპილარული აწევის 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 აწევის 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 აწევის სიმაღლე სხვადასხვაა:

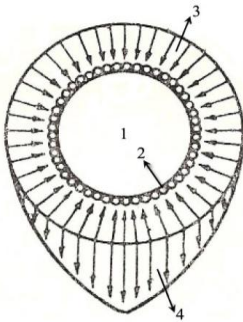
თიხაში  $H_{კ} \geq 4$  მ.

თიხნარში  $H_{კ} = 1 - 4$  მ.

ქვიშნარში  $H_{კ} \leq 1$  მ.

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

გრაფიტაციული ეწოდება წყალს, რომელიც თავსდება ქანის ფორებში, ნაპრალებსა და სიცარიელეებში და გადაადგილდება საკუთარი სიმძიმის ძალის გავლენით მაღალი დონის (დაწნევის) უბნებიდან დაბალი დონის (დაწნევის) უბნებისაკენ.



1 - მუხტის მატარებელი ნაწილაკი; 2 - ჰიგროსკოპული წყალი; 3 - შეკავშირებელი წყალი; 4 - გრაფიტაციული წყალი.

ნახ.8. 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 -  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ;

ეფსომიტი –  $MgSO_4 \cdot 6H_2O$  და ა.შ.

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

## 2. მიწისქვეშა წყლების სახეობანი

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

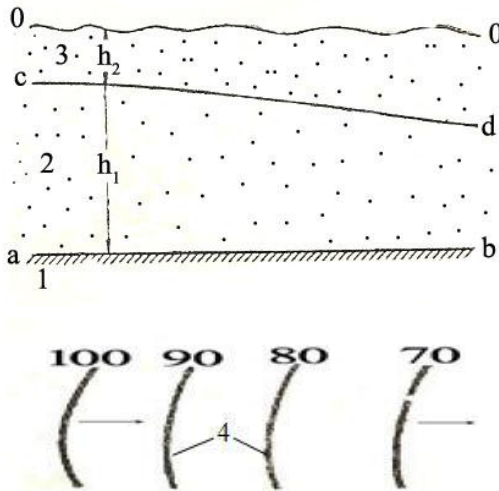
- გრუნტის წყლები;
- არტეზიული წყლები.

გარდა ზემოთ დასახელებულისა, არჩევენ მიწისქვეშა წყლების სხვა სახესხვაობებსაც, როგორცაა ძარღვული, ნაპრაღური, ფენური, კარსტული და ა.შ., მაგრამ ისინი შედარებით მცირე გავრცელებისაა და საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით ნაკლებად საინტერესოა.

## 3. 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 ჰორიზონტის სტრუქტურა ჭრილში შემდეგნაირად გამოისახება:



ნახ. 9. გრუნტის წყლის ჰორიზონტის სქემა

1-წყალგაუმტარი საგები ფენი; 2-გრუნტის წყლის ჰორიზონტი; 3-აერაციის ზონა; 4-ჰიდროიზოჰიფსები; ab - წყალგაუმტარის სახურავი; cd-გრუნტის წყლების სარკე; 0-0-მიწის ზედაპირი;

→ ნაკადის მიმართულება

- აერაციის ანუ ინფილტრაციის ზონა წარმოადგენს ჭრილის იმ ნაწილს, რომლის გავლითაც ატმოსფერული ნალექები, ზედაპირული ან კონდენსაციური წყლები ჩაიუონება მიწის სიღრმეში;
- გრუნტის წყლის ზედაპირი ანუ სარკე ნაკადს ზემოდან შემოსაზღვრავს. ეს თავისუფალი ზედაპირია, რომელზეც ჰიდროსტატიკური წნევა ატმოსფერული წნევის ტოლია. ამის გამო

გრუნტის წყლებს უდაწნეო წყლებსაც უწოდებენ;

- საკუთრივ გრუნტის წყლების ჰორიზონტი 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;
- *დადმავალი წყარო* ანუ გრუნტის წყლის ნაკადის ბუნებრივი განტვირთვა მიწის ზედაპირზე, რასაც ადგილი აქვს იქ, სადაც გრუნტის წყლის ზედაპირი, ანუ სარკე გადაკვეთს რელიეფს (სქემაზე არ ჩანს);
- *ჰიდროიზოჰიფსები*, ანუ წარმოსახვითი მრუდები, რომლებიც მიიღება, თუ გრუნტის წყლის ჰორიზონტის სარკეს გადაკვეთთ ერთმანეთისგან თანაბარი სიმაღლით დაშორებული ჰორიზონტალური სიბრტყეებით. ჰიდროიზოჰიფსების საშუალებით გრუნტის წყლის ჰორიზონტი გამოისახება გეგმაში იგივე პრინციპით, როგორც ხდება რელიეფის გეგმაში გამოხაზვა იზოჰიფსების საშუალებით. მაშასადამე, ჰიდროიზოჰიფსი წარმოადგენს მრუდს, რომელიც ერთმანეთთან აერთებს გრუნტის წყლის ზედაპირზე მდებარე,

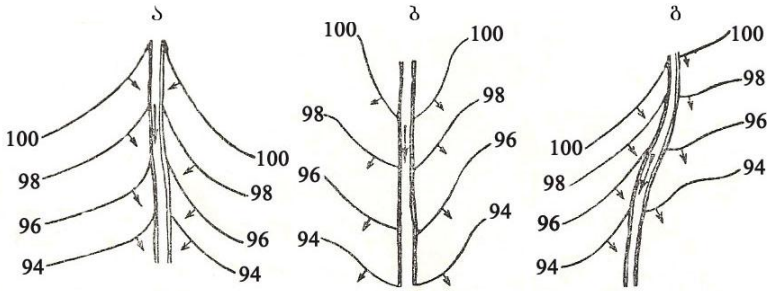
ერთნაირი აბსოლუტური ნიშნულების მქონე წერტილებს. გეგმაში გამოსახვის სიზუსტე მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მცირეა ჰიდროიზოჰიფსებს შორის კვეთის სიმაღლე.

გრუნტის წყლები არადრმა 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 ჰიდრაულიკური 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 ფერდობზე მდინარის წყლით იკვებება, რაც კარგად ჩანს ჰიდროიზოჰიფსების 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. 10. ჰიდროიზოჰიფსების ფორმა ზედაპირული და გრუნტის წყლების სხვადასხვა თანაფარდობისას**

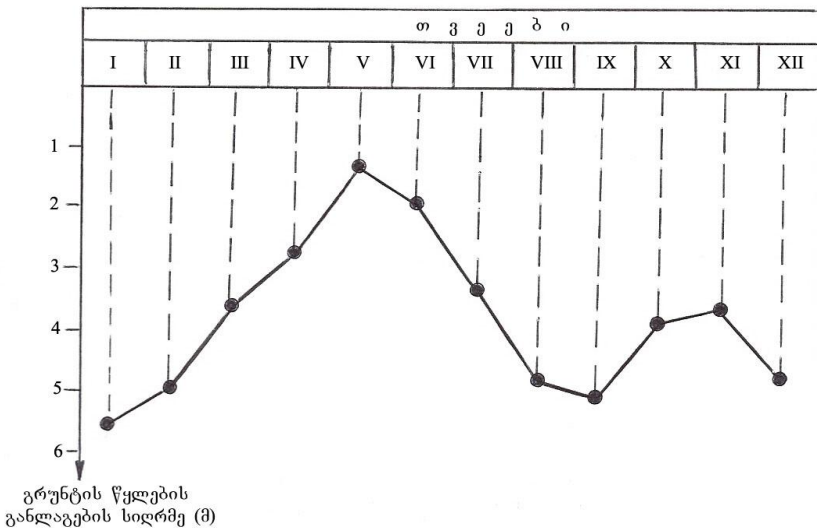
*ა-მდინარე იკვებება გრუნტის წყლებით, მათი სარკე დახრილია მდინარისკენ; ბ-მდინარე კვებავს გრუნტის წყლებს, სარკე დახრილია მდინარიდან; ბ-მდინარე კვებავს გრუნტის წყლებს მარცხენა ფერდობზე და კრებს მათ მარჯვენა ფერდობიდან*

#### 4. გრუნტის წყლების რეჟიმი

ატმოსფერულ ნალექებთან და ზედაპირულ წყლებთან მჭიდრო ჰიდრავლიკური კავშირის გამო, გრუნტის წყლებს წელიწადის სეზონების მიხედვით მნიშვნელოვანი ცვლილებები ახასიათებს. ეს, პირველ რიგში, შეეხება გრუნტის წყლების ისეთ მაჩვენებლებს, როგორცაა განლაგების სიღრმე -  $h$ , მ; ნაკადის ხარჯი -  $q$ , მ<sup>3</sup>/დღ. ან ლ/წმ; ტემპერატურა - ( $T^{\circ}C$ ) და ქიმიური შედგენილობა. ამ მაჩვენებლებს რეჟიმის პარამეტრები ეწოდება, ხოლო დროში მათ ცვალებადობას - გრუნტის წყლების რეჟიმი. ნაგებობათა მშენებლობის და შემდგომში მათი ექსპლუატაციის სწორად წარმართვისთვის გრუნტის წყლების რეჟიმის შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს. რეჟიმული დაკვირვებები სპეციალური სარეჟიმო ქსელის მეშვეობით ხორციელდება. ამ მიზნით გაჰყავთ სარეჟიმო ჭაბურღილები ან შურფები იმის

მიხედვით, თუ როგორია გრუნტის წყლების განლაგების სიღრმე. გაზომვები დროის გარკვეული ინტერვალებით ტარდება, უმეტესად 3 დღეში ერთხელ, ზოგჯერ დეკადაში ერთხელ. ქიმიური ანალიზისთვის სინჯის აღება სეზონების მიხედვით ხდება, წელიწადში ოთხჯერ.

რეჟიმული დაკვირვებების მონაცემები უნდა გაფორმდეს ცხრილების და გრაფიკების სახით, რომლებიც რეჟიმული პარამეტრების დროზე დამოკიდებულებას ასახავს.



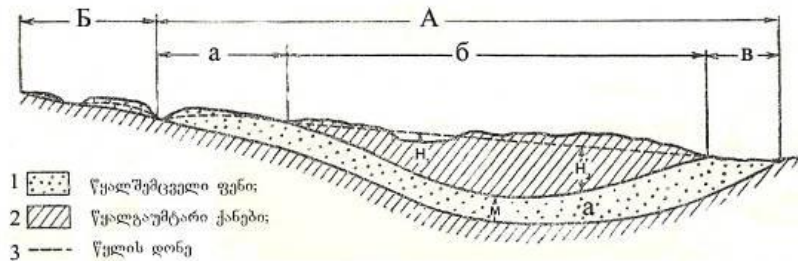
ნახ. 11. გრუნტის წყლების დონეების ცვალებადობა წელიწადის თვეების მიხედვით

### 5. არტეზიული წყლები

არტეზიული წყალი ღრმა ცირკულიაციის დაწნევითი წყალია, რომელიც ზემოდან და ქვემოდან

წყალგაუმტარი ქანებით შემოსაზღვრულ წყალ-შემცველ ფენში მოძრაობს.

გეოლოგიურ ჭრილში ტიპური არტეზიული აუზის სტრუქტურა შემდეგნაირად გამოისახება:



ნახ. 12. არტეზიული აუზის აგებულების სქემა

*A*—არტეზიული წყლების გავრცელების საზღვრები; *a*—კეების არე; *ბ*—დაწნევის არე; *ბ*—განტვირთვის არე; *Б*—გრუნტის წყლების გავრცელების საზღვრები;  $H_1$  — დაწნევის დონე მიწის ზედაპირის ზევით;  $H_2$  — დაწნევის დონე მიწის ზედაპირის ქვევით; *M* — არტეზიული ჰორიზონტის სიძლიავერე (*მ*).

1. არტეზიული დაწნევითი ჰორიზონტი ანუ ფენი, რომელიც ლითოლოგიურად კარგად წყალგამტარი ქანებით — ქვიშით, ხრეშით, 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 შევადარებთ. მეტი სიზუსტისთვის განვმარტავთ, რომ სქემაზე პუნქტორით 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 ხასიათდება

კუმშვადობის კოეფიციენტის სიდიდით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP},$$

სადაც  $V$  არის სითხის საწყისი მოცულობა;

$dV$  – მოცულობის შეცვლის სიდიდე  $dP$  გრაფიკაციული დაწოლის ზემოქმედებით.

ფენში შეკუმშულ მდგომარეობაში არსებული წყალი ღრეკად თვისებას იძენს, ამიტომ არტეზიული ფენის ჭაბურღილით გადაკვეთისას წყალი მოძრაობს ქვევიდან ზევით, სანამ არ მიაღწევს პიეზომეტრული ზედაპირის ნიშნულს.

ბ) კეების არეში წნევიანი ჰორიზონტის გამოსავლის ნიშნული გაცილებით უფრო მაღალია განტვირთვის არეში გამოსავლის ნიშნულთან შედარებით. ნიშნულების მკვეთრი განსხვავების გამო, წყლის მოძრაობა ზიარჭურჭლის კანონის მიხედვით ხდება.

$\epsilon$  – განტვირთვის არე, სადაც ადგილი აქვს წნევიანი მიწისქვეშა წყლების ბუნებრივ განტვირთვას აღმაავალი წყაროების სახით.

$H$  – ჰიდროსტატიკური დაწნევა, ანუ ვერტიკალური მანძილი ( $m$ ) წნევიანი ჰორიზონტის სახურავი გვერდიდან პიეზომეტრულ ზედაპირამდე.

$M$  – წნევიანი წყაშემცველი ფენის სიმძლავრე, ანუ სისქე ( $m$ ).

გრუნტის წყლებისგან განსხვავებით, არტეზიული წყლები განლაგების დიდი სიღრმით და ფილტრაციის დიდი მანძილით ხასიათდება, რაც მათ

გაჭუჭყიანებისგან საიმედოდ იცავს. მიუხედავად იმისა, რომ მშენებლობის პირობებზე არტეზიული წყალი უშუალო ზეგავლენას არ ახდენს, იგი ფართოდ გამოიყენება სახალხო მეურნეობაში წყალმომარაგების მიზნით და გარდა ამისა, ბუნებრივი დაცულობის მაღალი ხარისხის გამო, სტრატეგიული მნიშვნელობა ენიჭება, განსაკუთრებით ატომური ომის პირობებში.

### 6. მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის მიმართულების და სიჩქარის განსაზღვრა

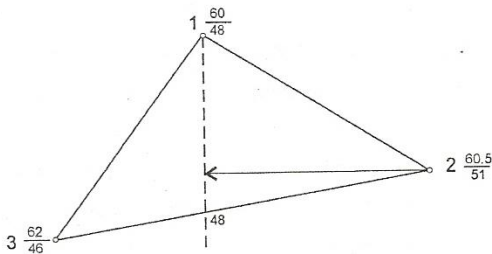
რიგი პრაქტიკული საინჟინრო საკითხების გადასაწყვეტად საჭირო ხდება მიწისქვეშა წყლების ჰიდროდინამიკური მაჩვენებლების შესწავლა, მათ შორის, ნაკადის მოძრაობის მიმართულების და სიჩქარის განსაზღვრა. თუ ხელთა გვაქვს ჰიდროიზოჰიფსების რუკა, საკითხი მარტივად წყდება, რადგანაც ნაკადის მოძრაობის მიმართულება ნებისმიერ წერტილში არის ამ წერტილში ჰიდროიზოჰიფსისადმი გავლებული პერპენდიკულარი, რომელიც მიმართულია ნიშნულების შემცირებისკენ.



ნახ. 13. ნაკადის მიმართულების განსაზღვრა ჰიდროიზოჰიფსების რუკის მიხედვით

იმ შემთხვევაში, როდესაც ასეთი რუკა არ არსებობს, ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა სამი

ჭაბურღილის გაყვანა, რომლებიც არ უნდა იყოს განლაგებული წრფეზე, არამედ ქმნიდეს ე.წ. ტიპის სამკუთხედს (ტიპი მკვლევარის გვარია). თითოეულ ჭაბურღილში იზომება წყლის სარკის განლაგების სიღრმე. ტოპოგეგმის საფუძველზე ვიცით ჭაბურღილის პირის აბსოლუტური ნიშნული. სხვაობა ამ სიდიდესა და ჭაბურღილში წყლის დონეს შორის წარმოადგენს დონის აბსოლუტურ ნიშნულს მოცემულ ჭაბურღილში. ინტერპოლაციის მეთოდით ვპოულობთ ერთნაირი აბსოლუტური ნიშნულების მქონე წერტილებს, რომელთა შეერთებით გავატარებთ ჰიდროიზოჰიფსს, ხოლო მისდამი პერპენდიკულარი, მიმართული დაბალი ნიშნულისაკენ, შეესაბამება ნაკადის მოძრაობის მიმართულებას.



**ნახ. 14. ნაკადის მიმართულების განსაზღვრა სამი ჭაბურღილის საშუალებით**

*მრიცხველში – ჭაბურღილის პირის ნიშნული; მნიშვნელში – წყლის დონის ნიშნული; ისრით ნახვენებია ნაკადის მოძრაობის მიმართულება*

მიმართულების დადგენის შემდეგ ხდება სიჩქარის განსაზღვრა. ამ მიზნით, ზედა ჭაბურღილში ჩატვირთავენ რაიმე ქიმიურ რეაქტივს, რომელიც უსაფრთხოა და წყალში იოლად იხსნება, ამასთანავე, ახასიათებს მკვეთრი შეფერილობა.

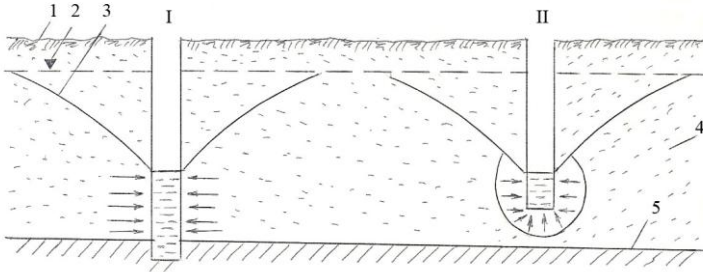
უმეტეს შემთხვევაში, ჰიდროგეოლოგიური კვლევების პრაქტიკაში კალიუმის პერმანგანატს ( $KMnO_4$ ) იყენებენ, რომელიც ზემოთ აღნიშნულ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს. ჩატვირთვის მომენტიდან აკვირდებიან, როდის მიაღწევს ინდიკატორი ქვედა ჭაბურღილში და შეფერავს წყალს. ვიცით რა მანძილი ჭაბურღილებს შორის ( $S$ , მ) და ინდიკატორის გავლის დრო ( $t$ ), მოძრაობის სიჩქარეს გამოვიანგარიშებთ ცნობილი ფორმულით:  $V = \frac{S}{t}$

## 7. ხაზობრივი ფილტრაციის ძირითადი კანონი (დარსის კანონი)

მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა ქანში არსებული ფორების, წვრილი ნაპრალების და სიცარიედეების გავლით ხდება. ზედაპირული ნაკადისგან განსხვავებით, მიწისქვეშა წყლების მოძრაობა შენელებული და გაძნელებულია. ნაკადის მოძრაობის ამ ტიპს ფილტრაცია ეწოდება, ხოლო მიწისქვეშა ნაკადს ყოველ მოცემულ კვეთში – ფილტრაციული ნაკადი. ორი სახეობის ფილტრაციულ ნაკადს არჩევენ:

- ა) ბრტყელი და
- ბ) რადიალურ-სფეროსებური.

ნაკადის ამა თუ იმ ტიპის წარმოქმნა წყალ-შემცველი ფენის გახსნის ხარისხზე არის დამოკიდებული. საილუსტრაციოდ განვიხილოთ სქემა:



**ნახ. 15. ბრტყელი და რადიალურ-სფეროსებური 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.*

პირველ შემთხვევაში წყალშემცველი ფენი ჭაბურღილით გახსნილია მთლიან სიმძლავრეზე, ისე რომ ჭაბურღილის სანგრევი ჩაღრმავებულია წყალგაუმტარ საგებში. ამ დროს ნაკადი ჭაბურღილში მხოლოდ კედლებიდან შემოედინება და წარმოიქმნება ბრტყელი ფილტრაციული ნაკადი. ჭაბურღილს ამ შემთხვევაში ეწოდება *სრულყოფილი ჭაბურღილი გახსნის ხარისხის მიხედვით*. მეორე შემთხვევაში საქმე გვაქვს არასრულყოფილ ჭაბურღილთან, რომელიც წყალშემცველ ფენს მხოლოდ ნაწილობრივ ხსნის. ნაკადის შემოდინება ხდება როგორც კედლებიდან, ასევე სანგრევიდან და წარმოიქმნება რადიალურ-სფეროსებური ფილტრაციული ნაკადი.

საზოგადოებრივი ფილტრაციის ძირითადი კანონი ჩამოყალიბებულ იქნა XVIII საუკუნეში ფრანგი ჰიდრაულიკოსის **დარსის** მიერ შემდეგნაირად:

ქანის რომელიმე კვეთში დროის ერთეულში გამავალი ნაკადის ხარჯი პირდაპირპროპორციულია წნევის დაცემის სიდიდისა და ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობისა და უკუპროპორციულია ფილტრაციის მანძილისა, რაც მათემატიკურად შემდეგნაირად ჩაიწერება  $Q = k \frac{H_1 - H_2}{l} F$

გამოსახულება  $I = \frac{H_1 - H_2}{l} = \frac{\Delta H}{l}$  გვიჩვენებს წნევის დაცემის ფარდობით სიდიდეს ფილტრაციის  $l$  მანძილზე და მას წნევის გრადიენტი ანუ პიდრავლიკური ქანობი ეწოდება. აღნიშნულის გათვალისწინებით, დარსის კანონი შეიძლება შემდეგი სახით ჩავწეროთ:  $Q = kIF$

$k$  - პროპორციულობის კოეფიციენტია, ანუ ე.წ. ფილტრაციის კოეფიციენტი. მისი ფიზიკური არსი შემდეგი შედარებიდან გამომდინარეობს:

პიდრავლიკიდან ცნობილია, რომ ნაკადის ხარჯი გამოითვლება როგორც სიჩქარისა და ცოცხალი კვეთის ფართობის ნამრავლი:  $Q = vF$

სადაც  $v$  - ნაკადის სიჩქარეა;

$F$  - ცოცხალი კვეთის ფართობი.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება ჩავწეროთ:  $kIF = vF$  ანუ  $v = kI$ . იმ პირობით, თუ წნევის გრადიენტი  $I = 1$ , მაშინ  $k = v$ .

მაშასადამე, ფილტრაციის კოეფიციენტი შინაარსით ნაკადის სიჩქარეს წარმოადგენს და რიცხობრივად მისი ტოლია იმ კერძო შემთხვევაში, როდესაც პიდრავლიკური ქანობი უდრის ერთს. შესაბამისად, ფილტრაციის კოეფიციენტს სიჩქარის

განზომილება აქვს. მიწისქვეშა ჰიდრაულიკაში ფილტრაციის კოეფიციენტის განზომილებად უფრო მიღებულია მ/დღ.ღამე ან სმ/წმ.

ფილტრაციის კოეფიციენტი ქანების ძალზე მნიშვნელოვანი ფიზიკური მახასიათებელია. მისი სიდიდე ფიგურირებს მთელ რიგ ჰიდროდინამიკურ გაანგარიშებებში, როგორცაა წყლის მოდინება სამშენებლო ქვაბულში, კარიერში და მიწისქვეშა გამონამუშევრებში, საირიგაციო სისტემების დაპროექტება, ფილტრაციული დანაკარგები არსებიდან 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 თვით სითხის ფიზიკურ თვისებებზე, კერძოდ ტემპერატურასა და სიბლანტეზე.

მრავალრიცხოვანი პრაქტიკული გაზომვებით დადგენილია ფილტრაციის კოეფიციენტის შემდეგი მიახლოებითი სიდიდეები (მ/დღ.ღ.):

თიხნარი -  $< 0.05$

ქვიშნარი -  $0.1 \div 5.0$ ;

ლიოსი -  $0.05 \div 0.5$ ;

ქვიშა -  $0.5$  –დან  $50$ -მდე, მარცვლების დიამეტრების მიხედვით;

კენჭნარი -  $100 \div 500$ ;

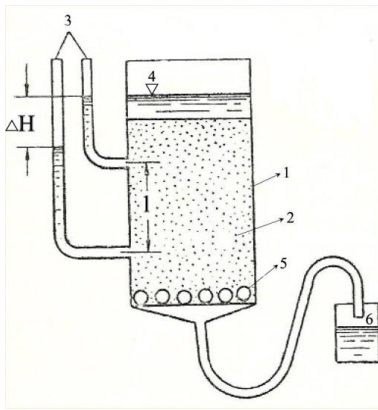
ხრეში -  $50 \div 150$ .

## 8. ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრის ხერხები

ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრის სამ ძირითად ხერხს არჩევენ:

- ლაბორატორიული ხერხი;
- ემპირიული ფორმულების გამოყენებით;
- საველე საცდელი ამოტუმბვების გზით.

*ლაბორატორიული მეთოდი* გამოიყენება ფილტრაციის კოეფიციენტის მიახლოებითი ანგარიშისას, როდესაც გამოკვლევები დიდ ტერიტორიას მოიცავს. ცდა ტარდება პროფ. ტიმის მიერ კონსტრუირებულ ხელსაწყოში, რომლის ტიპური სქემა შემდეგნაირია:



ნახ. 16. ტიმის ხელსაწყო

1-ლითონის ცილინდრი, რომელშიც თავსდება გამოსაცდელი გრუნტი; 2-გამოსაცდელი გრუნტი; 3-ლითონის ცილინდრთან სხვადასხვა სიმაღლეზე მიერთებული პიეზომეტრები წყლის დონეების ასათვლელად; 4-წყლის მუდმივი დონე, რომელიც შენარჩუნებულია გრუნტის ზედაპირის თავზე ცდის განმავლობაში; 5-თითბერის წვრილნასვრეტებიანი ბადურა, რომელიც ეწინააღმდეგება ფილტრაციული ნაკადით გრუნტის ნაწილაკების გამოტანას; 6-ჭურჭელი ფილტრატის მისაღებად.

წყლის მიწოდება ცილინდრში იმგვარად ხდება, რომ გრუნტის ზედაპირზე შენარჩუნებულია მუდმივი დონე, რაც იმას ნიშნავს, რომ დამყარდა დინამიური წონასწორობა წყლის მიწოდებულ და გაფილტრულ რაოდენობებს შორის. ამ მომენტიდან ძალაშია დარსის კანონი, რომლის თანახმადაც

$$Q = k \frac{H_1 - H_2}{l} F = k \frac{\Delta H}{l} F, \text{ საიდანაც } k = \frac{Ql}{\Delta H \cdot F}$$

$k$  - ფილტრაციის კოეფიციენტი;

$Q$  - ფილტრაციული ნაკადის ხარჯი;

$l$  - ფილტრაციის მანძილი, ანუ პიეზომეტრების მიერთების წერტილებს შორის მანძილი;

$\Delta H$  - წნევის დაცემის სიდიდე, ანუ ზედა და ქვედა პიეზომეტრებში წყლის დონეებს შორის სხვაობა. ცხადია, ქვედა პიეზომეტრში დონე ნაკლებია, რადგანაც ფილტრაციის პროცესში ნაკადს უხდება გრუნტის მყარი ნაწილაკების ჰიდრაულიკური წინაღობის დაძლევა, რაზეც წნევის ნაწილი იხარჯება;

$F$  - ფილტრაციული ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობი, რომელიც ამ შემთხვევაში ცილინდრის ფუძის ფართობის ტოლია -  $F = \pi \cdot r^2$

როგორც ვხედავთ, ტოლობის მარჯვენა მხარეს მოცემული ყველა პარამეტრი ემორჩილება უშუალო გაზომვას ცდის პროცესში, რითაც ამოცანა გადაწყვეტილია.

*ფილტრაციის კოეფიციენტის ანგარიში ემპირიული ფორმულების გამოყენებით* დამყარებულია გრუნტის აგებულების ერთგვაროვნებასა და მის წყალგამტარობას შორის დამოკიდებულების კვლე-

ვაზე. თიხური შედგენილობის გრუნტებში ფილტრაციის კოეფიციენტის რეალურ სიდიდესთან მაქსიმალურად მიახლოებულ მნიშვნელობას ჰაზენის

$$\text{ფორმულა იძლევა: } v = cd_{\text{ფგ}}^2 \frac{h}{l} (0.7 + 0.03T)$$

სადაც,  $v$  - ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეა.

თუ ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ  $I = \frac{h}{l}$ -ზე, გადავალთ ფილტრაციის კოეფიციენტზე:

$$\frac{v}{I} = K = cd_{\text{ფგ}}^2 \frac{h}{l} (0.7 + 0.03T)$$

$T$  - წყლის ტემპერატურაა,

გამოსახულებას  $\tau = 0.7 + 0.03T$  ტემპერატურული კოეფიციენტი ეწოდება. კერძო შემთხვევაში, როდესაც  $T = 10^{\circ}C$ , ტემპერატურული კოეფიციენტი  $\tau = 1$  და ჰაზენის ფორმულა შემოკლებული სახით ჩაიწერება:  $K = cd_{\text{ფგ}}^2$ . სადაც,  $c$  - ემპირიული კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე გრუნტის სახეობაზე არის დამოკიდებული და იცვლება 400 ÷ 1200 ფარგლებში.

$d_{\text{ფგ}}$  - გრუნტის მარცვლების ეფექტური დიამეტრია (მმ), ანუ ისეთი დიამეტრი, რომელზეც უფრო დიდი ზომის მარცვლების რაოდენობა საანალიზო გრუნტის წონის 60%-ზე მეტს შეადგენს. მისი გამოთვლა გრანულომეტრიული ანალიზის ინტეგრალური მრუდის საფუძველზე ხდება.

ქვიშური გრუნტების შემთხვევაში ფილტრაციის კოეფიციენტის გამოსათვლელად *სლიხტერის*

$$\text{ფორმულას იყენებენ: } K = 88.3 d_{\text{ჰვ.}}^2 m \frac{1}{\mu}$$

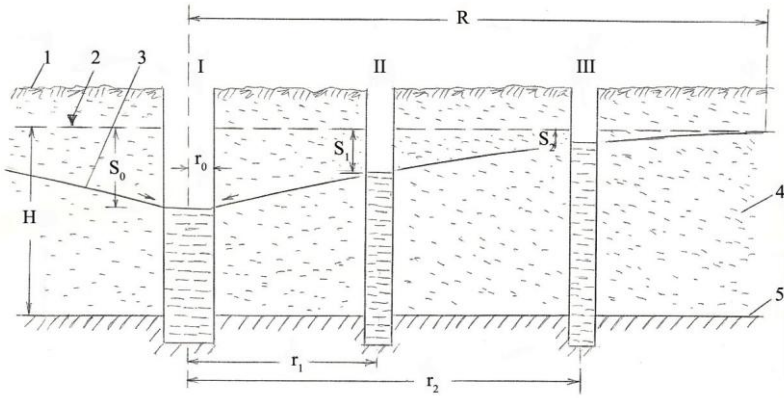
სადაც

$m$  - ემპირიული კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე გრუნტის ლითოლოგიაზე არის დამოკიდებული;

$\mu$  - წყლის სიბლანტე სანტიპუაზებში.

*ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა საველე საცდელი ამოტუმბვების გზით* წარმოადგენს ძვირადღირებულ და ამასთანავე, ყველაზე სარწმუნო მეთოდს, რომელიც გამოიყენება განსაკუთრებით პასუხსაგები ამოცანების გადაწყვეტისას, როგორცაა სასმელი და სამეურნეო წყალმომარაგება, წყალმოდინების და წყალდაწვევის ანგარიში და სხვ. მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს. თავდაპირველად უნდა მოეწყოს ე.წ. *ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქი*, რომელიც გარკვეული წესით განლაგებულ ჭაბურღილთა სისტემას წარმოადგენს. ჰიდროგეოლოგიურ ბუჩქში ჭაბურღილთა რაოდენობა და მათი განლაგება დამოკიდებულია შესასწავლი ტერიტორიის ჰიდროგეოლოგიურ პირობებზე. უმარტივეს შემთხვევაში ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქი სამი ჭაბურღილისგან შედგება, რომლებიც განლაგებულია წრფეზე, ხოლო წრფის მიმართულება ნაკადის მიმართულების თანხვედნილია ან მისი პერპენდიკულარული. ერთი ჭაბურღილი, შედარებით დიდი დიამეტრისა, ცენტრალური ანუ საცდელი ჭაბურღილია, საიდანაც უშუალოდ ხორციელდება ამოტუმბვა, დანარჩენი ორი, შედარებით მცირე დიამეტრისა, განკუთვნილია წყლის დონეებზე

დასაკვირვებლად ამოტუმბვის პროცესში. ამოტუმბვა ხდება ზედაპირული ან ჩასადირი ტუმბოებით, იმის მიხედვით, თუ რა სიღრმეზეა წყალი მიწის ზედაპირიდან. გრუნტის (უდაწნეო) წყლების ჰორიზონტზე მოწყობილი ამგვარი “ბუჩქის” პრინციპული სქემა მოცემულია ქვემოთ.



**ნახ. 17. ჰიდროგეოლოგიური ბუჩქიდან გრუნტის წყლის ამოტუმბვის სქემა**

*1-მიწის ზედაპირი; 2-გრუნტის წყლის თავდაპირველი დონე ამოტუმბვის დაწყებამდე; 3-დეპრესიული ზედაპირი ამოტუმბვის პროცესში, დეპრესიის მრუდი; 4-გრუნტის წყლის ჰორიზონტი, ანუ ჭრილის ის ნაწილი, რომელიც შეესილია გრავიტაციული წყლით; 5-წყალგაუმტარი საგები ფენი, ანუ ეკრანი*

ამოტუმბვის საწყის სტადიაზე წყლის დონე ჭაბურღილებში სწრაფად იწევს დაბლა, შემდეგ დაწვევის სიჩქარე მნიშვნელოვნად კლებულობს და გარკვეული დროის შემდეგ ხდება დონეების სტაბილიზაცია. რა თქმა უნდა, ეს პროცესი რაოდენობრივად უნდა აღიწეროს სათანადო გაზომვებით დროის გარკვეულ შუალედებში, ანუ

დონეების პერიოდული გაზომვით საცდელ და სადამკვირვებლო ჭაბურღილებში. დონეების სტაბილიზაციის მომენტიდან შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ დამყარდა დინამიური წონასწორობა ჭაბურღელში წყლის ბუნებრივ შემოდინებასა და ამოტუმბვის დებიტს შორის, ანუ ძალაში შედის ხაზობრივი ფილტრაციის (დარსის) კანონი. ამ პირობებში ფილტრაციის კოეფიციენტის გამოთვლა ფრანგი ჰიდრაულიკოსის *დიუპუის* ფორმულებით ხდება. გამოთვლის სამ ვარიანტს არჩევენ:

1. მხოლოდ ცენტრალური (საცდელი) ჭაბურღილის მონაცემებით:

$$K = \frac{0.73 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r_0}}{(2H - S_0) \cdot S_0}$$

2. ცენტრალური და სათვალთვალო ჭაბურღილის მონაცემებით:

$$K = \frac{0.73 \cdot Q \cdot \lg \frac{r_1}{r_0}}{(2H - S_0 - S_1) \cdot (S_0 - S_1)}$$

3. ორი სათვალთვალო ჭაბურღილის მონაცემებით:

$$K = \frac{0.73 \cdot Q \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}}{(2H - S_1 - S_2) \cdot (S_1 - S_2)}$$

ფორმულებში მოცემულია შემდეგი აღნიშვნები:

$K$  - ფილტრაციის კოეფიციენტი, მ/დღ.ღ;

$Q$  - ამოტუმბვის მწარმოებლურობა, ანუ დებიტი, მ<sup>3</sup>/დღ.დ.;

$r_0$  - საცდელი ჭაბურღილის რადიუსი, მ.;

$r_1$  და  $r_2$  - მანძილი საცდელი ჭაბურღილიდან სათვალთვალო ჭაბურღილებამდე, მ.;

$S_0$ ,  $S_1$  და  $S_2$  - ამოტუმბვის გავლენით დონეთა დაწვევის სიდიდეები ცენტრალურ და სათვალთვალო ჭაბურღილებში, მ.;

$R$  - ამოტუმბვის გავლენის რადიუსი (დეპრესიული ძაბრის რადიუსი, (მ)), ანუ მანძილი ცენტრალური ჭაბურღილიდან იმ წერტილამდე, რომლის იქითაც ამოტუმბვის გავლენა აღარ ვრცელდება, დონის დაწვევას ადგილი აღარ აქვს; მის სიდიდეს სპეციალური ფორმულებით ანგარიშობენ ან შეირჩევენ ცხრილებიდან წყალშემცველი ჰორიზონტის ლითოლოგიის მიხედვით.

$H$  - წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმაღლე, მ.

მიღებული სამი სიდიდიდან გამოთვლიან საშუალო არითმეტიკულს, როგორც საბოლოო სიდიდეს. აღსანიშნავია, რომ ფილტრაციის კოეფიციენტის გამოთვლა უფრო ზუსტად შესაძლებელია ამოტუმბვის დამთავრების შემდეგ დონეების აღდგენაზე დაკვირვების მონაცემებით, მაგრამ ეს საკითხი ჩვენი კურსის ფარგლებს სცილდება.

ზემოთ განხილული მაგალითი ასახავს დამყარებული ფილტრაციის შემთხვევას უდაწნეო (გრუნტის) წყლებისათვის. დაწნევითი ფილტრაციის დროს  $K$ -ს საანგარიშო ფორმულები რამდენადმე განსხვავებულია:

$$1) K = \frac{0.366 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r_0}}{m \cdot S_0}$$

$$2) K = \frac{0.366 \cdot Q \cdot \lg \frac{r_1}{r_0}}{m \cdot (S_0 - S_1)}$$

$$3) K = \frac{0.366 \cdot Q \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}}{m \cdot (S_1 - S_2)}$$

სადაც,  $m$  – წყალშემცველი ჰორიზონტის სიმძლავრეა, მ.

## 9. მიწისქვეშა ნაკადის ერთეული ხარჯის განსაზღვრა

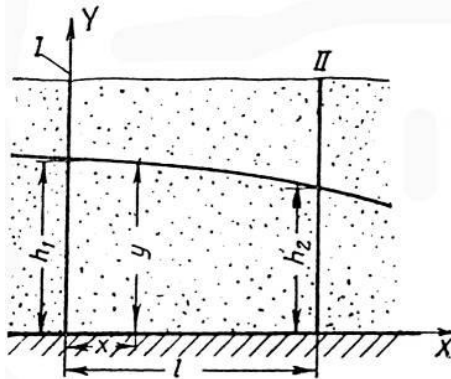
საინჟინრო ნაგებობებში წყალმოღინების სიდიდის გამოსაანგარიშებლად საჭირო ხდება გრუნტის წყლის ნაკადის ერთეული ხარჯის განსაზღვრა. აქ ორ შემთხვევას არჩევენ:

- როდესაც წყალგაუმტარი საგები ფენი ჰორიზონტალურია;
- როდესაც წყალგაუმტარი დახრილია რაიმე კუთხით.

ჰორიზონტალური წყალგაუმტარის შემთხვევაში გამოანგარიშების თანმიმდევრობა მოცემულია ქვემოთ.

ერთეული ისეთი ნაკადის ხარჯია, რომლის სივანე 1 მეტრის ტოლია. ნაკადის ჭრილში განვიხილოთ რომელიმე საანგარიშო კვეთი, რომელიც

კოორდინატა სათავედან რაიმე  $X$  მანძილით არის დაშორებული, ხოლო ამ კვეთში წნევის სიდიდე  $Y$ -ის ტოლია.



ნახ. 18. ერთეული ხარჯის განსაზღვრა პორიზონტალური წყალგაუმტარის შემთხვევაში

$h_1$  და  $h_2$  - პორიზონტის სიმაღლე I და II კვეთებში;

$l$  - მანძილი კვეთებს შორის

დარსის კანონის მიხედვით, შეიძლება

$$\text{ჩავწეროთ: } q = -k \cdot y \cdot \frac{dy}{dx}$$

ნიშანი მინუსი მიუთითებს, რომ ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით წნევა მცირდება.  $\frac{dy}{dx}$

ჰიდრაულიკური გრადიენტის სიდიდეა წყლის ზედაპირის მრუდის უსასრულოდ მცირე მონაკვეთთან მიმართებაში.

$$q \cdot dx = -k \cdot y \cdot dy; \int_0^l q \cdot dx = \int_{h_1}^{h_2} -k \cdot y \cdot dy; q \cdot x = -k \cdot \frac{y^2}{2} + c$$

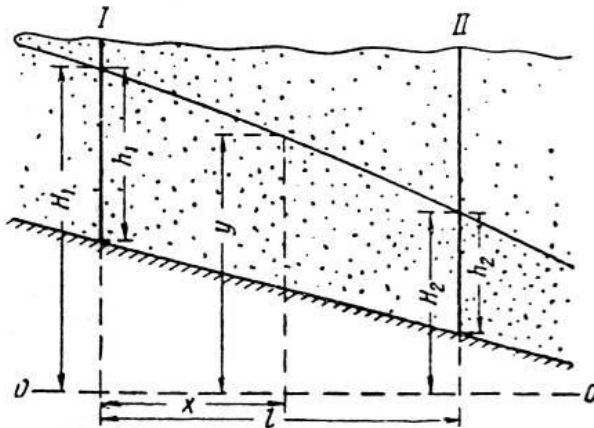
თუ განვიხილავთ სასაზღვრო პირობებს:  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = l$ ;  $y_1 = h_1$ ,  $y_2 = h_2$ ; მაშინ

$$q \cdot 0 = k \frac{h_1^2}{2} + c \quad (1) \text{ და}$$

$$q \cdot l = -k \frac{h_2^2}{2} + c \quad (2)$$

თუ მეორე ტოლობას გამოვაკლებთ პირველს, მივიღებთ:  $q \cdot l = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2}$ , საიდანაც  $q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 \cdot l}$

დახრილი წყალგაუმტარის შემთხვევაში შევირჩევთ პორიზონტალურ სიბრტყეს  $OO$ , რომელიც ათვლის სიბრტყეს წარმოადგენს.



ნახ. 19. ერთეული ხარჯის განსაზღვრა დახრილი წყალგაუმტარის შემთხვევაში

$h_1$  და  $h_2$  - პორიზონტის სიმკლავრე I და II კვეთებში;  $H_1$  და  $H_2$  - წნევები იმავე კვეთებში, ათვლილი პორიზონტალური  $OO$  სიბრტყიდან

ნაკადის რომელიმე კვეთში, სადაც წნევის საშუალო სიდიდე -  $H$  სსშ. ტოლია, შეიძლება გამოვსახოთ ერთეული ხარჯის სიდიდე ფორმულით:

$$q = -k \cdot h_{\text{სსშ}} \frac{dy}{dx}$$

სადაც  $\frac{dy}{dx}$  შეესაბამება ჰიდრაულიკურ ქანობს, ხოლო  $h_{\text{სსშ}} \cdot x = F$ , შეესაბამება 1 მეტრი სიგანის ნაკადის ცოცხალი კვეთის ფართობს.

$$q \cdot dx = -k \cdot h_{\text{სსშ}} \cdot dy; \quad \int_0^l q \cdot dx = - \int_{h_1}^{h_2} k \cdot h_{\text{სსშ}} \cdot dy;$$

$$q \cdot x = -k \cdot h_{\text{სსშ}} \cdot y + c$$

სადაც  $c$  ინტეგრირების მუდმივაა.

თუ მივიღებთ სასაზღვრო პირობებს:  $x_1 = 0, x_2 = l;$   
 $y_1 = h_1, y_2 = h_2;$  მაშინ

$$q \cdot 0 = -k \cdot h_{\text{სსშ}} \cdot H_1 + c \quad (1)$$

$$q \cdot l = -k \cdot h_{\text{სსშ}} \cdot H_2 + c \quad (2)$$

თუ მეორე ტოლობას გამოვაკლებთ პირველს, გვექნება:  $q \cdot l = -k \cdot h_{\text{სსშ}} \cdot H_1 - H_2$

წნევის საშუალო სიდიდე ტოლია  $h_{\text{სსშ}} = \frac{h_1 + h_2}{2}$  ანუ

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

$$\text{ერთეული ხარჯი ტოლია: } q = k \cdot \frac{(h_1 + h_2)(H_1 - H_2)}{2 \cdot l}$$

როგორც ვხედავთ, მიღებული გამოსახულება პრინციპულად წინა გამოსახულების ანალოგიურია, იმ განსხვავებით, რომ აქ აუცილებელია ათვლის ჰორიზონტალური ზედაპირის შემოტანა. ასეთ ზედაპირად შეიძლება ზღვის დონე იქნეს მიჩნეული.

## 10. მიწისქვეშა წყლების აგრესიულობა რკინისა და ბეტონის მიმართ

სამშენებლო საქმეში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მიწისქვეშა წყლების აგრესიულობის შეფასებას რკინისა და ბეტონის კონსტრუქციების მიმართ. თავისუფალი ჟანგბადის და გოგირდწყალბადის შემცველი მიწისქვეშა წყლები, აგრეთვე ნახშირმჟავა მინერალური წყლები ძალზე აგრესიულია რკინის მიღების მიმართ. ამიტომ ნახშირმჟავა წყლებისთვის იყენებენ თუჯის, ხოლო გოგირდწყალბადიანი წყლებისთვის – სპეციალურ ასბოცემენტის ან პლასტმასის მიღებს.

ბეტონზე წყლის აგრესიული ზემოქმედება ორნაირად ვლინდება:

- ბეტონის ფორებში წყლის შეღწევა და ისეთი ნივთიერებების კრისტალიზაცია, რომლებიც ბეტონის მოცულობაში მატებას და, აქედან გამომდინარე, მისი სიმტკიცის შესუსტებას იწვევს;
- წყლის მიერ ბეტონის შემადგენელი ქიმიური კომპონენტების გამოტუტვა.

პირველი პროცესი დაკავშირებულია უმთავრესად სულფატური შედგენილობის წყლებიდან თაბაშირის ან კალციუმის სულფატ-ალუმინატის გამოკრისტალებასთან. ეს უკანასკნელი

დეველის მარილის სახელწოდებით არის ცნობილი. ამ მარილის კრისტალიზაციას თან სდევს მოცულობის მატება 2.5-ჯერ, რასაც, როგორც შედეგი, ბეტონის რღვევა მოჰყვება. პრაქტიკული გამოცდილების საფუძველზე ითვლება, რომ  $SO_4^{2-}$ -ის შემცველობისას 250 მგ/ლ მეტი რაოდენობით, წყალი ბეტონის მიმართ აგრესიულია.

მეორე პროცესი გულისხმობს ბეტონის კარბონატული მასალის გახსნას და გამოტუტვას აგრესიული მიწისქვეშა წყლის გავლენით. წყლის გამხსნელობითი უნარი ე.წ. აგრესიული ნახშირმჟავას შემცველობით განისაზღვრება. ბუნებრივ წყლებში ნახშირმჟავა შემდეგ ფორმებში გვხვდება:

- თავისუფალი ნახშირმჟავას სახით, ე.ი. წყალში გახსნილი აირის -  $CO_2$ -ის სახით;
- $HCO_3^-$ -ის იონების სახით, რომლებიც წყალში ბიკარბონატების წარმოქმნაში მონაწილეობს და
- $CO_3^{2-}$ -ის იონების სახით, რომლებიც საშუალო ნახშირმჟავა მარილების ან კარბონატების (მაგალითად,  $Na_2CO_3$ ) შემადგენლობაში შედის.

ჩვეულებრივ, ბუნებრივ წყლებში ერთდროულად არსებობს თავისუფალი  $CO_2$  და  $HCO_3^-$  იონები. თავისუფალი  $CO_2$ -ის არსებობისას,  $CO_3^{2-}$  იონები არ შეიძლება შესამჩნევი რაოდენობით დაგროვდეს, ვინაიდან ნახშირმჟავასთან ურთიერთქმედებით ისინი  $HCO_3^-$  იონებს წარმოქმნიან:



$CO_3^{2-}$  იონის სახით ნახშირმჟავა ითვლება ბმულად,  $HCO_3^-$  სახით კი - ნახევრადბმულად,

რადგანაც ბიკარბონატებში ნახშირმჟავას მხოლოდ ნახევარი არის შებოჭილი.

თავისუფალი  $CO_2$ -ის შემცველ წყალში ნახშირმჟავა კალციუმის გახსნისას, ამ უკანასკნელის მხოლოდ ნახევარი იხარჯება ბიკარბონატ-იონების წარმოქმნაზე, ნაწილი კი ხსნარში რჩება ე.წ. წონასწორული ნახშირმჟავას სახით. წონასწორულად ითვლება ის  $CO_2$ , რომელიც უნდა იყოს წყალში გახსნილი კალციუმის ბიკარბონატის არსებობისას, რათა ეს უკანასკნელი ხსნარში შეაკავოს, რომ იგი კარბონატში არ გადავიდეს და არ გამოილექოს.

წონასწორული ნახშირმჟავას შემცველობა *აუერბახის* განტოლებით განისაზღვრება:

$$\text{თავისუფალი } CO_2 = \left( \frac{\text{ბმული } CO_2}{34} \right)^2$$

ამ განტოლების მიხედვით, თავისუფალ ნახშირმჟავას არ შეუძლია გახსნას ნახშირმჟავა კალციუმის ახალი ულუფა. მაგრამ, თუ წყალში არის წონასწორულზე მეტი, ჭარბი, თავისუფალი ნახშირმჟავა, მაშინ მას შესწევს უნარი გადაიყვანოს ხსნარში  $CaCO_3$ -ის დამატებითი ნაწილი. ნახშირმჟავას იმ ნაწილს, რომელსაც შეუძლია ხსნარში გადაიყვანოს  $CaCO_3$ -ის ახალი ულუფა, “აგრესიული ნახშირმჟავა” ეწოდება.

აგრესიული ნახშირმჟავას განსაზღვრის კიდევ ერთ ხერხს *გეიერის* მეთოდი წარმოადგენს, რომელშიც რეაგენტად მარმარილოს ფხვნილი არის გამოყენებული.

წყლის დამაშლელი ზემოქმედება გარდა აგრესიული ნახშირბაქსისა, წყლის რეჟიმზეც არის დამოკიდებული. კერძოდ, მოძრავი ნაკადი უფრო აგრესიულ ზემოქმედებას ახდენს ბეტონზე, ვიდრე მდორე ნაკადი ან დამდგარი წყალი.

აგრესიულობის არაპირდაპირ მაჩვენებლად წყალბად-იონების კონცენტრაციის სიდიდე, ე.წ. *PH* ითვლება. აგრესიულობით ხასიათდება მუავე რეაქციის მქონე მიწისქვეშა წყლები, სადაც *PH* ნაკლებია 7-ზე.

## თავი II. საინჟინრო გეოლოგიის საფუძვლები

### 1. ქანების საინჟინრო-გეოლოგიური კლასიფიკაცია

ქანი ეწოდება ბუნებრივ გეოლოგიურ წარმონაქმნს, რომელიც სხვადასხვა მინერალების ერთობლიობისაგან შედგება, გააჩნია გარკვეული სტრუქტურა და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

საინჟინრო გეოლოგიაში და სამშენებლო საქმეში ფართოდ გამოიყენება გრუნტის ცნება. *გრუნტი ეწოდება ნებისმიერი შედგენილობის და გენეზისის ქანს, რომელიც მოქცეულია საინჟინრო ნაგებობის გავლენის სფეროში.* ამგვარად, გრუნტი შეიძლება იყოს როგორც რბილი თიხური ქანი, ასევე ზემტკიცე გრანიტი, იმის მიხედვით, გამოიყენება თუ არა იგი მშენებლობაში, როგორც საძირკვლის გრუნტი.

დღესდღეობით ფართოდაა გავრცელებული ქანების საინჟინრო-გეოლოგიური კლასიფიკაციის სქემა, რომელიც დამუშავებულია აკად. სავარენსკის მიერ და რამდენადმე შეესაბამება პროფ.

ვ. ლომთაძის მიერ. ამ სქემით, ქანები მათი ფიზიკურ-მექანიკური და წყლოვანი თვისებების მიხედვით, დაყოფილია ცალკეულ ჯგუფებად, რაც სამშენებლო საქმეში მათი გამოყენების პირობებს განსაზღვრავს. ქანების 5 ძირითადი ჯგუფი გამოიყოფა, რომლებიც ქვემოთ მოკლედ არის დახასიათებული

## ქანების სანიშნრო-ბეოლოგიური კლასიფიკაცია

(ფ.სავარენსკის და გ.ლომთაძის მიხედვით)

ქანების ჯგუფი	ქანების ბენეტიკური და პატრობრაფიული სახეები	ქანების ფიზიკური და მემანიკური მახვენებლები
<b>I კლდოვანი</b>	<p><b>მაგმური:</b> სიღრმული (ინტრუზიული)-გრანიტი, სიენიტი, დიორიტი, გაბრო.</p> <p><b>ზედაპირული (ეფუზიური)-</b>პორფირიტი, დიაბაზი, ლიპარიტი, ტრაქიტი, დაციტი, ანდეზიტი, ბაზალტი</p> <p><b>მეტამორფული:</b> მარმარილო, კვარციტი, გნეისი, კრისტალური ფიქალი</p> <p><b>დანალექი:</b> მტკიცედ შეცემენტებული ქვიშაქვა და კონგლომერატი. მკერივი, მტკიცე კირქვა და დოლომიტი</p>	<p>მაღალი სიმკვრივე, ძლიერ უმნიშვნელო ფორიანობა, წყალგაუმტარი, წყალშედწევადი მხოლოდ ნაპრალების საშუალებით. მაღალი სიმტკიცე, დრეკადობა. პრაქტიკულად უკუმშვადი. კუმშვისადმი წინაღობა 50 - 400 მპა. სიმაგრის კოეფიციენტი &gt; 5</p>

<p style="text-align: center;"><b>II ნახევრად კლდოვანი</b></p>	<p>კლდოვანი ჯგუფის სახე-შეცვლილი (გამოფიტული და დანაპრალიანებული ქანები), დაქვეითებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით.</p> <p><b>დანალექი:</b> ვულკანური ტუფი, ტუფოგენური ქანები, ქვიშაქვა და კონგლომერატი თიხოვანი ცემენტით, თიხა-ფიქალი და არგილიტი, თიხიანი კირქვა და დოლომიტი, მერგელი</p>	<p>საშუალო სიმკვრივე, ფორიანობა 10-15%, ზოგჯერ მეტიც. სუსტად წყალშემცველი.</p> <p>წყალშედწევადობა დამოკიდებულია ნაპრალიანობასა და გამოფიტვაზე. ფილტრაციის კოეფიციენტი 0.5–30 მ/დ.დ, კუმშვისადმი წინაღობა 15–50 მპა. სუსტად კუმშვადი. სიმაგრის კოეფიციენტი 2 - 5</p>
<p style="text-align: center;"><b>III ფხვიერი ფეხკვრიანი</b></p>	<p><b>დანალექი:</b> ქვიშა, ხვინჭა, ღორღისმაგვარი ქანები</p>	<p>სიმკვრივე და ფორიანობა იცვლება ფართო საზღვრებში. სუსტად წყალშემცველი. პრაქტიკულად უხსნადი, წყალგამტარი. ფილტრაციის კოეფიციენტი 30 მ/დ.დ-ზე უფრო მაღალი ძლიერ წყალგამტარ ქანებში. სიმტკიცე დამოკიდებულია ნაპრალების განლაგების სიმჭიდროვეზე. მცირე სიმაგრე &lt;2. შიგა ხახუნის კოეფიციენტი <math>f = 0.35 - 0.60</math></p>
<p style="text-align: center;"><b>IV რბილი ფეხკვრიანი</b></p>	<p><b>დანალექი:</b> თიხა, თიხნარი, ქვიშნარი, ლიოსი, ლიოსისებური ქანები</p>	<p>სიმკვრივე, ფორიანობა და ტენიანობა იცვლება ფართო საზღვრებში. წყალშემცველი, უხსნადი, სუსტად წყალშედწევადი. ფილტრაციის კოეფიციენტი 0.1 მ/დ.დ. და უფრო ნაკლები. სიმტკიცე ასევე ფართო საზღვრებში ცვალებადობს და დამოკიდებულია ტენიანობასა და სიმკვრივეზე. სიმაგრის კოეფიციენტი &lt;2. საშუალოდ და ძლიერ კუმშვადი. შიგა ხახუნის კოეფიციენტი მცირეა <math>f = 0.15 - 0.35</math></p>

<p style="text-align: center;"><b>V ბანსაგუთერული შეღებნილის, მღვთმარების და თვისების ქანები</b></p>	<p><b>მზრალი ქანები:</b> სიმტკიცის, დეფორმაციულობის და მდგრადობის მკვეთრი ცვალებადობით გაღღობისას.</p> <p><b>დანალექი:</b> მცურავი ქვიშები, ქვიშიანი ლამი, გამარილიანებული თიხოვანი ლამი, ტორფი, ნიადაგი, თაბაშირი, ანჰიდრიტი, ქვამარილი, ხელოვნური ნაყარი, ანთროპოგენული ქანები</p>	<p>ხასიათდებიან სხვა ქანებისაგან განსხვავებული სპეციფიკური თვისებებით. საჭიროებენ კვლევის სპეციალურ მეთოდებს და ინდივიდუალურ შეფასებას</p>
--	--	--

კლდოვანი ქანები. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება ინტრუზიული ქანების უმრავლესობა – გრანიტი, სიენიტი, გაბრო, აგრეთვე დანალექი, აგრეთვე მეტამორფული ქანების ზოგიერთი სახეობა – კვარციტი, გნეისი და სხვ. მათთვის დამახასიათებელია დაბალი ფორიანობა – 3 - 4%, უმნიშვნელო წყალგამტარობა, კუმშვაზე მაღალი წინაღობა, კომპაქტური სტრუქტურა, მაღალი მექანიკური სიმტკიცე.

ნახევრადკლდოვანი ქანები. ამ ჯგუფში შედის ეფუზიური ქანების უმრავლესობა, დანალექი, ნაწილობრივ მეტამორფიზებული ქანები, როგორცაა პორფირიტი, ბაზალტი, ქვიშაქვა, კირქვა, მერგელი და სხვ. პირველი ჯგუფის ქანებთან შედარებით, აქ რამდენადმე შემცირებულია სიმტკიცის მახასიათებლები, მომატებულია ფორიანობა და წყალგამტარობის უნარი.

რბილი შეკავშირებული ქანების ჯგუფი ძირითადად მოიცავს თიხებსა და თიხნარებს, რომლებისთვისაც დამახასიათებელია საკმაოდ მაღალი შიგა შეჭიდულობა, რის გამოც მათი მზიდუნარიანობა ხშირ შემთხვევაში დამაკმაყოფილებელია და საძირკვლის გრუნტად მათი გამოყენება მკაცრად შეზღუდული არ არის.

ფხვიერი შეუკავშირებელი ქანების ჯგუფს მიეკუთვნება ქვიშა, ქვიშნარი, ღორღი, კენჭნარი, კაჭარ-კენჭნარი და ა.შ. ეს ქანები გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით, ასევე მაღალი წყალგამტარობით, თუმცა, არაერთგვაროვანი სტრუქტურით. როგორც საძირკვლის გრუნტი, ისინი უმეტეს შემთხვევაში გამოსადეგია, მაგრამ სამშენებლო საქმეში მათი გამოყენების ძირითადი დანიშნულება არის, როგორც შე-

მავსებელი ბეტონის წარმოებაში, ბალასტად გზების ვაკისის მოსაწყობად, სადრენაჟო მასალად და ა.შ.

განსაკუთრებული შედგენილობის და თვისებების ქანების ჯგუფი აერთიანებს ისეთ ქანებს, რომლებიც წარმოშობის სპეციფიკური პირობებით და ანომალური თვისებებით ხასიათდება, რის გამოც სამშენებლო მიზნით მათი გამოყენება განსაკუთრებული პროფილაქტიკური ღონისძიებების გატარებასთან არის დაკავშირებული. ამ ჯგუფის ტიპური წარმომადგენლებია ტორფი, მცურავი ქვიშები, ლიოსი და ლიოსისმაგვარი თიხნარი, ინტენსიურად დამარილიანებული გრუნტები და სხვ. განსაკუთრებული შედგენილობის გრუნტზე წარმატებული მშენებლობის კლასიკური მაგალითია მსოფლიოში ერთ-ერთი ულამაზესი ქალაქი სანკტ-პეტერბურგი, რომელიც *პეტრე დიდის* დაარსებულია.

## 2. ქანების ფიზიკური თვისებები

ქანების ფიზიკური თვისებები ეწოდება ისეთ თვისებებს, რომლებიც მათ ფიზიკურ მდგომარეობას, წყალთან დამოკიდებულებას და სხვა თავისებურებებს განსაზღვრავს.

ქვიშური და თიხური შედგენილობის ქანების ძირითადი ფიზიკური თვისებებია ხვედრითი წონა (სიმკვრივე), მოცულობითი წონა, ფორიანობა, ტენიანობა, პლასტიკურობა. ეს თვისებები ურთიერთდაკავშირებულია. მათი განსაზღვრა ხდება ან უშუალოდ ველზე სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით, ან ლაბორატორიაში.

2.1 ხვედრითი წონა, ანუ სიმკვრივე არის ქანის ერთეულ მოცულობაში მოქცეული მყარი, მინერა-

ლური ნაწილის წონა (გ/სმ<sup>3</sup>, კგ/მ<sup>3</sup>, ტ/მ<sup>3</sup>). იგი დამოკიდებულია ქანის მინერალურ შედგენილობაზე და გამოხატავს ქანის ამგები მინერალების საშუალო სიმკვრივეს.  $\gamma_{\text{ნ.წ.}} = \frac{g_1}{V_1}$ , გ/სმ<sup>3</sup>, კგ/მ<sup>3</sup>, ტ/მ<sup>3</sup>.

სადაც  $g_1$  – ქანის მყარი ნაწილის ერთეული მოცულობის წონაა, ტენის წონის ჩათვლელად;

$V_1$  – ქანის მყარი ნაწილის მოცულობა, ფორების მოცულობის ჩათვლელად.

თიხური ქანების, ქვიშნარისა და ქვიშების ხვედრითი წონა საშუალოდ 2.65-დან 2.75-მდე გ/სმ<sup>3</sup> ფარგლებში იცვლება.

2.2 მოცულობითი წონა არის მისი მოცულობის ერთეულის წონა ბუნებრივი ტენიანობის და ფორიანობის ჩათვლით (გ/სმ<sup>3</sup>, კგ/მ<sup>3</sup>, ტ/მ<sup>3</sup>). ჩვეულებრივ, რაც მაღალია ქანის სიმკვრივე (ხვედრითი წონა), მით უფრო მაღალია მისი მოცულობითი წონა; რაც უფრო დიდია ფორიანობა, ანუ რაც უფრო ფხვიერი წყობისაა ქანი, მით უფრო მცირეა მისი მოცულობითი წონა.

$$\gamma_{\text{მოც.წ.}} = \frac{g_1 + g_2}{V_1 + V_2}, \quad \text{გ/სმ}^3, \text{ ტ/მ}^3$$

სადაც  $g_2$  – ქანის ერთეულ მოცულობაში ტენის წონაა;

$V_2$  – ქანის ერთეულ მოცულობაში ფორების ჯამური მოცულობა.

მოცულობითი წონა ახასიათებს გრუნტის ფიზიკურ მდგომარეობას, შემჭიდროების ხარისხს. რაც უფრო მჭიდრო წყობის არის ქანი, მით უფრო

ნაკლებია განსხვავება მის სიმკვრივესა და მოცულობით წონას შორის.

მოცულობითი წონისგან განსხვავებენ ჩონჩხის მოცულობით წონას, რომლის ქვეშაც იგულისხმება ბუნებრივ მდგომარეობაში ქანის მინერალური (მყარი) ნაწილის ერთეული მოცულობის წონა, ანუ ეს არის გამომშრალი ქანის ერთეული მოცულობის წონა, რაც ნიშნავს, რომ ტენის წონა მხედველობაში არ მიიღება.

$$\gamma_{\text{ნ.წ.}} = \frac{g_1}{V_1 + V_2}, \quad \text{კ/სმ}^3, \text{ ტ/მ}^3$$

ქვიშური და თიხური შედგენილობის ქანების დასახასიათებლად მნიშვნელოვანია მათი სიმკვრივის და მოცულობითი წონის ცოდნა. ხვედრითი წონის მაჩვენებელი ძირითადად ქანის ფიზიკური მდგომარეობის სხვა პარამეტრების გამოსათვლელად გამოიყენება, ხოლო მოცულობითი წონა ქანის წყობის სიმჭიდროვეს ახასიათებს და აქედან გამომდინარე, საშუალებას გვაძლევს არაპირდაპირ ვიმსჯელოთ ქანის სიმტკიცეზე, მდგრადობაზე და დეფორმირებულობაზე.

**2.3 ფორიანობა.** ქვიშური და თიხური შედგენილობის ქანების მნიშვნელოვან ფიზიკურ მახასიათებელს, რომელიც განსაზღვრავს მათ ფიზიკურ მდგომარეობას, ანუ მარცვლების წყობის სიმჭიდროვეს, ფორიანობა წარმოადგენს. იგი ახასიათებს ფორების ჯამურ მოცულობას ქანის ერთეულ მოცულობაში და გამოითვლება ფორმულით:

$$n = 1 - m = 1 - \frac{\gamma_{\text{ნ.წ.}}}{\gamma_{\text{ხ.წ.}}}, \quad \text{სადაც } n - \text{ფორიანობაა;}$$

$m$  - ქანის მყარი, მინერალური ნაწილის მოცულობა, რომელიც გამოისახება ჩონჩხის მოცულობითი წონის შეფარდებით ქანის სიმკვრივესთან:

$$m = \frac{\gamma_{\text{ნ.წ.}}}{\gamma_{\text{ბგ.წ.}}}, \text{ აქედან } n = 1 - m = \frac{\gamma_{\text{ბგ.წ.}} - \gamma_{\text{ნ.წ.}}}{\gamma_{\text{ბგ.წ.}}}$$

ფორიანობის ამგვარი გამოსახვა მიზანშეწონილია იმ თვალსაზრისით, რომ ტოლობის მარჯვენა მხარეს მოცემული სიდიდეები იოლად ისაზღვრება ლაბორატორიაში.

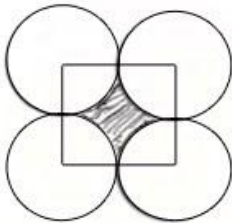
ქანების ფორიანობის უფრო მოსახერხებელ მახასიათებელს წარმოადგენს *ფორიანობის კოეფიციენტი*, რომელიც ტოლია საერთო ფორიანობის შეფარდებისა ქანის მყარი ნაწილის მოცულობასთან:

$$\varepsilon = \frac{n}{m} = \frac{n}{1-n}$$

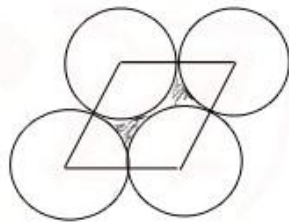
ზემოთ მოცემული ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ  $n = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}$  და  $m = \frac{1}{1+\varepsilon}$

ქვიშებისა და თიხების ფორიანობა ფართო საზღვრებში იცვლება იმის მიხედვით, თუ როგორია გრუნტის შემადგენელი მარცვლების ფორმა და ზომები, მათი სივრცობრივი განლაგება, დისპერსულობის ხარისხი, შეცემენტების სახეობა (თიხებში), აგრეთვე გრუნტის ერთგვაროვნების ხარისხი. არაერთგვაროვანი შედგენილობის გრუნტის ფორიანობა, როგორც წესი, უფრო დაბალია, რადგანაც სივრცეს დიდი ზომის მარცვლებს შორის პატარა ნაწილაკები ავსებს და შესაბამისად, ფორიანობა კლებულობს. თიხისთვის დამახასიათებელია მაღალი ფორიანობა, რაც ამ ქანის ერთგვაროვანი შედგენი-

ლობით აიხსნება. მაღალი ფორიანობის გამო, სამშენებლო დატვირთვით გამოწვეული დაჯდომა თიხის საძირკველზე ნელა და ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიმდინარეობს, რისი კლასიკური მაგალითებია წმინდა ისაკის ტაძარი სანკტ-პეტერბურგში და პიზას კოშკი იტალიაში. ქვიშიანი გრუნტის საძირკველზე დაჯდომის პროცესი შეუდარებლად უფრო მოკლე დროში მთავრდება. ქანის ფორიანობაზე არსებით გავლენას ახდენს აგრეთვე მყარი ნაწილაკების წყობის სიმჭიდროვე, რაც ქვემოთ მოცემულ სქემაზე ნათლად ჩანს.



**n=48%**



**n=26%**

**ნახ. 20. ფორიანობის დამოკიდებულება გრუნტის მარცვლების განლაგებაზე**

როგორც ვხედავთ, ფორიანობის მაქსიმუმი აღინიშნება მარცვლების განლაგების კუბური მოდელის შემთხვევაში, მინიმუმი – რომბულის შემთხვევაში.

ქვიშების, თიხების და თიხური შედგენილობის ქანების საინჟინრო-გეოლოგიური შეფასებისას ფორიანობის შესწავლას დიდი ყურადღება ექცევა, რადგანაც ნაგებობების სერიოზული დეფორმაციების მიზეზი სწორედ საძირკვლის გრუნტის აგებულების არასაკმარის ბუნებრივ შემჭიდროებაში მდგომარეობს.

2.4 ტენიანობა. ქვიშური, განსაკუთრებით კი თიხური გრუნტების უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელი მათი ტენიანობაა, რომელიც განისაზღვრება ფორებში არსებული წყლის რაოდენობით. ტენიანობის ხარისხის მიხედვით, გრუნტი სხვადასხვა ფიზიკურ მდგომარეობაში იმყოფება და ამის შესაბამისად, იცვლება მისი სიმტკიცე, მდგრადობა, დეფორმირებულობა, განსაკუთრებით თიხური გრუნტის შემთხვევაში. რიცხობრივად ტენიანობას გამოსახავენ როგორც შეფარდებას ფორებში არსებული წყლის წონისა მშრალი ქანის წონასთან, ერთეულის ნაწილებში ან პროცენტებში.

$$W_{\text{წ.ტ.}} = \frac{g_2}{g_1} \cdot 100\% = \frac{\gamma_{\text{ზვ.წ.}} - \gamma_{\text{წ.წ.}}}{\gamma_{\text{ზვ.წ.}}}$$

ეს ე.წ. წონითი ტენიანობაა, რომლის გარდა არჩევენ მოცულობით ტენიანობას, ანუ ქანის ერთეულ მოცულობაში არსებული წყლის მოცუ-

ლობას:  $W_{\text{მოც.წ.}} = \frac{W_{\text{წ.ტ.}} \cdot \gamma_{\text{წ.წ.}}}{\gamma_{\text{წყ.}}}$ , იმის გამო, რომ  $\gamma_{\text{წყ.}} = 1$ ,

მოცულობითი ტენიანობა  $W_{\text{მოც.წ.}} = W_{\text{წ.ტ.}} \cdot \gamma_{\text{წ.წ.}}$ .

ბუნებრივი ტენიანობის სიდიდის მიხედვით, ქანი შეიძლება იყოს მშრალი, სუსტად ტენიანი ან წყლით გაჯერებული. თუ ქანში ყველა ფორი შევსილია წყლით, მაშინ წყლის მოცულობა ქანის ფორიანობის ტოლია:  $W_{\text{მოც.წ.}} = n$

ქანების დასახასიათებლად წყალგაჯერების ხარისხის მიხედვით, შემოდებულია წყალგაჯერების კოეფიციენტის ცნება, რომლის ქვეშაც იგულისხმება

ქანის ბუნებრივი ტენიანობის შეფარდება მის სრულ

ტენტევალობასთან:  $G = \frac{W_{ბ.ტ.}}{W_{სრ.ტ.}}$

წყალგაჯერების კოეფიციენტს ერთეულის ნაწილებში გამოსახავენ. ეს სიდიდე შეიძლება 0-დან 1-მდე ფარგლებში იცვლებოდეს. ამის მიხედვით ქანები იყოფა:

სუსტად ტენიანი -  $G = 0 \div 0.5$ ;

ტენიანი -  $G = 0.5 \div 0.8$ ;

გაჯერებული -  $G = 0.8 \div 1.0$ .

2.5 თიხური ქანების პლასტიკურობა არის გრუნტის თვისება შეიცვალოს ფორმა გარე ძალის ზემოქმედებით და შეინარჩუნოს შეცვლილი ფორმა ძალის მოხსნის შემდეგ. ეს თვისება მხოლოდ თიხურ გრუნტებს ახასიათებს და მათი შიგა აგებულებით არის განპირობებული. დადგენილია, რომ თიხის პლასტიკურობა ვლინდება ტენიანობის გარკვეულ საზღვრებში, რომლებსაც ატერბერვის ზღვრებს უწოდებენ. თიხაზე ტენის დამატებისას ქანის კონსისტენცია თანდათან დენად მდგომარეობას უახლოვდება და მისი სიბლანტე ნულისკენ მიისწრაფვის ( $\eta \rightarrow 0$ ). პირუკუ შემთხვევაში, როდესაც ტენიანობა განუხრელად კლებულობს, თიხის კონსისტენცია ნახევრად მყარი ქანის მდგომარეობას უახლოვდება და სიბლანტე უსასრულობისკენ მიისწრაფვის ( $\eta \rightarrow \infty$ ). ტენიანობის ზედა ზღვარს, როდესაც ქანი დენად მდგომარეობაში გადადის, დენადობის ზღვარი ეწოდება ( $W_{დ.}$ ), ხოლო ქვედა ზღვარს – პლასტიკურობის ზღვარი ( $W_{პლ.}$ ). აღნიშნულ

ზღვრების სიდიდეებს შორის სხვაობას პლასტიკურობის რიცხვი ეწოდება. პლასტიკურობის რიცხვი ახასიათებს, თუ რამდენად თიხურია ქანი, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, რა რაოდენობით შეიცავს ქანი თიხურ ფრაქციას.

$$I = W_{\text{დ.}} - W_{\text{პლ.}}$$

სადაც  $I$  – პლასტიკურობის რიცხვია;

$W_{\text{დ.}}$  – დენადობის ზღვარი;

$W_{\text{პლ.}}$  – პლასტიკურობის ზღვარი.

მშენებლობაში საძირკველის გრუნტად თიხის გამოყენებისას დიდი მნიშვნელობა აქვს კონსისტენციის მაჩვენებლის სიდიდეს, რომელიც გამოისახება, როგორც ბუნებრივი ტენიანობის და პლასტიკურობის ზღვრის სხვაობის შეფარდება

პლასტიკურობის რიცხვთან: 
$$B = \frac{W_{\text{ბ.ტ.}} - W_{\text{პლ.}}}{I}$$

ამ სიდიდის მიხედვით, არჩევენ რბილპლასტიკური, მაგარპლასტიკური, ნახევრად მყარი და ა.შ. კონსისტენციის თიხურ გრუნტს.

პლასტიკურობის რიცხვის სიდიდის მიხედვით, ქანები იყოფა:

$I \geq 17\%$  - თიხა (მაღალპლასტიკური ქანი);

$I = 7 \div 17\%$  - თიხნარი (საშუალოდ პლასტიკური ქანი);

$I = 1 \div 7\%$  - ქვიშნარი (სუსტად პლასტიკური ქანი).

ფიზიკურ თვისებებს შორის ურთიერთკავშირი მათემატიკურ გამოსახულებაში მოცემულია ქვემოთ კრებსითი ცხრილის სახით.

მახასიათებლები	აღნიშვნა	საანბარიშო ფორმულები	ბანზომილება
1	2	3	4
ხვედრითი წონა (სიმკვრივე)	$\gamma_y$	$\gamma_y = \frac{q_1}{V_1}$	გ/სმ <sup>3</sup>
მოცულობითი წონა	$\gamma$	$\gamma = \frac{q_1 + q_2}{V_1 + V_2}$	გ/სმ <sup>3</sup> ; ტ/მ <sup>3</sup>
ჩონჩხის მოცულობითი წონა	$\gamma_c$	$\gamma_c = \frac{q_1}{V_1 + V_2} = \frac{\gamma}{1 + W}$	გ/სმ <sup>3</sup> ; ტ/მ <sup>3</sup>
წყალში ქანის მოცულობითი წონა	$\gamma'$	$\gamma' = (\gamma_c - 1)(1 - n)$	გ/სმ <sup>3</sup> ; ტ/მ <sup>3</sup>
წონითი ტენიანობა	$W$	$W = \frac{q_2}{q_1} = \frac{\gamma - \gamma_c}{\gamma_c}$	%
მოცულობითი წონა	$W_0$	$W_0 = W\gamma_c$	%
სრული ტენტევალობა (ტენტევალი ქანებისთვის) ან სრული წყალტევალობა (არატენტევალი ქანებისთვის)	$W_n$	$W_n = \frac{1}{\gamma_c} - \frac{1}{\gamma_y} = \frac{n}{\gamma_y(1-n)}$	განყენებული რიცხვი
წყალგაჯერების კოეფიციენტი	$G$	$G = \frac{W}{W_n} = \frac{W\gamma_y(1-n)}{n} = \frac{W\gamma_y}{e/\gamma_c}$	განყენებული რიცხვი
ფორიანობა	$n$	$n = 1 - m = 1 - \frac{\gamma_c}{\gamma_y}$	%

ფორიანობის კოეფიციენტი	$e$	$e = \frac{n}{1-n} = \frac{\gamma_y - \gamma_c}{\gamma_c}$	განყენებული რიცხვი
ბუნებრივი ტენიანობის და აგებული ქანის ტენიანობის კოეფიციენტი (საწყისი)	$e_0$	$e_0 = \frac{n}{1-n} = \frac{\gamma_y - \gamma_c}{\gamma_c}$	განყენებული რიცხვი
წყალგაჯერებული ქანის ფორიანობის კოეფიციენტი	$e$	$e = W\gamma_y$	განყენებული რიცხვი
ქანის 1 სმ <sup>3</sup> მოცულობაში ფორების მოცულობა	$n$	$n = \frac{e}{1+e} = 1 - m$	სმ <sup>3</sup>
ქანის 1 სმ <sup>3</sup> მოცულობაში მინერალური ნაწილის მოცულობა	$m$	$m = \frac{1}{1+e} = 1 - n$	სმ <sup>3</sup>
ქანის 1 სმ <sup>3</sup> მოცულობაში აირების მოცულობა	$V_a$	$V_a = \left(\frac{e_0}{\gamma_y} - \frac{W}{\gamma_B}\right)\gamma_e$	სმ <sup>3</sup>
პლასტიკურობის ზღვარი	$W_p$		%
დენადობის ზღვარი	$W_T$		%
პლასტიკურობის რიცხვი	$I_{II}$	$I_{II} = W_T - W_p$	%
კონსისტენციის მაჩვენებელი	$B$	$B = \frac{W - W_p}{I_{II}}$	განყენებული რიცხვი
ბუნებრივი შემჭიდროების მაჩვენებელი	$K_d$	$K_d = \frac{e_T - e_0}{e_T + e_p}$	განყენებული რიცხვი
ქვიშოვანი ქანის ფარდობითი სიმკვრივის კოეფიციენტი	$I_d$	$I_d = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{(n_{\max} - n)(1 - n_{\min})}{(n_{\max} - n_{\min})(1 - n)}$	განყენებული რიცხვი

ქვიშოვანი ქანის შემჭიდროების კოეფიციენტი	$U$	$U = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\min}}$	განყენებული რიცხვი
--	-----	--	--------------------

როგორც აღვნიშნეთ, ქვიშოვანი და თიხოვანი ქანების უმთავრესი ფიზიკური თვისებებია ხვედრითი და მოცულობითი წონა, ფორიანობა, ტენიანობა და პლასტიკურობა. ეს თვისებები ურთიერთდაკავშირებულია და ზოგადად გამოხატავს ქანის მდგომარეობას როგორც ბუნებრივ პირობებში, ასევე მიწაყრილთა ნაგებობებში (კაშხლები, დამბები, ყრილები და სხვ.) ძირითადი ფიზიკური თვისებების მიხედვით შეიძლება არაპირდაპირ ვიმსჯელოთ ქვიშოვანი და თიხოვანი ქანების სიმტკიცეზე, დეფორმირებადობაზე და მდგრადობაზე, აგრეთვე ამ თვისებების ცვლილებებზე გეოლოგიური პროცესების ან ხელოვნური ფაქტორების ზეგავლენით.

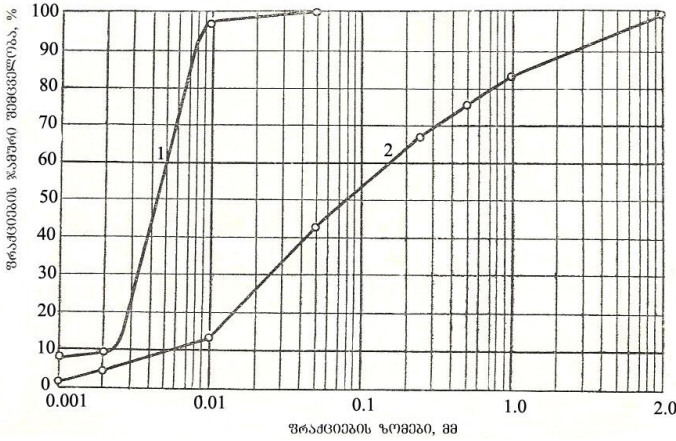
*2.6 გრანულომეტრიული შემაღვენლობა.*  
 გრანულომეტრიული შემაღვენლობის შესწავლა გულისხმობს გრუნტის მოცემულ წონაში ამა თუ იმ ზომის სხვადასხვა ფრაქციის (მყარი ნაწილაკების) პროცენტული შემაღენილობის დადგენას. ტექნიკურად ეს სამუშაო შემდეგნაირად ხორციელდება:

- ა) 0.1 მმ-ზე უფრო დიდი ზომის მარცვლების პროცენტული შემაღვენლობის განსაზღვრა სტანდარტული საცრების კომპლექტში გაცრის გზით;
- ბ) 0.1 მმ-ზე უფრო მცირე ზომის მარცვლების პროცენტული შემაღვენლობის განსაზღვრა წყალში მათი დალექვის სიჩქარის გაზომვით. ამ მიზნით გრუნტი წინასწარ უნდა იქნას მომზადებული – გარეცხილი, ხანგრძლივად ანადული,

და წყალში დასრესილი, შეწებებული ნაწილაკების განცალკევების მიზნით. ამ ოპერაციას დისპერგირება ეწოდება. წყლის გარემო, რომელშიც შეწონილია წვრილი ფრაქციის თხეური ნაწილაკები, დისპერსულ გარემოს წარმოადგენს, ხოლო წყალში შეტივტივებული, ხილული ან უხილავი ნაწილაკები – სუსპენზიას.

წყალხსნარიდან ნაწილაკების გამოლექვის სიჩქარე დამოკიდებულია ნაწილაკების ფორმაზე, ზომეზე, ხვედრით წონაზე და თვით ხსნარის სიბლანტეზე, რომელიც, თავის მხრივ, ტემპერატურის ფუნქციას წარმოადგენს. გრუნტის გრანულომეტრული ანალიზის არსებული მეთოდებიდან ყველაზე მარტივი არეომეტრული მეთოდია, რომელიც დაფუძნებულია იმაზე, რომ დროდადრო ხდება არეომეტრით ხსნარის სიმკვრივის განსაზღვრა. ეს უკანასკნელი იცვლება მყარი ნაწილაკების გამოლექვის კვალობაზე.

გრანულომეტრული ანალიზის შედეგებს სათანადო ცხრილის და გრაფიკის სახით გამოხატავენ. საცრული მეთოდით გრანულომეტრული შედეგნილობის ანალიზის საფუძველზე აგებენ ინტეგრალურ მრუდს, რომლის ტიპური სქემა ქვემოთ არის მოცემული.



ნახ. 21. გრანულომეტრიული შემადგენლობის ანალიზის ინტეგრალური მრუდი

ინტეგრალურ მრუდზე თითოეული წერტილი გვიჩვენებს თუ როგორია მოცემულ გრუნტის ერთეულ წონაში (ჩვეულებრივ, 1 კგ) ამ ზომაზე უფრო ნაკლები ზომის მარცვლების (ფრაქციის) პროცენტული შემცველობა. იმ დიამეტრების შეფარდებას, რომლებიც შეესაბამება ფრაქციათა 60% და 10%-იან შემცველობებს, ჰაზენის წინადადებით, გრუნტის არაერთგვაროვნების კოეფიციენტი

ეწოდება, აღინიშნება -  $n_{არ}$ . და ტოლია  $n_{არ} = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ .

$d_{10}$  დიამეტრს მოქმედი, ანუ ეფექტური დიამეტრი ეწოდება.

გრანულომეტრიული შემადგენლობის მიხედვით (ანუ შემადგენელი მყარი ნაწილაკების ზომების მიხედვით), მიღებულია გრუნტების შემდეგი დაყოფა:

გრუნტის სახეობა	მარცვლების ზომა
კაჭარი დამრგვალებული და	20 სმ-ზე მეტი

ნატეხოვანი	
კენჭნარი დამრგვალებული და ღორღი	4 ÷ 20 სმ
ხრეში დამრგვალებული და ხვინჭა	2 ÷ 40 მმ
ქვიშები	2 ÷ 0.5 მმ
მტვერი	0.5 ÷ 0.05 მმ
თიხა	0.005 მმ-ზე ნაკლები

სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით, გრანულომეტრული შემადგენლობით მხოლოდ მსხვილნატეხოვან და ქვიშურ გრუნტებს ჰყოფენ. რაც შეეხება თიხური შედგენილობის გრუნტებს, მათი კლასიფიცირება პლასტიკურობის რიცხვის მიხედვით ხდება.

### 3. ქანების მექანიკური თვისებები

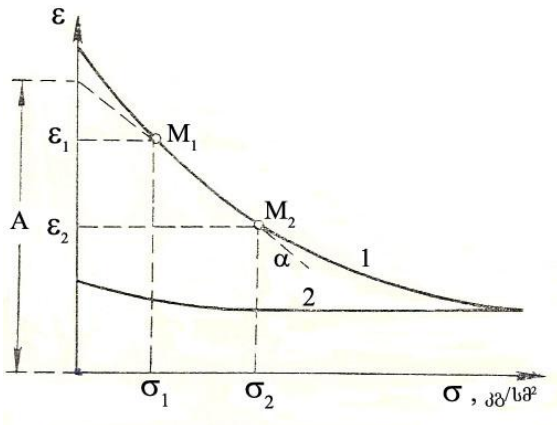
მექანიკური თვისებები განსაზღვრავს ქანის ქცევას გარეგანი ზემოქმედების - დატვირთვის ქვეშ. ქვიშურ და სხვა ნატეხოვან ქანებში, აგრეთვე თიხებში ამ დროს ქანის შემჭიდროება, ანუ ფორიანობის შემცირება და ერთეულ მოცულობაში მყარი ნაწილაკების კონცენტრაციის გაზრდა ხდება. გარკვეული დატვირთვის პირობებში რაც უფრო მნიშვნელოვანია ქანში მიმდინარე ამგვარი ცვლილებები, მით უფრო მეტია მისი დეფორმირებულობის ხარისხი. თუ გარეგანი ძალის ზეგავლენით ქანში აღძრულმა ძერის ძალამ გადააჭარბა ძერაზე წინაღობის ძალას, ქანი ირღვევა, ანუ იკარგება მისი სიმტკიცე.

მაშასადამე, ზოგადად ქანების მექანიკური თვისებები მათი დეფორმირებულობით და სიმტკიცით ხასიათდება და ამავე მაჩვენებლებით

გამოისახება, სახელდობრ, დეფორმირებულობას გრუნტის კუმშვადობის მაჩვენებელი განსაზღვრავს, ხოლო სიმტკიცეს – ძვრაზე წინაღობა. ამ პარამეტრებით შესაძლებელია მოვახდინოთ ნაგებობების დაჯდომის პროგნოზი, ხოლო ფუნდამენტების დაპროექტებისას მაქსიმალურად გამოვიყენოთ ქანის მზიდუნარიანობა.

### 3.1 წინაღობა კუმშვაზე (კომპრესია)

ქვიშაზე ან თიხაზე განვითარებული გარეგანი დაწოლა შეკუმშვის (შემჭიდროების) დეფორმაციას ანუ *კომპრესიას* იწვევს. ამის შედეგად ქანის ფორიანობა მცირდება, ხოლო სიმკვრივე და მოცულობითი წონა იზრდება. ქვიშურ ქანებში მატულობს წინაღობა ძვრაზე, ხოლო თიხებში – საერთო შეჭიდულობა და როგორც შედეგი - წინაღობა ძვრაზე. ქვიშური და თიხური ქანების შეკუმშვის (დეფორმირებულობის) შესაფასებლად იკვლევენ გარეგანი დატვირთვის (დაწოლის) ზეგავლენას ქანის ფორიანობაზე ან, რაც იგივეა, ფორიანობის კოეფიციენტზე. დამოკიდებულება ამ სიდიდეებს შორის ძალზე დამახასიათებელია და გამოისახება *კომპრესიული მრუდის* ფორმით (1), რომლიდანაც ჩანს, რომ გარკვეულ დატვირთვას -  $\sigma_1$ , ფორიანობის კოეფიციენტის -  $\varepsilon_1$  გარკვეული სიდიდე შეესაბამება.



ნახ. 22. კომპრესიის და დეკომპრესიის მრუდები

დატვირთვის გადიდებისას  $\sigma_2$ -მდე, შესაბამისად, მცირდება ფორიანობის კოეფიციენტი -  $\varepsilon_2$ -მდე. თუ დატვირთვის ცვლილება მცირეა, ანუ  $\sigma_2 - \sigma_1 = d\sigma$ , მაშინ ფორიანობის კოეფიციენტიც მცირე სიდიდით შეიცვლება, ანუ  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = d\varepsilon$ . კომპრესიული მრუდის მცირე მონაკვეთზე,  $M_1$  და  $M_2$  წერტილებს შორის, მრუდი შეიძლება წრფედ მივიჩნიოთ. მრუდის აღნიშნული უბნის დახრის კუთხის ტანგენსი ახასიათებს გრუნტის კუმშვადობას დაწოლის

მოცემულ ინტერვალზე: 
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_1} = \frac{d\varepsilon}{d\sigma}$$

რაც უფრო დიდია  $\operatorname{tg} \alpha$ , მით უფრო სუსტია ქანი, რადგანაც იგი უფრო “დამყოლია” და მეტად იკუმშება დატვირთვის მოცემულ ინტერვალში. კომპრესიული მრუდის დახრის კუთხის ტანგენსს -  $\operatorname{tg} \alpha$ , აღნიშნავენ “a” ასოთი და მას *კუმშვადობის კოეფიციენტი* ეწოდება. მაშასადამე, ეს არის

კუთხური კოეფიციენტი, რომელიც ფორიანობის კოეფიციენტსა და დატვირთვას შორის დამოკიდებულებას გამოხატავს -  $tg\alpha = a$ . იმის გამო, რომ  $\varepsilon$  განყენებული რიცხვია, ხოლო  $\sigma$  კგ/სმ<sup>2</sup>-ში იზომება,  $a$ -ს განზომილება არის სმ<sup>2</sup>/კგ. ცხადია, კუმშვადობის კოეფიციენტი წარმოდგენას გვაძლევს გარეგანი დატვირთვის გავლენით გრუნტის შეკუმშვის უნარზე. კუმშვადობის კოეფიციენტის სიდიდის მიხედვით გრუნტები იყოფა:

- ძლიერ კუმშვადი  $a \geq 0.05$  სმ<sup>2</sup>/კგ;
- საშუალოდ კუმშვადი  $a = 0.05 \div 0.01$  სმ<sup>2</sup>/კგ;
- სუსტად კუმშვადი  $a \leq 0.01$  სმ<sup>2</sup>/კგ.

ზემოთ მოცემული ტოლობიდან გამომდინარეობს:  $d\varepsilon = a \cdot d\sigma$

ეს განტოლება ქვიშური და თიხური გრუნტების მექანიკის ერთ-ერთ ძირითად კანონს – შემჭიდროების კანონს ასახავს და შემდგენაირად გამოითქმის: *“ქანის ფორების შეფარდებითი ცვლილება დაწოლის ცვლილების პირდაპირპროპორციულია”*. იმასთან დაკავშირებით, რომ

$$a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_1}, \text{ შეიძლება ჩავწეროთ:}$$

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = a\sigma_2 - a\sigma_1, \text{ ანუ}$$

$$\varepsilon_1 + a\sigma_1 = \varepsilon_2 + a\sigma_2 = \dots = \varepsilon_n + a\sigma_n = const$$

თუ ამ მუდმივ სიდიდეს “A” ასოთი აღვნიშნავთ, მივიღებთ განტოლებას, რომელიც ქანის ფორიანობას დატვირთვასთან აკავშირებს:

$$\varepsilon = A - a\sigma$$

თუ ამ გამოსახულებაში  $\sigma = 0$ , მაშინ მუდმივა “A” ტოლია ქანის ფორიანობის კოეფიციენტისა,

როდესაც დატვირთვა ნულის ტოლია, ანუ  $A = \varepsilon_0$ . კომპრესიის გრაფიკზე  $A$  სიდიდეს შეესაბამება კომპრესიული მრუდის საწყისი პარამეტრი, რომელიც მიიღება, თუ  $M_1 M_2$  წრფეს ორდინატთა ღერძის გადაკვეთამდე გავაგრძელებთ.

ქანის კომპრესიული თვისებების საზომად შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტი –  $a_0$ , რომელიც განისაზღვრება როგორც ქანის 1 მეტრი სისქის შრის შეკუმშვის სიდიდე  $\sigma$  (კგ/სმ<sup>2</sup>) დატვირთვის დროს. ამ მაჩვენებელს გამოხატავენ პროცენტებში ან მმ-ში ქანის 1 მ სისქის შრისათვის.

ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტი შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:  $a_0 = 100 \cdot \frac{\Delta h}{h}$

სადაც  $a_0$  - ფარდობითი კუმშვადობის კოეფიციენტია;

$\Delta h$  - სიდიდე, რომლითაც შემცირდა ნიმუშის სიმაღლე მოცემულ დატვირთვაზე მისი შემჭიდროების სრული სტაბილიზაციის შემდეგ;

$h$  - ქანის გამოსაცდელი ნიმუშის თავდაპირველი სიმაღლე, მმ.

თუ დატვირთვის ქვეშ მყოფ გრუნტს განვტვირთავთ (მოვხსნით დატვირთვას), ადგილი ექნება შებრუნებულ პროცესს: გრუნტის მოცულობის მატებას. ეს პროცესი განპირობებულია გრუნტის ნაწილაკების ირგვლივ არსებული ჰიდრატული გარსის დრეკადი თვისებებით. მრუდს, რომელიც გამოხატავს დამოკიდებულებას ფორიანობასა და დატვირთვას შორის განტვირთვის პირობებში, დეკომპრესიის მრუდი (2) ეწოდება. უნდა აღინიშნოს,

რომ დეკომპრესიის შედეგად გრუნტს არ ძალუძს აღიდგინოს საწყისი მოცულობა. სხვაობას საწყის და დეკომპრესიულ მოცულობებს შორის გრუნტის *ნარჩენი დეფორმაცია* ეწოდება.

*საერთო დეფორმაციის მოდული* ეწოდება დაძაბულობასა და მის შესაბამის ფარდობით დეფორმაციას შორის პროპორციულობის კოეფიციენტს. იგი ტოლია შემკუმშავი დაძაბულობის -  $\sigma_z$  შეფარდებისა ამ დაძაბულობით გამოწვეულ ფარდობით დეფორმაციის სიდიდესთან იმ პირობით, როდესაც არ ხდება ქანის გვერდითი გაფართოება.

$$E_0 = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z}, \text{ სადაც } \varepsilon_z = \frac{\Delta h}{h}$$

საერთო დეფორმაციის მოდულს დაძაბულობის განზომილება - კგ/სმ<sup>2</sup> აქვს. მისი განსაზღვრა ხდება საველე და ლაბორატორიული სპეციალური გამოკვლევების გზით ან გამოითვლება გრუნტის კომპრესიული გამოცდის შედეგების მიხედვით,

$$\text{ფორმულით } E_0 = \beta \cdot \frac{1 + \varepsilon_1}{a},$$

სადაც  $\varepsilon_1$  - ფორიანობის კოეფიციენტი, რომელიც კომპრესიულ მრუდზე  $\sigma_1$  დატვირთვას შეესაბამება;

$a$  - კუმშვადობის კოეფიციენტი (სმ<sup>2</sup>/კგ), რომელიც განისაზღვრება კომპრესიის მრუდით  $\sigma_1$ -დან  $\sigma_2$ -მდე დატვირთვის ინტერვალში;

$\beta$  - მამრავლი, რომლითაც გადავდივართ კომპრესიული გამოცდისას შეკუმშიდან გვერდითი გაფართოების შესაძლებლობის გარეშე შეკუმშვაზე ბუნებრივ პირობებში.

რიცხოვრივად იგი ტოლია: ქვიშებისთვის – 0.76; ქვიშნარისთვის – 0.72; თიხნარისთვის – 0.57; თიხისთვის – 0.43.

გრუნტის კომპრესიული თვისებების განსაზღვრა სპეციალური ხელსაწყოთ, ე.წ. *ოლომეტრის* საშუალებით ხდება. ცდის განმავლობაში დატვირთვას ნიმუშზე საფეხურებრივად ანვითარებენ. ჩვეულებრივ, გამოიყენება სამშენებლო პრაქტიკაში გავრცელებული დატვირთვები: 1; 2; 3; 4 და 6 კგ/სმ<sup>2</sup>. გრუნტის დეფორმაციაზე დაკვირვება სპეციალური ინდიკატორების საშუალებით ხდება. დატვირთვის მოცემულ საფეხურზე ნიმუში უნდა დავტოვოთ დეფორმაციის დასრულებამდე. ინდიკატორების ჩვენებების მიხედვით, შეიძლება გამოვთვალოთ ფორიანობის კოეფიციენტის სიდიდეები დატვირთვის ყოველი საფეხურისთვის, შემდეგი ფორმულით:

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{n-1} - (1 + \varepsilon_{n-1}) \frac{\Delta h}{h}$$

სადაც,  $\varepsilon_n$  არის ფორიანობის კოეფიციენტი  $\sigma_n$  დატვირთვისას;

$\varepsilon_{n-1}$  - ფორიანობის კოეფიციენტი წინა საფეხურზე დატვირთვისას;

$\frac{\Delta h}{h}$  – გრუნტის ფარდობითი დეფორმაციის სიდიდე, რომელიც აითვლება ინდიკატორზე და წარმოადგენს ნიმუშის სიმაღლის შემცირების ფარდობას თავდაპირველ სიმაღლესთან.

$\varepsilon$  და  $\sigma$  -ს მიღებული სიდიდეებით აგებენ კომპრესიულ მრუდს. დეკომპრესიული მრუდის

ასაგებად დატვირთვას მოხსნიან თანდათან  
შებრუნებული წესით.

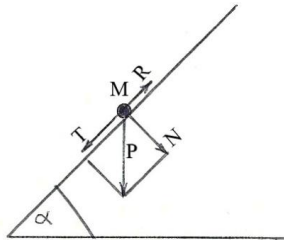
### 3.2 წინაღობა ძვრაზე

ძვრაზე წინაღობა არის ქვიშური და თიხური ქანების უნარი წინააღმდეგობა გაუწიოს დარღვევას (დაშლას). ქანის რღვევა მაშინ იწყება, როდესაც მასში აღძრული მხები დაძაბულობები აღემატება წინააღმდეგობის შინაგან ძალებს. ქვიშებში და სხვა ნამსხვრევ ქანებში ძვრაზე შინაგანი წინააღმდეგობის ძალებს წარმოადგენს ხახუნის ძალა, რომელიც აღიძვრება მყარი ნაწილაკების ურთიერთგადაადგილების დროს. შეკავშირებულ თიხურ ქანებში შიგა ძალებს გარდა ხახუნისა, წარმოადგენს შეჭიდულობის ძალები, ანუ სტრუქტურული კავშირის ძალები. შეჭიდულობა რაოდენობრივად ასახავს სტრუქტურული კავშირების სიმტკიცეს, რომლებიც სრიალის ზედაპირზე ან სრიალის ზონაში მოქმედებს.

ამისგან განსხვავებით, გრუნტის ამგებ ნაწილაკებს შორის აღძრული ხახუნის გამო, ხახუნის ძალა ნებისმიერ ნატეხოვან და თიხურ ქანში მოქმედებს. ხახუნის ძალა მით უფრო დიდია, რაც უფრო დიდია შემკუმშავი დაძაბულობა. შეჭიდულობა უმთავრესად დამახასიათებელია შეკავშირებული თიხური ქანებისთვის. იგი სტრუქტურული კავშირების არსებობით არის განპირობებული. თავის მხრივ, სტრუქტურული კავშირები ნაწილაკებს შორის მოქმედი მოლეკულური, იონური, კოვალენტური, მაგნიტური და სხვა ძალების გამოსატულებაა. აქედან ცხადია, რომ ქვიშური გრუნტების ძვრაზე წინაღობა უმთავრესად ხახუნის

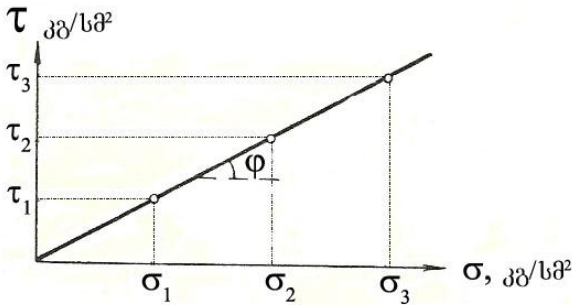
ძალებზე არის დამოკიდებული, ხოლო თიხური გრუნტების – ხახუნზე და შეჭიდულობაზე.

გრუნტის ძვრაზე წინაღობის დასახასიათებლად განვიხილოთ დახრილ სიბრტყეზე მყარი სხეულის წონასწორობის პირობა.



ნახ. 23. დახრილ სიბრტყეზე მატერიალური წერტილის წონასწორობის პირობა

მდგენელი  $T$  ქვევით არის მიმართული და ცდილობს სხეული გადაადგილოს ქვევით. მაგრამ ასეთ გადაადგილებას ეწინააღმდეგება საპირისპირო მიმართულების ხახუნის ძალა ( $R$ ). სხეულის მოძრაობაში მოსაყვანად საჭიროა, რომ ძვრის დაძაბულობა ( $T$ ) აღემატებოდეს ნორმალურ დაძაბულობას ( $N$ ) და ხახუნის ძალას ( $R$ ) ერთად აღებულს. რაც მეტია  $N$ , მით მეტი უნდა იყოს  $T$ , რათა სხეულმა იმოძრაოს დახრილ სიბრტყეზე. თუ ამ დამოკიდებულებას გრაფიკულად გამოვსახავთ, მივიღებთ წრფეს, რომელიც კოორდინატების სათავეში გადის (ნორმალური და ძვრის დაძაბულობების დამოკიდებულების გრაფიკი), რომელიც დამახასიათებელია ქვიშური და ზოგადად ფხვიერი გრუნტებისათვის.



ნახ. 24. ქვიშური გრუნტების წინაღობა ძვრაზე  
 წრფის განტოლება შემდეგნაირად გამოისახება:

$$\tau = tg\varphi \cdot \sigma_n$$

სადაც  $\tau$  - ძვრის დაძაბულობაა;

$tg\varphi$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი, ანუ კუთხური კოეფიციენტი, რომელიც ასახავს ძვრის დაძაბულობის დამოკიდებულებას ნორმალურ დაძაბულობაზე;

$\sigma$  - ნორმალური შემამჭიდროებელი დაძაბულობა.

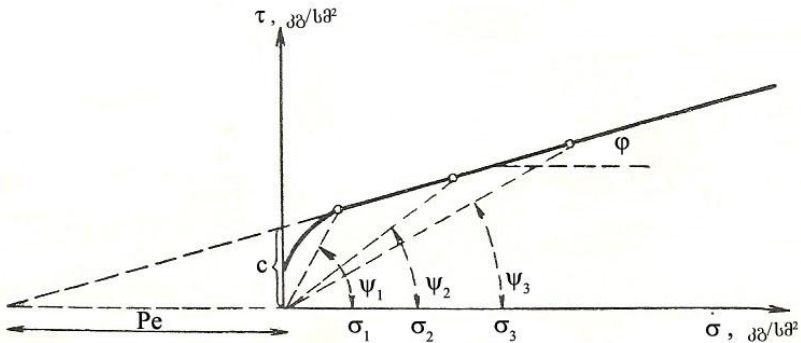
იმის გამო, რომ ქვიშური და სხვა შეუკავშირებელი გრუნტების წინაღობა ძვრაზე არის წინაღობა შიგა ხახუნზე, კუთხე  $\varphi$ -ს შიგა ხახუნის კუთხეს უწოდებენ, ხოლო  $tg\varphi$ -ს – შიგა ხახუნის კოეფიციენტს. თუ აღვნიშნავთ  $tg\varphi = f$ , მაშინ შეუკავშირებელი გრუნტების შემთხვევაში დამოკიდებულება ძვრის დაძაბულობასა და ნორმალურ დაძაბულობას შორის გამოისახება ფორმულით:

$$\tau = f \cdot \sigma_n$$

აღნიშნული დამოკიდებულება სიტყვიერად ასე გამოითქმის: *ფხვიერი შეუკავშირებელი ქანების წი-*

ნაღობა ძვრაზე არის ხახუნის წინაღობა, რომელიც პირდაპირპროპორციულია ნორმალური დაძაბულობისა.

განხილული დიაგრამისგან განსხვავებით (პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება ფხვიერ ქანებში), თიხური ქანების შემთხვევაში გრაფიკი ორი ნაწილისაგან შედგება: ერთი ნაწილი დამოკიდებულია ნორმალურ დაძაბულობაზე და გარკვეულ საზღვრებში მისი პროპორციულია, ხოლო მეორე ნაწილი არ არის დამოკიდებული ნორმალურ დაძაბულობაზე. პირველი ნაწილი განპირობებულია ქანში არსებული შიგა ხახუნით, ხოლო მეორე ნაწილი – საერთო შეჭიდულობით, რომელიც, თავის მხრივ, სტრუქტურული კავშირებით არის განპირობებული. ეს დამოკიდებულება გამოისახება განტოლებით:  $\tau = c + tg\varphi \cdot \sigma_n$



ნახ. 25. თიხური გრუნტების წინაღობა ძვრაზე

$c$  - საერთო შეჭიდულობა, ანუ წრფის საწყისი პარამეტრი, რომელიც ახასიათებს ძვრაზე წინაღობის იმ ნაწილს, რომელიც არ არის დამოკიდებული ნორმალურ დაძაბულობაზე, კგ/სმ<sup>2</sup>.

იმასთან დაკავშირებით, რომ  $tg\varphi = f$ , განტოლება შეიძლება შემდეგი სახით ჩავწეროთ:  

$$\tau = c + f \cdot \sigma_n$$

შეკავშირებული თიხური გრუნტების წინაღობა ძვრაზე ნორმალური მკუმშავი დაძაბულობის პირველი ხარისხის ფუნქციაა. თუ განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ  $\sigma_n$  და აღვნიშნავთ  $tg\psi = \frac{\tau}{\sigma_n}$ ,

მივიღებთ: 
$$tg\psi = f + \frac{c}{\sigma_n}$$

$tg\psi = F_{\sigma_n}$  სიდიდეს ძვრის კოეფიციენტი ეწოდება. ქვიშნარ გრუნტებში იგი შიგა ხახუნის კოეფიციენტის  $tg\varphi$  ტოლია და მუდმივი სიდიდეა ყველა ქანისთვის განსაზღვრულ მდგომარეობაში. თიხურ გრუნტებში ძვრის კოეფიციენტი ცვლადი სიდიდეა, კერძოდ, ნორმალური მკუმშავი ძალის გადიდებით ის მცირდება.

მაშასადამე, თიხური ქანების ძვრაზე წინაღობის მიხედვით დასახასიათებლად აუცილებელი პირობაა  $\varphi$ -სა და  $c$ -ს განსაზღვრა, რომლებსაც გრუნტის ძვრის მაჩვენებლებს უწოდებენ. მათი განსაზღვრა ხდება ლაბორატორიული გამოცდით აგებული გრაფიკის საშუალებით, რომელიც გვიჩვენებს დამოკიდებულებას ნორმალურ და ძვრის დაძაბულობებს შორის. სწორად შესრულებული ცდის შემთხვევაში გრაფიკი უნდა იყოს სწორხაზოვანი, არაუმეტეს 5%-იანი გადახრისა და ამასთან, წრფემ არ უნდა გაიაროს კოორდინატთა სათავის ქვევით.

ქვემოთ ცხრილის სახით მოცემულია  $\varphi$ -სა და  $c$ -ს სიდიდეები ზოგიერთი ტიპური გრუნტისთვის:

გრუნტის დასახელება	შიგა ხახუნის კუთხე, $\phi^0$	შეჭიდულობის ძალა, $c$ , კგ/სმ <sup>2</sup>
რბილი თიხა	10	0.05
მკვრივი თიხა	16	0.40
რბილი თიხნარი	14	0.02
მკვრივი თიხნარი	20	0.2
წვრილმარცვლოვანი ქვიშა	27	–
უსეშმარცვლოვანი ქვიშა	35	–

### თავი III. საინჟინრო-გეოლოგიური პროცესები

ისეთი გეოლოგიური პროცესები, როგორცაა მიწისძვრა, ვულკანიზმი, ტექტონიკური მოძრაობები და ა.შ., ყველა ქანში მიმდინარეობს და მათი თავიდან აცილება შეუძლებელია. ამისგან განსხვავებით, საინჟინრო-გეოლოგიური პროცესები მხოლოდ გარკვეული შედგენილობის და წარმოშობის ქანებში მიმდინარეობს. ასე მაგალითად, შემკვრივების პროცესი მხოლოდ თიხური გრუნტებისათვის არის დამახასიათებელი, ჯდენას მხოლოდ ლიოსისებურ ქანებში აქვს ადგილი, მეწყერი უმთავრესად თიხებთან არის დაკავშირებული, ქიმიური ან მექანიკური სუფოზია კარბონატული და ქვიშური შედგენილობის ქანებს ახასიათებს და სხვ. აღნიშნული პროცესების ხანგრძლივობა მეტნაკლებად შეესაბამება ნაგებობის ექსპლუატაციის ვადას და ისინი მჭიდროდ არის დაკავშირებული ადამიანის საინჟინრო საქმიანობასთან. ეს პროცესები ისეთ კატეგორიას არ მიეკუთვნება, რომელთა თავიდან აცილება შეუძლებელია. უმეტეს შემთხვევებში საინჟინრო ღონისძიებების გატარებით ხერხდება მათი რეგულირება ან სრული ლიკვიდაცია. აღნიშნულ პროცესებს *საინჟინრო-გეოლოგიური პროცესები* ეწოდება.

საინჟინრო-გეოლოგიური პროცესები ორ მთავარ ჯგუფად შეიძლება დავეყოთ:

- I. პროცესები, რომლებიც ქანების მოცულობის შეცვლით მიმდინარეობს;

II. პროცესები, რომლებიც ქანების ძვრასთან და გადაადგილებასთან არის დაკავშირებული.

პირველ ჯგუფში შემდეგი სახეობები გამოიყოფა:

- ა) პროცესები, რომლებიც დაკავშირებულია ქანების შემკვრივებასთან შემდეგი მიზეზებით:
  - დაწოლის გაზრდა,
  - ტენიანობის გადიდება (ლიოსისეზური ქანების ჯდომადობა),
  - ტენიანობის შემცირება.
- ბ) პროცესები, რომლებიც დაკავშირებულია ქანების მოცულობის გადიდებასთან;
- გ) სუფოზიური პროცესები:
  - მექანიკური სუფოზია;
  - ქიმიური სუფოზია.
- დ) ქანების გაყინვასთან და გალხობასთან დაკავშირებული პროცესები, რომლებსაც ჩვენი ტერიტორიის სინამდვილეში პრაქტიკული მნიშვნელობა არ ენიჭება და ამიტომ მათ არ განვიხილავთ.

III. პროცესები, რომლებიც ქანების ძვრასთან და გადაადგილებასთან არის დაკავშირებული:

- ა) ქანების გამოჭყლეტვა ნაგებობათა ფუნდამენტის ქვეშ;
- ბ) მეწყრული მოვლენები;
- გ) ქანების ძვრა – გადაადგილება.

## 1. დაწოლის (დატვირთვის) გავლენით ქანების შემკვრივება

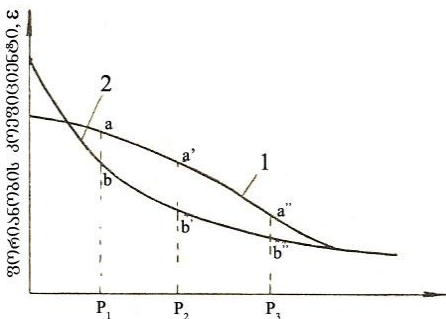
სამშენებლო პრაქტიკაში მიღებული დატვირთვების (5 - 7 კგ/სმ<sup>2</sup>) გავლენით კლდოვანი ქანი მხოლოდ დრეკად დეფორმაციას განიცდის. ამგვარი დეფორმაციის სიდიდე ძალზე უმნიშვნელოა და ნაგებობის მდგრადობაზე გავლენას არ ახდენს. სრულიად განსხვავებულია დატვირთვის ქვეშე მყოფი ფხვიერი ან რბილი გრუნტების ქცევა. ამ შემთხვევაშიც დრეკადი დეფორმაცია უმნიშვნელოა, სამაგიეროდ შეიძლება ადგილი ჰქონდეს სტრუქტურულ და სტრუქტურულ-აღსორბციულ დეფორმაციებს, ანუ მყარი მარცვლების სივრცობრივი წყობის დარღვევას, რასაც შედეგად გრუნტის მოცულობაში შემცირება მოჰყვება. ცხადია, ნაგებობის ფუნდამენტის მთლიან პერიმეტრზე გრუნტის შემკვრივების ხარისხი თანაბარი არ იქნება, შესაბამისად, ნაგებობის დაჯდომაც არათანაბარია და მისი დეფორმაციის ალბათობაც მოცემულ შემთხვევაში გაცილებით მაღალია. ვერტიკალური დაწოლის გავლენით გრუნტის შემკვრივების (კუმშვის) პროცესის კანონზომიერებებზე ზემოთ უკვე ვისაუბრეთ კომპრესიული თვისებების განხილვისას. ზოგადად, რაც უფრო მაღალი ბუნებრივი დატვირთვის ქვეშე იმყოფებოდა ქანი მშენებლობის დაწყებამდე, სხვა თანაბარ პირობებში, მით უფრო ნაკლები იქნება მისი შემკვრივების ხარისხი და შესაბამისად, მცირე იქნება ნაგებობის დაჯდომაც. მაშასადამე, დაჯდომის სიდიდე გრუნტის დაძაბული მდგომარეობის ისტორიაზე არის დამოკიდებული. აღსანიშნავია, რომ გრუნტის შემკვრივება გარდა ვერტიკალური დაძაბულობის გაზრდისა, სხვა მიზეზებითაც შეიძლება იყოს გამოწვეული. ასე მაგალითად, თუ დანალექი ქანებიდან მიწისქვეშა

წყლების ინტენსიური ამოტუმბვა მიმდინარეობს, ამ პროცესს თან ახლავს ქანების შემკვრივება, რადგანაც მცირდება ჰიდროსტატიკური წნევა და მყარი ნაწილაკები უფრო მჭიდროდ განლაგდება. ამ დროს მიწის ზედაპირი დაბლა იწევს, ზოგჯერ მნიშვნელოვნად. კალიფორნიაში მიწისქვეშა წყლების ამოტუმბვით ინტენსიური მოპოვების შედეგად მიწის ზედაპირმა 5 მეტრით დაიწია, ხოლო დაწვევის საშუალო სიჩქარემ წელიწადში 40 სმ შეადგინა. ზოგ შემთხვევაში მიწისქვეშა წყლების ამოტუმბვას სპეციალურად მიმართავენ, რათა ამ გზით გრუნტის შემკვრივებას მიაღწიონ, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საძირკვლის გრუნტად ალუვიური ქვიშების გამოყენება არის გათვალისწინებული.

## 2. ქანების შემკვრივება ტენიანობის გადიდების შედეგად (ლიოსისებური ქანების ჯდომადობა)

დასახელება ლიოსისებური ქანები გულისხმობს არა მხოლოდ კლასიკურ ლიოსს, რომელიც ქარის გეოლოგიური მოქმედების შედეგად ეოლური გზით წარმოიშობა, არამედ თიხნარსა და ქვიშნარს, რომელთა წარმოქმნა დელუვიურ, პროლუვიურ და ალუვიურ პროცესებთან არის დაკავშირებული. ლიოსისებურ ქანში ჭარბი ტენის შედწვევისას ადგილი აქვს ქანის დამატებით შემკვრივებას და მიწის ზედაპირის დაწვევას. ამ პროცესს *ჯდომადობა* ეწოდება. იგი ქანის ნარჩენ დეფორმაციას წარმოადგენს. რაოდენობრივად ამ პროცესის დასახასიათებლად, სამშენებლო მასალების შესწავლისას გამოიყენება *დარბილების კოეფიციენტის* სიდიდე, რომელიც წარმოადგენს წყლით გაჯერებული

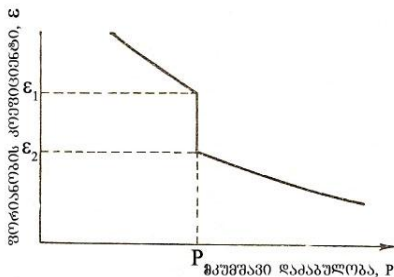
მასალის სიმტკიცის შეფარდებას იმავე მასალის სიმტკიცესთან მშრალ მდგომარეობაში. რაც უფრო მცირეა ეს კოეფიციენტი, მით უფრო ნაკლებად წყალმედვია სამშენებლო მასალა. ინტენსიურად გატენიანებული ლიოსისებური ქანის მოცულობა მკვეთრად მცირდება. ამის ძირითადი მიზეზი არის ის, რომ ლიოსი ბუნებრივად არასაკმარისად შემჭიდროებული ქანია, რასაც ემატება მისი მინერალური შედგენილობის და სტრუქტურის თავისებურებები. ლიოსისებური ქანის ჯდომადობის ხარისხი ასახავს იმ განსხვავებას, რომელიც არსებობს ქანის შემკვრივების ინტენსიურობაში ბუნებრივი (მცირე) ტენიანობის პირობებში და წყლით გაჯერების შემდეგ. ქვემოთ მოცემულ სქემაზე ასახულია ლიოსისებური ქანის შემჭიდროების მრუდები სხვადასხვა ტენიანობის პირობებში.



მაკუშვაში ღაბაბულობა, P, კგ/სმ<sup>2</sup>

**ნახ. 26. ლიოსის ჯდომადობა სხვადასხვა ტენიანობის პირობებში**

ლიოსისებური გრუნტის შემჭიდროების მრუდი ბუნებრივი ტენიანობის პირობებში (1), იგივე წყლით სრული გაჯერების პირობებში (2) (ნ.



**ნახ. 27. ლიოსის ფორიანობის კოეფიციენტის მკვეთრი შემცირება დასველების შედეგად**

ლიოსისებური ქანის ჯდენადობის შეფასება ერთი მრუდის მეთოდით:  $\epsilon_1$  - ფორიანობის კოეფიციენტი

ნახ. 26-ზე 1 - მრუდი ასახავს ლიოსის შემჭიდროების პროცესს ბუნებრივი (მცირე) ტენიანობის დროს, 2 – მრუდი კი, იმავე პროცესს წყლით გაჯერების პირობებში. პირველი მრუდის ამოხსნეკილი ფორმა იმაზე მიუთითებს, რომ ქანის მნიშვნელოვანი შემჭიდროება ხდება მაღალი დაწოლის პირობებში (მრუდის ბოლო ციცაბო მონაკვეთი). მეორე მრუდი, პირიქით, ჩაზნექილია. ეს ნიშნავს, რომ ქანის მნიშვნელოვან შემჭიდროებას ადგილი აქვს უკვე საწყის ეტაპზე, მცირე დაწოლის ზეგავლენით. მაშასადამე, პირველ შემთხვევაში ქანი ინარჩუნებს სიმტკიცეს და მისი რღვევა მხოლოდ მაღალი დაწოლის დროს ხდება, ხოლო მეორე შემთხვევაში, სველ მდგომარეობაში მყოფი გრუნტი მცირე დაწოლის დროსაც კი დეფორმირდება. მრუდების ორდინატებს შორის განსხვავებები ( $ab$ ,  $a^*b^*$ ,  $a^{**}b^{**}$ ) გვიჩვენებს განსხვავებას ლიოსისებური ქანის შემჭიდროების ხარისხში ბუნებრივი ტენიანობისა და წყლით გაჯერების პირობებში. აქედან გამომდინარე, აღნიშნული განსხვავებების სიდიდეები ქანის ჯდომადობის რაოდენობრივ საზომს წარმოადგენს. კომპრესიაზე ცდის საშუალებით ლიოსის ჯდომადობის შეფასება ხდება სპეციალური მაჩვენებლის გამოანგარიშებით, რომელიც ახასიათებს ლიოსის ჯდომადობას წყალში დასველების შემდეგ. ამ მაჩვენებელს ფარდობითი ჯდომადობა ეწოდება და გამოითვლება ფორმულით:

$$\delta_{\%} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_0}$$

სადაც  $\delta_{\%}$  - ფარდობითი  $\%$ დომადობაა;

$\varepsilon_1$  -  $p_i$  დატვირთვის ქვეშ (ნაგებობის წონა და ზემოთ განლაგებული გრუნტის წონა მასში არსებული წყლის წონის გათვალისწინებით) მყოფი ბუნებრივი ტენიანობის ნიმუშის ფორიანობის კოეფიციენტი. გრუნტის ნიმუშს არა აქვს გვერდითი გაფართოების საშუალება;

$\varepsilon_2$  - იმავე ნიმუშის ფორიანობის კოეფიციენტი მასში წყლის გატარების შემდეგ, როდესაც შენარჩუნებულია იგივე  $p_i$  დატვირთვა;

$\varepsilon_0$  - ბუნებრივი ტენიანობის იგივე ნიმუშის ფორიანობის კოეფიციენტი, როდესაც გრუნტზე განვითარებულია ბუნებრივი დატვირთვის ტოლი დატვირთვა და ამასთანავე, გამორიცხულია გვერდითი გაფართოების შესაძლებლობა. სხვაობა  $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$  წარმოადგენს ფორიანობის კოეფიციენტის შემცირების სიდიდეს წყალში დასველების გავლენით, ანუ ქანის შემჭიდროების მაჩვენებელს. ზემოთ მოცემული ფორმულა შეიძლება შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$\delta_{\%} = \frac{h - h'}{h_0}$$

სადაც  $h$ ,  $h'$  და  $h_0$  შესაბამისად, იმ ნიმუშების სიმაღლეებია, რომელთა ფორიანობის კოეფიციენტებია  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  და  $\varepsilon_0$ .

უნდა აღინიშნოს, რომ ხშირ შემთხვევაში ლაბორატორიული ცდით მიღებული ჯდომადობის სიდიდეები 5 – 10-ჯერ და ზოგჯერ 25 – 30-ჯერაც კი ჩამოუვარდება ნაგებობათა ფაქტობრივ ჯდომადობას. ეს ფაქტი ეჭვის ქვეშ აყენებს ლაბორატორიული მეთოდების გამოყენებას ლიოსისებური ქანების ჯდომადობის შესაფასებლად. აღნიშნულის გამო, უპირატესობას გამოცდის სავსე მეთოდებს აძლევენ. ამ მიზნით სპეციალური შტამპები გამოიყენება. შტამპით გრუნტის გამოცდისას ხელოვნურად დასველება ხდება ისეთი დაწოლის პირობებში, რომელიც ტოლია მშენებარე ნაგებობის და საძირკვლის გრუნტზე განლაგებული ქანების წონების ჯამისა. შტამპებით გამოცდა ბუნებრივთან გაცილებით მიახლოებულ შედეგებს იძლევა და ამიტომ ფართოდ გამოიყენება საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების პრაქტიკაში. ასალი კონსტრუქციის შტამპები აღჭურვილია გაზომვის შედეგების ავტომატურად ჩამწერი მოწყობილობით, რითაც სამუშაო მნიშვნელოვნად ჩქარდება და იაფდება.

ლიოსისებურ ჯდომად ქანებზე მშენებლობა განსაკუთრებული პროფილაქტიკური ღონისძიებების გატარებას მოითხოვს. დანიშნულების მიხედვით ეს ღონისძიებები ოთხ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს:

- ღონისძიებები, რომელთა მიზანს შეადგენს ნაგებობის ფუნდამენტის იზოლაცია ატმოსფერული, გრუნტის და ჩამდინარე წყლებისაგან;
- ღონისძიებები, გრუნტის ხელოვნურად შემკვრივების მიზნით, რაც შეიძლება განხორციელდეს წინასწარი დატკეპნით ან

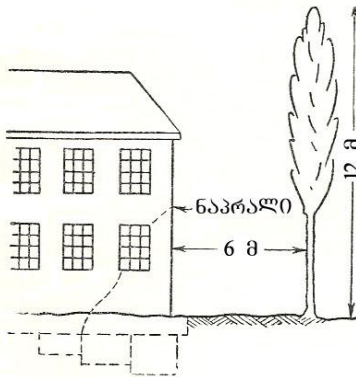
გრუნტის დამუშავებით ქიმიური რეაგენტების საშუალებით;

- თვით ნაგებობის კონსტრუქციაში შესაძლო არათანაბარი დაჯდომის გათვალისწინება საიმედოობის მაღალი კოეფიციენტით;
- შესაძლებლობის შემთხვევაში საძირკვლიდან ჯდომადი გრუნტის მთლიანად მოცილება.

### **3. თიხური ქანების შემკვრივება ტენიანობის შემცირების შედეგად**

გამოშრობის შედეგად თიხური ქანის მოცულობაში შემცირების პროცესს შეკლება ეწოდება. ამ დროს ქანის ზედაპირზე ნაპრალები ჩნდება, რასაც მიწის ზედაპირის ერთგვარი დაწვევაც ახლავს თან. წვიმიან პერიოდში ნაპრალები ქრება და მიწის ზედაპირიც თავის პირვანდელ მდგომარეობას უბრუნდება. ნაგებობათა ფუნდამენტის გრუნტის გამოშრობა სხვადასხვა მიზეზით შეიძლება იყოს განპირობებული, როგორცაა ინტენსიური აორთქლება, სითბოს ადგილობრივი ხელოვნური წყაროების, მაგალითად, ღუმელების ზემოქმედება, მცენარეთა მიერ წყლის შთანთქმა ან ელექტროსმოსური პროცესები. საძირკვლის გრუნტის შეკლების სიდიდე არ არის თანაბარი ნაგებობის მთლიან პერიმეტრზე, რის გამოც ადგილი აქვს ფუნდამენტის არათანაბარ დაჯდომას და კედლებზე დეფორმაციის ბზარების წარმოქმნას. ლიტერატურაში აღწერილია შემთხვევები, როდესაც თიხების გამოშრობამ და შეკლებამ ნაგებობების სერიოზული დეფორმაციები გამოიწვია. ასე მაგალითად, აშშ-ის ქ. კანზასში ორწლიანი გვაღვების

შედგება საცხოვრებელი სახლების 65%-მა მნიშვნელოვანი დეფორმაციები განიცადა, ხოლო ამ მოვლენით მიყენებულმა ზარალმა 30 მილიონი დოლარი შეადგინა. საკმაოდ ხშირად შეკლების პროცესი მცენარეთა ფესვების მიერ ტენის შეწოვასთან არის დაკავშირებული. სწორედ ამის გამო, სახლების დეფორმაციის თავიდან ასაცილებლად, რეგლამენტირებულია სახლიდან ხის მინიმალური დაშორება, კერძოდ, ეს მანძილი არ უნდა იყოს ზრდადასრულებული მცენარის სიმაღლეზე ნაკლები.

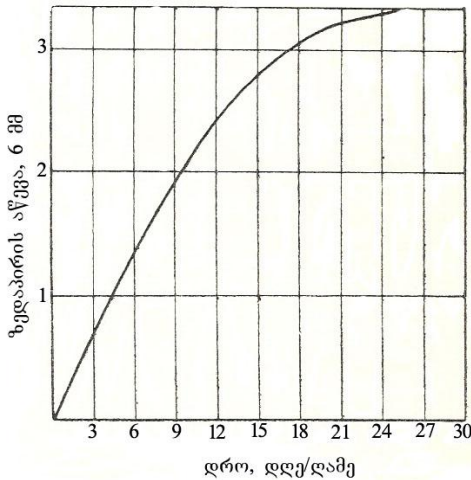


**ნახ. 28.** ნაპრალი შენობის კედელზე, რომელიც წარმოიქმნა მცენარის მიერ ტენის შთანთქმის მიზეზით თიხის შეკლების შედეგად (ჯ. კინგის და დ. კროსველის მიხედვით)

#### 4. პროცესები, რომლებიც დაკავშირებულია ქანების მოცულობის გადიდებასთან

სამშენებლო ქვაბულის ამოღების შედეგად ქანზე მანამდე არსებული ბუნებრივი დაწოლის სიდიდე მცირდება, რასაც მოცულობაში მატება

მოსდევს. ცხადია, მოცულობაში მატება თიხურ ქანში შეუდარებლად უფრო მეტია, ვიდრე კლდოვან ან ნახევრად კლდოვან ქანში. ამ სიდიდემ პირვანდელი მოცულობის 10% შეიძლება შეადგინოს, რის შედეგადაც ნაგებობის ფუნდამენტზე ქვევიდან ზევით მნიშვნელოვანი დაწოლა ვითარდება. თიხური ქანების შემთხვევაში მოცულობაში მატება მხოლოდ დრეკადი დეფორმაციის ხარჯზე არ ხდება. ძირითადი მიზეზი არის ის, რომ ადგილი აქვს ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის აპკის სისქის ზრდას, ანუ სტრუქტურულ-ადსორბციულ დეფორმაციას. ამ პროცესს საინჟინრო გეოლოგიაში *გაჭირჯვება (სინონიმი “ბურცვა”)* ეწოდება. ბურცვა არის გრუნტის მიერ გარედან ტენის შეწოვის და გრუნტის სტრუქტურაში წყლის მოლეკულების გადანაწილების შედეგი. თუ სამშენებლო ქვაბულის ფსკერი ბურცვადი თიხებით არის წარმოდგენილი, ქვაბულის ფსკერი მაღლა იწევს რამდენიმე მილიმეტრიდან რამდენიმე ათეულ სანტიმეტრამდე. ამ მიზეზის გამო, ფუნდამენტის მოწყობამდე საჭირო ხდება ქვაბულიდან ბურცვადი და გადაზედილი თიხის ფენის მოცილება. თიხის ბურცვა დროში რამდენადმე გაწედილი პროცესია, რაზეც წარმოდგენას გვაძლევს ქვემოთ მოცემული გრაფიკი.



**ნახ. 29. თიხის ნიმუშის ზედაპირის აწვევა დროში თიხის ბურცვის შედეგად**

ბურცვის შედეგად აღიძვრება ე.წ. *ბურცვის დაწნევა*, რომლის სიდიდე თიხების უმრავლესობისათვის 1.5 – 2.0 კგ/სმ<sup>2</sup> ფარგლებშია, მაგრამ ზოგ შემთხვევაში შეიძლება 12-15 კგ/სმ<sup>2</sup> მიაღწიოს. თუ ბურცვის დაწნევამ გადააჭარბა იმ დაწოლას, რომლის ქვეშაც იმყოფება საძირკველის გრუნტი საკუთარი სიმძიმის ძალის და ნაგებობის წონის გავლენით, შეიძლება მოხდეს ნაგებობის აწვევა, რომლის მაგალითებიც მრავლადაა სამშენებლო პრაქტიკაში. ბურცვის შედეგად მოცულობაში მატება არათანაბრად განაწილდება ფუნდამენტის პერიმეტრზე, რის გამოც ქვემოდან განვითარებული დაწოლის სიდიდეც არათანაბარია, რასაც საბოლოო ანგარიშში, ნაგებობის დეფორმაცია მოხდევს. თიხური ქანის ბურცვის მაჩვენებლის ( $R_b$ )

გამოთვლა შემდეგი ფორმულით ხდება:

$$R_z = \frac{S_z}{h_0 - S_1} \cdot 100\%$$

სადაც

$S_z$  - ნიმუშის ზედაპირის აწევის მაქსიმალური სიდიდეა;

$h_0$  - ნიმუშის თავდაპირველი სიმაღლე;

$S_1$  - ნიმუშის ზედაპირის დაჯდომა ბუნებრივი ტენიანობის პირობებში.

ბურცვის მაჩვენებლის სიდიდემ შეიძლება 15 – 20%-ს მიაღწიოს. ამ მაჩვენებლის და იმ შრის სიმკვარის მიხედვით, რომლის ფარგლებშიც მოსალოდნელია ბურცვის გამოვლინება, ანგარიშობენ ნაგებობის აწევის მოსალოდნელ სიდიდეს.

## 5. ქანების მოცულობის შეცვლა სუფოზიური პროცესების გაგლენით

ზოგადად სუფოზია განიხილება როგორც პროცესი მოძრავი ნაკადით გრუნტის მარცვლების გამოტანისა (*მექანიკური სუფოზია*) ან ქანების გახსნისა (*ქიმიური სუფოზია*).

**5.1 მექანიკური სუფოზია** იმ ჰიდროდინამიკური დაწნევის შედეგია, რომელიც ქანში ფილტრაციის შედეგად აღიძვრება. ცხადია, ამ შემთხვევაში დაწნევისა და ნაკადის მიმართულების ვექტორები თანხვედნილია. ჰიდროდინამიკური დაწნევის ( $\sigma_{\text{ჰ.ფ.}}$ )

სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:  $\sigma_{\text{ჰ.ფ.}} = I \cdot \gamma_{\text{ფ.}}$

სადაც  $I$  - დაწნევის გრადიენტია;

$\gamma_{\text{ფ.}}$  - წყლის მოცულობითი წონა, გ/სმ<sup>3</sup>.

ქვიშის ფორებიდან მყარი ნაწილაკების გამოტანა არაერთგვაროვანი გრანულომეტრიული შედგენილობის ქანიდან უფრო ადვილად ხდება. ამისთვის საჭიროა, რომ ნაკადის ფაქტობრივმა სიჩქარემ გადააჭარბოს ე.წ. *კრიტიკულ* სიჩქარეს, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია მარცვლების დიამეტრზე და ქვიშის წყობის სიმჭიდროვეზე. მექანიკური სუფოზიის დაწყებამდე ზღვრული წონასწორობის პირობა შემდეგი ფორმულით

აისახება:  $I_{\text{კრ.}} \cdot \gamma_{\text{ფ.}} = (\gamma_0 - \gamma_{\text{ფ.}}) \left(1 - \frac{n}{100}\right)$ .

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ  $I_{\text{კრ}}$  რიცხობრივად ქვიშის მოცულობითი წონის ტოლია ატივტივებულ მდგომარეობაში, ანუ დაახლოებით ერთის ტოლი. იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილი

აქვს სამშენებლო ქვაბულში მექანიკური სუფოზიის შედეგად წყალთან ერთად მყარი ნაწილაკების ინტენსიურ შემოტანას, წყლის ამოტუმბვა უშუალოდ ქვაბულიდან დაუშვებელია, რადგანაც ამოტუმბვის შედეგად ჰიდრაულიკური ქანობის სიდიდე იზრდება და სუფოზიის პროცესი უფრო აქტიური ხდება.

## 5.2 ქიმიური სუფოზია (კარსტი)

აკად. ფ. სავარენსკის განმარტებით ცნება *კარსტი* გულისხმობს მოვლენებს, რომლებიც დაკავშირებულია მიწისქვეშა წყლების გეოლოგიურ მოქმედებასთან და გამოიხატება ხსნადი ქანების (კირქვები, დოლომიტები, თაბაშირი) გამოტუტვაში და ამ ქანებში სიცარიელების (არხები, გამოქვაბულები) წარმოქმნაში, რასაც თან ახლავს რელიეფში კარსტული ფორმების (ძაბრები, ღრმულები) განვითარება. უმეტეს შემთხვევაში კარსტის განვითარება არახელსაყრელია ტერიტორიის სამშენებლო და სამეურნეო ათვისებისათვის, აგრეთვე სასარგებლო წიაღისეულის საბადოების დამუშავებისათვის. ხსნადობის ხარისხის მიხედვით ქანების შემდეგი ძირითადი ჯგუფები გამოიყოფა:

- კარბონატები (კირქვები, დოლომიტი);
- თაბაშირი და ანჰიდრიტი;
- ჰალოიდები (ნატრიუმის, კალიუმისა და მაგნიუმის ქლორიდები).

ამ მარილების ხსნადობა სხვადასხვა ფაქტორზეა დამოკიდებული, მათ შორის, წყლის ტემპერატურაზე. მაგალითად, ქვამარილის და კალციტის ხსნადობა ტემპერატურის ზრდასთან ერთად იზრდება, ხოლო ანჰიდრიტის და თაბაშირის ხსნადობა მატულობს მხოლოდ 35<sup>0</sup>C ტემპერატურამდე, რომლის

ზევითაც ამ მარილების ხსნადობა კლებულობს. გარდა ხსნადობისა, კარსტის წარმოქმნასა და შემდგომ განვითარებაში დიდ როლს თამაშობს ქანების წყალშედწვევადობა. რაც უფრო მეტად ნაპრალოვანია ქანი, მით უფრო ხელსაყრელი პირობებია კარსტის განვითარებისთვის. ზოგადად, კარბონატები წყალში ცუდად იხსნება, კერძოდ, კალციტის ხსნადობა 0.013 გ/ლ შეადგენს. მეორე მხრივ, კარსტული პროცესი უმეტესად სწორედ კარბონატული ქანებისათვის, სახელდობრ, კირქვებისთვის არის დამახასიათებელი. ამ, ერთი შეხედვით პარადოქსის ახსნა იმაში მდგომარეობს, რომ კარბონატული ქანები ფართოდ არის გავრცელებული მიწის ქერქში და ზედაპირზე, ხოლო პროცესი გეოლოგიური დროის ხანგრძლივობისაა, რომლის განმავლობაშიც მიწისქვეშა წყალი ხსნის კარბონატულ ქანს. გახსნის პროცესი განსაკუთრებით ინტენსიურია იმ შემთხვევაში, როდესაც მიწისქვეშა წყალი შეიცავს ე.წ. აგრესიულ ნახშირმჟავას, რომელსაც ძნელად ხსნადი კარბონატული ფორმა აღვილად გადაჰყავს ხსნად ბიკარბონატულ ფორმაში შემდეგი რეაქციის მიხედვით:  $CaCO_3 + H_2O + CO_2 \Leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$

კარბონატული ქანებით აგებული ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური შეფასებისას ძალზე მნიშვნელოვანია კარსტული პროცესის განვითარების სიჩქარის განსაზღვრა. ეს საკითხი ჯერჯერობით კარგად გარკვეული არ არის. კარსტული პროცესის განვითარების სიჩქარე შეიძლება შეფასდეს *კარსტული პროცესის აქტიურობის მაჩვენებლით*, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$A = \frac{v}{V} \cdot 100\%$$

სადაც  $A$ -კარსტული პროცესის აქტიურობის მაჩვენებელია;

$v$  - 1000 წლის განმავლობაში გახსნილი ქანის მოცულობა;

$V$  - კარსტვადი ქანების საერთო მოცულობა, რომელიც განისაზღვრება კარსტვადი ქანების გაერცელების ფართობისა და კარსტული პროცესის განვითარების ზონის სიმძლავრის (სისქის) მიხედვით. დადგენილია, რომ კარსტული პროცესის აქტიურობის მაჩვენებელი ტოლია: ყირიმში - 0.08%, ქ. სოჭის შემოგარენში - 1.0%, შუა აზიის გვალვიან რაიონებში - 0.001%.

კარსტული პროცესის საწინააღმდეგო ღონისძიებების შემუშავება და გატარება ძალზე რთული ამოცანაა, მაგრამ ამის მიუხედავად, ზოგჯერ კარსტულ მასივზე მშენებლობა გარდაუვალია. კარსტის საწინააღმდეგო ღონისძიებებიდან აღსანიშნავია:

- ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირების და დრენაჟის მოწყობის გზით კარსტული მასივის იზოლიაცია ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლებისგან;
- ნაგებობათა საძირკვლის გრუნტების ცემენტაცია, რაც ხორციელდება სპეციალურ ჭაბურღილებში ცემენტის ხსნარის ჩაჭირხვნით, რის შედეგადაც იქმნება წყალგაუმტარი ბარიერი და იმავდროულად იზრდება ქანების სიმტკიცე და მონოლითურობა;

- საძირკვლის გრუნტების ბიტუმიზაცია, რომელიც ქმნის მიწისქვეშა წყალგაუმტარ ბარიერს.

მშენებლობისთვის განკუთვნილი კარსტული მასივის საინჟინრო-გეოლოგიური შესწავლა მოიცავს სამუშაოთა შემდეგ ძირითად სახეობებს:

- ადგილმდებარეობის კლიმატური პირობების, მცენარეული საფარის და ჰიდროლოგიის შესწავლა;
- საინჟინრო-გეოლოგიური აგეგმვა;
- საძირკვლის სამუშაოები – ჭაბურღილებისა და შურფების გაყვანა;
- გეოფიზიკური კვლევები;
- საცდელი სამუშაოები და რეკიმული დაკვირვებები;
- ლაბორატორიული კვლევები.

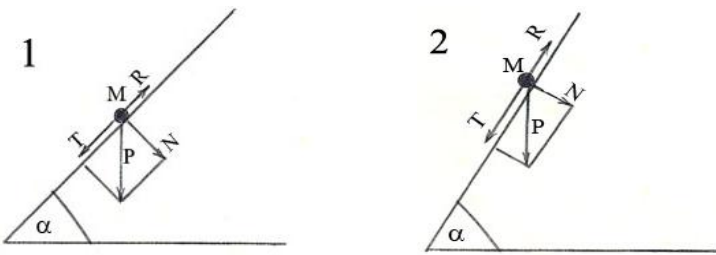
თითოეული ეს საკითხი სპეციალური განხილვის საგანია და შესაბამის ლიტერატურაში არის გაშუქებული.

## **6. პროცესები, რომლებიც ქანების ძვრასთან და გადაადგილებასთან არის დაკავშირებული**

ამ პროცესებიდან შედარებით ვრცლად განვიხილავთ მეწყრებს, რადგანაც საქართველოს ტერიტორიისთვის დამახასიათებელი რთული, მთიან-ნაოჭარელიეფის პირობებში ჩამოყალიბდა შესაფერისი გარემო სხვადასხვა ზომის მეწყრების ჩასახვისა და განვითარებისათვის, რომლებიც ფართოდაა გავრცელებული საქართველოს საშუალო და მაღალმთიან რაიონებში.

მეწყერი ბუნების მრისხანე მოვლენების რიცხვს მიეკუთვნება, რომელიც გარდა იმისა, რომ ძალიან ართულებს ნაგებობების მშენებლობის და ექსპლუატაციის პირობებს, ხშირად კატასტროფის მიზეზი ხდება, რასაც მნიშვნელოვანი მატერიალური ზარალი და ადმიანთა მსხვერლიც კი მოსდევს. ამის მაგალითები ჩვენს სინამდვილეში მრავლადაა, თუნდაც ე.წ. *ეკომიგრანტები*, ანუ რაჭიდან, სვანეთიდან და აჭარიდან მეწყრების მიზეზით ბარში გადმოსახლებული მოსახლეობა.

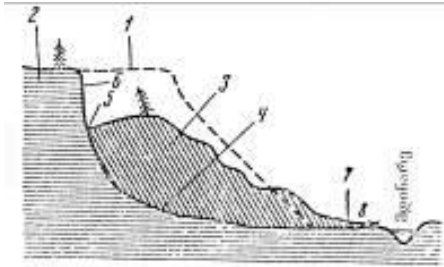
*მეწყერი* ეწოდება ქანების მასის მოძრაობას ფერდობის გასწვრივ, რაც მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების აქტიური მონაწილეობით მიმდინარეობს. მაშასადამე, მეწყერი გრავიტაციული პროცესია და წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც არსებობს შეუსაბამობა ფერდობის კონფიგურაციას, დახრილობასა და ამ ფერდობის ამგები ქანების შედგენილობასა და ფიზიკურ მდგომარეობას შორის. მეწყრის განვითარებაში ფერდობის დახრილობის როლის გასარკვევად, საკმარისია განვიხილოთ დახრილ სიბრტყეზე მატერიალური წერტილის წონასწორობის პირობა.



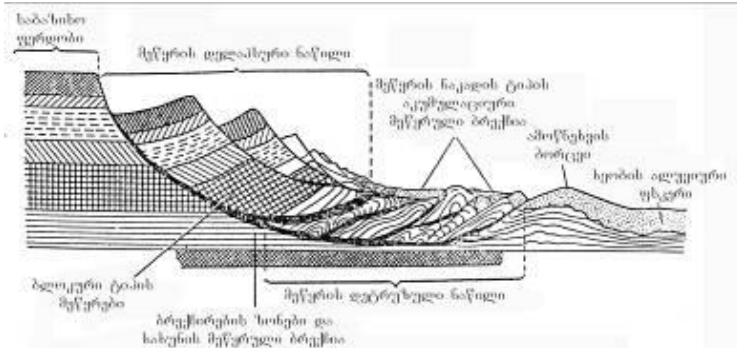
ნახ. 30. სხვადასხვა კუთხით დახრილ სიბრტყეზე მატერიალური წერტილის წონასწორობის პირობა

მეორე შემთხვევა მეწყრის წარმოქმნისთვის უფრო ხელსაყრელია, რადგანაც ფერდობის დახრილობის ზრდასთან ერთად ( $\alpha_2 > \alpha_1$ ), სიმძიმის ძალის უცვლელი მნიშვნელობისას ( $P$ ), მდგენელი  $T$ , რომელიც მიმართულია ქვევით, ფერდობის დახრილობის გასწვრივ და მუშაობს მატერიალური წერტილის დაცურებაზე, იზრდება ( $T_2 > T_1$ ). როდესაც ეს მდგენელი გადააჭარბებს ხახუნის ძალისა და ნორმალური მდგენელის სიდიდეთა ჯამს, იწყება მასის გადაადგილება ფერდობის გასწვრივ.

საკუთრივ მეწყერს ახასიათებს მოწყვეტილი მასის დიდი მოცულობა და სრიალის სიბრტყის ღრმა განლაგება. ჩამონგრევისგან მეწყერი იმით განსხვავდება, რომ პირველი მყისიერი პროცესია, ხოლო მეწყერი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ვითარდება, „ემზადება“ და შემდეგ კატასტროფული სიჩქარით მიმდინარეობს. ზოგადად, მეწყერული ფერდობის აგებულებაზე და მეწყრის შემადგენელ ელემენტებზე წარმოდგენას გვაძლევს ქვემოთ მოცემული სქემა.



**ნახ. 31. მეწყერული ფერდობის სქემა:** 1-ფერდობის თავდაპირველი მდებარეობა; 2-დაურღვეველი ფერდობი; 3-მეწყერული სხეული; 4-სრიალის ზედაპირი; 5-უკანა ნაკერი; 6-მეწყრის ზედა საფეხური; 7-მეწყრის საგები; 8-წყარო



ნახ 32. რთული მეწერის სქემა (ე. შანცერის მიხედვით)

მოწყვეტის ზედაპირის განლაგების და კონფიგურაციის დადგენას დიდი მნიშვნელობა აქვს მეწერების შესწავლისას. თუ მოწყვეტის (სრიალის) სიბრტყე არაღრმა განლაგებისაა (5 მ-მდე), მას შურფების საშუალებით დაადგენენ, ხოლო უფრო ღრმა განლაგების შემთხვევაში საჭირო ხდება ჭაბურღილების გაყვანა. მეწერული ფერდობისთვის დამახასიათებელია თავისებური რელიეფი, რომელსაც ბორცვოვან-საფეხურისებრი ფორმა აქვს. ამასთან, საფეხურები ფერდობის შიგნით არის დახრილი და ერთგვარ ტერასებს ქმნის, რომლებზეც ხშირად წვიმის წყალი გროვდება და მცირე ფართობის დაჭაობებულ უბნებს წარმოქმნის. მეწერის ცალკეული ელემენტების დეტალური განხილვა სცილდება წინამდებარე კურსის მოცულობას, აღნიშნავთ მხოლოდ, რომ მოწყვეტის სიბრტყეს უმთავრესად რკალური მოხაზულობა ახასიათებს, რის გამოც მისი პროექცია მიწის ზედაპირზე ასევე რკალური ფორმისაა და მას *მეწერულ ცირკს* უწოდებენ. მეწერული ცირკის არსებობა მეწერის დიაგნოსტიკის ერთ-ერთი ძირითადი საშუალებაა.

მეწყრის გამომწვევი მიზეზები ძალზე მრავალ-  
ფეროვანია და სამ მთავარ ჯგუფად იყოფა:

1) პროცესები, რომელთა ზეგავლენითაც ხდება  
ფერდობის ფორმისა და სიმაღლის შეცვლა:

- ეროზიის ბაზისის ცვალებადობა;
- ზღვის ტალღებისა და ზედაპირული  
ნაკადების დამანგრეველი მოქმედება;
- ფერდობზე სამშენებლო მიზნით მოწყობილი  
ჭრილები და ნახევარჭრილები.

2) პროცესები, რომლებითაც გამოწვეულია  
ფერდობის ამგები ქანების ფიზიკურ-მექანიკური  
თვისებების შეცვლა:

- გამოფიტვის შედეგად ქანების ფიზიკურ-  
მექანიკური თვისებების გაუარესება;
- წყალთან ურთიერთქმედების მიზეზით  
ქანების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების  
გაუარესება;
- მიწის მასების ფერდობზე გადაადგილების  
შედეგად ქანების ფიზიკურ-მექანიკური  
თვისებების გაუარესება.

3) ფერდობზე დატვირთვის გაზრდასთან  
დაკავშირებული პროცესები:

- ჰიდროდინამიკური დაწნევა;
- ჰიდროსტატიკური დაწნევა;
- ხელოვნური მიზეზებით გამოწვეული მაღალი  
დინამიკური და სტატიკური დატვირთვები;
- სეისმური ბიძგები.

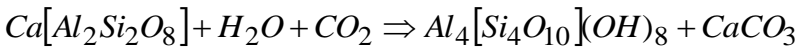
*ეროზიის ბაზისის ცვალებადობა* დაკავშირებულია ზედაპირული ნაკადების ან ზღვის გეოლოგიურ მოქმედებასთან, აგრეთვე ტექტონიკურ მოვლენებთან. ეროზიის ბაზისის დადაბლებისას სიმაღლე ფერდობის წარბასა და ძირს შორის იზრდება, რაც არახელსაყრელი ფაქტორია ფერდობის მდგრადობის შესუსტების თვალსაზრისით. თუ ეროზიის ბაზისის დადაბლებას თან ახლავს ფერდობის ძირში წყალშემცველი შრის გაშიშვლება, ფილტრაციის გრადიენტი მკვეთრად მატულობს, იზრდება ჰიდროდინამიკური დაწნევა, წარმოიქმნება შესაფერისი პირობები მეწყრის განვითარებისთვის.

*ზღვის ტალღებისა და ზედაპირული ნაკადების დამანგრეველი მოქმედება* ვლინდება ზღვის სანაპირო ზოლში და მდინარეთა ეროზიული ხეობების ფარგლებში, აგრეთვე ატმოსფერული ნალექების ინტენსიური გამოყოფის უბნებზე. ამ საკითხზე მოგვიანებით შეგხერდებით მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების განხილვისას.

*ხელოვნური ჭრილები და ნახევარჭრილები*, რომლებსაც სამშენებლო მიზნით აწყობენ ფერდობის ძირში, ხშირად ფერდობის წონასწორობის დარღვევის და მობილურ მდგომარეობაში გადასვლის მიზეზი ხდება. ამიტომ, ჭრილის დანიშნულებისა და ზომებისაგან გამომდინარე, აუცილებელია ახლად წარმოქმნილი ხელოვნური ფერდობის მდგრადობის წინასწარი გაანგარიშება, რათა ფერდობის დახრილობის ფაქტობრივმა კუთხემ ოპტიმალურ სიდიდეს არ გადააჭარბოს.

*ქანების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები* მათ ბუნებრივ მდგომარეობაზე არის დამოკიდებული.

გამოფიტვას თან სდევს ქანის მთლიანობის დარღვევა, ნაპრალების წარმოქმნა, მეორადი მინერალების წარმოქმნა, შესაბამისად მექანიკური და ფიზიკური თვისებების მკვეთრი დაქვეითება საწყის დედა-ქანთან შედარებით. ცნობილია, რომ პლაგიოკლაზების ქიმიური გამოფიტვის შედეგად თიხური მინერალები წარმოიქმნება, ხოლო თიხური მასა ხელსაყრელი გარემოა მეწყრის ჩასახვისა და განვითარებისათვის. პლაგიოკლაზის ქიმიური გამოფიტვა შემდეგი ტიპური რეაქციის მიხედვით მიმდინარეობს:



*ანორთიტი*

*კაოლინიტი*

როგორც ვხედავთ, მკვერივი ანორთიტის გამოფიტვის შედეგად წარმოიქმნება ფხვიერი, მიწისებრი მასის თიხური მინერალი კაოლინიტი.

წყალთან გრუნტის ურთიერთქმედების შედეგად ამ უკანასკნელის ტენიანობა მატულობს, რის გამოც გრუნტი შეიძლება დენად პლასტიკურ მდგომარეობაში გადავიდეს; ხახუნის ძალა მკვეთრად კლებულობს, პარალელურად იზრდება ფერდობზე სიმძიმის ძალა ტენის მომატების ხარჯზე, რის გამოც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს მეწყრის წარმოქმნას.

გრუნტების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუარესება ხდება აგრეთვე ფერდობის გასწვრივ მიწის მასის გადაადგილების შედეგად. თუ ფერდობი უკვე იმყოფებოდა მობილურ მდგომარეობაში, მაშინ მისი ამგები გრუნტების ფიზიკური და მექანიკური თვისებები გაუარესებულია, რაც ხშირად მეწყრის

წარმოქმნის მიზეზად გვევლინება. აქედან გამომდინარე, სამშენებლო სამუშაოების წარმოება ძველ, სტაბილიზირებულ მეწყრულ ფერდობებზე განსაკუთრებულ ყურადღებას და პროფილაქტიკური ღონისძიებების გატარებას მოითხოვს.

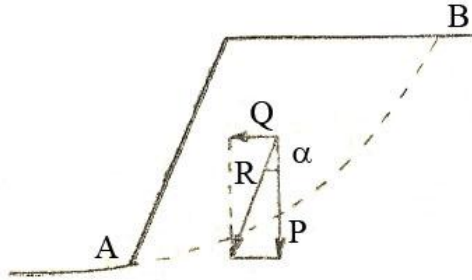
გრუნტების ფიზიკურ – მექანიკური თვისებების გაუარესების ერთ-ერთ მიზეზად ქიმიური სუფოზიის პროცესი გვევლინება, რომელიც საკმაოდ დეტალურობით არის განხილული კარსტული მოვლენების დახასიათებისას.

*ფერდობზე ჰიდროდინამიკური დაწნევა* იმ შემთხვევაში ვითარდება, როდესაც არსებობს მიწისქვეშა ნაკადი, რომლის მოძრაობის მიმართულება ფერდობის დახრილობას ემთხვევა. ცხადია, რაც უფრო დიდია ფილტრაციის სიჩქარე, მით უფრო მაღალია დაწნევის გრადიენტი. *ჰიდროსტატიკური დაწნევა* ფორებსა და სიცარიელეებში არსებული წყლის გრავიტაციული ძალის მოქმედებით ვითარდება. აქედან გამომდინარე, რაც უფრო მაღალია ფერდობის ამგები გრუნტის გატენიანების ხარისხი, მით უფრო მაღალია ჰიდროსტატიკური დაწნევა.

*ფერდობზე ხელოვნური დინამიკური და სტატიკური დატვირთვები* ხშირად მეწყრის წარმოქმნის მიზეზი ხდება. ამიტომ, შედარებით ნაკლებად მდგრად ფერდობებზე წარბასთან ახლოს მშენებლობა რეკომენდებული არ არის (სტატიკური დატვირთვა), განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში, თუ ობიექტის ექსპლუატაცია გათვალისწინებულია ვიბრაციის რეჟიმში (დინამიკური დატვირთვა).

ზემოთ განხილულ სხვადასხვა მიზეზებს შორის მეწყრის წარმოქმნაში ერთ-ერთი უმნიშვნე-

ლოვანესია სეისმური ბიძგი, რომლის მოქმედება ფერდობზე სქემატურად შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ.



ნახ. 33. სეისმური ბიძგის ზემოქმედება ფერდობზე

ფერდობის რომელიმე abc მოცულობაზე ორი ძირითადი ძალა მოქმედებს: სიმძიმის ძალა  $P = mg$  და სეისმური ბიძგის შედეგად აღძრული ძალა  $Q = ma$ ,

სადაც  $m$  - abc მოცულობაში მოქცეული ქანის მასაა;

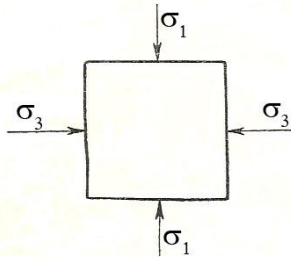
$g$  - სიმძიმის ძალის აჩქარება;

$a$  - სეისმური ტალღის აჩქარება.

მოცემულ შემთხვევაში ფერდობზე მასის ძვრის ინტენსიურობა დამოკიდებულია  $R$  ტოლქმედის სიდიდესა და მიმართულებაზე. ამის მიუხედავად, მიწისძვრა ყოველთვის როდი გვევლინება მეწყრის წარმომქნელ მიზეზად. პროცესი ძირითადად დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორია  $Q$  ძალის მიმართულება და წლის რომელ სეზონში მოხდა მიწისძვრა, ანუ როგორი იყო იმ პერიოდში ფერდობის ბუნებრივი მდგომარეობა.

## 6.1 მეწერული პროცესის დინამიკა

მეწერის წარმოქმნა და განვითარება ბევრად არის დამოკიდებული ფერდობზე განლაგებული თიხური გრუნტის მდგომარეობაზე. პროცესი ინტენსიურად მიმდინარეობს მაშინ, როდესაც გრუნტის კონსისტენცია დენადობის ზღვარს უახლოვდება. ლაბორატორიაში კუმშვალობაზე თიხური გრუნტის გამოცდა დაფუძნებულია იმ პრინციპზე, რომ ნიმუში მოქცეულია მეტალურ სალტეში და ვერტიკალური დატვირთვის განვითარებისას გვერდით გაფართოებას ადგილი არ აქვს. თუ ამ შემთხვევას, ბუნებრივ პირობებს შევადარებთ, უნდა ვიგულისხმოთ, რომ შრეები განლაგებულია ჰორიზონტალურად და მიუხედავად დატვირთვის სიდიდისა, სუსტი შრის გამოწინეხვა არ ხდება. გრუნტების მექანიკაში ამ მდგომარეობას განიხილავენ, როგორც ჰიდროსტატიკურ წონასწორობას, რომლის ილუსტრაციას ქვემოთ მოცემული ნახაზი წარმოადგენს:

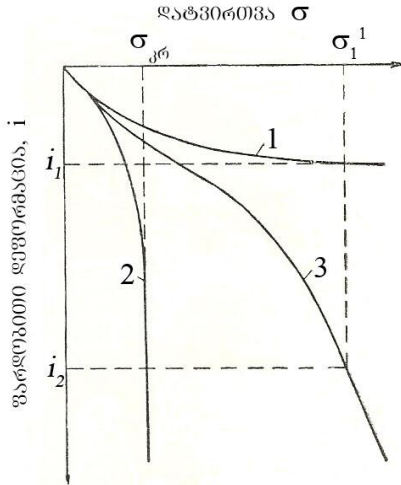


ნახ. 34. ჰიდროსტატიკური წონასწორობის პირობა

ჰიდროსტატიკური წონასწორობის პირობა გამოისახება ტოლობით:  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$

სადაც  $\sigma_1$  - მთავარი ვერტიკალური დატვირთვაა; ხოლო  $\sigma_2$  და  $\sigma_3$  შესაბამისად გვერდითი დაძაბუ-

ლობებია. იმის მიხედვით, თუ როგორია ძირითად დაძაბულობებს შორის თანაფარდობა, გრუნტის დეფორმაცია სხვადასხვაგვარად მიმდინარეობს. საილუსტრაციოდ განვიხილოთ სქემა.



ნახ. 34. გრუნტის დეფორმაცია სხვადასხვა დაძაბულობების დროს

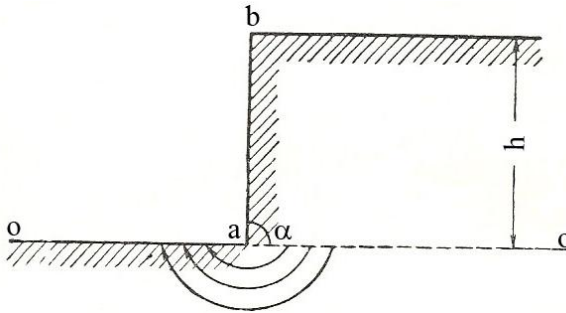
პირველი მრუდი ასახავს იმ შემთხვევას, როდესაც მთავარი ვერტიკალური დატვირთვა გაწონასწორებულია გვერდითი დაძაბულობებით. გრუნტი, განიცდის რა კუმშვის დეფორმაციას გარკვეულ  $i_1$  სიდიდემდე, გადადის სტაბილურ მდგომარეობაში და მიუხედავად ვერტიკალური დატვირთვის გაზრდისა, შეკუმშვას ადგილი აღარ აქვს. მეორე შემთხვევაში გვერდითი დაძაბულობები არ არსებობს - ე.ი.  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ . ამიტომ, ვერტიკალური დატვირთვის რაიმე კრიტიკული სიდიდის მიღწევის შემდეგ, დეფორმაციას უწყვეტი ხასიათი

აქვს, ანუ იწყება გრუნტის დენადობა. ზოგადად, გვერდითი დაძაბულობების შემცირების კვალბაზე ქანის სიმტკიცე კუმშვაზე მკვეთრად მცირდება. გრუნტების მექანიკიდან ცნობილია, რომ ქანის ზღვრულად დაძაბულ მდგომარეობას ასახავს ტოლობა:  $\sigma_1 - \sigma_2 = 2C$ , სადაც  $\sigma_1$  და  $\sigma_2$  შესაბამისად მთავარი, ვერტიკალური და გვერდითი დაძაბულობებია,  $C$  - შეჭიდულობის ძალა. აქედან გამომდინარე, მიღებულია მდგრადობის კოეფიციენტის სიდიდე, რომელიც ტოლია:  $K_{\text{მდგ.}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2C}$ .

აღნიშნული ტოლობის მიხედვით ითვლება, რომ გრუნტი იმყოფება მდგრად მდგომარეობაში, როდესაც  $K_{\text{მდგ.}} > 1$ ; ზღვრულად წონასწორულ მდგომარეობაში, როდესაც  $K_{\text{მდგ.}} = 1$  და გრუნტი არამდგრადია, როდესაც  $K_{\text{მდგ.}} < 1$ . აღნიშნულ საკითხს დავუბრუნდებით მეწყერული ფერდობის მდგრადობის გაანგარიშების მეთოდების განხილვისას.

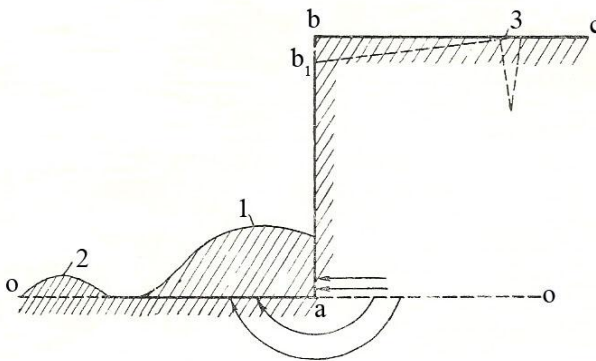
ბუნებრივ პირობებში, ჰორიზონტალური რელიეფის შემთხვევაში შეიძლება დავუშვათ, რომ ვერტიკალური დატვირთვა მთლიანად არის კომპენსირებული გვერდითი დაძაბულობით და გრუნტი, უბრალოდ რომ ვთქვათ, ვერსად გამოიწნეხება. მეორე შემთხვევაში, თუ რელიეფი ბუნებრივად უსწორმასწოროა ან ეს უსწორმასწორობა ხელოვნურად არის შექმნილი, ფერდობის მხრიდან გვერდითი დაძაბულობა მცირდება და შესაბამისად, გრუნტის გამოწნეხვის ალბათობა მატულობს, რაც საბოლოოდ მეწყერის წარმოქმნით

უნდა დასრულდეს. განვიხილოთ ვერტიკალური ფერდობი.



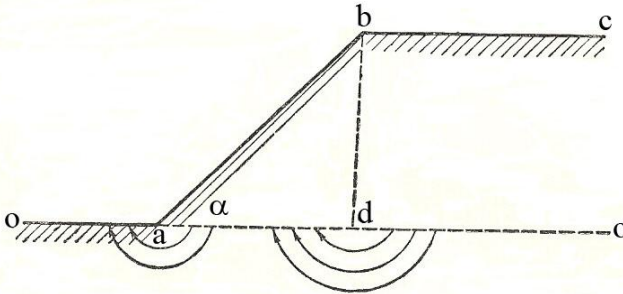
ნახ. 36. ვერტიკალური ფერდობის წონასწორობის პირობა

ცხადია, ამგვარი ფერდობი მდგრადობას ინარჩუნებს გარკვეულ კრიტიკულ სიმაღლემდე, რომელსაც ვერტიკალური დატვირთვის ესა თუ ის სიდიდე შეესაბამება. როდესაც ფერდობის ფაქტობრივი სიმაღლე კრიტიკულ ზღვარს გადააჭარბებს  $h_{ფაქტ.} > h_{კრიტ.}$ , მოხდება ჩამონგრევა, რომელსაც თან ახლავს ფერდობის ძირში პლასტიკური ქანების გამოწნეხვა, რის შედეგადაც გამოწნეხვის დამახასიათებელი ზვინულები წარმოიქმნება.



**ნახ. 37. გამოწნევის ზვინულები ვერტიკალური ფერდობის ჩამოშლისას**

თუ ფერდობის დახრის კუთხე  $\alpha < 90^\circ$ , ის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ორი ნაწილისაგან შედგენილი:  $abd$  და  $dbc$ .



**ნახ. 38. მდგრადობა მიტვირთვის გავლენით**

მეორე ნაწილი ვერტიკალურ დატვირთვას ანვითარებს, მაშინ როდესაც პირველი ნაწილი, წარმოადგენს რა ფერდობზე ერთგვარ მიტვირთვას, ამცირებს და აკომპენსირებს ვერტიკალურ დატვირთვას. ცხადია, რაც უფრო მცირეა ფერდობის დახრის კუთხე ( $\alpha$ ), მით მეტია მიტვირთვის მასა და მით უფრო მდგრადია ფერდობი.

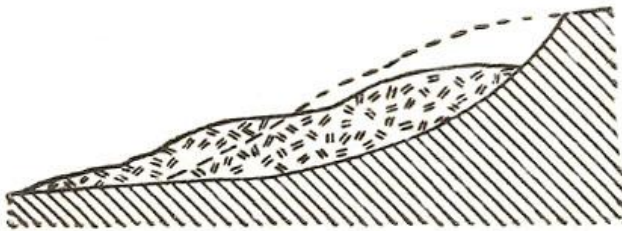
თიხური გრუნტების ზემოთ განხილული დეფორმაცია კლასიფიცირდება, როგორც მექანიკური დენადობა. ბუნებაში გვხვდება აგრეთვე ფიზიკურ-ქიმიური დენადობა, რომელიც წელიწადის სეზონების მიხედვით გრუნტის პერიოდული დასველების და გამომშრობის შედეგს წარმოადგენს. ზოგჯერ გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ამგვარი პერიოდული ცვალებადობა საკმაოდ

სიღრმეზე აღწევს და მეწერული პროცესის  
განვითარებას განაპირობებს.

## 6.2 მეწყრების კლასიფიკაცია

მეწყრების წარმოქმნელი მიზეზების მრავალფეროვნება, იმ მიზეზებისა, რომლებიც ამ უაღრესად არახელსაყრელი მოვლენის წინააღმდეგ ბრძოლის პრაქტიკულ ღონისძიებებს განსაზღვრავს, მეწყრების კლასიფიკაციას ძალზე ართულებს. ამ საკითხს ბევრი გამოჩენილი მკვლევარი სწავლობდა - ა.პავლოვი, ფ. სავარენსკი, ი. პოპოვი, ვ. პრიკლონსკი და სხვები. შესაბამისად, მეწყრების ბევრი კლასიფიკაცია არსებობს. ზოგიერთი მათგანი შედარებით დეტალურია და ითვალისწინებს ერთობლივად რამდენიმე დამახასიათებელ ნიშანს, სხვები ნაკლებად დეტალურია და დაფუძნებულია ერთი ან ორი მთავარი ნიშან-თვისების გათვალისწინებაზე. ერთ-ერთ ნიმუშად განვიხილოთ პროფესორ ფ. სავარენსკის ფართოდ გავრცელებული კლასიფიკაცია, რომლის მიხედვითაც მეწყრები აგებულიების და სრიალის სიბრტყის კონფიგურაციის მიხედვით არის დაყოფილი. ამ კლასიფიკაციაში გამოყოფილია მეწყრების სამი ძირითადი ტიპი:

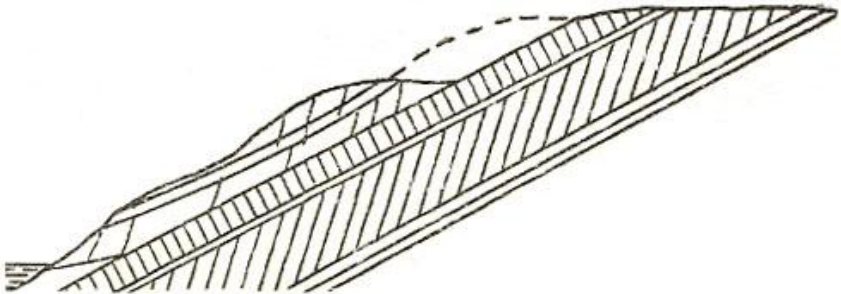
- ასექვენტური ეწოდება მეწყერს, რომელიც ერთგვაროვან ქანებში წარმოიქმნება.



ნახ. 39. ასექვენტური მეწყერი

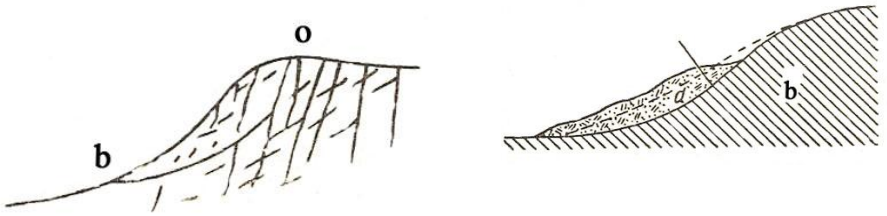
ამ ჯგუფის მეწყრების სრიალის ზედაპირს უთანაბრებენ ციკლოიდურს ან წრიულ-ცილინდრულს. სრიალის ზედაპირის ფორმა და მიმართულება ფერდობის კონფიგურაციაზე და ფერდობის ამგები ქანების წინააღობის უნარზე არის დამოკიდებული. ასექვენტური მეწყრების მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ ე.წ. კონსისტენტური მეწყერი, რომელიც წარმოიქმნება თიხური ქანებით აგებული ფერდობის დარბილებით წყალთან ურთიერთქმედების შედეგად.

- კონსექვენტურს მიეკუთვნება ისეთი მეწყრები, რომელთა სრიალი ამა თუ იმ პროცესით წინასწარ მომზადებული ზედაპირის გასწვრივ ხდება, მაგალითად, ორი სხვადასხვაგვარი შრის გამყოფ ზედაპირზე.



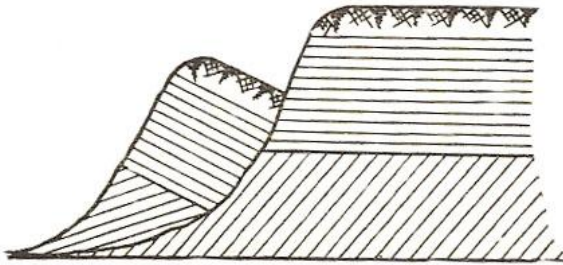
ნახ. 40. კონსექვენტური მეწყერი

სხვა შემთხვევაში სრიალი შეიძლება განვითარდეს დანაპრალებული ზონის გასწვრივ ან იმ ზედაპირის გასწვრივ, რომელიც ერთმანეთისგან დელუვიურ საფარს და ძირითად ქანებს გამოყოფს.



ნახ. 41. კონსექვენტური მეწყერის სხვადასხვა ტიპები

- ინსექვენტური ეწოდება მეწყერს, რომლის სრიალის ზედაპირი ქანების დაშრეგების სიბრტყეებს ჰკვეთს.



ნახ. 42. ინსექვენტური მეწყერი

აღსანიშნავია, რომ მხოლოდ კერძო ნიშანთვისების გათვალისწინება არ არის საკმარისი წინაპირობა საიმისოდ, რომ დავსახოთ მეწყერის საწინააღმდეგო ეფექტური ღონისძიებები. ასეთ შემთხვევებში აუცილებელი მოთხოვნაა მეწყერული უბნის კომპლექსურად შესწავლა, რომელიც გარდა სრიალის ზედაპირის თავისებურებისა ბევრ სხვა ბუნებრივ ფაქტორს ითვალისწინებს.

### 6.3 მეწყრული ფერდობების და ხელოვნური ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშება

მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შეფასებისას აუცილებელია იმ მრავალფეროვანი მიზეზების გათვალისწინება, რომლებიც მეწყრის წარმოქმნას განაპირობებს. მდგრადობის შეფასება კომპლექსური სამუშაოა, რომელიც დაფუძნებულია ისეთი ფაქტორების შესწავლაზე, როგორცაა ფერდობის მორფოლოგია, მეწყრის აგებულება (სტრუქტურა), ფერდობის ამგები ქანების გაწვლოვანება და მათი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, თანაფარდობა მძვრელ და შემაკავებელ დაძაბულობებს შორის და ა.შ. ეს უკანასკნელი ფაქტორი განმსაზღვრელია მეწყრული ფერდობის მდგრადობის შეფასებაში. შემაკავებელ და მძვრელ დაძაბულობებს შორის ფარდობას მდგრადობის კოეფიციენტი ეწოდება, რომელიც შემდეგი

ფორმულით გამოითვლება:  $\eta = \frac{\sum Re_s}{\sum displ}$ , სადაც  $\sum Re_s$  -

სრიალის ზედაპირზე არსებული შემაკავებელი დაძაბულობების ჯამია (resistance – წინააღმდეგობა);

$\sum displ$  - იმავე ზედაპირზე მძვრელი დაძაბულობების ჯამი (displacement – ძვრა).

განვიხილოთ მეწყრული ფერდობის მდგრადობის საანგარიშო ტიპური სქემები.

კონსექვენტური მეწყრის შემთხვევაში (ნახ. 43) ფერდობს მდგრადობის პირობა გამოიხატება შემდეგი განტოლებით:  $T = Ntg\phi + CL$

სადაც  $T$  - მეწყრის ამგები ქანების საერთო წონის ( $P$ ) ის მდგენელია, რომელიც მუშაობს

ფერდობის დაცურებაზე, ანუ მეწყრის წარმოქმნაზე -  
 $T = P \cdot \sin \alpha$  ;

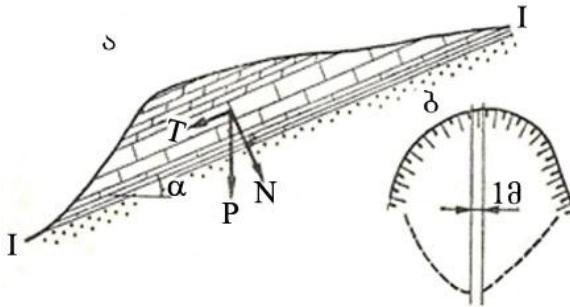
$N$  - ქანების სიმძიმის ძალის ის მდგენელი, რომელიც მუშაობს მეწყრის წონასწორობის შენარჩუნებაზე -  $N = P \cdot \cos \alpha$  ;

$tg \varphi = f$  - ქანების შიგა ხახუნის კოეფიციენტი;

$C$  - ქანის კუთრი შეჭიდულობა;

$L$  - I-I სრიალის ზედაპირის სიგრძე;

$\alpha$  - სრიალის ზედაპირის დახრილობა;



**ნახ. 43. შრიალის ბრტყელი ზედაპირის შემთხვევაში მეწყრის საანგარიშო სქემა**

ა - საანგარიშო გეოლოგიური ჭრილი;

ბ - მეწყრული უბნის გეგმა

ანგარიში სრულდება არა მეწყრის მთლიანი მოცულობისთვის, არამედ ქანების 1 მ სიგანის ზოლისთვის, რომელიც გამოყოფილია გეოლოგიურ ჭრილზე. გეოლოგიური ჭრილის მიხედვით განისაზღვრება ფართობი  $S$  ( $m^2$ ), მისი შესაბამისი მოცულობა  $V$  ( $m^3$ ) და ამ სიდიდეებიდან გამომდინარე ანგარიშობენ მასივის გამოყოფილი ზოლის წონას:  $P = V \cdot \gamma$ , სადაც  $V$  გამოყოფილი მასივის

მოცულობაა -  $V = S \cdot l$  (მ<sup>3</sup>),  $\gamma$  - მეწყერის ამგები ქანების სიმკვრივე (ტ/მ<sup>3</sup>).

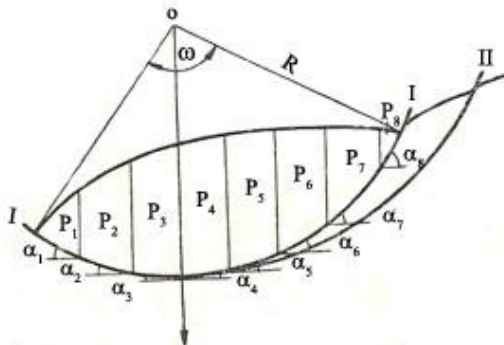
შემდეგ ანგარიშობენ  $T$  და  $N$  მდგენელების სიდიდეებს და ჩაწერენ წონასწორობის პირობას ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის

გამოსათვლელად: 
$$\eta = \frac{Ntg\varphi + CL}{T}$$

აქ სამ შემთხვევას არჩევენ:

- $\eta = 1$  - ფერდობი იმყოფება ზღვრული წონასწორობის პირობებში;
- $\eta > 1$  - ფერდობი სტაბილურია;
- $\eta < 1$  - ფერდობი მობილურია, წარმოიქმნება მეწყერი.

სრიალის ზედაპირის წრიულ-ცილინდრული მოხაზულობისას მეწყერული ფერდობის მდგრადობას ანგარიშობენ ასექვენტური და ნაწილობრივ ინსექვენტური მეწყერების შემთხვევაში, რადგანაც ამ დროს სრიალის ზედაპირს ჩაზნექილი, პირობითად წრიულ-ცილინდრული ფორმა აქვს (ნახ. 44).

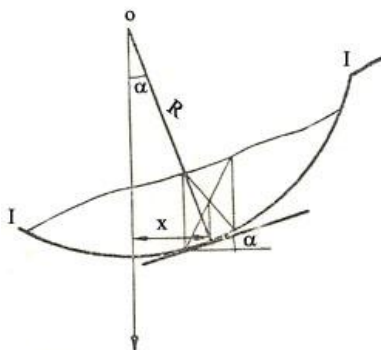


ნახ. 44. სრიალის ზედაპირის ჩაზნექილი წრიულ-ცილინდრული ფორმის შემთხვევაში მეწყერის საანგარიშო სქემა  
I-I, II-II - სრიალის ზედაპირები

აღნიშნული ტიპის მეწყრების შემთხვევაში სრიალის ზედაპირი ფიქსირდება ორი წერტილით:

- ზედა, რომელიც მდებარეობს მოწყვეტის სიბრტყის დასაწყისში;
- ქვედა, რომელიც მდებარეობს მეწყრის ძირში.

ამ ორ წერტილს შორის სრიალის ზედაპირის კონფიგურაცია განისაზღვრება ინტერპოლაციის მეთოდით გარკვეული სიგრძის რადიუსით რკალის შემოსახვის გზით.



ნახ. 45. თითოეული ბლოკის ფარგლებში სრიალის ზედაპირის დახრის კუთხის საანგარიშო სქემა

ამ შემთხვევაშიც ანგარიში წარმოებს მასივის 1 მეტრი სიგანის ზოლისთვის. იმის გამო, რომ I-I სრიალის ზედაპირს სხვადასხვა უბანზე სხვადასხვა დახრილობა აქვს, გეოლოგიურ ჭრილზე მასივს დაჰყოფენ ბლოკებად – 1; 2; 3; ...,  $i$  იმ ანგარიშით, რომ თითოეული ბლოკის სიგანე დაახლოებით ტოლი იყოს 0.1R. ამის შემდეგ განისაზღვრება თითოეული ბლოკის ფართობი ( $S$ ), მოცულობა ( $V$ ) და წონა ( $P$ ). თითოეული ბლოკის სიმძიმის

ცენტრიდან (ნახ. 45) გააულებენ პერპენდიკულარს სრიალის ზედაპირისადმი და გადაკვეთის წერტილში ატარებენ მხებს, რომლის დახრის კუთხე ახასიათებს სრიალის ზედაპირის დახრილობას თითოეული ბლოკის ფარგლებში. ამ კუთხის

გამოთვლა შეიძლება გამოსახულებიდან:  $\sin \alpha = \frac{x}{R}$ ,

სადაც  $R$  - სრიალის ზედაპირის რადიუსია,  $x$  - მანძილი, პერპენდიკულარის სრიალის ზედაპირთან დაგაკვეთის წერტილიდან ვერტიკალურ რადიუსამდე. განსაზღვრავენ I-I სრიალის ზედაპირის სიგრძეს ( $L$ ) და სიმძიმის ძალის მდგენელებს  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_i$  და  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i$  თითოეული ბლოკისათვის. სრიალის ზედაპირის სიგრძის გამოთვლა შეიძლება აგრეთვე

ფორმულით:  $L = \frac{\pi}{180} \cdot R \cdot \omega$ , სადაც  $\omega$  - ცენტრალური

კუთხეა (ნახ. 44). შემდეგ შეადგენენ მეწყრული მასივის წონასწორობის განტოლებას და გამოთვლიან მდგრადობის კოეფიციენტის სიდიდეს:

$\eta = \frac{\sum f N_i + CL}{\sum T_i}$ . როგორც ნახ. 44-დან ჩანს, სრიალის

ზედაპირი 1; 2 და 3 ბლოკების ფარგლებში დახრილია ფერდობის საწინააღმდეგო მიმართულებით. შესაბამისად, ეს ბლოკები ეწინააღმდეგება დანარჩენი ბლოკების ძვრას ანუ მეწყრის წარმოქმნას. ამიტომ, წონასწორობის განტოლების შედგენის დროს ძალებს  $N_1, N_2, N_3$  და  $T_1, T_2, T_3$  იღებენ მინუსი ნიშნით, ხოლო ძალების ჯამთა გამოთვლის დროს  $\sum N_i$  და  $\sum T_i$  იყენებენ ჯამთა შეკრების ალგებრულ მეთოდს. მდგრადობის

კოეფიციენტის გამოთვლილი სიდიდის მიხედვით, ზემოთ აღნიშნული პირობა ძალაში რჩება.

#### **6.4 ფერდობების მდგრადობის შეფასება საავტომობილო გზის ვაკისის მოწყობასთან დაკავშირებით**

ხელოვნური ფერდობების მოწყობისას ისეთ უბნებზე, სადაც საფარი დელუვიური თიხნარი გრუნტების სიმძლავრე 10 – 15 მ-ს აღწევს, ბუნებრივი ფერდობების, აგრეთვე არსებული და საპროექტო ფერდობების მდგრადობის შეფასებისთვის აუცილებელია მოვახდინოთ მეწყრის წარმოქმნის პროგნოზი. საავტომობილო გზის ვაკისის მოწყობისას გადაამწვევტი მნიშვნელობა აქვს ფერდობების დახრილობის და სიმაღლის ოპტიმალური სიდიდის განსაზღვრას, რათა უზრუნველყოფილ იყოს მათი მდგრადობა და ტრასის ექსპლუატაციის უსაფრთხოება. ყველა ნახსენებ შემთხვევაში მეწყერი ჯერ არ აღძრულა, მაგრამ იგი შეიძლება წარმოიქმნას სავალი საშუალების ჩატარებისას, ან ტრასის ექსპლუატაციის პროცესში, თუ სრულად არ არის გათვალისწინებული ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების ზეგავლენა. აღნიშნულის საილუსტრაციოდ ქვემოთ მოყვანილია პრაქტიკული მაგალითი.

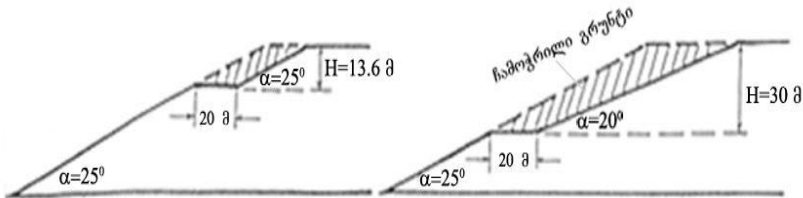
საქართველოს სამხედრო გზის ტრასაზე არც თუ იშვიათად გვხვდება უბნები, სადაც ძირითადი ქანები გადაფარულია 10 – 15 მ სისქის დელუვიური საფარით, რომელიც სტაბილურობას ინარჩუნებს მხოლოდ ბუნებრივი წონასწორობის პირობებში და სწრაფად გადადის მობილურ მდგომარეობაში მშენებლობასთან დაკავშირებული ჭრილების ან ნახევარჭრილების მოწყობის შემთხვევაში. კონკრეტულად, განსახილველი ფერდობის ფრონტის სიგანე დაახლოებით 60 მ-ია; მდგრადობის შესასწავლად ჩატარდა გრუნტების სიღრმული დასინჯვა ძირითადი მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრის მიზნით. ფერდობის სიმაღლე 50 მ-მდეა, ხოლო დაქანება 20° – 25°-ის ფარგლებში იცვლება.

ერთ რომელიმე გამონამუშევარში აღებული ნიმუშის ლაბორატორიული შესწავლით დადგენილი მექანიკური მახასიათებლები ახასიათებს მასივის მდგომარეობას მხოლოდ ნიმუშის აღების წერტილში და არავითარ შემთხვევაში არ გამოდგება მდგრადობის პირობების შესაფასებლად მოცემული მასივისათვის მთლიანად. ამ ფაქტთან არის დაკავშირებული შივა ხახუნის კუთხისა ( $\varphi$ ) და კუთრი შეჭიდულობის ( $C$ ), როგორც

ნაგებობათა დაპროექტების და მშენებლობის საყრდენი პარამეტრების, ნორმატიული და საანგარიშო მაჩვენებლების მათემატიკური სტატისტიკით დამუშავების აუცილებლობა.

მას შემდეგ, რაც ხელთა გვაქვს  $\phi$ ,  $c$  საანგარიშო სიდიდეები, გამოვთვლით ფერდობის კრიტიკულ სიმაღლეს შემდეგი ფორმულით:  $H_{კრ.} = \frac{c}{(tg\alpha - tg\phi) \cdot \gamma}$ . თავის მხრივ,  $H_{კრ.}$  ამოსავალი

ვალე პარამეტრია საავტომობილო გზის ვაკისის მოწყობასთან დაკავშირებით მდგრადი ფერდობის პროგნოზისთვის. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, განვსაზღვროთ ფერდობის რა სიმაღლეზე უნდა მოეწყოს ვაკისი ზედა ფერდოს მოცემული დახრილობის შემთხვევაში, რომ შენარჩუნებული იყოს ფერდობის სტაბილურობა. ამ შემთხვევის გრაფიკული ასახვა მოცემულია სქემაზე.



**ნახ. 46. ფერდოს ოპტიმალური დახრილობის დამოკიდებულება კრიტიკულ სიმაღლეზე**

ცხადია, დამოკიდებულება ფერდოს დახრილობასა და მის კრიტიკულ სიმაღლეს შორის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი გასათვალისწინებელი ფაქტორია ფერდობებზე ამა თუ იმ სახის საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობისას.

ზოგ შემთხვევაში შეიძლება წამოიჭრას საკითხი პირუკუ გაანგარიშების საჭიროებისა, კერძოდ, ფერდობის წინასწარ შერჩეული კრიტიკული სიმაღლის ( $H_{კრ.}$ ) პირობებში, რა სიდიდის კუთხით უნდა განხორციელდეს ფერდობის ჩამოჭრა, რათა ხელოვნურმა ფერდომ შეინარჩუნოს მდგრადობა ნაგებობის საექსპლუატაციო ვადის განმავლობაში. საილუსტრაციოდ განვიხილოთ რომელიმე შესაძლო შემთხვევა.

ვთქვათ, წინასწარ გვაქვს განსაზღვრული ვაკისის მოწყობა ფერდობის იმ ნაწილზე, საიდანაც ვერტიკალური მანძილი თხემამდე შეადგენს  $H = 30$  მ.

ფერდობის ჩამოჭრის დასაშვები კუთხის გამოთვლისას ვიყენებთ ფორმულას:  $\alpha = \arctg\left(\operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\gamma \cdot H}\right)$ .

მდგრადობის შეფასების ზემოთ აღწერილი ხერხი არის აუცილებელი, მაგრამ არასაკმარისი პირობა ფერდობის სტაბილურობის შესანარჩუნებლად. რა თქმა უნდა, სრულფასოვანი პროგნოზისათვის აუცილებელია მრავალი სხვა ფაქტორის გათვალისწინება, როგორცაა მცენარეული საფარის არსებობა-არარსებობა, ფერდობის ამგები გრუნტების წყალშემცველობა და ფილტრაციული თვისებები, პიდროლინამიკური დაწნევა, დინამიური დატვირთვები ფერდობზე და ა.შ.

## 6.5 მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებები

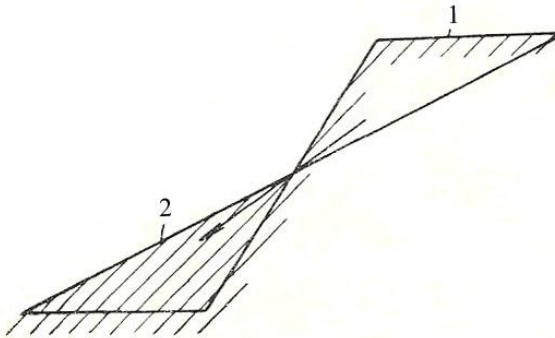
მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების დასახვა და მათი პრაქტიკაში გატარება რთული საინჟინრო ამოცანაა, რადგანაც დაკავშირებულია იმ მრავალრიცხოვან და მრავალფეროვან მიზეზებთან, რომლებიც ამ პროცესს წარმოქმნის. საერთოდ, მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების დასახვა მეწყერის აქტიურობის გათვალისწინებით ხდება. ამ მხრივ *მოქმედ* და *უმოქმედო* მეწყერებს არჩევენ. უმოქმედო მეწყერებზე სიძველის გამო, მოძრაობის კვალი არ შეინიშნება, რადგანაც ის წაშლილია ატმოსფერული წყლების ზემოქმედებით. ამის მიუხედავად, დიდია იმის ალბათობა, რომ ხელოვნურად ჩამოჭრის მიზეზით ამგვარი ფერდობი მოძრავ მდგომარეობაში გადავიდეს. მოქმედ მეწყერებზე აუცილებელია მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების გატარება, რომელთა შერჩევა მეწყერის წარმოქმნის კონკრეტულ მიზეზზე არის დამოკიდებული. მეწყერის წინააღმდეგ ბრძოლის ხერხები ორ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს: *პასიური* და *აქტიური* ღონისძიებები.

პასიური ბრძოლა პროფილაქტიკურ ღონისძიებებს გულისხმობს, რომლებიც ამა თუ იმ საინჟინრო საქმიანობას კრძალავს. ასე მაგალითად, აკრძალულია მეწყერული ფერდობის ჩამოჭრა, მეწყერზე და მის წარბასთან ახლოს მშენებლობა, მეწყერული ზონის სიახლოვეს აფეთქების და სამთო სამუშაოების წარმოება, ფერდობზე მცენარეულობის გაჩეხვა, ნაკვეთების მორწყვა და ჩამდინარე წყლების ფერდობზე მიშვება და ა.შ.

აქტიურ ღონისძიებებს მიეკუთვნება მეწყერული ფერდობის ამგები გრუნტების დამაგრების მიზნით

სპეციალური საინჟინრო ნაგებობების მოწყობა, რომლებმაც უნდა უზრუნველყოს ბუნებრივი ფერდობის ან ხელოვნური ჭრილის ფერდობების მდგრადობა. აღნიშნულ მრავალგვარ ღონისძიებებს შორის განვიხილოთ ზოგიერთი უფრო მეტად დამახასიათებელი შემთხვევა.

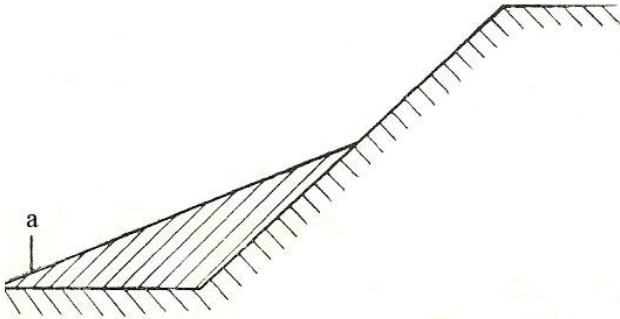
იმისთვის, რომ შევამციროთ ფერდობის ამგებ ქანებში არსებული დაძაბულობა, მიმართავენ ფერდობის დახრილობის კუთხის შემცირებას. ამ მიზნით ხდება მიწის მასების ხელოვნურად გადანაწილება. ფერდობის ზედა ნაწილში მოხსნილ მიწის მასას გადაადგილებენ ქვედა ნაწილში. ეს ღონისძიება ამცირებს რა ფერდობზე არსებული დაძაბულობის გრადიენტს, აქტიურად ეწინააღმდეგება ზედაპირიდან რაიმე სიღრმეზე განლაგებული არამდგრადი ქანების გამოწვევას.



ნახ. 47. მიწის მასების გადანაწილება მეწვერულ ფერდობზე

იმ შემთხვევაში, როდესაც ფერდობის ზედა ნაწილიდან მიწის მასის მოცილება შეუძლებელია, ეთქვათ, ნაგებობის არსებობის გამო, მაშინ ფერდობის ქვედა ნაწილში აწყობენ ე.წ. მიტვირთვას, ანუ

სხვა ობიექტიდან მოტანილი მიწის მასის მიყრას ფერდობის ძირში, რაც რიგ შემთხვევებში ქანების გამოწნეხვასთან ბრძოლის რადიკალურ ღონისძიებას წარმოადგენს.



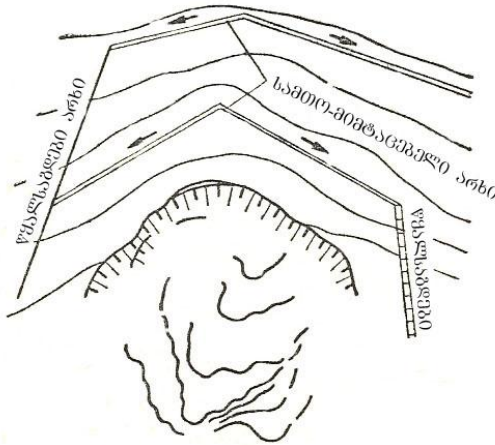
ნახ. 48. მიტვირთვა მეწყრული ფერდობის ძირში

ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირება საჭიროა იმ მიზნით, რომ შევამციროთ ან გამოვრიცხოთ წვიმის და თოვლის დნობის შედეგად წარმოქმნილი წყლებით მეწყრულ უბანზე განვითარებული გრუნტის ჭარბად გატენიანების შესაძლებლობა, რადგანაც ტენიანობის ზრდას ქანების ძვრისადმი წინაღობის შესუსტება მოსდევს და ამის შედეგად ფერდობი მობილური ხდება. ამიტომ ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირება ერთ-ერთ ძირითად პროფილაქტიკურ ღონისძიებად ითვლება. ჩამონადენის რეგულირების სამუშაოთა კომპლექსი ცალკეული თანმიმდევრული ოპერაციებისგან შედგება, როგორცაა:

- მეწყრის და მასთან მიმდებარე ტერიტორიის პლანირება;
- წყალსარინი ზედაპირული სისტემის მოწყობა;

- აგრომელიორაციული სამუშაოები.

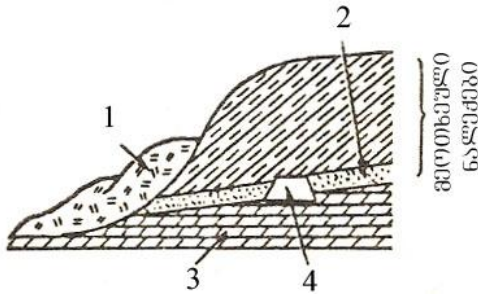
წყალსარინი ზედაპირული სისტემა ძირითადად წყალსაგდები და სამთო მიმტაცებელი არხების ერთობლიობაა. ამასთან, სამთო არხი, რომელიც ფერდობის ზედა ნაწილში ეწყობა, მიიტაცებს წვიმის წყლის უდიდეს ნაწილს, ხოლო წყალსაგდები არხების დანიშნულებაა ზედაპირული ჩამონადენის დაუბრკოლებლევ გაყვანა მეწყერული ფერდობის ფარგლებს გარეთ. სქემატურად აღნიშნული სისტემა შემდეგნაირად გამოისახება:



ნახ. 49. მეწყერულ ფერდობზე ზედაპირული ჩამონადენის რეგულირება

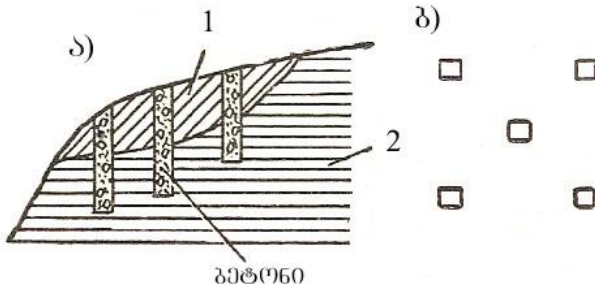
ზოგ შემთხვევაში ფერდობის მობილურობის გამომწვევი ძირითადი მიზეზი არის მიწისქვეშა წყლების მოქმედება. ამ დროს საუკეთესო გადაწყვეტაა მიწისქვეშა სადრენაჟო არხების (შტოლნების) მოწყობა, რომლებიც განტვირთავს მიწისქვეშა

ნაკადს ისე, რომ მას არ ექნება შეხება ფერდობის ამგებ არამდგრად გრუნტთან.



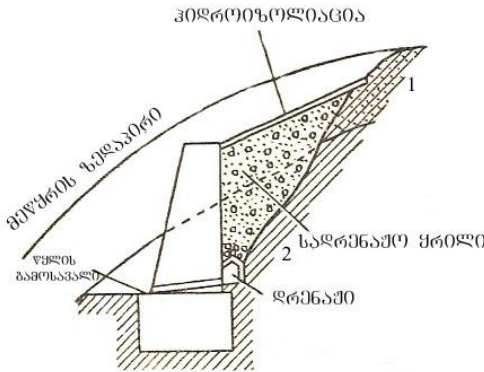
ნახ. 50. მეწყრულ ფერდობზე მიწისქვეშა წყლების დრენაჟი

რიგი ღონისძიებებისა მიმართულია იქით, რომ შეაკავოს ცოცვისადმი მიდრეკილი მიწის მასები. ამ მიზნით მეწყრულ უბანზე სპეციალურ ბეტონის ან რკინა-ბეტონის ხიმიწებებს აწყობენ, რომლებსაც მეწყრის ზედაპირზე ჭადრაკული წესით განალაგებენ, თუმცა, ეს საკმაოდ ძვირადღირებული სამუშაოა და შესაძლებლობის ფარგლებში ხიმიწებებს სარტყებით ცვლიან, რომლებიც უფრო იაფფასიანი მასალისგან მზადდება და უფრო იოლი მოსაწყობია. სარტყმა უნდა გადაკვეთოს სრიალის სიბრტყე და მდგრად ქანში ჩაღრმავდეს. ზედა ნაწილი დატამპონაჟებულია ცხიმისანი თიხით, რათა წყალმა სიღრმეში ქანებამდე ვერ ჩააღწიოს.



ნახ. 51. მეწყრული ფერდობის დამაგრება სარჭებით

მეწყრებთან ბრძოლის რადიკალურ ღონისძიებად ითვლება საყრდენი კედლების მოწყობა. საყრდენი კედელი უნდა მოთავსდეს მეწყრული ფერდობის ძირში ან ქვედა ნაწილში. იმისთვის, რომ მიწის დაცურებულმა მასამ საყრდენი კედელი არ გადააყიროს, მისი ფუნდამენტი სრიალის ზედაპირის ქვევით აუცილებლად ძირითად ქანს უნდა დაეყრდნოს. ასევე აუცილებელია დრენაჟის მოწყობა კედლის ზურგის მხრიდან.



ნახ. 52. მეწყრსაწინააღმდეგო კაპიტალური დამცავი კედელი

წინამდებარე მოკლე კურსის ლიმიტირებული მოცულობა არ იძლევა მეწვერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების, აგრეთვე მეწვერული უბნების შესწავლის საინჟინრო-გეოლოგიური მეთოდების შესახებ ვრცელი აღწერილობის შესაძლებლობას. აღნიშნული საკითხების ირგვლივ დაწვრილებითი ცნობების მოძიება სპეციალურ ლიტერატურაში არის შესაძლებელი, რომელთა დასახელება ლიტერატურის თანდართულ ნუსხაში არის მითითებული.

## თავი IV. სემსური მოვლენები და ანტისემსური ფენეპლოგა

მიწის ქერქის ნებისმიერ მოძრაობას, რომელიც დედამიწის შინაგან ენერგიასთან არის დაკავშირებული, მიწისძვრები ეწოდება. წარმოშობის პირობების მიხედვით მიწისძვრა შეიძლება იყოს *ჩაქცევითი, ვულკანური, ტექტონიკური*.

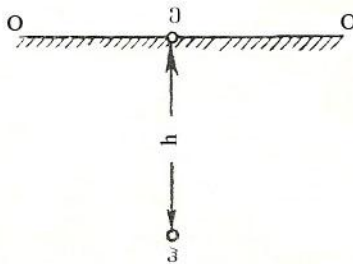
*ჩაქცევითი მიწისძვრა* კარბონატული ქანების დიდ მასივებთან არის დაკავშირებული. ამ ქანებში მოძრავი მიწისქვეშა წყალი ქანებს ხსნის, რის შედეგადაც წარმოიქმნება დიდი ზომის სიცარიელები, ნაპრალები, გამოქვაბულები. მასივის ბუნებრივი წონასწორობა ირღვევა. ტერიტორიის გეოლოგიური განვითარების გარკვეულ ეტაპზე, მასების გრავიტაციული გადანაწილების შედეგად, ადგილი აქვს ზემოთ განლაგებული ქანების ჩაქცევას წარმოქმნილ სიცარიელებში. ამგვარი მიწისძვრები ლოკალიზებულია კონკრეტულ უბნებზე და შესაბამისად, საფრთხეს უქმნის მხოლოდ ამ უბნებზე დაგეგმილ მშენებლობას ან უკვე არსებულ ნაგებობებს. მაგალითისთვის შეიძლება დავასახელოთ მსხვილი ჰიდროტექნიკური ნაგებობები, რომლებიც მძლავრი კარბონატული წყებების გავრცელების უბნებზე არის განლაგებული. მოსალოდნელი საფრთხის თავიდან ასაცილებლად, მასივის მონოლითურობის შენარჩუნების მიზნით, საჭირო ხდება დიდი მოცულობის დაცემენტების სამუშაოების შესრულება, როგორც ამ ღონისძიებას მიმართავდნენ ენგურჰესის კაშხლის და სადერივაციო გვირაბის მშენებლობის დროს.

*ვულკანური მიწისძვრა* ვულკანის ამოფრქვევასთან არის დაკავშირებული და ვულკანური

აქტივობის საწყის ეტაპზე ვლინდება. გავრცელების შეზღუდული არეალის გამო, ვულკანური მიწისძვრების პრაქტიკული მნიშვნელობა დიდი არ არის.

დამანგრეველი ძალის მიწისძვრების კატეგორიას *ტექტონიკური მიწისძვრა* მიეკუთვნება, რომელიც მიწის ქერქის მსხვილი ბლოკების ერთმანეთის მიმართ სწრაფი და მნიშვნელოვანი გადაადგილების შედეგად აღიძვრება. ამ დროს რამდენიმე წამის განმავლობაში კოლოსალური კინეტიკური ენერჯის გამოთავისუფლება ხდება, რაც მიწისძვრის დამანგრეველ ძალას განაპირობებს.

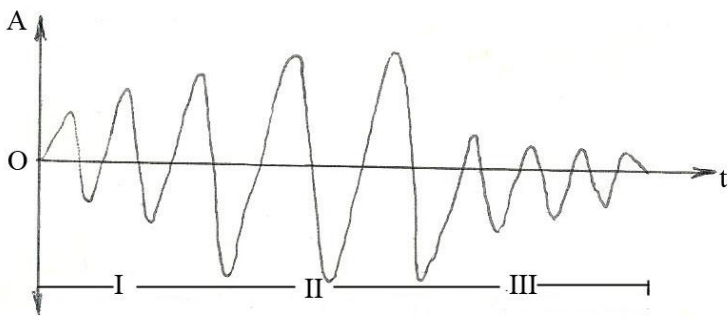
მიწისძვრის ჩასახვა გარკვეულ სიღრმეზე ხდება, რომელიც რამდენიმე ასეული მეტრიდან რამდენიმე ასეულ კილომეტრამდე შეიძლება იცვლებოდეს. ამასთან, რაც უფრო ღრმად არის განლაგებული მიწისძვრის ფოკუსი ანუ კერა, მით მეტია მისი დამანგრეველი ძალა. მიწის ქერქის სიღრმეში მიწისძვრის ჩასახვის ადგილს *ჰიპოცენტრი* ეწოდება, ხოლო მისი პროექცია დედამიწის ზედაპირზე *ეპიცენტრს* წარმოადგენს.



ნახ. 53. მიწისძვრის ჰიპოცენტრი და ეპიცენტრი

ჰიპოცენტრში ქარმოქმნილი ბიძგი კონცენტრული წრეების სახით ყველა მიმართულებით ვრცელ-

დება და ე.წ. სეისმურ ტალღებს წარმოქმნის. სეისმური ტალღა შეიძლება იყოს გრძივი და განივი, ამასთან, გრძივი ტალღის სიჩქარე 1.7-ჯერ აღემატება განივი ტალღის სიჩქარეს. გრძივი ტალღის გავლისას ქანის მყარი ნაწილაკების რხევითი მოძრაობა ტალღის გავრცელების სიბრტყეში ხდება, ხოლო განივი ტალღის შემთხვევაში, მისი გავრცელების პერპენდიკულარულ სიბრტყეში. სეისმური ტალღის სიჩქარე ქანის სიმკვრივის პროპორციულია. მაგალითად, გრანიტსა და სხვა მკვრივ მაგმურ ქანებში  $v = 5 \div 7$  კმ/წმ (დაახლოებით პირველი კოსმოსური სიჩქარე), ქვიშაქვებსა და კირქვებში –  $2.5 \div 5.0$  კმ/წმ, თიხებში –  $1.1 \div 1.8$  კმ/წმ და ა.შ. მიწისძვრის ჩასახვასა და განვითარებაში შეიძლება სამი ძირითადი ფაზა გამოიყოფოდეს:

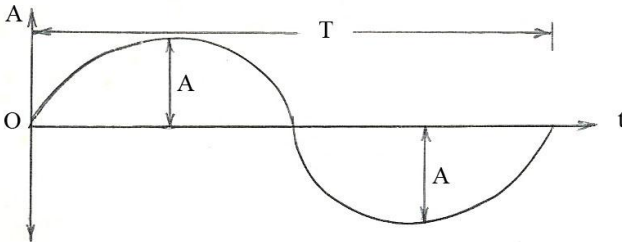


ნახ. 54. მიწისძვრის ფაზები

I - შედარებით სუსტი ბიძგების საწყისი ფაზა; II - მაქსიმალური ამპლიტუდის რხევების ფაზა; III - მიღევადი რხევების ფაზა.

მიწისძვრების შემსწავლელ მეცნიერებას *სეისმოლოგია* ეწოდება. მიწისძვრის დაფიქსირება სპეციალური ხელსაწყოთი – სეისმოგრაფით ხდება, რომელიც მათემატიკური ქანქარას პრინციპზე

მუშაობს. მიწისძვრის ძალა სეისმური ტალღის აჩქარებაზე არის დამოკიდებული, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:  $a = A \frac{4\pi^2}{T^2}$ , სადაც  $a$  - სეისმური ტალღის აჩქარებაა,  $A$  - რხევის ამპლიტუდა,  $T$  - რხევის პერიოდი.



ნახ. 55. დამოკიდებულება მიწისძვრის რხევის პერიოდსა და ამპლიტუდას შორის

ამა თუ იმ რაიონის სეისმურობის დასახასიათებლად შემოტანილია სეისმურობის კოეფიციენტის ცნება  $K_b = \frac{a}{g}$ , სადაც  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარებაა.

სეისმურობის კოეფიციენტის ( $K_b$ ) სიდიდის მიხედვით, გამოიყოფა რაიონები, სადაც ამა თუ იმ ძალის მიწისძვრა არის მოსალოდნელი. ამ მიზნით აგებენ სეისმური დარაიონების რუკებს, რომლებზეც ჩაკეტილი იზონახებით შემოკონტურებულია ტერიტორიები ბალებში გამოხატული მიწისძვრის მოსალოდნელი ძალით, სეისმურობის კოეფიციენტის სხვადასხვა სიდიდეების მიხედვით. მაგალითად, კავკასიის რეგიონისთვის მიწისძვრების მოსალოდნელი ძალა 7-დან 9 ბალის ფარგლებში იცვლება. საქართველოში სეისმურად ყველაზე აქტიური

რეგიონი ჯავახეთის მთიანეთია, 9-ბალიანი მოსალოდნელი მიწისძვრებით. ჩვენი დედაქალაქის მიკროსეისმური დარაიონების რუკაზე 7-დან 9 ბალამდე სიძლიერის მიწისძვრების უბნები არის გამოყოფილი, რაც სხვადასხვა ბუნებრივი ფაქტორების (გეოლოგიური აგებულება, ჰიდროგეოლოგიური პირობები და სხვ.) ერთობლიობაზე არის დამოკიდებული.

მიწისძვრის მიზეზით გამოწვეული დაზიანების ხარისხი, გარდა უშუალოდ მიწისძვრის სიძლიერისა, ბევრად არის დამოკიდებული ნაგებობის ტიპზე. შედარებით ნაკლებად მიწისქვეშა ნაგებობები – რეზერვუარები, გვირაბები, ჭები ზიანდება, რაც იმით აიხსნება, რომ მათში აღძრული ინერციული ძალები გარემომცველ გრუნტს გადაეცემა და ამით თვით ნაგებობაზე დაძაბულობა მცირდება. მიწისზედა შენობებში ყველაზე ნაკლებად საძირკველი ზიანდება. თუ შენობა მკვრივ გრუნტზე არის დაფუძნებული, ფუნდამენტი, როგორც წესი, მთელი რჩება, თუნდაც ძალზე ძლიერი მიწისძვრის დროსაც კი. ამ მხრივ, შენობაში სუსტი ადგილებია კუთხეები და კედლების გადაკვეთები. ამიტომ ნაგებობების ნგრევის მთავარი მიზეზი კედლების ჩამონგრევაა. ნაგებობათა კონსტრუქციებში აღძრული დაძაბულობების სიდიდე სეისმური რხევებით გამოწვეული ინერციული ძალების ინტენსიურობაზე არის დამოკიდებული. ამის გამო, სამშენებლო კონსტრუქციების სეისმომდევობის გაანგარიშება დამყარებულია ინერციული ძალების სიდიდის გამოთვლაზე შემდეგი ფორმულის მიხედვით:  $P_b = K_b \cdot \alpha G$ ,

სადაც  $G$  - ნაგებობის წონაა;

$K_b$  - სეისმურობის კოეფიციენტი;

$\alpha$  - კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს გრუნტის ზეგავლენას ინერციული ძალების სიდიდეზე;

$K_b$  და  $\alpha$  სიდიდეების დადგენა სტანდარტული ცხრილების გამოყენებით არის შესაძლებელი.

მიწისძვრის ძალა (ბალებში)	სეისმური აჩქარება, მმ/წმ <sup>2</sup>	სეისმურობის კოეფიციენტის ( $K_b$ ) სიდიდე,
1-6	25-100	< 1/100
7-8	100-500	1/40 – 1/20
9	500-1000	1/10
10	1000-5000	1/10 – 1/2

გრუნტის სახეობა	$\alpha$ -ის სიდიდე
კლდოვანი ქანი	0.5
ნახევრად კლდოვანი ქანი	0.75
მკვრივი თიხა, მსხვილნატეხოვანი გრუნტი, კენჭნარი	1.0
მშრალი მორენული გრუნტი	1.5
მშრალი ქვიშური გრუნტი	1.75
წყლით გაჯერებული ქვიშური, ქვიშრობი, თიხნარი, პლასტიკური თიხური გრუნტები	2.0

მიწისძვრის დროს ძალზე სახიფათოა რეზონანსის მოვლენა, როდესაც სეისმური რხევების პერიოდი ნაგებობის საკუთარი რხევების პერიოდს ემთხვევა. ამ შემთხვევაში ინერციული ძალები რამდენჯერმე იზრდება, რასაც ხშირად კატასტროფა მოსდევს.

სეისმურად აქტიური რაიონების ფარგლებში ნაგებობათა დაპროექტებისადმი და მშენებლობისადმი უმთავრესი მოთხოვნა არის სამშენებლო კონსტრუქციებში მიწისძვრის მოსალოდნელი სიძლიერის გათვალისწინება. დიდი მნიშვნელობა აქვს სამშენებლო მასალის სწორად შერჩევას. სახელდობრ, ანტისეისმური მშენებლობის პრაქტიკით დასაბუთებულია, რომ მაღლივი მშენებლობისას ყველაზე საიმედო კონსტრუქცია არის რკინა-ბეტონი. შესანიშნავი ანტისეისმური თვისებებით ხასიათდება ხის კონსტრუქციები. იმისათვის, რომ შენობებს და ნაგებობებს საჭირო სეისმური მდგრადობა გააჩნდეს, სხვადასხვაგვარი არქიტექტურულ-საპროექტო და კონსტრუქციული ღონისძიებები ხორციელდება, რომლებიც ნაგებობათა სივრცობრივ ურთიერთკავშირს, სიხისტეს და მდგრადობას უზრუნველყოფს. ამ მიზნით გამოიყენება ხისტი კარკასები, ჩარჩოები, კონტრფორსები, აგრეთვე სპეციალური ანტისეისმური სარტყლები. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს საძირკვლის გრუნტის სწორად შერჩევას. შედარებით ნაკლებად საყურადღებოა, მაგრამ ანგარიშგასაწევია შენობების ფასადების ორიენტირება, დიდ ქალაქებში ქუჩების და მოედნების ზომების დაცვა და ა.შ. ნაგებობის კონსტრუქციაში სეისმურობის ერთი ბალით გაზრდაც კი, დიდ მატერიალურ და ფინანსურ დანახარჯებთან არის დაკავშირებული, ამიტომ ამ ღონისძიებას მხოლოდ განსაკუთრებული მნიშვნელობის და პასუხსაგები ნაგებობების მშენებლობისას მიმართავენ.

## თაზი V. სამთო წნევა, ქანებისა და დედამიწის ზედაპირის დაძვრა

სხვადასხვა ტიპის და დანიშნულების მიწის-ქვეშა ნაგებობების მშენებლობისას ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას სამთო გამონამუშევრების სახურავის და კეედლების მდგრადობის გაანგარიშება წარმოადგენს. გამონამუშევრის გაყვანისას ამ ამოცანის გადაჭრა ქანების დაძვრული მდგომარეობის, ანუ სამთო წნევის განსაზღვრასთან არის დაკავშირებული.

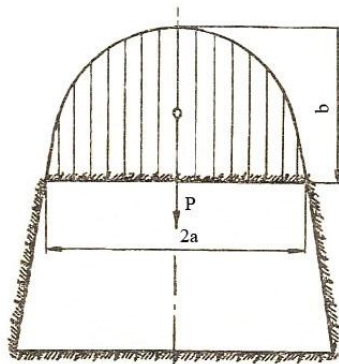
სამთო წნევის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი გამოვლინება არის ქანების გადაადგილება გამომუშავებული სივრცის თავზე, რასაც ლიტერატურაში ქანების დაძვრას უწოდებენ. ზოგჯერ ქანების დაძვრა დედამიწის ზედაპირამდე აღწევს და მასინ ტერმინი - დედამიწის ზედაპირის დაძვრა გამოიყენება. არც თუ იშვიათად მასივის დაძვრული მდგომარეობა აღემატება ქანების სიმტკიცის ზღვარს და მათი დარღვევა იწყება. ზოგჯერ რღვევა ძალიან სწრაფად ხდება, აფეთქების მსგავსად. ამ მოვლენას სამთო დარტყმა ეწოდება. სამთო წნევების მთავარ მიზეზს ზემოთ განლაგებული ქანების სიმძიმის ძალა წარმოადგენს. სამთო წნევის წარმოქმნა, გარდა ამისა, შეიძლება დაკავშირებული იყოს ქანების ფიზიკური მდგომარეობის შეცვლასთან (გაჯირჯვება და შეკლება), ტემპერატურის მერყეობასთან, ნარჩენ ტექტონიკურ დაძვრულობებთან და სხვა მიზეზებთან.

სამთო წნევის სიდიდე დამოკიდებულია მასივის გეოლოგიურ აგებულებაზე და თვისებებზე, გამონამუშევრის განლაგების სიღრმეზე, მის ზომებზე,

დამუშავების მეთოდზე და სხვა სამთო-ტექნიკურ ფაქტორებზე.

### 1. სამთო წნევის სიდიდის განსაზღვრა

სამთო საქმის განვითარების და გვირაბების მშენებლობის საწყის ეტაპზე ვარაუდობდნენ, რომ სამთო გამონამუშევარი, რა სიღრმეზეც არ უნდა იყოს განლაგებული, იმყოფებოდა მის ზემოთ განლაგებული ქანების წონის ექვივალენტური წნევის ქვეშ. შემდგომში გამოცდილებამ უჩვენა, რომ გვირაბის გაყვანა უსაფრთხოდ გაცილებით უფრო დიდ სიღრმეებზეც შეიძლებოდა. ამ მოვლენის ასახსნელად წამოყენებულ იქნა ჰიპოთეზები ბუნებრივი წონასწორობის შესახებ. ჰიპოთეზა დაამუშავა სამთო წნევის თეორიის ერთ-ერთმა ფუძემდებელმა მ. პროტოდიაკონოვმა. ამ ჰიპოთეზის მიხედვით, გამომუშავებული სივრცის თავზე ბუნებრივი წონასწორობის თალი წარმოიქმნება, რომელსაც პარაბოლის ფორმა აქვს. გამონამუშევრის სამაგრზე წნევა ტოლია იმ ქანის წონისა, რომელიც თალის კონტურის შიგნით არის მოქცეული.



ნახ. 56. წონასწორობის თალი გვირაბის თავზე

ამგვარად, სახურავის ქანების დაწოლა სამაგრზე გამონამუშევრის სიგრძის 1 მეტრზე გადაანგარიშებით შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:  $P = \frac{4}{3}ab\gamma_0$

სადაც,  $\gamma_0$  - ქანის მოცულობითი წონაა, ტ/მ<sup>3</sup>;

$a$  - გამონამუშევრის მალის ნახევარი, მ;

$b$  - ბუნებრივი წონასწორობის თაღის სიმაღლე.

ფორმულაში შემავალი  $b$  სიდიდე, თავის მხრე, განისაზღვრება ფორმულით  $b = \frac{a}{f_{კრ}}$  (თუ

გამონამუშევრის ექსპლუატაციის დრო ერთ წლამდეა) და  $b = \frac{2a}{f_{კრ}}$  (თუ გამონამუშევრის

ექსპლუატაციის დრო ერთ წელს აღემატება).

$f_{კრ}$  - სიმაგრის კოეფიციენტია (მ. პროტოდიაკონოვის მიხედვით).

ქანების ლითლოგიიდან გამომდინარე, სიმაგრის კოეფიციენტის სიდიდეები სპეციალურ ცხრილში არის მოცემული.

თანამედროვე კვლევებმა დაადასტურა სამთო წნევისა და სახურავის ქანების წონას შორის დამოკიდებულების ფაქტი, მაგრამ ამ დამოკიდებულებას წრფივი ფორმა არ აქვს.

## 2. სამთო წნევის და მისგან გამოწვეული დეფორმაციების გაზომვა

სამთო გამონამუშევრის სახურავის და კედლების სამთო წნევის მიერ გამოწვეული აბსოლუტური დეფორმაციების გაზომვა ხდება ზუსტი მარკშიედერული ხელსაწყოებით (ნიველირება, პოლიგონური აგეგმვა).

სახურავის და ფსკერის ფარდობით გადაადგილებების გაზომვა ტელესკოპური შტანგებით ხდება, რომლებიც აღჭურვილია მილიმეტრიანი შკალის მასშტაბური სახაზავით. ზოგჯერ შტანგაზე მიმაგრებულია საათის ტიპის ინდიკატორი ან თვითჩამწერი, რაც საშუალებას იძლევა ჩავიწეროთ ქანების გადაადგილება უწყვეტლივ.

გამონამუშევრის სამაგრზე სამთო წნევით გამოწვეული დაწოლა დინამომეტრებით იზომება. კონსტრუქციის და გამოყენების პირობების მიხედვით დინამომეტრს ათავსებენ მუდმივი ან დროებითი სამაგრის საყრდენის თავზე ან მის ძირში. დღესდღეობით შექმნილია სხვადასხვა კონსტრუქციის მექანიკური, ჰიდრაულიკური და ელექტრული დინამომეტრები, რომელთა მუშაობის პრინციპი და პირობები სპეციალურ ლიტერატურაში არის განხილული. იმასთან დაკავშირებით, რომ სამთო წნევის გაზომვა რთულია და ცალკეული ფაქტორების გამოყოფა შეუძლებელია, ბოლო ხანებში ხშირად მიმართავენ აღნიშნული მოვლენის მოდელირებას. უფრო გავრცელებულია ქანების დეფორმაციის და სამთო წნევის შესწავლა ექვივალენტური მასალისგან დამზადებულ მოდელებზე.

### 3. ქანების დაძვრა

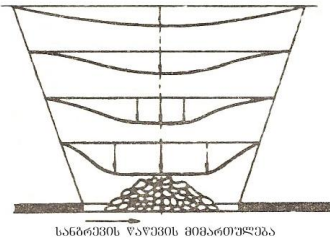
განლაგების სიღრმესთან შედარებით სამთო გამონამუშევრის დიდი ზომების შემთხვევაში ქანების დეფორმაცია არ შემოიფარგლება მხოლოდ წონასწორობის თაღით, არამედ ვრცელდება სახურავის ქანების მთლიან სიმძლავრეზე და ხშირად დედამიწის ზედაპირამდე აღწევს. ამ მოვლენას ქანების დაძვრა ეწოდება. ქანების დაძვრის ძირითადი სახეობებია: ქანების ჩაღუნვა, მათი ჩამოქცევა, დაძვრა შრეობრიობის სიბრტყეზე, სასარგებლო წიაღისეულის და ქანების გამოწნეხვა და პლასტიკური დენადობა. ქანების დაძვრის პროცესი გამონამუშევრის თავზე განლაგებული შრის ჩაღუნვით იწყება. შემდეგ ამ პროცესში თანდათან ერთვება უფრო და უფრო ზემოთ განლაგებული შრეები. თუ ეს შრეები არასაკმარისად მაგარია, ჩაღუნვა სწრაფად აღწევს დედამიწის ზედაპირს, რასაც ახლავს ჩაქცევები და დედამიწის ზედაპირის სხვა დეფორმაციები.

ჩაღუნვა შეიძლება ხდებოდეს ქანების მთლიანობის დარღვევის გარეშე ან მთლიანობის დარღვევით. შრეების მთლიანობა იმ მომენტში ირღვევა, როდესაც გამჭიმავი და ღუნვის დაძაბულობები ქანების სიმტკიცის ზღვარს აღემატება. ამ დროს ადგილი აქვს ლოდების და ნატეხების ჩამოქცევას გამონამუშევრის სახურავიდან. ფენების დახრილი განლაგებისას აღინიშნება ქანების ძვრა შრეობრიობის სიბრტყეების გასწვრივ. ეს მოვლენა განსაკუთრებით მკაფიოდ ვლინდება, როდესაც შრეების დახრის კუთხე 20-30° აღემატება.

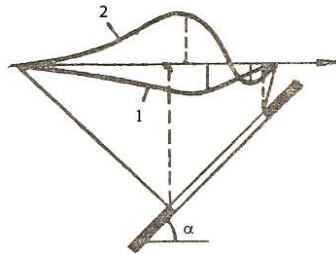
#### 4. დედამიწის ზედაპირის დაძვრა

დედამიწის ზედაპირის დაძვრა მაშინ იწყება, როდესაც ქანების დაძვრა დედამიწის ზედაპირს მიაღწევს. დაძვრის პროცესის ფორმები დამოკიდებულია: ქანების წოლის პირობებზე და აგებულებაზე, ქანების ფიზიკურ თვისებებზე, საბადოს დამუშავების სიღრმეზე, სამთო-ტექნიკურ პირობებზე.

ჰორიზონტალური ან მცირედ დახრილი შრეების შემთხვევაში დედამიწის ზედაპირის დაძვრის ტიპური ფორმა არის ვერტიკალური ჩაღუნვა, ხოლო ციცაბო დახრის შემთხვევაში – ჩაღუნვა ქანების ჰორიზონტალური ძვრის თანხლებით.



ნახ. 57. ჩაღუნვის მრუდები ქანების ჰორიზონტალური დაძვრისას



ნახ. 58. ჩაღუნვის მრუდების ციცაბოდ დახრისას  
*1-ჩაღუნვის მრუდი; 2-ჰორიზონტალური დაძვრის მრუდი, α -დახრის კუთხე*

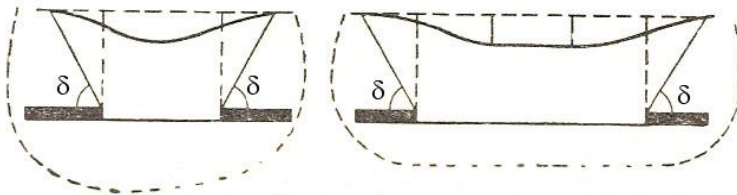
ცხადია, დაძვრის პროცესის განვითარებაზე დიდ გავლენას ახდენს ქანების თვისებები და, პირველ რიგში, მათი სიმტკიცე და პლასტიკური დეფორმაციის უნარი. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ზემოთ ჩამოთვლილი სხვა ფაქტორების გათვალისწინება.

დედამიწის ზედაპირის დაძვრის პროცესს თანახლავს ჩაღუნვის, შეკუმშვის, გაჭიმვის და დახრის მოვლენები.

მიწის ზედაპირის დაჯდომის (დაწვევის) მაქსიმალური სიდიდე 0.1-დან 0.9 m მ-მდე შეადგენს, სადაც  $m$  - გამოსამუშავებელი ფენის სიმაღლეა.

დაძვრის პროცესის მიმდინარეობაში გამოჰყოფენ სახიფათო დეფორმაციების პერიოდს, რომლის დროსაც გამომუშავებული სივრცის თავზე მიწის ზედაპირის დაძვრის სიდიდე წელიწადში 50 მმ აღემატება. სახიფათო დეფორმაციების პერიოდში ხშირად ადგილი აქვს ზედაპირზე განლაგებული შენობა-ნაგებობების სერიოზულ დეფორმაციებს.

დაძვრის პროცესის შედეგად დედამიწის ზედაპირზე წარმოიქმნება ჩაღუნვა, რომელსაც დაჯდომის მუღდა ეწოდება.



ნახ. 59. დაჯდომის მუღდის წარმოქმნა ზედაპირის სრული ან არასრული დამუშავებისას ( $\delta$  - დაძვრის კუთხე)

დაჯდომის მუღდის ზომები, როგორც წესი, აღემატება ბუდობის გამომუშავებული ნაწილის ფართობს, რაც იმით აიხსნება, რომ ადგილი აქვს ქანების პლასტიკურ დენადობას გამომუშავებული სივრცის მიმართულებით.

ხაზს, რომელიც ერთმანეთთან აერთებს გამომუშავებული სივრცის საზღვარს სახიფათო დაძვრის ზონის საზღვართან, დაძვრის ტექნიკური საზღვარი ეწოდება, ხოლო ამ ხაზით ჰორიზონტთან შედგენილ კუთხეს – დაძვრის კუთხე (იხ. ნახ. 59).

### დ ა ს კ ვ ნ ა

დაბოლოს, დასკვნის სახით აღვნიშნავთ, რომ საინჟინრო გეოლოგიის წინამდებარე მოკლე კურსში გადმოცემული მასალა ოდნავადაც ვერ ამოწურავს იმ ფართო ასპარეზს, რომელიც თანამედროვე საინჟინრო-გეოლოგიის წინაშე არის გადაშლილი. ხაზგასასმელია ის გარემოება, რომ საქართველოსთვის დამახასიათებელი მცირე ტერიტორიის და რთული რელიეფის პირობებში ახალგაზრდა სპეციალისტისთვის საინჟინრო გეოლოგიის ურთულეს საკითხებში გარკვევა სამშობლოსთვის სასარგებლო პროფესიული საქმიანობის აუცილებელი წინაპირობაა. იმედს ვიტოვებთ, რომ ეს ნაშრომი ერთგვარ გზამკვლევად გამოადგება საინჟინრო პროფილის მომავალ სპეციალისტებს საინჟინრო გეოლოგიის, როგორც უაღრესად აქტუალური დარგის, საფუძვლების დაუფლებაში.

## ლიტერატურა

1. Овчинников А.М. Общая гидрогеология. Госгеолтехиздат, Москва, 1955, с.383;
2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология (Инженерная петрология). Изд. «Недра», Ленинградское отделение, Ленинград, 1970, с. 527;
3. Ананьев В.П., Коробкин В.И. Инженерная геология. Изд. «Высшая школа», Москва, 1973, с. 299;
4. Коломенский Н.В., Комаров И.С. Инженерная геология. Изд. «Высшая школа», Москва, 1964, с. 453;
5. Денисов Н.Я. Инженерная геология. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, Москва, 1960, с. 404;
6. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология (Инженерная геодинамика). Изд. «Недра», Ленинградское отделение, Ленинград, 1977, с. 480;
7. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. Изд. «Недра», Москва, 1972, с. 280;
8. Справочное руководство гидрогеолога (редактор Максимов В.М.), т. 1. Изд. «Недра», Ленинградское отделение, Ленинград, 1967, с. 502;
9. გ. კამენსკი. მიწისქვეშა წყლების ძებნა-ძიება (თარგმანი რუსულიდან). გამომცემლობა “ცოდნა”, თბილისი, 1964. 411 გვ.
10. მ. მარღაშოვა. ფერდობების მდგრადობის უკუგაანგარიშების მეთოდით შეფასება და მეწერების ძვრის მახასიათებლების მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზი (საკანდიდატო დისერტაცია), სტუ-ს ბიბლიოთეკა, თბილისი, 2003