

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კ. მჭედლიშვილი, დ. ბურდულაძე

საავტომობილო გზების დაპროექტება



დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ
სტუ-ის სარედაქციო-საგამომცემლო
საბჭოს მიერ.

თბილისი
2018

შპს 625.72(075.8)

სახელმძღვანელო ეყრდნობა საავტომობილო გზების დაპროექტების ქართული, რუსული და დასავლეთ ევროპული სკოლების მრავალწლიან გამოცდილებას.

ნაშრომი განკუთვნილია საავტომობილო გზების და აეროდრომების მიმართულების ბაკალავრებისა და მაგისტრანტებისათვის. იგი გამოადგებათ ამავე მიმართულებით მომუშავე დოქტორანტებსა და პრაქტიკოს ინჟინრებსაც.

რეცენზენტი: ტ.მ.კ. *თენგიზ პაპუაშვილი*

კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ზარიძის

ISBN

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2018
<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.



თავი 1. მიწის ვაკისის დაპროექტება

1.1. მოთხოვნები მიწის ვაკისის მდგრადობისადმი

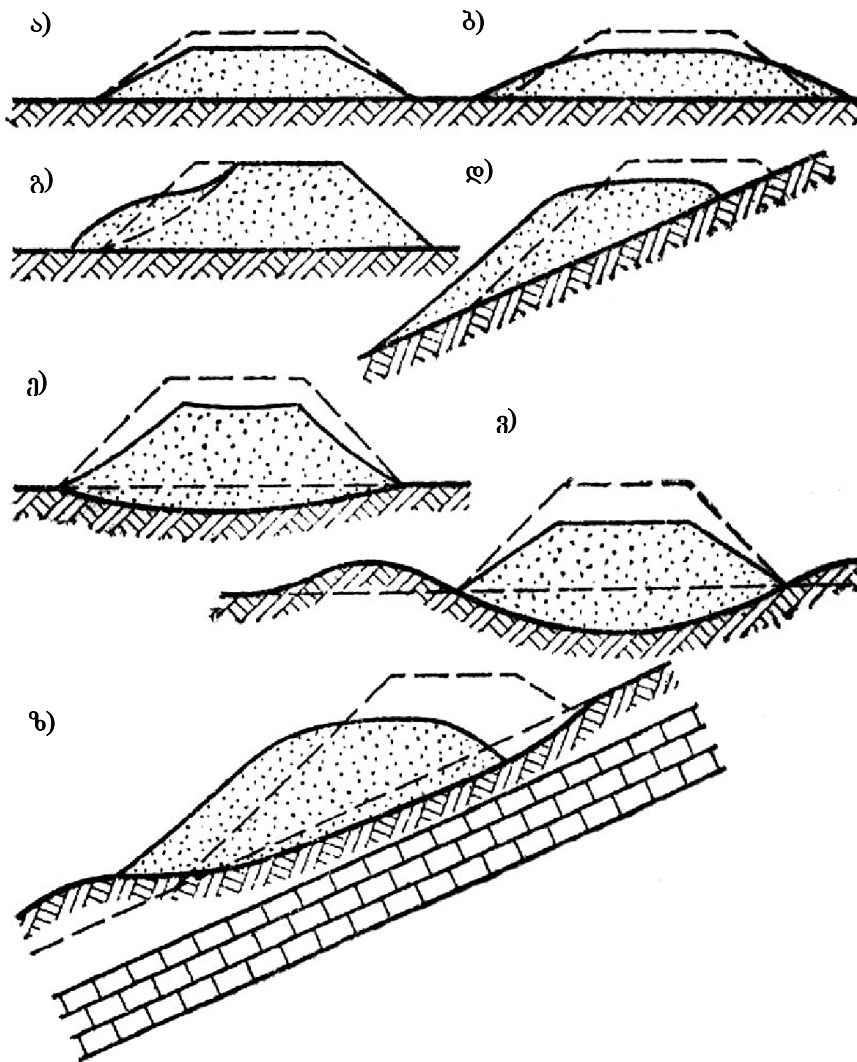
გზის ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში აუცილებელია საგზაო ფენილი დარჩეს სწორი, რათა ავტომობილებმა იმოძრაონ მაღალი სიჩქარით, უსაფრთხოდ და კომფორტულად.

ამის მიღწევა შესაძლებელია მხოლოდ მტკიცე და მდგრადი მიწის ვაკისის შემთხვევაში, რომელშიც არ ხდება გრუნტის ფენების დაწევა და ამობურცვა. მიწის ვაკისის სიმტკიცეში იგულისხმება მისი უნარი შეინარჩუნოს თავისი ფორმა და ზომები დეფორმაციის გარეშე, მოძრავი დატვირთვების და ბუნებრივი ფაქტორების უშუალო ზემოქმედების პირობებში; მდგრადობაში იგულისხმება პროექტით გათვალისწინებული მდგომარეობის შენარჩუნება სივრცეში გადაადგილების და დაჯდომის გარეშე.

მიწის ვაკისის აგების დროს ხშირად ირღვევა მიწის ქერქის ზედაპირული ფენების წონასწორობის პირობები. ჭრილების მოწყობისას გრუნტების დახრილი ფენების გაჭრამ შეიძლება გამოიწვიოს ფერდობის დამეწყერება. ფერდობზე მოწყობილი ყრილი შეიძლება გადაიწიოს ქვევით კალთაზე. ტორფიანი და წყლით გაჯენილი ლამიანი ფუძეები შეიძლება გამოიწვიოს ყრილის ქვემოდან გვერდებში, ან ნელა შემჭიდროვდეს ყრილის წონის ქვეშ, თავისი ნაჯერი წყლის გაცემით. ყრილის მთელი მასივის ძვრისა და გადაადგილების გარდა, შესაძლებელია თვით ყრილის დეფორმაციები. გამოწვეული, მაგალითად ნაყარი გრუნტის შემჭიდროვებით საკუთარი წონისა და გამვლელი ავტომობილისაგან გადაცემული დაბეჭებისგან (ნახ. 1.1).

გრუნტის შემჭიდროვებისაგან გამოწვეული დეფორმაციები შესაძლებელია არა მარტო ყრილებში, არამედ ჭრილებშიც და ნულოვანი ნიშნულების უბნებზეც, თუ გრუნტი ბუნებრივი განლაგების პირობებში არასაკმარისად მჭიდროა (ნახ. 1.2) მიწის ვაკისის მდგრადობა შეიძლება დაიკარგოს აგრეთვე მშენებლობის დროს მიცემული სწორი ფორმის დარღვევის გამო, ფერდობების ჩამომეწყერებით ან გვერდითი ამობურცვით.

მიწის ვაკისის მდგრადობა მჭიდრო კავშირშია დაკავშირებული მის წყლის რეჟიმთან. ყრილების ფერდობების და ბუნებრივი კალთების ჩამოწოლის და ჩამომეწყერების ხშირი მიზეზია მათი გაჯერება ხანგრძლივი წვიმის ან მოვარდნილი წყლებით.

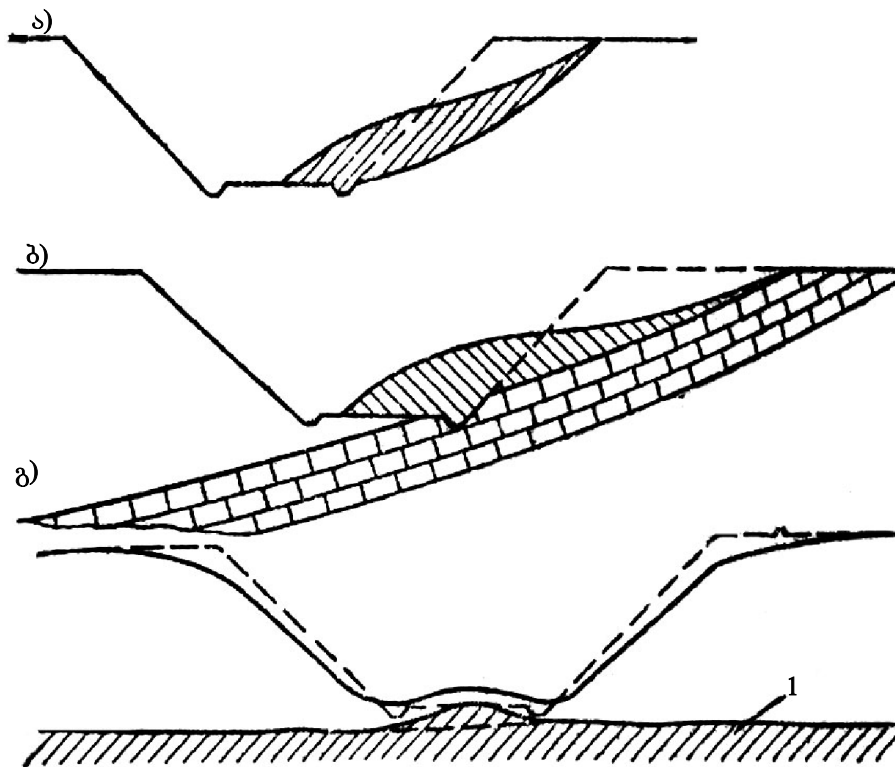


ნახ. 1.1. ყრილების დეფორმაციის სახეები:

ა - ყრილის ტანის შემკვირვების შედეგად ჩაჯდენა; ბ - ჩაჯდენის დეფორმაცია დასველებული გრუნტის ჩამოშლის შედეგად; გ - ყრილის ფერდობის ჩამოშლა; დ - ყრილის ჩამოცოცება მთის ფერდობზე; ე - ჩაჯდენა გრუნტის შეკუმშვის შედეგად; ვ - ჩაჯდენა საფუძველის სუსტი გრუნტის გამოდენის გამო; ზ - ყრილის გადაწევა ფერდობის ჩამოცურების გამო.

საავტომობილო გზების და რკინიგზების მშენებლობის მრავალწლიური გამოცდილების შედეგად გამომუშავებულია მდგრადი მიწის ვაკის კონსტრუქციები ხელსაყრელი გეოლოგიური პირობებისათვის – ეგრეთ წოდებული მიწის ვაკის ტიპური განივი პროფილები. არახელსაყრელ საინჟინრო გეოლოგიურ პირობებში აგრეთვე მაღალი ყრილებისა და ღრმა ჭრილების აგებისას ტიპურ პროექტებში საჭიროა შეტანილი იქნას ცვლილებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მიწის ვაკის მდგრადობას. ინდივიდუალური პროექტების დამუშავება აუცილებელია შემდეგ შემთხვევებში:

ყრილობის სიმაღლეები და ჭრილების სიღრმეები აღემატება 12 მ; ყრილები იგება სუსტ ფუძეებზე, გადამეტენიანებული თიხოვანი გრუნტებისაგან ან ჰიდრომექანიზაციის მეთოდით.



ნახ. 1.2. ჭრილების დეფორმაციის სახეები:
 ა - ერთგვაროვანი გრუნტის ჭრილში ფერდობის ჩამოშლა; ბ - იგივე
 ქანების ფენებად ჩაწოლისას; გ - სუსტი გრუნტის გამოდევნა ჭრილის
 ფსკერზე ფერდობების დაწოლის შედეგად. 1 - სუსტი გრუნტი

მიწის ვაკისი იგება ციცაბო ფერდობებზე და დამეწყრილ უბნებზე; ჭრილები ეწყობა განსაკუთრებულად რთულ ჰიდროგეოლოგიურ პირობებში (ჭარბტენიანი თიხოვანი გრუნტები, ფენოვანი ტექსტურის გრუნტები, წყლიანი ფენების არსებობა).

მიწის ვაკისის მდგრადობის ანგარიშის მეთოდები ემყარება გრუნტების მექანიკის კანონზომიერებებს. ამავე დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს მიწის ვაკისის მუშაობის თავისებურებები, რომლებიც გაცილებით რთულია სამოქალაქო და სამრეწველო ნაგებობების გრუნტის ფუძეების მუშაობის პირობებზე.

სამოქალაქო და სამრეწველო ნაგებობების საძირკვლები არახელსაყრელი გრუნტების შემთხვევაში აიგება ხიმინჯებზე, რომლებიც გადასცემენ დატვირთვას მტკიცე გრუნტებზე, ან ჩაიყვანება ჩაყინვის საანგარიშო სიღრმეზე დაბლა, სადაც გრუნტის წყლის და სითბური რეჟიმების ცვალებადობა წლის მანძილზე შედარებით მცირეა. გრუნტების მუშაობა საავტომობილო გზების მიწის ვაკისში კი მიმდინარეობს წლის განმავლობაში ტენიანობის ცვალებადი დონის და ცვალებადი ტემპერატურების პირობებში, რის შედეგადაც დატვირთვისადმი გრუნტის წინაღობა წლის სხვადასხვა პერიოდებში არაერთნაირია, ხოლო ამინდის ცვალებადობა სხვადასხვა წლებშიც განსხვავებულია. ამგვარად, მიწის ვაკისის სიმტკიცე არაა

მუდმივი და მისი მდგრადობა ნაანგარიშები უნდა იქნას გრუნტის მდგომარეობის ყველაზე არახელსაყრელ პერიოდებში.

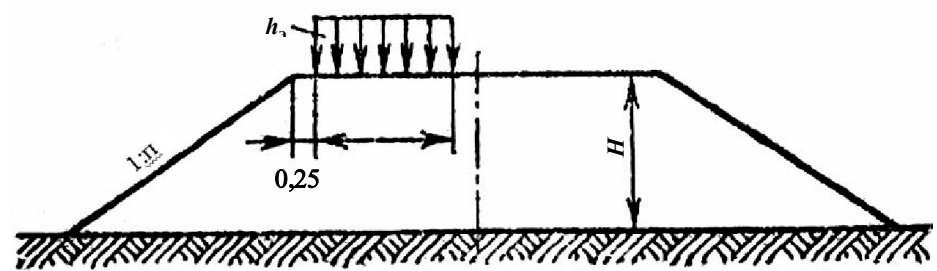
მიწის ვაკისის მდგრადობის ანგარიშებში ჩვეულებრივ გამოიყენება დეფორმაციის სქემატური მექანიზმი და ნაგულისხმევია გრუნტების თვისებების ერთგვაროვნება ცალკეული ფენების საზღვრებში. ამიტომ გზების დაპროექტებისას მიწის ვაკისის მდგრადობის ანგარიშებთან ერთად აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ საპროექტო გზასთან ახლო მდებარე, ექსპლუატაციაში მყოფი გზის მიწის ვაკისის მუშაობის გამოცდილება.

ჩამოცოცების, ჯდომისა და სხვა სახის დეფორმაციების წინააღმდეგ მიწის ვაკისის მდგრადობა ხასიათდება მდგრადობის კოეფიციენტით, ანუ ყრილის დამჭერი ძალების ან მათი მომენტების ფარდობით ყრილის მძვრელ ძალებთან ან მათ მომენტებთან.

საგზაო ყრილების მდგრადობის ანგარიშები ტარდება გრუნტის და საგზაო სამოსის საკუთარ წონაზე. ავტომობილებისაგან დატვირთვა დამატებითია, და მას ითვალისწინებენ სავალ ნაწილზე და გვერდულებზე დაყენებული მუხლუხოვანი დატვირთვის $H\Gamma - 60$ ტ/მ კოლონების შეცვლით გრუნტის ეკვივალენტური ფენით (ნახ. 1.3). ყრილის გრუნტის ეკვივალენტურ სისქეს ადგენენ შემდეგი გამოსახულებიდან:

$$h_g = \frac{1}{\gamma} \left[\frac{2P}{B} + (\gamma_0 - \gamma)H \right], \quad (1.1)$$

- P – ნორმატიული დატვირთვა საანგარიშო მანქანის ერთ მუხლუხზე;
- B – მანქანის ბაზის სიგანე;
- γ – ყრილის ზედა ნაწილში გრუნტის სიმკვრივე;
- γ_0 – საგზაო სამოსის სიმკვრივე;
- H – სამოსის სისქე.



ნახ. 1.3. ავტომობილისაგან გადაცემული დატვირთვის შეცვლა გრუნტის ეკვივალენტური ფენით.

სეისმურ რაიონებში აუცილებელია გავითვალისწინოთ მიწისქვეშა ბიძგებისაგან გამწვეული აჩქარებების გავლენა. დაპროექტებული მიწის ვაკისის მდგრადობის კოეფიციენტი უნდა აღემატებოდეს მდგრადობის ნორმატიულ მაჩვენებელს,

რომელიც იანგარიშება როგორც სხვადასხვა ფაქტორების გავლენის ამსახველი კერძო კოეფიციენტების ნამრავლი.

ეს კოეფიციენტები ითვალისწინებენ:

K_1 – გრუნტების მახასიათებლების არსებული მონაცემების საიმედოობის დონეს. დამოკიდებულია ნიმუშებზე ჩატარებული გამოცდების რაოდენობაზე და ამ გრუნტებიდან აგებული ნაგებობების მუშაობაზე არსებულ ცნობებზე და მიიღება 1-1,1.

K_2 – გზის მნიშვნელობა. კატეგორიის გზებისათვის $K_2=1,03$. II და III კატეგორიისათვის $K_2=1,0$.

K_3 – ზიანის დონე ეროვნული ეკონომიკისათვის, იმ შემთხვევაში თუ ნაგებობის აგარის შედეგად შეწყდება მოძრაობა (1,0-1,2).

K_4 – საანგარიშო სქემის შესაბამისობა ბუნებრივ საინჟინრო-გეოლოგიურ პირობებთან (1,0-1,05).

K_5 – გრუნტის სახე და მისი მუშაობა - ფუძე, ბუნებრივი მასივი (1,0, 1,05).

კოეფიციენტი K_g გვიჩვენებს ანგარიშის საიმედობას და მის მიერ სათანადო მარაგის უზრუნველყოფას.

ფრანგი მეცნიერის, გრუნტების მექანიკის ერთ-ერთი ფუძემდებლის ტერცაგის მიერ შემუშავებული კლასიკური მეთოდით ფერდობის მდგრადობის ანგარიშის შემთხვევაში $K_g=1$, სხვა მეთოდებით ანგარიშისას კოეფიციენტი დადგინდება როგორც მოცემული მეთოდით მიღებული მდგრადობის კოეფიციენტის ფარდობა ტერცაგის მეთოდით მიღებულ კოეფიციენტთან:

$$K_g = \frac{K_g'}{K_{ტერცაგი}}$$

მდგრადობის კოეფიციენტის ნორმატიული სიდიდე მიწის ვაკისის ანგარიშებში შეადგენს 1-1,5-ს.

გრუნტების მდგრადობის ანგარიშები, გრუნტისაგან აგებულ ნაგებობებში და ნაგებობების ფუძეებში უნდა ემყარებოდეს გრუნტების სიმტკიცის მახასიათებლების საიმედო მნიშვნელობებს, რომლებიც შეიძლება დადგენილი იქნას მხოლოდ უშუალოდ საველე ძიების ჩატარების დროს ან დაურღვეველი სტრუქტურის ნიმუშების გამოცდით ლაბორატორიაში.

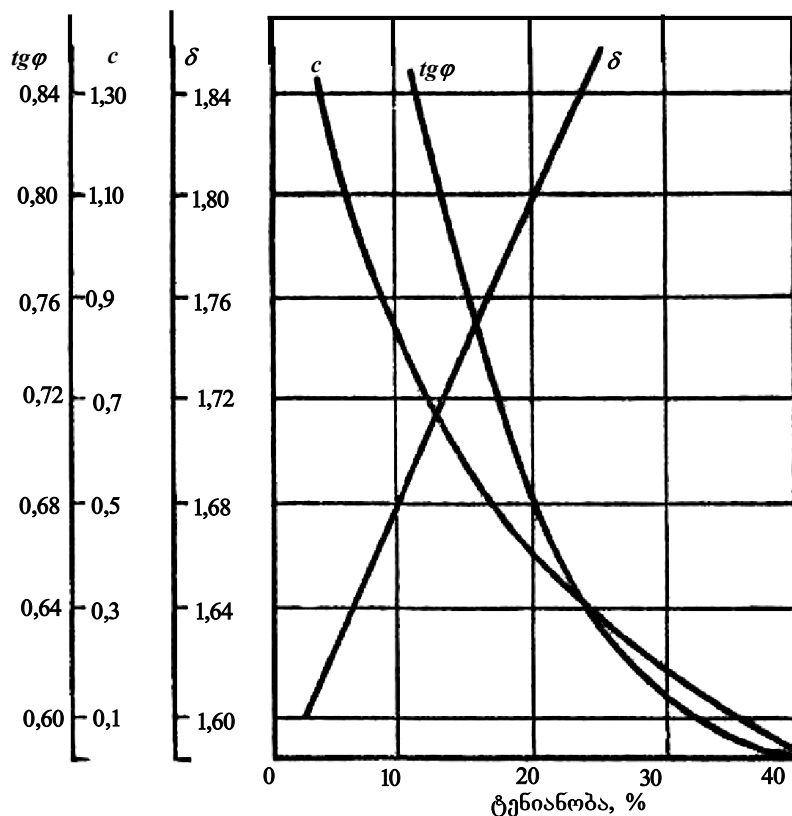
ფუძეების მდგრადობის და დეფორმაციის ანგარიშებში შემავალი გრუნტების მახასიათებლები (დრეკადობის მოდული, დეფორმაციის მოდული, პუასონის კოეფიციენტი, შიდა ხახუნის კუთხე, შეჭიდულობა) დადგენილი უნდა იქნას ბუნებრივ პირობებში დაძაბული მდგომარეობის გათვალისწინებით და აგრეთვე მათი

შესაძლო ცვლილება მშენებლობის და ექსპლუატაციის პროცესში. სხვადასხვა ტიპის გრუნტების მახასიათებლების ცხრილებში მოყვანილი საშუალო მნიშვნელობებით სარგებლობა, დასაშვებია მხოლოდ ნაგებობების მდგრადობის ან სიმტკიცის საორიენტაციო შეფასებისათვის.

გრუნტის საანგარიშო მდგომარეობა, ნაგებობის მუშაობის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. იგი აუცილებლად დადგენილი უნდა იქნას ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ნაგებობების დანიშნულების და ადგილობრივი გეოფიზიკური პირობების ანალიზის საფუძველზე. იმის გათვალისწინებით, რომ ნაგებობების აგების ან მიწის სამუშაოების ჩატარების შედეგად შესაძლებელია მნიშვნელოვნად შეიცვალოს გრუნტების განლაგების პირობები და მათი წყალტბური რეჟიმი.

გრუნტების სიმტკიცის მახასიათებლები – შეჭიდულობა C ; შიდა ხახუნის კუთხე φ ; დეფორმაციის მოდული E ; გრუნტის სიმკვრივე δ მნიშვნელოვნად არიან დამოკიდებული გრუნტის ტენიანობაზე და მისი შემკვრივების დონეზე.

ამიტომ პროფ. გ. შახუნიაძის წინადადებით გრუნტის თვისებების ზუსტი აღრიცხვისათვის ნაგებობების მდგრადობის ანგარიშებში აუცილებელია გრუნტების ლაბორატორიული გამოცდების მასალებით აგებული იქნას საანგარიშო მახასიათებლების გრაფიკები გრუნტის სხვადასხვა სიმკვრივისა და ტენიანობისათვის (ნახ. 1.4).



ნახ. 1.4. გრუნტის საანგარიშო მდგომარეობის გრაფიკი.

გამოცდები უნდა ჩატარდეს გრუნტის იმ მდგომარეობაში, რომელიც შეესაბამება მის მუშაობას ნაგებობის მდგრადობისათვის ყველაზე სახიფათო პერიოდებში.

აუცილებელია გამოვიყენოთ გამოცდის სხვადასხვა მეთოდები ბუნებრივ ფუძეებში მყოფი ურღვევი სტრუქტურის გრუნტებისათვის და დარღვეული სტრუქტურის გრუნტებისათვის, რომლებიც გამოიყენება როგორც საშენი მასალა მიწის ვაკისას ასაგებად.

გრუნტების მახასიათებლების საანგარიშო მნიშვნელობებს აღგენენ მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით დიდი რაოდენობის ნიმუშების გამოცდების საფუძველზე, რომ მივიღოთ საიმედო საშუალო სიდიდეები. გამოცდების რიცხვი მით მეტი უნდა იყოს, რაც უფრო პასუხსაგებია დასაპროექტებელი ნაგებობა. მახასიათებლების საანგარიშო მნიშვნელობებს აღგენენ შემდეგი განტოლებით:

$$A_g = A_{\text{საშ}} - \frac{tg\alpha \cdot \sigma}{\sqrt{N-1}},$$

$A_{\text{საშ}}$ – სიმტკიცის მაჩვენებლის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა პარალელური გამოცდების შედეგებით;

σ – საშუალო კვადრატული გადახრა;

N – ნიმუშების გამოცდის რაოდენობა;

$tg\alpha$ – სტიუდენტის კოეფიციენტი, ითვალისწინებს პროექტირების სტადიას და გამოცდილი ნიმუშების რაოდენობას. მისი მნიშვნელობები 0,95 იცვლება 4,30-დან, როდესაც $N=3-2,05$ -მდე, როდესაც $N=30$.

გრუნტის ფუძეები ბუნებრივ პირობებში მეტწილად არაერთგვაროვანია და შედგება სხვადასხვა ფენებისაგან, თავის მხრივ ერთგვაროვანი შემადგენლობის ფენების ფიზიკო-მექანიკური თვისებები კი განსხვავდებიან ვინაიდან სხვადასხვა პირობებში მათი ტენიანობა და შემჭიდროების დონე არაერთნაირია. ამიტომ საინჟინრო გეოლოგიური გამოკვლევებისას აუცილებელია გრუნტის სისქის დაყოფა დამახასიათებელ ფენებად და მათთვის საანგარიშო მახასიათებლების დიდი ყურადღებით დადგენა.

განასხვავებენ გრუნტების დაფენის ორ შემთხვევას.

შედარებით ერთგვაროვანი ფენები თვისებების უმნიშვნელო ცვლილებებით. ამ შემთხვევაში ანგარიშებში შეიძლება საშუალო მნიშვნელობებით სარგებლობა.

გრუნტების მკვეთრად განსხვავებული მომიჯნავე ფენების არსებობა, რომელთა თვისებები განსაზღვრავენ მასივის დეფორმაციებს. ასეთ შემთხვევაში ყოველ ფენას ეძლევა მახასიათებლების კერძო, საშუალო მნიშვნელობები.

ერთგვაროვნად შეიძლება მიჩნეული იქნას ფენები, რომელთა ფარგლებში ფოროვანობის კოეფიციენტი იცვლება არა უმეტეს 0,2 სიდიდით, ხოლო თიხოვანი გრუნტების ტენიანობა ბუნებრივი განლაგების ფარგლებში არა უმეტესი 8%.

1.2. გრუნტების განლაგება მიწის ვაკისში

მიწის ვაკისის მოწყობისათვის იყენებენ გრუნტების რამდენიმე სახეობას.

მსხვილმონატესი კლდოვანი გრუნტები – კლდის ქანის ნატესები, მიიღება ხელოვნური დამუშავებით ან განლაგებულია ბუნებრივ პირობებში ალუვიალური ან დელუვიალური დანალექების სახით: განასხვავებენ ლოდისებრ (კაჭრიან) და ღორღიან (კენჭნარიან) გრუნტებს.

ეს გრუნტები კარგი მასალაა ყრილების ასაგებად, ვინაიდან ისინი მდგრადია წყლის ზემოქმედებისადმი და არ შთანთქავენ ტენს. წყლის შექონვა დაშლილი კლდოვანი ქანის ნატესებს შორის შუალედებში, თუ ეს ქანები არ არის სწრაფადგამოფიტვადი, არ ახდენს გავლენას მიწის ვაკისის სიმტკიცეზე და მდგრადობაზე.

მაგრამ მსხვინატესოვანი კლდოვანი გრუნტების გამოყენება სიძნელეთანაა დაკავშირებული მისი შემჭიდროვების სირთულის გამო.

თავისი თვისებებით ქვიან გრუნტებთან ახლოა მრეწველობის ნარჩენები – მჟავა და ნეიტრალური მეტალურგიული წილები, ქვანახშირის შახტების ნაყარები, თუ ისინი კარგადაა გამომწვარი შეუზღუდავად დაიშვება ყრილების ასაგებად.

ხრეშოვანი და ქვიშოვანი გრუნტები – წყალგამტარებია, არ აგროვებენ წყალს ჩაუონვისას. წყლით გაუღენტვა მცირედ მოქმედებს ამ გრუნტების მდგრადობაზე მიწის ვაკისში. ქვიშოვანი გრუნტები (გარდა წვრილ მტვეროვან ქვიშებისა) წარმოადგენენ საუკეთესო მასალას ყრილებისათვის, რომლებიც აიგება არახელსაყრელ პირობებში: დაჭაობებულ უბნებზე და მდინარის ჭალებში. კაპილარული აწვევის მცირე სიმაღლის და კარგი წყალგამტარობის შედეგად საგზაო სამოსების ფუძეებში ეს გრუნტები ზედმეტად არ ტენიანდება და სწრაფად შრებიან ჭაღის ყრილებში მაღალი წყლის დონის დავარდნის შემდეგ. მაგრამ წვიმის წყლით გამორეცხვისა და ქარით გაფანტვისადმი მცირე წინააღმდეგობის გამო ყრილების და ჭრილების ფერდობი ქვიშოვან გრუნტებში აუცილებლად უნდა გამაგრდეს. განსაკუთრებით საიმედო უნდა იყოს ყრილების გამაგრება მდინარეთა ჭალებში, სადაც შესაძლებელია წყლის დინება და ტალღების მიწყდომა.

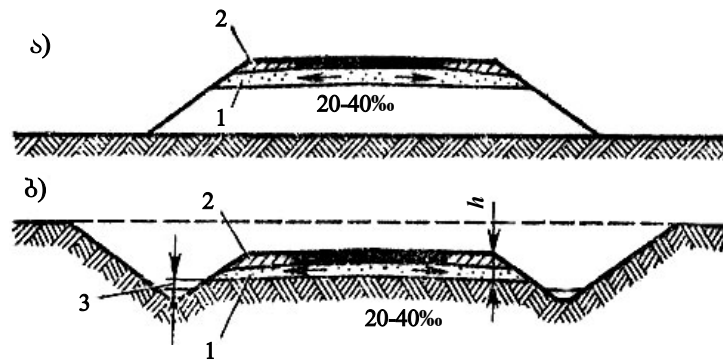
ქვიშნაროვანი გრუნტები შეიცავენ თიხოვანი ნაწილაკების მცირე რაოდენობას, რომელიც საკმარისია, რომ გრუნტს მიეცეს ბმულობა მშრალ მდგომარეობაში.

დატენიანებისას ასეთი გრუნტები ინარჩუნებენ მიწის ვაკისის მდგრადობისათვის საკმარის წინაღობას დატვირთვებისადმი. ყრილების აგება ქვიშნაროვანი გრუნტებით შეიძლება როგორც მშრალ ასევე ჭარბტენიან ადგილებში.

მტვეროვანი ქვიშნაროვანი გრუნტები, შეიცავენ 50% მეტს ნაწილაკებს დიამეტრით $\leq 0,25$ მმ. ნაკლებად მდგრადია ჭარბტენიან მდგომარეობაში. ჩაყინვისას ხასიათდებიან ტენის დაგროვებით და ბურცვადობით.

მტვეროვანი თიხნარები და მძიმე მტვეროვანი ქვიშნარები, შეიცავენ დიდი რაოდენობით ფრაქციებს ზომით 0,2-0,05 მმ, განსაკუთრებით ახასიათებთ ზამთრის ტენდაგროვება და ბურცვადობა. მიწის ვაკისის ფერდობებში ადვილად ირიცხებიან და გადადიან დენად მდგომარეობაში.

გზებზე, სადაც გაუმჯობესებული კაპიტალური ტიპის საგზაო საფარებია, ხოლო მიწის ვაკისი მტვეროვან გრუნტებიდან და მტვეროვან თიხნარებიდანაა არახელსაყრელ ჰიდროლოგიურ პირობებში აუცილებელია მისი ზედა ნაწილი აიგოს არამტვეროვან ქვიშოვან და მსუბუქ ქვიშნაროვან გრუნტებისაგან. მდგრადი გრუნტების ფენის სისქე მიიღება 1,0-1,2 მ ჭარბტენიან, II კლიმატურ ზონაში და 1,0-0,8 მ – ცვალებადტენიან, III ზონაში. ჭრილებში მტვეროვანი გრუნტების ზედა ფენები წარბადაც არა ნაკლები 0,8 მ სიღრმეზე უნდა აიგოს მდგრადი გრუნტებით (ნახ. 1.5).



ნახ. 1.5. არამდგრადი გრუნტების შეცვლა:

ა – ყრილებში; ბ – ჭრილებში.

1 – ყინვაგამძლე გრუნტი; 2 – მიყრილი გვერდულები მდგრადი გრუნტისაგან; 3 – ყინვისაგან დამცველი ფენის ძირის აწვევა არხში წყლის დონიდან არანაკლებ 0,2 მ; h – არანაკლებ 0,8 მ.

თიხნარი გრუნტები კარგი მასალაა მიწის ვაკისისათვის. კარგად ეწინააღმდეგებიან გამორეცხვას და მდგრადებია ფერდობებში. ჭალის თიხნარ ყრილებში მაღალი წყლის კლებისას მისმა უკუმოდრობამ ყრილში, შეიძლება გამოიწვიოს ჰიდროდინამიური წნევა, რის შედეგადაც შესაძლებელია ფერდის ჩამოშლა.

თიხოვან გრუნტებს გააჩნიათ მნიშვნელოვანი ბმულობა და ძალიან მცირე წყალშედწვეადობა, რის შედეგადაც ძალიან ნელა ხდება მათი წყალგაჯერება და ასევე ნელა მიმდინარეობს გამოშრობა. ეს გრუნტები, თუ მათი ტენიანობა ბუნებრივ პირობებში არ აღემატება ოპტიმალურს, გამოიყენება ყრილების მოსაწყობად მშრალ ადგილებში ან იქ, სადაც ტენიანობა ხანმოკლეა.

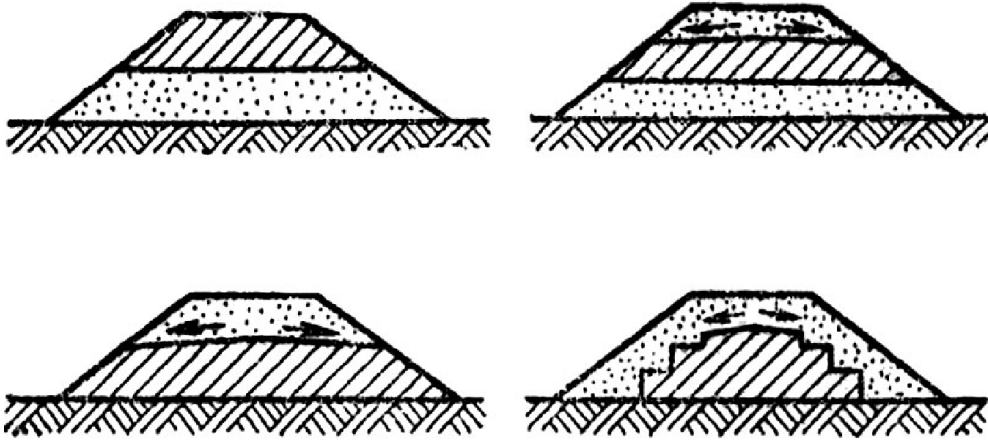
ჭარბტენიანობისას თიხოვანი გრუნტები გადადიან რბილ პლასტიკურ და დენად მდგომარეობაში, წებვადებია და შეუძლებელია მათი შემჭიდროება.

ლამიანი და ტორფიანი გრუნტები – მათი თვისებაა მოცულობის ცვალებადობა ტენიანობის ცვლილებისას. გატენიანებისას ლამიანი გრუნტები კარგავენ ბმულობას და გადადიან მცურავ მდგომარეობაში. ტორფიანი გრუნტები ძალიან კუმშვადია. ყრილებში მათი გამოყენება აკრძალულია. გამონაკლისს წარმოადგენენ მხოლოდ ზოგიერთი სპეციალური კონსტრუქციების ყრილები ჭაობებზე.

ხსნადი მარილების და ორგანული ნივთიერებების შემცველობა გრუნტებში (მლაშე და ტორფიანი გრუნტები და ნაწილობრივ შავი ნიადაგები) იწვევს მათი ფიზიკო-მექანიკური თვისებების მნიშვნელოვან ცვლილებებს. ასეთი გრუნტებით მიწის ვაკისის პროექტირების თავისებურებანი განხილულია სპეციალურ ლიტერატურაში. საგზაო-სამშენებლო მანქანებით გრუნტების დამუშავებისას ირღვევა ბუნებრივი აგებულება, გრუნტი იშლება ცალკეულ კომტებად. გრუნტის არასაკმარის შემჭიდროების შემთხვევაში წყალი გაიჟონება ყრილში კომტებს შორის ფორებში და ალბობს მას.

ყრილის ტანში მოხვედრილი ბმული გრუნტების დახრილი ფენები, განსაკუთრებით თუ მოხდა მათი შემჭიდროება მშენებლობის პერიოდში, დატენიანებისას შექმნიან დაცურების ზედაპირს, რომელზეც ჩამოცურდება ყრილის ნაწილი. ამიტომ განსხვავებული შემადგენლობის და თვისებების გრუნტებთან ყრილის აგებისას აუცილებლად დაცული უნდა იქნას ყრილში მათი განლაგების წესები (ნახ. 1.6).

ნაირგვაროვანი გრუნტები ყრილებში მიზანშეწონილია განლაგდნენ ჰორიზონტალურ ფენებად. ნაკლებად წყალშედწვეადი გრუნტები უნდა განლაგდნენ ქვედა ფენებში, კარგად მადრენირებელი კი ზედა ფენებში. გამონაკლისია შემთხვევა, როდესაც მადრენირებელი გრუნტი განკუთვნილია დატენიანებული ფუძიდან ყრილში წყლის კაპილარული აწევის შესაწვეტად. წყალგამტარი გრუნტების ფენების ზედაპირს ეძლევა ორმხრივად დახრილი განივი პროფილი ქანობით 2-4%, მის ზედაპირზე ეწყობა წყალგამტარი გრუნტების ფენა, რაც ხელს უწყობს ყრილიდან ჩამოჟონილი წყლის გამოდენას.



ნახ. 1.6. მიწის ვაკისში წყალგაუმტარი და წყალგამტარი გრუნტების განლაგება. წერტილებით ნაჩვენებია წყალგამტარი გრუნტი, შტრიხებით – წყალგაუმტარი.

არ შეიძლება ყრილის აგება ერთი გრუნტისაგან შეკრული ბირთვის სახით, რომელზეც ზევიდან გვერდებიდან მიყრილია სხვა გრუნტი. გამონაკლისს წარმოადგენს მიწის ვაკისის გაგანიერების შემთხვევები გზის რეკონსტრუქციის დროს, როდესაც მიყრილი ნაწილის მდგრადობისათვის ტარდება სპეციალური ღონისძიებები. არ შეიძლება წყალშედწვეადი გრუნტებით აგებული ყრილების გაგანიერება წყალშეუღწევი გრუნტებით.

აკრძალულია განსხვავებული თვისებების გრუნტების უსისტემო, შემთხვევითი დაყრა. ასეთ შემთხვევაში ყრილის ტანში შეიძლება შეიქმნას ლინზები, რომლებშიც დაგროვდება წყალი და დატენიანებული დახრილი ზედაპირები, რომლებზეც შესაძლებელია გრუნტის მასივის ჩამოცურება.

1.3. მოთხოვნები მიწის ვაკისის გრუნტების შემჭიდროებისადმი

საკუთარი წონის, გამვლელი ავტომობილების დატვირთვის ზემოქმედების, დატენიანების და გამოშრობის შენაცვლების შედეგად გაფხვიერებული გრუნტი ყრილებში თანდათან მჭიდროვდება. საჭიროა წლის რამდენიმე ტენიანი სეზონი, რომ ჯდომები პრაქტიკულად შეწყდეს. ადრე ყრილები იგებოდა ჯდომებზე მარაგით, რომლებსაც აღწევდა მხოლოდ რამდენიმე წლის შემდეგ. გზის თანამედროვე ჩქაროსნული მეთოდებით მშენებლობის დროს შეუძლებელია ყრილის გრუნტის ბუნებრივი შემჭიდროების ხანგრძლივი პროცესის დამთავრების ღოდინი. ამიტომ ხდება ყრილის თანდათან დატკეპნა მშენებლობის პროცესში.

ყრილის ტანში რომ არ წარმოიშვას ჯდომები შემჭიდროებისაგან, გრუნტის ფოროგანობა უნდა შეესაბამებოდეს ყრილის შიგნით მოქმედ ძაბვებს (ნახ. 1.7).

ამიტომ თუ ყრილის ქვევებუღია ფხვიერი და ჯღომადი ლიოსის გრუნტები ისინი მიწის ვაკისის აგებამდე შემჭიდროებული უნდა იქნან მძიმე სატკეპნებით, რათა ფუძის გრუნტის ფოროვანობის კოეფიციენტი ϵ შეესაბამებოდეს ჯამურ ძაბვას σ . შეტბორილი ყრილების ქვედა ნაწილში შესაძლებელია მოქმედებდეს კაპილარული წნევა, და აგრეთვე ძაბვები, რომლებიც ვითარდება მაღალი წყლის კვლების შემდეგ გამოსრობილი გრუნტის შეკლების გამო.

გრუნტების შემჭიდროების საჭირო დონის დასადგენად ყრილის სიმაღლე იყოფა რამდენიმე ზონად. გრუნტის შემჭიდროების საჭირო დონე ყოველ ზონაში ინიშნება მის ფარგლებში მოქმედი ძაბვების შესაბამისად.

ყრილის ზედა 1,5 მ სისქის ფენაში მოქმედებენ სტატიკური და დინამიური ძაბვები, გამოწვეული გამვლელი ავტომობილებით. გრუნტების წყლის რეჟიმის ცვალებადობის წლიური ციკლის პროცესში ინტენსიურად მიმდინარეობს აგრეთვე გრუნტის დატენიანება და გამოსრობა. გრუნტების შემჭიდროება ამ ზონაში უნდა შეესაბამებოდეს: ბმული გრუნტებისათვის – შიდა ძალების წნევას, რომლებიც იწვევენ შეკლებას, ხოლო ქვიშნარებისათვის, მსუბუქი თიხნარებისათვის და ქვიშებისათვის – ავტომობილებით გამოწვეულ ძაბვებს.

დაკვირვებები აჩვენებენ, რომ ყოველი ბუნებრივი რაიონისათვის არსებობს გრუნტების შემკვირვების გარკვეული ოპტიმალური დონე ზამთრის ტენდაგროვების პროცესების განვითარების ზონაში. იმ კლიმატურ რაიონებში, სადაც ზამთრის პერიოდში მიმდინარეობს ტენის გადაადგილების და ყინულოვანი ლინზების დაგროვების ინტენსიური პროცესები, მშენებლობის შედეგად ზედმეტად შემკვირვებული გრუნტები რამდენიმე წლის ექსპლუატაციის შემდეგ ფხვიერდებიან.

ყრილების საშუალო ფენებში, წარბადან 6 მ-მდე მანძილზე გრუნტის წყლის რეჟიმი შედარებით მუდმივია, ხოლო გარე დატვირთვისაგან და გრუნტის საკუთარი წონისაგან წარმოქმნილი ძაბვები მცირეა, ამიტომ ამ ზონის ფარგლებში შეიძლება დაშვებული იქნას რამდენადმე ნაკლები შემკვირვების დონე, ვიდრე ზედა ფენებში.

ყრილების ქვედა ფენებისათვის, წარბადან 6 მ-ზე მეტ სიღრმეზე, სადაც ხანმოკლე შეტბორვები იწვევენ გრუნტის კაპილარულ დატენიანებას და შემდგომ გამოსრობას, გრუნტების სიმკვირვის დონეს უყენებენ ისეთივე მოთხოვნილებებს, როგორც ყრილების ზედა ფენებისათვის.

მონაკვეთები თუ ხანგრძლივად იტბორება წყლით, წყლის დონეზე ქვემოთ განლაგებული ყრილის ქვედა ფენები მუშაობენ კუმშვის პირობებში, რომლებიც გამოიწვევა ზედა ფენების წონის გავლენით და გარეშე დატვირთვით.

მიწის ვაკისის გრუნტების სიმკვრივის ნორმირებას ახდენენ გრუნტის ჩონჩხის სიმკვრივის σ_n შეფარდებით მაქსიმალურ ეგრეთ წოდებულ სტანდარტულ სიმკვრივესთან, რომელიც მიიღება ლაბორატორიაში გრუნტის ოპტიმალური ტენიანობის შემთხვევაში. ფარდობას $\sigma_n/\sigma_{n,სტ.}$ უწოდებენ შემკვრივების კოეფიციენტს.

გრუნტის ოპტიმალური ტენიანობა ეწოდება ისეთ სიდიდეს, რომლის დროსაც გრუნტის საჭირო შემკვრივება მიიღწევა ტენიანობის სხვა სიდიდეებთან შედარებით ნაკლები მუშაობით. ეს ტენიანობა ახლოა გრუნტის ტენიანობის საშუალო მნიშვნელობასთან რეზერვებში მიწის სამუშაოების შესრულების პერიოდში II-III კლიმატურ ზონებში.

საავტომობილო გზების მშენებლობის დროს უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს მიწის ვაკისის შემკვრივება ცხრილში 1.1 მოყვანილ სიდიდეებამდე.

გრუნტების შემკვრივების მაღალი დონე არა მარტო იცავს მიწის ვაკისს დეფორმაციებისაგან, არამედ ხელს უწყობს მასში წყლის რეჟიმის სტაბილიზაციასაც.

ცხრილი 1.1

მიწის ვაკისის სახე	მიწის ვაკისის ნაწილი	ზედაპირიდან ფენების განლაგების სიღრმე, მ	მინიმალურად დასაშვები დატკეპნის ხარისხი სხვადასხვა საგზაო-კლიმატურ ზონაში	
			II-III	IV-V
ყრილი	ქვედა	1,5-მდე	1,0-0,98	0,98-0,95
	ქვედა დაუტბორავი	1,5-1,6 მეტი 6	0,95 (0,95) 0,98 (0,95)	0,95 0,95 (0,95-0,90)
		1,5-6 მეტი 6	0,98-0,95 (0,95) 0,98 (0,95)	0,95 (0,95) 0,98 (0,95)
ჭრილები და დაბალი ყრილების ბუნებრივი ფუძეები	სეზონური გაყინვის ზონაში		1,2 მ (0,8) სიღრმემდე	1,0-0,98 (0,98-0,95)
	სეზონური გაყინვის ზონის ქვემოთ	1,2 (0,8) სიღრმემდე	0,95 (0,95-0,92)	0,95-0,92 (0,90)

- შენიშვნები:**
- დატკეპნის ხარისხი ნაჩვენებია კაპიტალური გაუმჯობესებული ტიპის ფენილიან გზებზე, ფრჩხილებში დანარჩენი ტიპებისათვის.
 - უმეტესი მნიშვნელობა აიღება ცემენტბეტონის ფენილებისა და ცემენტ-გრუნტების საფუძვლებისთვის.
 - სიღრმე 0,8 მ მიეკუთვნება IV და V საგზაო კლიმატურ ზონებს.

14. მიწის ვაკისის მდგრადობა ფერდობზე

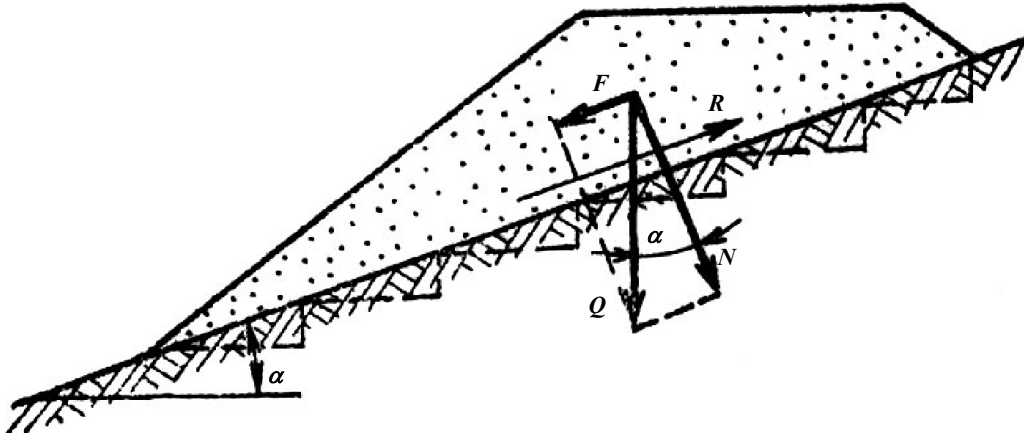
ფერდობზე აგებული ყრილი შეიძლება ჩამოცურდეს, თუ ფერდობის პარალელურად მიმართული მიწის მასივის წონის მდგენელი აღმოჩნდება ხახუნის ძალაზე მეტი, რომელიც იჭერს ყრილს ადგილზე. ნახ. 1.9 თანახმად დამჭერი ძალა ტოლია:

$$R = f \cdot Q \cos \alpha, \quad (1.1)$$

სადაც Q – ყრილის წონა; f – დაყრილი გრუნტის ფერდობის ზედაპირზე ხახუნის კოეფიციენტი; α – ფერდობის დახრის კუთხე.

ყრილის მოძრავი ძალაა

$$F = Q \sin \alpha.$$



ნახ. 1.9. ფერდობზე მდებარე ყრილზედ მოქმედი ძალები.

შესაბამისად აქედან ყრილის ძვრისადმი საწინააღმდეგო მდგრადობის კოეფიციენტი

$$K_y = \frac{R}{F} = \frac{Q \cdot f \cdot \cos \alpha}{Q \cdot \sin \alpha} = \frac{f}{i}, \quad (1.2)$$

სადაც i – ფერდობის განივი ქანობია.

ფერდობებზე ყრილების მდგრადობის გაზრდის ღონისძიებები მიმართულია ხახუნის კოეფიციენტის f გაზრდისაკენ.

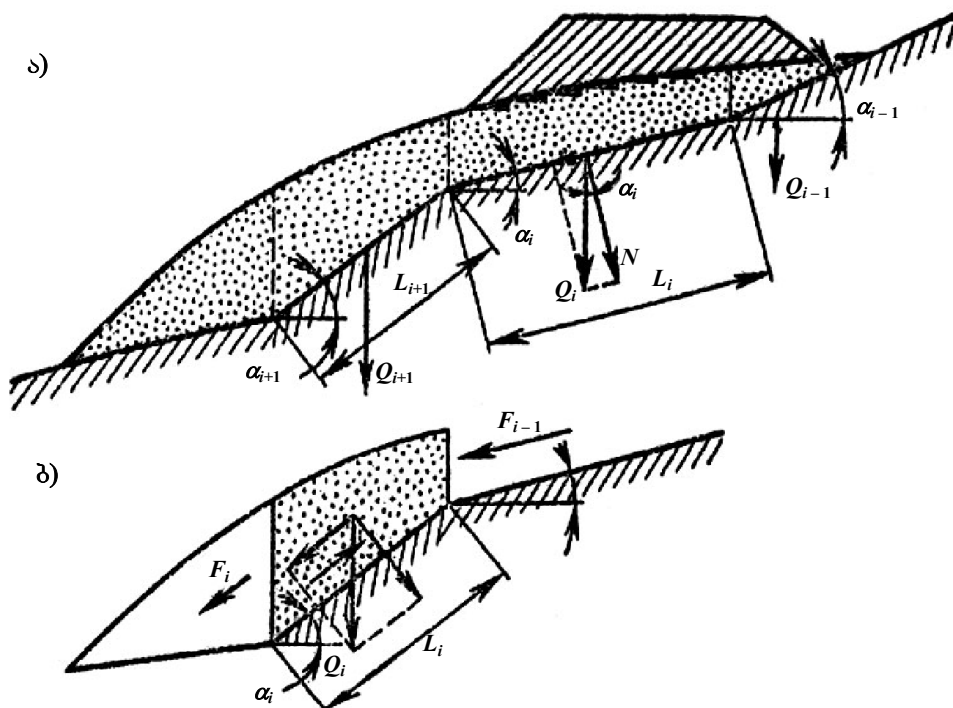
როდესაც ფერდობის ქანობია 1:10, 1:5 ან ნაკლები 2%-ზე, თუ ყრილის აგებამდე აუცილებელია მხოლოდ მოიხსნას მცენარეული ფენა. როდესაც ქანობია 1:5 1:3-მდე ანუ მეტი 2%-ზე ფერდობის ზედაპირზე ეწყობა საფეხურები სიმაღლით არა ნაკლები 0,5 მ და საფეხურებს მიეცემა ქანობი ფერდობისაკენ 1%-2%.

საფეხურების მოწყობის მიზანია გრუნტის ფერდობის ზედაპირზე დაცურებისადმი უკმარი წინააღმდეგობის შეცვლა მეტი წინააღმდეგობით იმავე ზედაპირზე.

სუსტ გრუნტებში, კერძოდ ფერდობებზე, რომლებიც შედგენილია ქვიშებით ან სუსტად შეკავშირებული ღორღოვანი გრუნტებით, საფეხურების მოწყობა არ აღწევს მიზანს. ასეთ შემთხვევებში და აგრეთვე როდესაც ფერდობის დახრილობაა 1:3 და მეტი, ყრილის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია საყრდენი კედლების აგება ან კონტრბანკეტების მოწყობა.

როდესაც ყრილი იგება ფერდობზე, რომელიც შედგება მაგარი მთის ქანებზე განლაგებულ დახრილ ფენებზე, ყრილის წონისაგან დატვირთვის შედეგად ქვენაფენი გრუნტი შეიძლება ჩამომეწყერდეს. ანალოგიური მოვლენა შეინიშნება ფერდობზე არსებული გრუნტის დახრილი ფენებზე ჭრილის მოწყობისას.

პროფ. გ. შახუნიაძის მეთოდით მდგრადობის შემოწმება დაიყვანება ყრილის ჩამომეწყერებულ მასივში ვერტიკალური ნაწილების გამოყოფაზე, დაცურების ზედაპირის მოხაზულობის შესაბამისად (ნახ. 1.10), აგრეთვე თითოეული ნაწილის მდგრადობის შეფასებაზე საკუთარი წონისა და მიმდებარე ნაწილებისაგან გადაცემულ დატვირთვებისაგან. თითოეული ნაწილი განიხილება როგორც გამყარებული მასივი.



ნახ. 1.10. გრუნტის მდგრადობის განმსაზღვრელი სქემა მკვრივი საფუძველი ქანების შემთხვევაში:
 ა - ნაწილებად დაყოფა; ბ - ერთი ნაწილის წონასწორობის პირობა.

წნევის სიდიდე, რომელიც გადაიცემა i - ნაკვეთურიდან ქვემომდებარე $(i+1)$ ნაკვეთურზე:

$$F_i = F_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} + \alpha_i) - Q_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + Q_i \sin \alpha_i - C \cdot L_i, \quad (13)$$

სადაც F_{i-1} – წნევა, რომელიც გადაიცემა ზემოთ მდებარე ნაწილისაგან;

Q_i – ნაწილის წონა და მასზე მოსული ყრილის დაწოლის ძალა;

L – დაცურების ზედაპირის სიგრძე; □

φ – ჩამომცოცი გრუნტის შიდა ხახუნის კუთხე;

C – გრუნტის შეჭიდულობა.

თუ ზემოთ განლაგებული ნაწილებისათვის ძალა F_{i-1} -ს უარყოფითი ნიშანი აქვს, ის ანგარიშში არ შეიყვანება. თითოეული ნაწილის მდგრადობის კოეფიციენტი იანგარიშება გამოსახულებით

$$K_i = \frac{Q_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + CL_i}{F_{i-1} \cos(\alpha_{i-1} + \alpha_i) + Q_i \sin \alpha_i} \quad (1.4)$$

ნაწილების ჯგუფის მდგრადობის თანმიმდევრობითი განხილვით შეიძლება დავადგინოთ გაწვევების ბზარების გაჩენის სააღბათო ადგილები. ისინი შეესაბამება არამდგრადი ნაწილების საზღვრებს, სადაც $K_i < 1$ და ამობურცულ ადგილებს იმავე ნაწილების ქვედა საზღვრებთან.

1.5. მიწის ვაკისის მდგრადობა სუსტ ფუძეებზე

სუსტ გრუნტებს მიეკუთვნებიან ისეთები, რომლებიც კარგავენ მდგრადობას საკუთარი წონის ზემოქმედებისაგან ტიპური განივი პროფილის მქონე ჭრილის ფერდობებში, ყრილის დაწოლისაგან მიწის ვაკისის ფუძეში და აგრეთვე ახასიათებთ მნიშვნელოვანი და ნელა მიმდინარე ჯდომები.

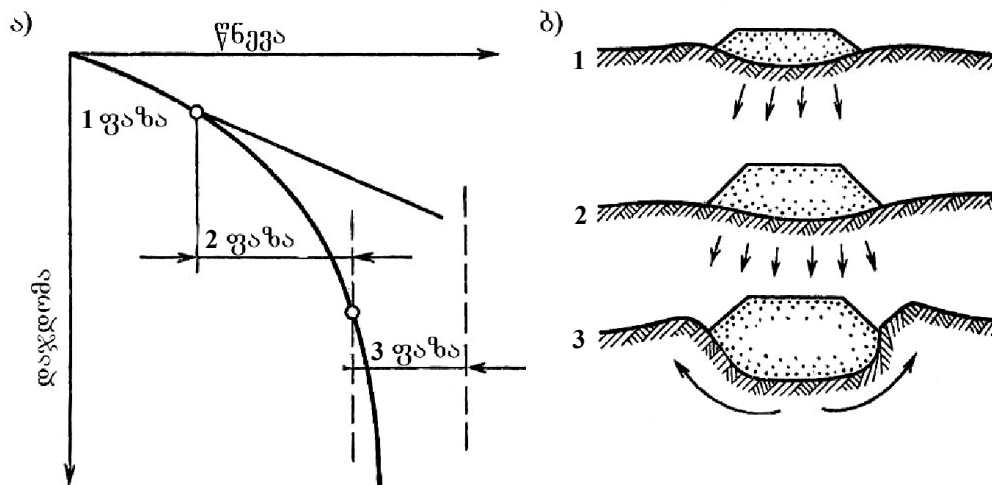
პროფ. ვ. კაზარნოვსკის მიხედვით, სუსტებს მიეკუთვნება ის გრუნტები, რომლებსაც შიდა ხახუნის კუთხის f_ω ნოლთან მიახლოებისას ბუნებრივ პირობებში გრუნტის ტენიანობისას ჩაჭიდულობა C_ω ნაკლებია 0,75 კგ/სმ² და დეფორმაციის მოდული $E \leq 50$ კგ/სმ², როდესაც $\varphi_\omega \leq 15$, $C_\omega \leq 0,45$ კგ/სმ² და როდესაც $\varphi_\omega \leq 30$, $C_\omega \leq 0,25$ კგ/სმ².

სუსტ ფუძეებზე (ტორფებზე, საპროპელეებზე, ლამებზე, სველ მლაშობებზე, ლიოსისებრ გრუნტებზე, გადამეტენიანებულ თიხოვან გრუნტებზე და სხვა) აგებული ყრილები განიცდიან ჯდომას მათი წონისგან გამოწვეული ქვენაფენი გრუნტის დეფორმაციის გამო. ეს დეფორმაციები შეიძლება მოხდეს როგორც ფუძის გრუნტის შემჭიდროებით, ასევე გვერდებზე ყრილებს ქვემოდან მისი გამოწურვით.

მიწის ვაკისის აგებისას ფუძეზე დატვირთვის სიდიდე დამოკიდებულია ყრილის სიმაღლეზე, რაც თავის მხრივ საპროექტო ხაზის მდგომარეობასთანაა დაკავშირებული.

ამიტომ დაპროექტებისას აუცილებლად უნდა შეფასდეს მიწის ვაკისის მდგრადობა ჯდომადი ხასიათის უეცარი დეფორმაციების წინააღმდეგ. როდესაც ეს დეფორმაციები გარდაუვალია გაანგარიშებული უნდა იქნას მათი სიდიდეები, რათა მიწის ვაკისის აგებისას გრუნტის დამტებით დაყრით კომპენსირებული იქნას ნაყარის ჯდომები.

XIX-ს მეორე ნახევარში რუსეთის იმპერიაში საგზაო გრუნტმცოდნეობის ფუძემდებლის პროფ. ნ. გარსევანიშვილის (გერსევანოვის) მიხედვით, დამოკიდებულება გრუნტზე დაწოლისა და მისი დაჯდომის შორის საერთო სახით გამოიხატება მრუდით, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 1.11.



ნახ. 1.11. დატვირთვისა და მისგან გამოწვეული დეფორმაციის დამოკიდებულება:
 ა - დატვირთვისა და დეფორმაციის დამოკიდებულების მრუდი;
 ბ - ჭაობში ყრილების დეფორმაციები, დეფორმაციის სხვადასხვა ფაზის შესაბამისი.
 1 - პირველი ფაზა (შემკვრივება); 2 - მეორე ფაზა (შემკვრივება და განივი ძვრა); 3 - მესამე ფაზა (მკვეთრი ჩაწევა საფუძველი გრუნტის გამოზნექით გამოწვეული) ისრებით ნაჩვენებია დეფორმირებული გრუნტის გადაადგილების მიმართულება.

ამ მრუდზე შეიძლება გამოყოფილი იქნას უბნები, რომლებიც ახასიათებენ დეფორმაციის პროცესის სხვადასხვა ფაზებს.

OA უბნის ფარგლებში დამოკიდებულება დატვირთვისა და დეფორმაციას შორის ახლოა სწორხაზოვანთან, აქ მიმდინარეობს უპირატესად ქვევებული გრუნტის შეკუმშვა.

დატვირთვის შემდგომი ზრდისას ქვევებული გრუნტის ცალკეულ წერტილებში მხები ძაბვები აღემატება მის წინააღმდეგობას ძვრისადმი. ამ ადგილებში წარმოიშობა პლასტიკური დეფორმაციები (ძვრის დეფორმაციები). წნევის ზრდისას ასეთი ადგილების რაოდენობა მატულობს, ყრილის ჯდომა იზრდება და იწყება მის ქვევიდან გრუნტის ამოწურვა, რასაც თან ახლავს ბორცვების შექმნა ყრილის გვერდებზე და მისი ჯდომა. ამრიგად, ქვევებული გრუნტის დეფორმაციების ხასიათი

დამოკიდებულია მის წინააღმდეგობაზე გარეშე დატვირთვების მიმართ და ყრილზე დაწოლის სიდიდეზე. სუსტ ფუძეებზე ყრილების დაპროექტებისას მათი დანიშნულების მიხედვით ითვალისწინებენ ფუძეების მუშაობას შემდეგ სტადიებში:

დეფორმაციების პირველ ფაზაში – ყრილებისათვის კაპიტალური ცემენტბეტონის და ასფალტბეტონის საფარებით (ანგარიში წარმოებს ფუძეში ძვრების გარეშე).

მეორე ფაზის საწყის პერიოდში – დეფორმაციები ყრილებზე შემსუბუქებული ტიპის საფარებით (ძვრები ვრცელდება შეზღუდულად, მოცემული სიდიდით).

მეორე ფაზის დასასრულ პერიოდში - ჭავლმიმმართველი და სარეგულაციო ნაგებობები, ადგილობრივი მნიშვნელობის გზები გარდამავალი ტიპის საფარებით (ზღვრულ წონასწორობასთან ახლო მყოფი პირობები).

ფუძის გრუნტში ყრილის დატვირთვით გამოწვეული ძაბვები შეიძლება დადგენილი იქნას დრეკადობის თეორიის ფორმულებით უსასრულოდ დრეკადი ზოლისათვის, რომელიც დატვირთულია განივ კვეთში ტრაპეციის კანონით. ეს არ იძლევა მნიშვნელოვან ცდომილებას, ვინაიდან შედარებითი გაანგარიშებები გვიჩვენებენ, რომ ამ შემთხვევაში ძაბვები ძალიან მცირედ განსხვავდებიან ძაბვებისაგან, როდესაც ასეთივე დატვირთვები მოდებულია ტოლდიდი სიგანის დრეკად მოედანზე მხარეების შეფარდებით 1:10.

ფუძეში ძვრების გარეშე პირობაზე გაანგარიშება მოითხოვს, რომ უდიდესი მხები ძაბვა ყრილისგან დატვირთვის ქვეშ არ უნდა აღემატებოდეს გრუნტის წინააღმდეგობას ძვრისადმი.

ყრილის ქვეშ მაქსიმალური მხები ძაბვების სიდიდეს ადგენენ გამოსახულებით

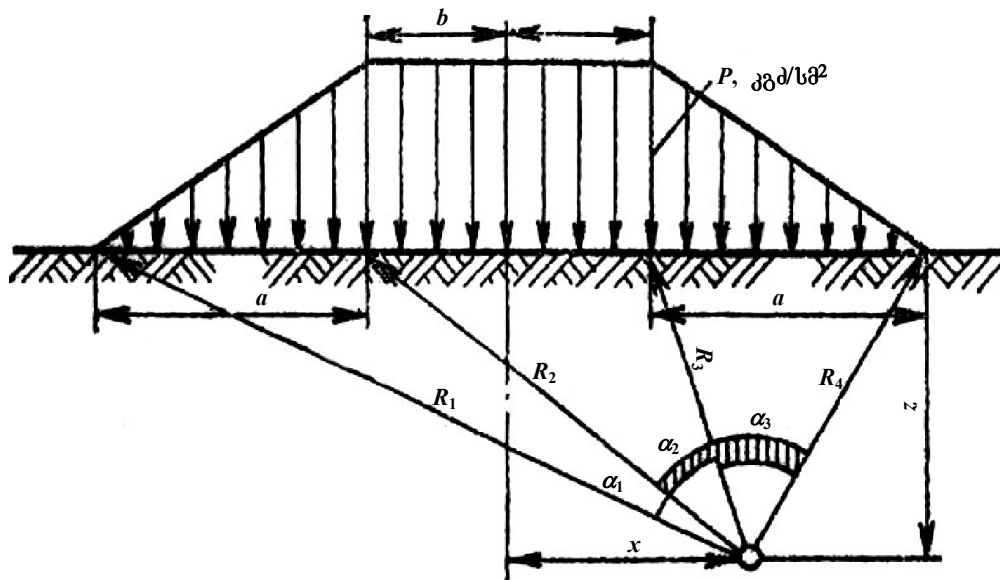
$$\tau_{\max} = \frac{z \cdot p}{\pi \cdot a} \cdot \sqrt{\ell_n^2 \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2 \cdot R_3} + (\alpha_1 - \alpha_3)^2} . \quad (1.5)$$

ყრილის ღერძზე განლაგებული წერტილებისათვის, სადაც მაქსიმალურ მხებ ძაბვებს უდიდესი მნიშვნელობა გააჩნიათ, ისინი შეიძლება დადგენილი იქნას წინა გამოსახულების გამარტივებით.

$$\tau_{\max} = \frac{z \cdot p}{\pi \cdot a} \cdot \ell_n \frac{z^2 + (a+b)^2}{z^2 + b^2} . \quad (1.6)$$

ფორმულაში შემავალი წევრების მნიშვნელობები ნაჩვენებია ნახ. 1.12. კუთხეები გამოსახული უნდა იქნას რადიანებში.

გრუნტებში ყრილების წონისგან ძაბვების გასაანგარიშებლად შემუშავებულია სათანადო კომპიუტერული პროგრამები. ამის გარდა გრუნტების მექანიკის კურსებში და ცნობარებში მოყვანილია შესაბამისი ნომოგრამები და დამხმარე ცხრილები.



ნახ. 1.12. საგზაო ყრილის წონისაგან გამოწვეული ძაბვის განსაზღვრის სქემა

გრუნტის წინააღმდეგობა ძვრისადმი ყრილის ძირიდან z სიღრმეზე იანგარიშება გამოსახულებით:

$$\tau_{\text{გრ}} = C_{\omega} + \gamma \cdot z \cdot \text{tg} \varphi_{\omega},$$

სადაც γ – ფუძის გრუნტის სიმჭიდროვეა გრუნტის წყლის მოქმედების გათვალისწინებით.

C_{ω} – შეჭიდულობა; φ_{ω} – შიდა ხახუნის კუთხე.

C_{ω} და φ_{ω} მნიშვნელობები მიიღება ფუძის გრუნტის ტენიანობის შესაბამისად – სწრაფ დატვირთვისას ბუნებრივ ტენიანობის პირობებში, ნელი დატვირთვით – ყრილის საკუთარი წონით შემჭიდროვებით დამთავრებული პროცესის შესაბამისი ტენიანობით.

სიმტკიცის მარაგში ხანდახან უგულებელყოფენ შიდა ხახუნის კუთხის გავლენას, რომელიც სუსტი გრუნტებისათვის შედარებით მცირეა, ანუ დაპროექტებისას მიისწრაფიან უზრუნველყონ შეფარდება

$$\tau_{\text{max}} < C_{\omega}.$$

პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებულ ყრილების სიმაღლეებისათვის და მათი ფერდობის დახრილობისათვის მაქსიმალური მხები ძაბვების სიდიდეები ცვალებადობენ ფარგლებში $\tau_{\text{max}} = 0,27 \div \tau_{\text{max}} = 0,33$ -მდე, სადაც P – ყრილის დაწოლაა გრუნტზე.

ამიტომ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ყრილი მდგრადია ფუძეში ძვრების წარმოქმნის წინააღმდეგ თუ დაცულია პირობა $P \leq 3C_{\omega}$.

გრუნტში პლასტიკური დეფორმაციების ნაწილობრივი განვითარების დაშვებაც მეტად ართულებს თეორიულ გაანგარიშებებს. სუსტ გრუნტებში პლასტიკური დეფორმაციების ზონების გავრცელების დასაშვები სიღრმე და ძაბვების გაანგარიშება ყრილის ქვეშ გრუნტის დრეკად-პლასტიკურ დეფორმაციებისას ხდება მიახლოებითი მეთოდებით.

სუსტ ფუძეებზე ყრილების აგებისას, დაწოლა, რომელიც იწვევს ერთგვაროვანი გრუნტის გვერდით ამოზურცვას, შეიძლება დადგენილი იქნას გრუნტების მექანიკის ფორმულებით, რომლებიც იხილავენ გრუნტების მდგრადობას ფუძეებში ზღვრული წონასწორობის პირობიდან.

ზღვრული დაწოლა ყრილისგან (კგ/სმ^2), რომლის გადაჭარბება იწვევს მის ქვემოდან გრუნტის ამოწურვას, შეიძლება ვიანგარიშოთ ლ. პრანდტლის ფორმულით, რომელშიც შეტანილია რ. ტეილორის შესწორება გრუნტის საკუთარი წონის გავლენაზე.

$$P = (\delta \cdot \Delta + c \cdot ctg\varphi) \cdot \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \ell^{mg\varphi} - c \cdot ctg\varphi. \quad (1.7)$$

სადაც δ – გრუნტის სიმჭიდროვე; Δ – ყრილის გრუნტში ჩაფლის სიღრმე; C – გრუნტის შეჭიდულობა; φ – შიდა ხახუნის კუთხე.

ყრილის დაწოლა გრუნტზე P_1 თუ აღემატება გრუნტზე ზღვრული დაწოლის სიდიდეს, როდესაც $\Delta = 0$ წარმოიქმნება გვერდითი ამოწურვა. იგი შეწყდება, როდესაც ჯდომა მიაღწევს სიდიდეს, რომლის დროსაც $P_1 = P$.

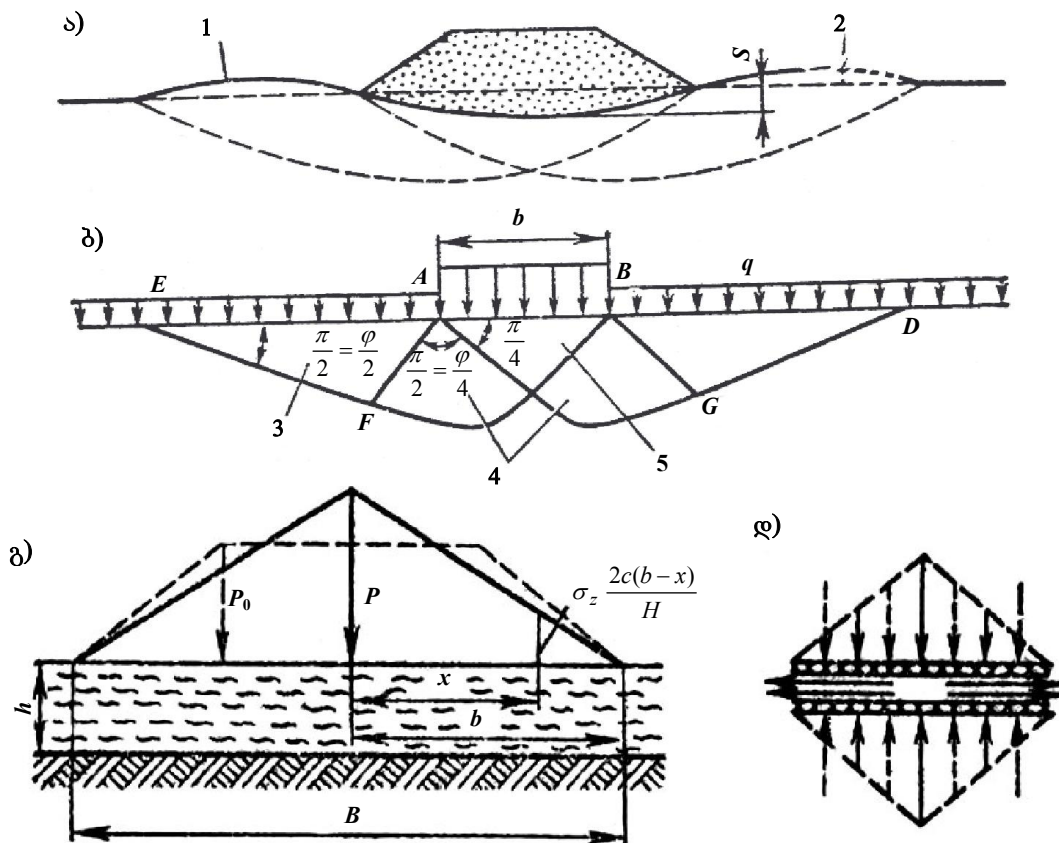
ზღვრული წონასწორობის პირობებით გაანგარიშების მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც დეფორმირებადი გრუნტის შრის სისქე ყრილის ქვეშ შეადგენს ყრილის ფუძის სიგანის არანაკლებ 1,5. დეფორმირებული შრის ნაკლები სისქის შემთხვევაში გრუნტზე დაწოლის ზღვრული სიდიდის შესაფასებლად გამოყენებული უნდა იქნას სუსტი გრუნტების თხელი შრეების ამოწურვისადმი წინააღობის შეფასების მეთოდი, დამუშავებული ლ. იურგენსონის მიერ (ნახ. 1.13).

ეს მეთოდი ემყარება მასალის შრის პლასტიკური დინების ანალიზს, რომელიც იკუმშება ორ პარალელურ ხისტ ზედაპირს შორის.

ზღვრული დატვირთვა გრუნტზე, რომელიც იწვევს მის ამოწურვას ყრილის ქვემოდან ჰორიზონტალური ფუძით ლ. იურგენსონის თანახმად ტოლია

$$P = \frac{c \cdot b}{H}, \quad (1.8)$$

სადაც C – გრუნტის შეჭიდულობა; b - ყრილის სიგანე ძირში; H – სუსტი გრუნტის შრის სისქე.



ნახ. 1.13. სუსტ საფუძველზე ყრილების მდგრადობის განმსაზღვრელი სქემა:

ა – ყრილის ჩაჯდომის სქემა საფუძველზე გრუნტის გამობურცვით;
 ბ – ამობურცვის პრიზმების წარმოშობის თეორიული სქემა ლ. პრანდტლის მიხედვით; გ – ორ ხისტ ფილას შორის შეკუმშული გრუნტის პლასტიური დენადობა; დ – ყრილის მდგრადობის საანგარიშო სქემა სუსტი გრუნტის თხელ ფენაზე;

1 – ამონაბურცი; 2 – პირვანდელი ზედაპირი; 3 – ამობურცვის პრიზმა;
 4 – პლასტიური ძერის ზონა; 5 – ჩამტკეპნი სოლი.

ყრილების მდგრადობის ამაღლებისათვის ფუძეში სუსტი გრუნტების ამოწურვის წინააღმდეგ შეიძლება გამოყენებული იქნას რიგი კონსტრუქციული ღონისძიებები: შემცირდეს ყრილის საკუთარი წონა მსუბუქი მასალებით (საქვების წიდა ან ტორფი) მისი აგებით, უჯრედოვანი ყრილის მოწყობით მკლე ბეტონისგან მსუბუქ ღორღზე, რომელშიც მოწყობილია ჰაეროვანი შუაშრეები, ყრილის განივად პლასტიკის მიღების ჩაწყობით ან ყრილის სიმაღლის შემცირებით ჰიდროიზოლაციური შუაშრეების მოწყობით.

ფერდობის დახრილობის შემცირებით 1:5 1:10-მდე, რაც დააქვეითებს ფუძის გრუნტში მხები ძაბვების სიდიდეს.

ყრილის გვერდით მისი ფერდობის გასწვრივ ბერმების მოწყობით, რომელთა წონა ეწინააღმდეგება ქვევებული გრუნტის გვერდითი პრიზმების ამოწურვას.

ბერმების ზომები შეიძლება გაანგარიშებული იქნას (1.7) განტოლებით q დატვირთვის მიხედვით, რომელიც უზრუნველყოფს მდგრადობას:

ამ ღონისძიებათა გარდა შეიძლება გზა გატარდეს ესტოკადაზე, ყრილის წონის გადაცემით ქვევებულ გრუნტზე ხიმინჯოვანი ფუძის საშუალებით.

მოეწყოს ყრილი ხისტ ფენილზე, რომელიც თანაბრად ანაწილებს წნევას მეტ ფართზე და ეწინააღმდეგება მის არათანაბარ ჩაფვლას გრუნტში მაქსიმუმით შუაში. ითვლება, რომ ამ შემთხვევაში ფუძის სიმტკიცე იზრდება 10-20%.

შესაძლებელია აგრეთვე სუსტი გრუნტის სისქის შემცირება მისი ზედა ნაწილის მოცილებით ყრილის დაყრამდე და ფუძის წინასწარი დაშრობა წყლის კარგი არინების შემთხვევაში. ეს ამადლებს გრუნტის შეჭიდულობას და შიდა ხახუნს, ხოლო ფუძის შემკვრივება საკუთარი წონის მოქმედებისგან მიმდინარეობს უფრო სწრაფად.

რომელიმე ხერხის გამოყენების მიზანშეწონილობა დასაბუთებული უნდა იქნას ეკონომიკური შედეგებით მეტად გავრცელებულ და გამოცდილ გადაწყვეტასთან – სუსტი გრუნტის მოშორება და ყრილის აგება ქვევით არსებულ მჭიდრო გრუნტზე.

1.6. მიწის ვაკისის ფერდობების მდგრადობა

ყრილებში და ჭრილებში მიწის ვაკისის ყველაზე არამედვი ნაწილია ფერდობი. გრუნტი ფერდობის ზედაპირზე განიცდის ატმოსფერული ნალექების და ქარის უშუალო ზემოქმედებას. წონასწორობის პირობების დარღვევისას ფერდობები დეფორმაციას განიცდიან. მიწის სამუშაოების შესრულების მრავალწლიანი გამოცდილება (ქვაბულების და არხების გათხრა, ჰიდროტექნიკური დამბების და კაშხალების, ავტოსაგზაო და რკინიგზის ყრილების აგება) საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ფერდობების დახრილობანი, რომლებიც უზრუნველყოფენ ყრილებისა და ჭრილების მდგრადობას. 12 მ-ზე მეტი სიმაღლის ფერდობების მდგრადობა თიხნარ გრუნტებში აუცილებლად უნდა შემოწმდეს ანგარიშით.

მდგრადი ფერდის ზღვრული მოხაზულობა ბმულ გრუნტში, რომელსაც შიდა ხახუნის კუთხე φ და შეჭიდულობა C შეიძლება დადგენილი იქნას შემდეგი მოსაზრებებიდან.

წარმოვიდგინოთ გრუნტის მასივი, შემოფარგლული ზევიდან ჰორიზონტალურით, ხოლო გვერდიდან ვერტიკალური ზედაპირებით. შესაძლებელი ჩამონგრევის პრიზმა პირობითად დავყოთ ვერტიკალური კვეთებით ტოლი სიგანის რიგ შემადგენელ პრიზმებად და განვიხილოთ ერთი მათგანის წონასწორობის პირობები (ნახ. 1.14).

ამასთან დაეუშვათ, რომ ყოველი ცალკეული პრიზმა ინარჩუნებს წონასწორობას მომიჯნავესგან დამოუკიდებლად, ანუ გვერდითი წნევის და ხახუნის ძალები ვერტიკალური კვეთების წახნაგებზე არ არის.

გამოყოფილი პრიზმა (იხ. ნახ. 1.14ა) ისწრაფვის გადაადგილდეს ჩამონგრევის ზედაპირზე წონის ძალის მხები შემადგენელის მოქმედებისგან:

$$T = Q \cdot \sin \alpha$$

ძვრისადმი წინააღმდეგობის ძალები შედგებიან შიდა ხახუნის და შეჭიდულობის ძალებისაგან, რომლებიც ტოლია

$$Q \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \frac{\ell}{\cos \alpha}$$

C – შეჭიდულობა; φ – შიდა ხახუნის კუთხე.

ზღვრული წონასწორობის პირობებში, რომლებიც შეესაბამება ჩამომწვევი და დამჭერი ძალების ტოლობას, გამოისახება შემდეგი დამოკიდებულებით.

$$Q \sin \alpha = Q \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \frac{\ell}{\cos \alpha}. \quad (1.9)$$

გავყოფთ რა ტოლობის ორივე ნაწილს $Q \cdot \cos \alpha$ -ზე და გავითვალისწინებთ რა, რომ $Q = \rho h \delta$, სადაც δ – გრუნტის სიმჭიდროვეა, მივიღებთ

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\delta \cdot h \cdot \cos^2 \alpha}. \quad (1.10)$$

მიღებული დამოკიდებულება გვიჩვენებს, რომ ფერდობების ზედა ნაწილი, ბმულ გრუნტებში შეიძლება მდგრადი იყოს მეტი დახრილობის შემთხვევაში, ხოლო ქვედა ნაწილში მაღალი ფერდობები უნდა იყოს დახრილი კუთხით, რომელიც უახლოვდება შიდა ხახუნის კუთხეს (იხ. ნახ. 1.14ბ).

ეს იდეა განვითარებული იქნა პროფ. ნ. მასლოვის მიერ სხვადასხვანაირ გრუნტებში მდგრადი ფერდობების დაპროექტების მეთოდად, სახელად „მეთოდი F_p “. იგი ეფუძნება წინაპირობას, რომ ჩამოწოლის მომენტში გრუნტში მოქმედებს წნევის ჰიდროსტატიკური განაწილება (გვერდითი წნევის კოეფიციენტი $\xi = 1$), ხოლო ფერდის მდგრადობის კუთხე ნებისმიერ გრუნტისათვის ტოლია ძვრის კუთხისა ψ , როდესაც წნევა გრუნტზეა P ანუ

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{P}.$$

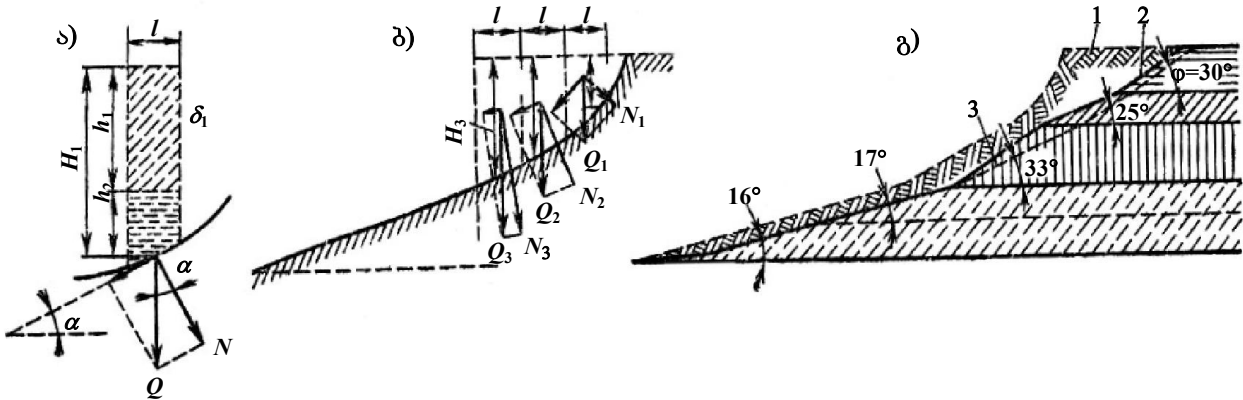
მდგრადი ფერდის პროფილის ასაგებად (იხ. ნახ. 1.14გ) სიმაღლეში გამოყოფენ რიგ შრეებს შესაბამისად შემადგენელი ფენებისა; ყოველი მათგანისათვის ადგენენ წნევას გრუნტის საკუთარი წონისგან:

$$P_h = \sum \delta \cdot h.$$

ძვრის საანგარიშო კუთხეების სიდიდეები იანგარიშება გამოსახულებით

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1}{K_{\text{ბარ}}} \cdot \left(\operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{P} \right), \quad (1.11)$$

სადაც $K_{\text{ბარ}}$ – მარაგის აუცილებელი კოეფიციენტი. როდესაც $K_{\text{ბარ}}=1$ მიიღება ფერდის მოხაზულობა ზღვრული წონასწორობის მდგომარეობაში.



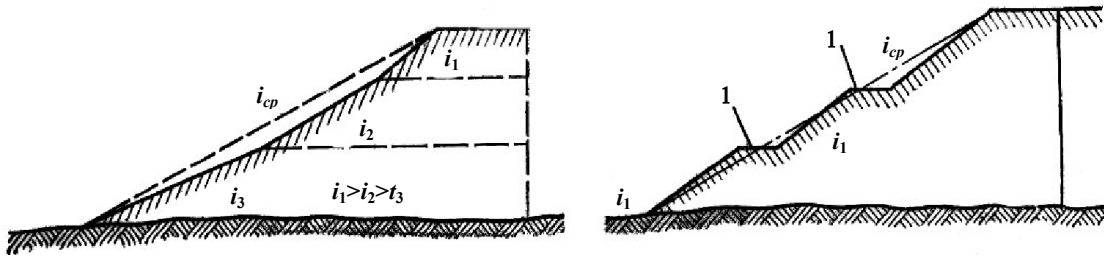
ნახ. 1.14. ფერდობის მდგრადი ზედაპირის განმსაზღვრელი სქემები:
 ა – გრუნტის ცალკე გამოყოფილი პრიზმის მდგრადობა; ბ – ჩამოცურების ზედაპირის დახრილობის ცვლილება მეზობელ პრიზმებში; გ – მრავალფენიან გრუნტებში მდგრადი ფერდობის მოხაზულობის აგება პროფ. ნ.ნ. მასლოვის მეთოდით:
 1 – ბუნებრივი ფერდობი ერთგვაროვან გრუნტში; 2 – საანგარიშო ფერდობი მარაგის კოეფიციენტით; 3 – შერბილებული საანგარიშო ფერდობი.

ფერდის მოხაზულობა დაინიშნება მოძებნილი ψ -ს სიდიდეების შესაბამისად. ფერდის ფორმის მოსახლოებლად მდგრადი ფერდის მოხაზულობასთან იყენებენ ცვალებად დახრილობას სხვადასხვა სიმაღლის უბნებზე ან ინარჩუნებენ რა მუდმივ დახრილობას, აკეთებენ ბერმებს (ნახ. 1.15).

ბერმები ამცირებენ ნაწვიმარი და მდნარი წყლების ფერდზე ჩამოდინების სიჩქარეს და იცავენ მას გამორეცხვისაგან.

დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ ყრილის ფერდოები ჩამოინგრევიან ზედაპირებით, რომელთა მოხაზულობა შეიძლება მიღებული იქნას როგორც წრიულ-ცილინდრული. ფერდოების მდგრადობის შესამოწმებლად ისახავენ დაცურების ზედაპირების რიგ მდგომარეობას და ადგენენ ყრილის ფერდოების მცოცავი ნაწილების მდგრადობის კოეფიციენტებს. დაცურების ზედაპირს გაატარებენ ფერდის ძირში, ქვენაფენ გრუნტში ჩაღრმავების გარეშე, თუ ყრილი აგებულია მჭიდრო ფუძეზე. თუ ფუძე ყრილის ქვეშ რბილია, წყალნაჯერი და მცირედბმული ($\varphi < 8$), შემოწმებული უნდა იქნას აგრეთვე მრუდეები, რომლებიც წაიტაცებენ ფუძეს და ძირის იქეთ გასულ

ყრილებს. წრიულ-ცილინდრული ზედაპირების მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნეს აგრეთვე ფენოვან ადგილებში, თუ მათი ცალკეული შრეები შედარებით მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და განლაგებული არიან ჰორიზონტალურად ან გარკვეული დახრით. მდგრადობის კოეფიციენტი გამოსახულებაში თითოეული მონაკვეთის ფარგლებში შეჰყავთ „ φ “ და „ C “ მნიშვნელობები, რომლებიც შეესაბამებიან გრუნტის თვისებებს, გადაკვეთილს დაცურების ზედაპირით, ან ჩამომჭრელი ძალის მოქმედების მიმართულებით.



ნახ. 1.15. მაღალი ყრილების განივი პროფილები:
 ა – ფერდობის ცვალებადი დახრილობით; ბ – ბერმებით;
 1 – ბერმა.

გრუნტების თვისებებში განსხვავება თუ მცირეა და შრეების მცირე სისქეც მცირეა საანგარიშო ფორმულებში შეყავთ ჩაჭიდულობის და შიდა ხახუნის კუთხეების სიდიდეების საშუალოდ შეწონილი მნიშვნელობები:

$$C = \frac{c_1 h_1 + c_2 h_2 + \dots + c_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n},$$

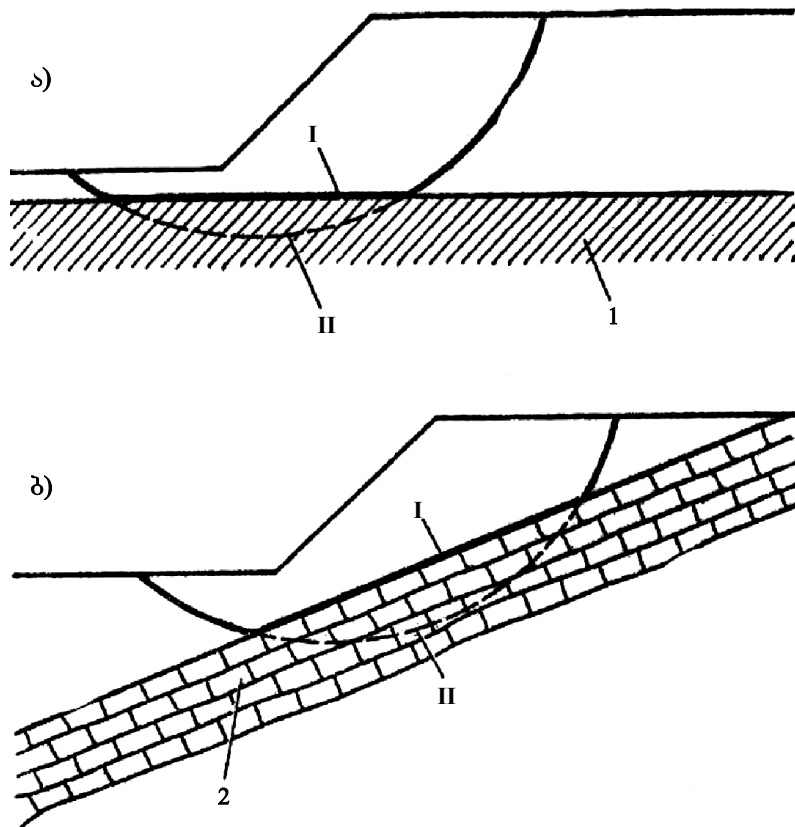
$$f = tg\varphi = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}. \quad (1.12)$$

გადაკვეთილ შრეებთან თუ რომელიმეს გააჩნია ძვრისადმი დაქვეითებული წინააღმდეგობა ან მისი წინააღმდეგობა ძვრისადმი სხვადასხვა მიმართულებით განსხვავებულია, განხილული უნდა იქნას ჩამოშლის მრუდის შემცირების ვარიანტი სუსტი შრის ფარგლებში (ნახ. 1.16).

ფერდობების მდგრადობის შემოწმებისას მიმდევრობითი ცდების ხერხით ადგენენ დაცურების ზედაპირს, მდგრადობის უმცირესი კოეფიციენტით.

ყოველი ზედაპირისათვის მასივის მდგრადობის შესაფასებლად მცოცავ მასივში გამოყოფენ ზოლს სისქით 1 მ და დაყოფენ მას ვერტიკალური კვეთებით რიგ პრიზმებად სიგანით 3-5 მ. (ნახ. 1.17). პრიზმების ერთნაირი სისქე აუცილებელი არ არის. გრუნტის არაერთგვაროვანი შრეების არსებობის შემთხვევაში პრიზმების

ვერტიკალური საზღვრები უნდა გადიოდეს დაცურების მრუდეების შრეების საზღვრებთან გადაკვეთის წერტილებში.



ნახ. 1.16. ჩამონგრევის მრუდის მოხაზულობაში შესწორებათა შეტანა გრუნტის ფენების არაერთგვაროვნების მხედველობაში მისაღებად:
 I – ჩამოცურების ფაქტორ ზედაპირი; II – ზედაპირის განუვითარებელი ნაწილი;
 1 – სუსტი გრუნტი; 2 – კლდოვანი გრუნტი.

ყოველი პრიზმის ჩამომწვევ და დამჭერ ძალთა მომენტებს დაცურების ზედაპირის ღერძის მიმართ ადგენენ გამოსახულებით

$$M_{დამ} = (Q_i \cdot \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha + c \cdot \ell_i) R,$$

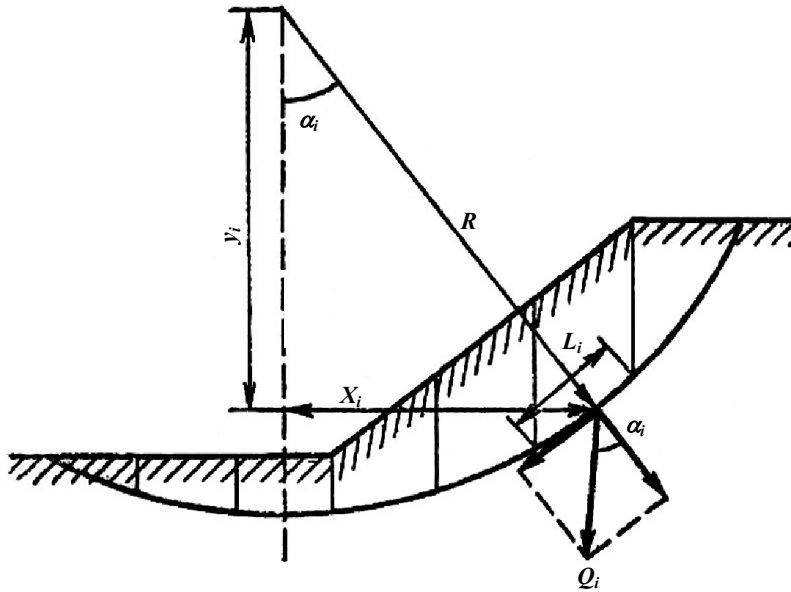
$$M_{ჩამ} = Q_i \cdot \sin \alpha \cdot R.$$

მდგარდობის კოეფიციენტი მთელი ფერდისათვის შეიძლება მოძებნილი იქნას დამჭერი და ჩამომწვევი ძალების მომენტების ჯამების ფარდობიდან:

$$K_{დამ} = \frac{\sum M_{დამ}}{\sum M_{ჩამ}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q \cdot \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha + c \cdot \ell) R}{\sum_{i=1}^{i=n} Q \cdot R \cdot \sin \alpha}.$$

დაჯამებისას მხედველობაში მიიღება მომენტების ნიშნები, მაგრამ თანახმად ნახ. 1.17. ყოველი გამოყოფილი პრიზმისათვის:

$$R \cdot \cos \alpha = Y, \quad R \cdot \sin \alpha = X$$



ნახ. 1.17. ჩამოცოცხებული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის საანგარიშო სქემა.

აქედან

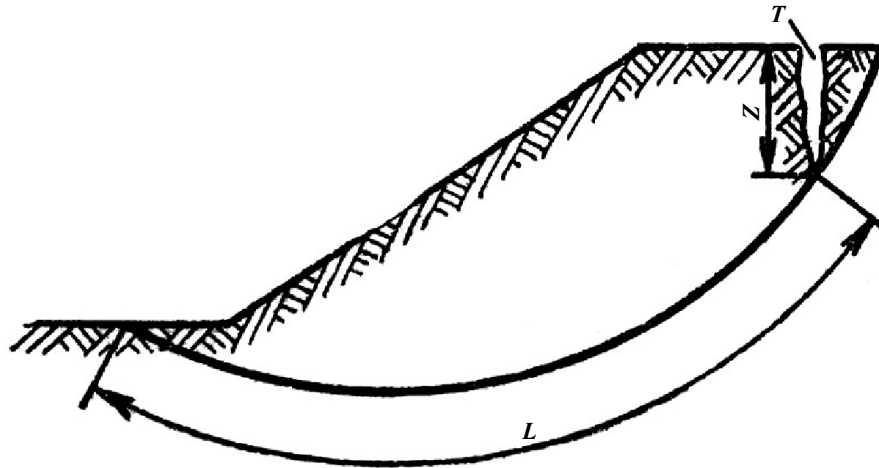
$$K_{\text{დამ}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q \cdot \varphi \cdot \text{tg} \varphi + R \cdot c \cdot L}{\sum_{i=1}^{i=n} Q \cdot X} \quad (1.13)$$

(1.13) ფორმულაში $L = \sum \ell$ დაცურების ზედაპირის სიგრძეა, რომლის დადგენისას ითვალისწინებენ, რომ ფერდობის ჩამოშლა იწყება ფერდობის ზედა ნაწილში ბზარის გაჩენით. ეს ბზარი გათვალისწინებული უნდა იქნას მონაკვეთების გამოყოფისას და დაცურების ზედაპირის სიგრძის დადგენისას (ნახ. 1.18), მისი სიღრმე მიიღება ტერცაგის ფორმულით:

$$Z = \frac{2ctg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)}{\delta} \quad (1.14)$$

მონაკვეთების წონა, დაცურების ზედაპირის ცენტრში გატარებული შვეულისაგან მარცხნივ ამაღლებს მდგრადობის კოეფიციენტების მნიშვნელობას. ამას ემყარება დამტვირთავი კონტროლსების მოწყობის დადებითი ეფექტი ფერდობის ძირთან, რომლებიც ცდილობენ ჩამოცოცხებას.

ფერდობის მდგრადობის შემოწმების საიმედოობის დონე დამოკიდებულია მასზე, თუ რამდენად ზუსტად შეესაბამება ჩამონგრევის ზედაპირი, რომლისთვისაც იყო დადგენილი მდგრადობის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობა, ფაქტიურად ყველაზე სახიფათო ზედაპირს.



ნახ. 1.18. ჩამოცურებული ფერდობის ზედა ნაწილში ბზარის გაჩენის სქემა:
 T – ბზარი; L – ჩამოცურების მრუდის საანგარიშო სქემა

დაცურების ყველაზე სახიფათო მრუდეების ცენტრის დასადგენად არსებობენ რიგი ემპირიული მეთოდები.

ყველაზე მეტად პრაქტიკაში გავრცელებულია ტერცაგი-ფელენიუსის მეთოდი. მასში მიღებულია, რომ დაცურების მრუდეების ცენტრები, რომლებიც შეესაბამება მდგრადობის კოეფიციენტის უმცირეს მნიშვნელობას განლაგებული არიან წირი AB-ს, სიახლოვეს. ამ ხაზს პოულობენ აგების საშუალებით, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 1.19.

α და β კუთხეების მნიშვნელობები, რომლებიც საჭიროა წირი AB-ს ასაგებად, ფერდის დახრის კუთხის α_1 შესაბამისად, მოყვანილია ცხრილში 1.2.

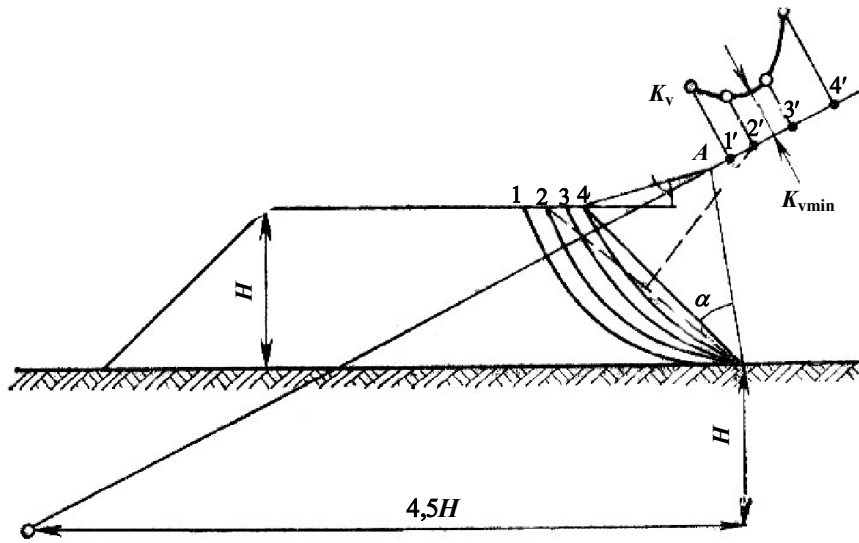
ცხრილი 1.2

ფერდის დახრილობის კოეფიციენტი	ფერდის დახრის კუთხე α_1	კუთხეები გრადუსებში		ფერდის დახრილობის კოეფიციენტი	ფერდის დახრის კუთხე α_1	კუთხეები გრადუსებში	
		α	β			α	β
1:0,58	60°	25	40	1:3	18°26'	25	35
1:1	45°	28	37	1:4	14°03'	25	36
1:1,5	33°40'	26	35	1:5	11°19'	25	37
1:2	26°34'	25	35				

ტეხილი ფერდების ან ფერდების შუაში განლაგებული ბერმების შემთხვევაში ეყრდნობიან გასწორებული (გასაშუალოებული) ფერდის დახრის კუთხეს.

მრუდის ყველაზე სახიფათო მდგომარეობის საპოვნელად (იხ. ნახ. 1.19), პირველ რიგში ასახავენ დაცურების მრუდის რამდენიმე შესაძლებელ მდგომარეობას.

მაგალითად, შეიძლება დაინიშნოს მრუდების ჯგუფი, რომლებიც გაივლიან ფერდის ძირში და ამოვლენ ყრილის ზედაპირზე მისი სიგანის 0,25; 0,5 და 0,75 ნაწილზე ყრილის წარბიდან.



ნახ. 1.19. ჩამოცურების ზედაპირების იმ ცენტრების გრაფიკული პოვნა, რომლებსაც მდგრადობის უმცირესი კოეფიციენტი 1, 2, 3, 4, და 1', 2', 3', 4' - ჩამოცურების მრუდები და მათი ცენტრები; K_v - მდგრადობის კოეფიციენტი

თითოეული მრუდის ცენტრი განლაგებულია მართობზე, რომელიც აღმართულია დასახული დაცურების მრუდის ბოლოების შემაერთებელი ქორდის შუა ნაწილიდან და ფელენიუსის წრფის გადაკვეთაზე. ყოველი მრუდისათვის განსაზღვრავენ მდგრადობის კოეფიციენტს. დაცურების ყველაზე სახიფათო მრუდის ცენტრის დასადგენად, იყენებენ წრფე AB-ს როგორც აბსცისის ღერძს და აგებენ მდგრადობის კოეფიციენტების დამხმარე გრაფიკს მათი მნიშვნელობების გადაზომვით დაცურების მრუდების ცენტრებიდან. შევაერთებთ რა მიღებულ წერტილებს მდორე მრუდით ვპოულობთ მდგრადობის კოეფიციენტის მინიმალურ მნიშვნელობას.

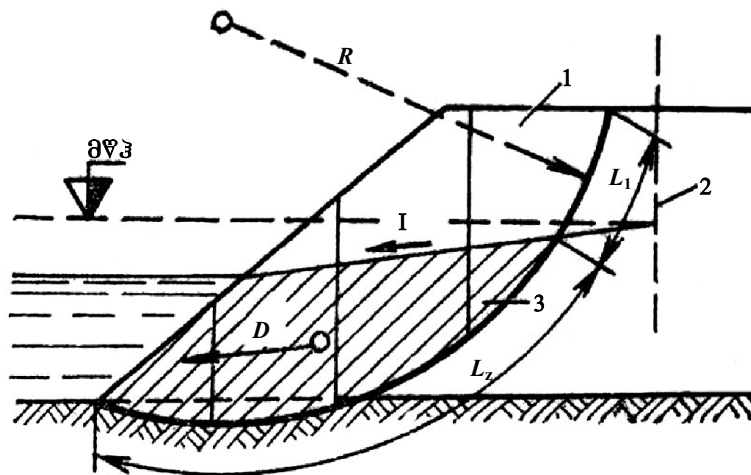
წრიულ-ცილინდრული ზედაპირების მეთოდი არ იძლევა საშუალებას მალე დავაპროექტოთ ფერდობი წინასწარ მოცემული მდგრადობის კოეფიციენტით. მდგრადობის სასურველ კოეფიციენტს შეიძლება მიუახლოვდეთ მიმდევრობით ცდების გზით მხოლოდ ყრილის ან ჭრილის განივი პროფილის თანდათანობითი შეცვლით. ყრილების და ჭრილების ფერდობების და მეწყერულით მთის კალთების მდგრადობა წლის განმავლობაში იცვლება. მდგრადობის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობა შეესაბამება შემოდგომას და გაზაფხულს, როდესაც გრუნტის გადამეტენიანება იწვევს ფერდობის ჩამონგრევას და მეწყერების წარმოქმნას.

წვიმიანი პერიოდების, თოვლდნობის და წყალდიდობის დროს მიწის ვაკისში

შელწეული წყალი აქვეითებს მდგრადობის კოეფიციენტს. ამის მიზეზებია: წვიმის ნალექებით დატენიანებული გრუნტის ზედაპირული შრეების წონის მატება. წყალნაჯერი გრუნტის შეჭიდულობის კოეფიციენტის შემცირება, წყალდიდობისას წყლებით გაქვნილი ყრილის ქვედა ნაწილში ვლინდება წყლის შემტივტივებელი მოქმედება; ნოღურ ყრილებში წყლის გაჟონვის შედეგად გაჯერებულ გრუნტში წარმოიქმნება ჰიდროდინამიკური წნევა D , რომელიც მოქმედებს მაღალი წყლის დაწევისას ფერდის მიმართულებით.

ნოღის ყრილების ფერდების შემოწმებისას ანგარიშს აწარმოებენ წყლის კრიტიკულ პორიზონტზე, რომელიც შეესაბამება მდგრადობის მინიმალურ კოეფიციენტს, რომელსაც ადგენენ ქვემოთ მოყვანილი მეთოდით (იხ. ნახ. 1.20).

ანგარიშების გასამარტივებლად გამოყოფილი მონაკვეთები მიიღება როგორც გამკვრივებული და ითვლება, რომ ჰიდროდინამიური წნევის ძალები მოქმედებენ დაცურების ზედაპირზე. განვიხილავთ აგრეთვე არა ცალკეულ ბლოკებს, არამედ ერთდროულად წყლით ნაჯერი გრუნტის მთელ მასივს. მიღებული დაშვებები მიმართულია საიმედობის მარაგში. ამ შემთხვევაში ნოღის ყრილების მდგრადობის კოეფიციენტის დასადგენი ფორმულა შემდეგი სახისაა:



ნახ. 1.20. ნოღური ყრილების ფერდობების საანგარიშო სქემა:
1 – მშრალი გრუნტი; 2 – ყრილის ღერძი; 3 – წყალნაჯერი გრუნტი

$$K_{\text{აღ}} = \frac{tg\varphi \sum N + C_1 L_1 + C_2 L_2}{D + \sum T}$$

სადაც C_1 და L_1 – მშრალი გრუნტის შეჭიდულობა და დაცურების მრუდის მშრალი ნაწილის სიგრძე;

C_2 და L_2 – წყალნაჯერი გრუნტის შეჭიდულობა და ჩამოშლის მრუდის ნაწილის სიგრძე, რომელიც განლაგებულია წყალნაჯერი გრუნტის ფარგლებში;

მშრალ და წყალნაჯერ გრუნტებს შორის საზღვარს იღებენ გრუნტის სრული ტენტიკადობის დონით; ნაყარის კაპილარულად დატენიანებული ნაწილი ითვლება მშრალად; φ – შიდა ხახუნის კუთხე მიიღება ერთნაირად მშრალისათვის და წყალნაჯერ გრუნტისათვის. ΣN – დამჭერი ძალების ჯამი; ΣT – ამძრავი ძალების ჯამი; $F = wj$ – გაუონილი წყლის ჰიდროდინამიური წნევა გამოყოფილი მონაკვეთის წყლით გაჯერებულ ნაწილზე, რომლის ფართი ტოლია w . ჰიდროდინამიური წნევის მოდეების წერტილი განლაგებულია მონაკვეთის დაშტრისული ნაწილის სიმძიმის ცენტრში; J - ჰიდრავლიკური გრადიენტი, მიიღება ტოლად ქორდის დახრის კუთხის ტანგენსისა, რომელიც მოჭიმავს დებრესიის მრუდს.

წყალნაჯერი გრუნტის სიმჭიდროვეს ადგენენ ფორმულით

$$\delta'_e = \frac{(\delta'_{\text{შ}} - 1)(100 - n)}{100} \quad \text{ან} \quad \delta'_e = (\gamma - 1)(1 - n), \quad (1.16)$$

სადაც $\delta'_{\text{შ}}$ – მშრალი გრუნტის სიმჭიდროვე,

n – გრუნტის ფოროვანობა, %; γ – გრუნტის ჩონჩხის სიმკვრივე

ნოღური ყრიღების წყლით გაჯერება მოქმედებს მათ მდგრადობაზე გრუნტის სახეობის მიხედვით. მაღალი ფიღტრაციის კოეფიციენტის მქონე ქვიშის ყრიღებისათვის მხედველობაში უნდა მივიღოთ მხოლოდ ამომწვევი ფაქტორი, ვინაიდან ყრიღში წყლის დონე მიჰყვება ნოღაში წყლის დონეს.

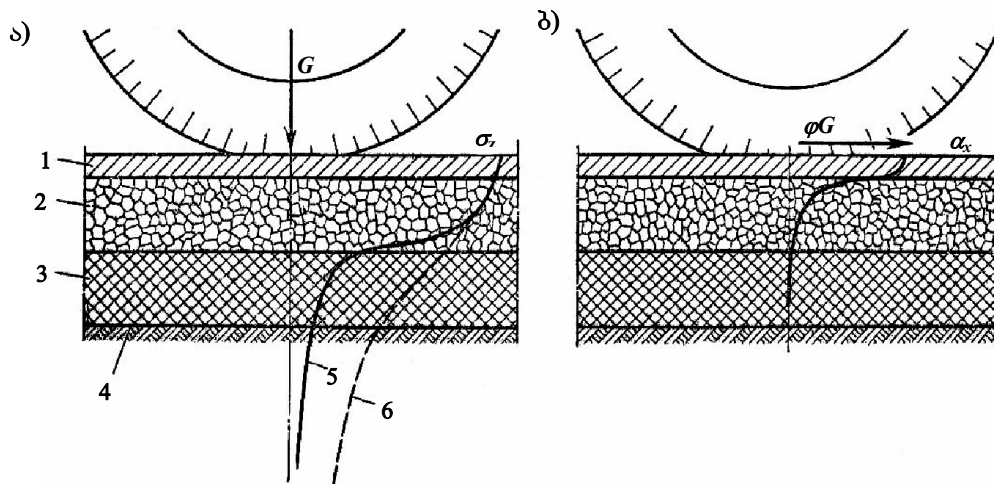
თიხვანი გრუნტისგან აგებულ ნოღურ ყრიღებს მცირე წყალშედწვეადობა აქვთ და წყალდიღობის პერიოდში ვერ ასწრებენ მთლიანად დატენიანებას. ამიტომ მათ ჩვეულებრივი, მშრალი ყრიღებივით ანგარიშობენ. თიხნარი და ქვიშნარი გრუნტებისაგან აგებული ყრიღების გაანგარიშებისას კი აუცილებელია ზემოსხენებული ფაქტორების გავლენის გათვალისწინება.

თაზი 2. საგზაო სამოსების კონსტრუქცია

2.1. საგზაო სამოსის კონსტრუქციული შრეები

ავტომობილების უსაფრთხო, ეკონომიური და მოხერხებული მოძრაობის უზრუნველყოფისათვის გზის სავალ ნაწილზე აგებენ საგზაო სამოსს, რომელიც წარმოადგენს მიწის ვაკისის ზედაპირზე დაგებულ მონოლითურ კონსტრუქციას ისეთი მასალებისაგან, რომლებსაც გააჩნიათ მაღალი წინაღობა კლიმატური ფაქტორებისა და სატრანსპორტო საშუალებათა ბორბლების ზემოქმედების მიმართ.

ავტომობილების სვლის დროს საგზაო სამოსზე წარმოქმნილი ძაბვები მცირდება სიღრმის მიხედვით (ნახ. 2.1). ეს საშუალებას გვაძლევს გზის სამოსი დავაპროექტოთ როგორც მრავალფენიანი კონსტრუქცია, მის ცალკეულ ფენებში სხვადასხვა სიმტკიცის მასალების გამოყენებით, მოქმედი ძალების და ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედების შესაბამისად.

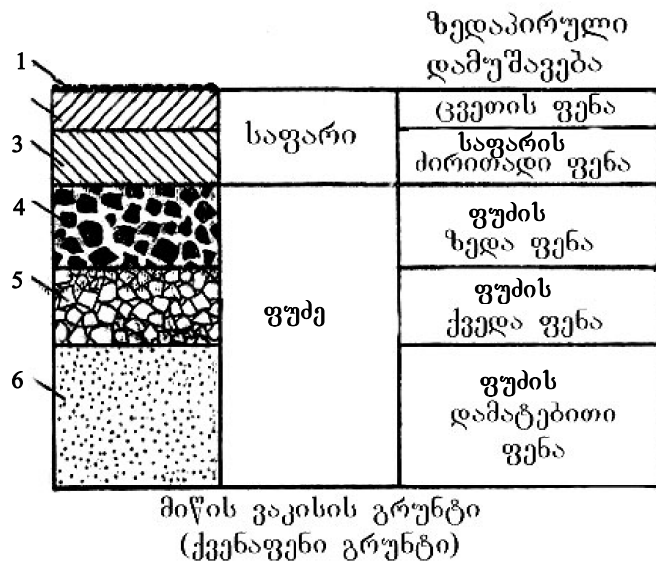


ნახ. 2.1. ავტომობილის თვლებისაგან წარმოქმნილი ძაბვების გრაფიკი მრავალფენოვან საგზაო სამოსში:

- ა – ვერტიკალური ძაბვების ეპიურა σ_z ; ბ – ჰორიზონტალური ძაბვების ეპიურა σ_x ;
1 – ფენილი; 2 – ფუძე; 3 – ფუძის დამატებითი ფენა; 4 – გრუნტის საფუძველი;
5 – ძაბვები საგზაო სამოსში; 6 – ძაბვები ერთგვაროვან გარემოში.

საგზაო სამოსში განასხვავებენ შემდეგ ფენებს (ნახ. 2.2): ფენილი – ზედა, ყველაზე უფრო მტკიცე, თხელი ფენა, რომელსაც კარგი წინაღობა გააჩნია ბორბლებისაგან გამცვეთი, დარტყმითი, მძვრელი დატვირთვებისა და ასევე ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედებისადმი. ფენილს, ჩვეულებრივ, აგებენ ძვირადღირებული მასალებისაგან და ამიტომაც მას აძლევენ მინიმალურ სისქეს. იგი უზრუნველყოფს გზის საჭირო საექსპლუატაციო თვისებებს (ზედაპირის სისწორე, შეჭიდების მაღალი კოეფიციენტი). ფენილის კონსტრუქციაში, მთავარი ფენის გარდა, რომელიც საჭირო თვისებებს უზრუნველყოფს, გათვალისწინებულია სათადარიგო

(სამარაგო) შრე (გაცვეთის შრე), რომელიც არ შედის საანგარიშო სისქეში და გზის ექსპლუატაციის პროცესში საჭიროებს პერიოდულ აღდგენას. ფენილის ზემოთ, თუ მას არ გააჩნია საკმარისი წყალშეუღწევადობა და გაცვეთისადმი წინაღობა, აწყობენ თხელ დამცავ შრეებს (ზედაპირული დამუშავების შრეები) ორგანული შემკვრელი მასალების მოსხმისა და წვრილი ღორღის მოყრის წესით. ზედაპირული დამუშავების შრე იცავს ფენილს თოვლის დნობისა და წვიმებით გამოწვეული ტენის შეღწევისაგან, ხელს უწყობს მისი სიმტკიცის ამაღლებასა და შენარჩუნებას მთელი წლის განმავლობაში. ზედაპირული დამუშავების შრეს ასევე იყენებენ ექსპლუატაციის პროცესში მოგლუვებული ფენილისთვის ხორკლიანობის მისაცემად.



ნახ. 2.2. საგზაო სამოსების კონსტრუქციული ფენები: 1 – ზედაპირული დამუშავების ფენა; 2 – საშუალომარცვლოვანი ასფალტბეტონი; 3 – მსხვილმარცვლოვანი ასფალტბეტონი; 4 – ღორღი, დამუშავებული შემკვრელი მასალით; 5 – ღორღი; 6 – ქვიშა.

ფუძე – სამოსზე გადაცემული ძაბვების ამტანი მტკიცე ნაწილი, რომელსაც აგებენ შემკვრელი მასალებით დამუშავებული ქვის მასალის ან გრუნტისაგან. ის განკუთვნილია ქვემოთ განლაგებულ დამატებით ფენებზე ან მიწის ვაკისის გრუნტზე (ქვენაფენი გრუნტი) წნევის გადაცემისა და განაწილებისათვის. ფუძე არ განიცდის ავტომობილების ბორბლებისაგან უშუალო ზემოქმედებას, ამიტომ მის მოსაწყობად ზედა ფენებისაგან განსხვავებით შეიძლება ნაკლები სიმტკიცის მასალების გამოყენება. ფუძე შეიძლება იყოს მოწყობილი ერთი ან რამდენიმე ფენისაგან. უკანასკნელ შემთხვევაში ფუძის ზედა ფენებს აწყობენ შედარებით უფრო მტკიცე მასალისაგან.

გაუმჯობესებული ფენილის მოწყობისას ფუძე იზოლირებულია ზედაპირული წყლების ზემოქმედებისაგან, მაგრამ იგი შეიძლება დასველდეს მიწის ვაკისიდან ტენის ქვემოდან ზემოთ გადანაცვლების შედეგად შემოდგომა-ზამთრის განმავლობაში.

ამიტომ ჩრდილოეთით განლაგებულ ქვეყნებში ფუძის მოწყობის დროს მასალებს უყენებენ განსაზღვრულ მოთხოვნებს ყინვაგამძლეობის მიმართ.

ფუძის დამატებითი შრეები – აწყობენ ტენიანობისადმი მდგრადი მასალებისაგან საჭიროების შემთხვევაში სამოსის ფუძესა და მიწის ვაკისის სისქის შემცირებისათვის. იმ უბნებზე, სადაც მიწის ვაკისი აგებულია მტვრისებრი, თიხნარი ან თიხოვანი გრუნტებისაგან, რომელთათვის საშიშია ზამთარში დატენიანება, შეჰყავთ დამატებითი შრე ფოროვანი თბოგაუმტარი მასალებისაგან – ქვიშის, ხრეშის ან ღორღისაგან. ასეთ შრეს ეწოდება სადრენაჟო, ამობურცვის საწინააღმდეგო ან ყინვადამცავი. იგი განკუთვნილია მიწის ვაკისის ზედა შრეებიდან ჭარბი წყლის ასაცილებლად, საგზაო სამოსის გასაშრობად და მიწის ვაკისის გრუნტის სიმტკიცის ასამაღლებლად.

მიწის ვაკისის ზედა ფენების გრუნტი – სამოსის საფუძვლის გრუნტი უნდა იყოს მაქსიმალურად შემკვრივებული და მოსწორებული. მათზე ეწყობა საგზაო სამოსის ფენები. საფუძვლის გრუნტს გადაეცემა ავტომობილებისაგან გამოწვეული დატვირთვების მთელი წნევა, ამიტომ ის წარმოადგენს საგზაო სამოსის კონსტრუქციის ყველაზე საპასუხისმგებლო მთავარ ელემენტს. საგზაო სამოსის სიმტკიცე შეიძლება უზრუნველყოფილ იქნას მხოლოდ ერთგვაროვან, კარგად შემკვრივებულ მიწის ვაკისზე, რომელიც დაცულია წყლისაგან.

მიწის ვაკისის გრუნტის წინააღობის გაზრდა გარე დატვირთვებისადმი, მისი გაშრობა და წყლის რეჟიმის სტაბილურობა წარმოადგენს ყველაზე საიმედო საშუალებას საგზაო სამოსის სიმტკიცის გადიდებისა და მისი ღირებულების შემცირებისათვის. ქვის მასალების ფენათა სისქის გაზრდა ვერანაირ შემთხვევაში ვერ ახდენს საგზაო სამოსის სიმტკიცისა და სისწორის კომპენსირებას, თუ ის დაგებულია გრუნტის სუსტ საფუძველზე.

2.2. საგზაო სამოსების ძირითადი ტიპები

წლის ნებისმიერ დროს ავტომობილების მოხერხებული მოძრაობის უზრუნველყოფისათვის მაღალი სისწრაფითა და სათბობის მცირე ხარჯით, საგზაო სამოსები უნდა იყოს საკმაოდ მტკიცე, სწორი, ხორკლიანი და ცვეთისადმი მედეგი. საგზაო სამოსების საექსპლუატაციო თვისებები – დასაშვები სიჩქარე და მოძრაობის კომფორტი ძირითადად განისაზღვრება ფენილების თვისებებით. ფენილები შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად ტიპებად:

ასფალტბეტონის ფენილი, – საგზაო ფენილების სხვა სახეობებთან შედარებით ყველაზე გავრცელებული და უმჯობესი ტიპია. შედგება ასფალტბეტონის ნარევის

ორი ან სამი ფენისაგან, რომლებიც დაგებულია მტკიცე ფუძეზე და ძლიერაა შემკვრივებული.

ასფალტბეტონი ხელოვნური საშენი მასალაა, წარმოადგენს დატკეპნილ ნარევს, რომელიც შედგება სხვადასხვა სიმსხოს მიხედვით შერჩეული ქვის ჩონჩხისაგან – ღორღის და ქვიშისაგან, რომლებიც შეკავშირებულია ერთმანეთთან მინერალური ფხვნილისა და ბიტუმის ნარევით, საერთო მასიდან 3,5-დან 12%-მდე რაოდენობით. განასხვავებენ მსხვილმარცვლოვან (ღორღის ფრაქცია 5-40, საშუალომარცვლოვან (5-20\25), წვრილმარცვლოვან (5-10\15) და ქვიშოვან (ნაწილაკები არა უმეტეს 5 მმ) ასფალტბეტონს.

ასფალტბეტონების თვისებები დამოკიდებულია გარემოს ტემპერატურაზე. ფენილის მუშაობის თავისებურებებისა და კლიმატური პირობებისაგან გაუთვალისწინებლად ასფალტბეტონის შემადგენლობის არასწორი შერჩევის შემთხვევაში ზამთარში შესაძლებელია ფენილის დასკდომა, ხოლო ცხელი ზაფხულის პერიოდში კი – ტალღებისა და ძვრის დეფორმაციების წარმოშობა.

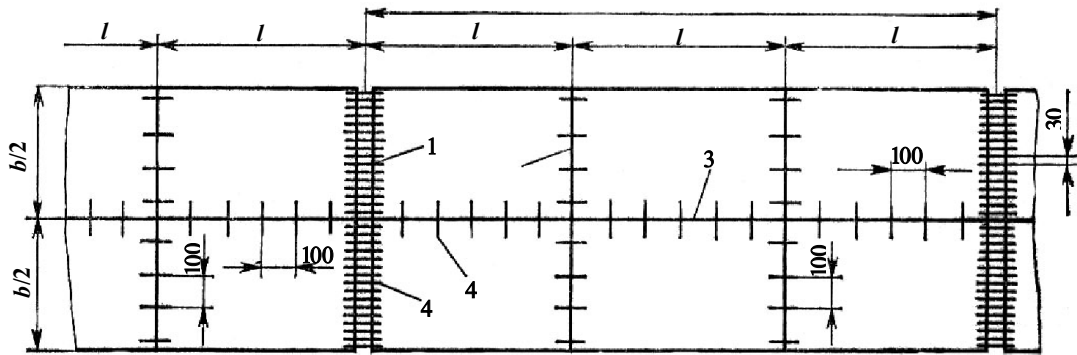
ასფალტბეტონის ფენილს გააჩნია მოძრაობისათვის მოხერხებული ზედაპირი, რომელიც ამცირებს ბორბლების დარტყმის ეფექტს. მის დასამზადებლად თუ გამოიყენებენ მაგარ, ძნელად მოსაგლუვებელი მთის ქანის ღორღს, ის ცვეთისას შეინარჩუნებს შეჭიდულობის მაღალ კოეფიციენტს.

ცემენტბეტონის ფენილები – ხასიათდებიან დიდი მონოლითურობით და დატვირთვებისადმი მაღალი წინააღობით. მათ აგებენ ცალკეული ფილების სახით ზომით 3-4-დან 6-7 მ-მდე გეგმაში. 18-დან 28 სმ-მდე სისქით. ფილები ერთმანეთისაგან განცალკევებულია სპეციალური ნაკერებით, რომლებიც მეტად საჭიროა ტემპერატურის მერყეობის გამო მათი სიგრძის შეცვლის კომპენსაციისათვის. განასხვავებენ გაფართოების ნაკერებს, რომლებიც მცირდება (ვიწროვდება) ფილების დაგრძელებისას და შეკუმშვის ნაკერები, რომლებიც ფართოვდება ფილების დამოკლებისას (ნახ. 2.3).

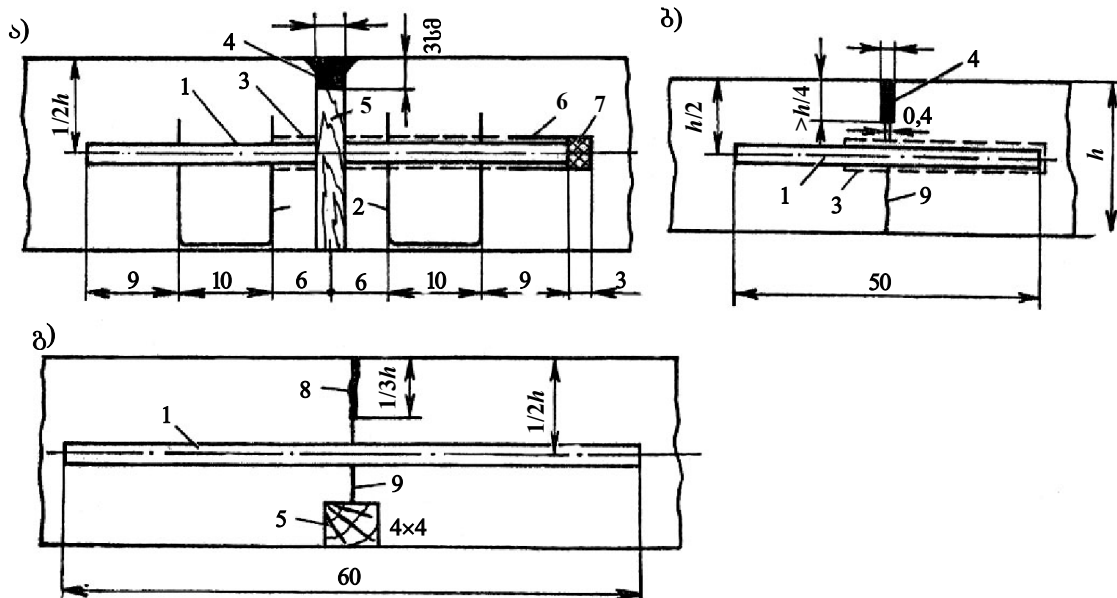
ფილების ერთობლივი (შეთავსებული) მუშაობის უზრუნველყოფისათვის და მათი ურთიერთმდებარეობის შენარჩუნებისათვის ნაკერებში შეჰყავთ ფოლადის ღეროები - მანჭვალები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ფილების სიგრძის შეცვლას, ერთი ფილიდან მეორეზე გადასცემენ ვერტიკალურ დატვირთვებს და ნაწილობრივ მღუნავ მომენტებს (ნახ. 2.4).

ასფალტბეტონისაგან განსხვავებით ცემენტბეტონის ფენილების თვისებები ტემპერატურის მერყეობისას არ იცვლება. ბეტონის ნარევის სწორი შერჩევისას და მშენებლობის ტექნოლოგიური წესების დაცვისას ცემენტბეტონის ფენილების ცვეთა

უმნიშვნელოა. სხვებთან შედარებით ცემენტბეტონის საგზაო ფენილები შედარებით უფრო ხანგრძლივია.



ნახ. 2.3. ბეტონის ფენილის ნაკერის განლაგების სქემა:
 1 – გაფართოების ნაკერი; 2 – შეკუმშვის ნაკერი;
 3 – გრძივი ნაკერი; 4 - მანჭვალები.



ნახ. 2.4. ბეტონის ფენილის ნაკერების კონსტრუქცია:
 ა – გაფართოების განივი ნაკერი; ბ – შეკუმშვის განივი ნაკერი;
 გ – გრძივი ნაკერი;
 1 – მანჭვალი; 2 – არმატურის სამონტაჟო (მანჭვალის მაფიქსირებელი) კარკასი; 3 – ბიტუმის ფენა; 4 – ნაკერის შესავსები საიზოლაციო მასალა;
 5 – ხის ძელები; 6 – მანჭვალის გარსაცმი; 7 – გარსაცმში დარჩენილი ღრეხოს შემავსებელი ნახერხი ან ძენძი; 8 – ხელოვნური ნაკერი;
 9 – ფილის შესაძლო გასკდომის ადგილი.

ბეტონის ფენილების ნაკლია ნარევის დაგებიდან საფარის ექსპლუატაციაში შეყვანამდე, ხანგრძლივი და გულმოდგინე მოვლის საჭიროება, სანამ ის შეიძენს საჭირო სიმტკიცეს. გამტკიცების დამაჩქარებლები კი საკმაოდ ძვირია. ეს ყოველივე ზღუდავს ცემენტბეტონის გამოყენებას გზების კაპიტალური რემონტის დროს, როდესაც შეუძლებელია გზაზე დიდი ხნით მოძრაობის შეწყვეტა.

ბეტონის ფენილების სუსტი ადგილია ნაკერები, საიდანაც ტენმა შეიძლება ფუძეში შეაღწიოს. ექსპლუატაციაში შესვლიდან რამდენიმე წლის შემდეგ ნაკერებზე გავლისას იგრძნობა ბორბლების ბიძგები.

მთავორიან ან დასერილ რელიეფში გაყვანილ გზებზე ხშირია მიწის ვაკისის ტიპების ცვალებადობა. გადასვლები ყრილიდან ჭრილში, ან ნახევარჭრილსა და ნახევარყრილში. ასეთ პირობებში ძალზეც ძნელია მიწის ვაკისის ზედა ფენის აბსოლუტურად ერთნაირი სიმტკიცის შენარჩუნება. მიწის ვაკისის საფუძველი ფენის ჩაწვევის შემთხვევაში ბეტონის ფილაში აღიძვრება გამჭიმავი ძაბვები, რომელთა საწინააღმდეგოდ საჭირო ხდება ფილის ამ ნაწილის მძლავრი არმირება. ეს კი ძალზედ აძვირებს მშენებლობის ღირებულებას და ართულებს სამუშაოთა წარმოების ტექნოლოგიას.

ამის გარდა, მძიმე ავტომობილების ინტენსიური მოძრაობის დროს ბეტონის ფენილების ექსპლუატაციის გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ თვით ბეტონის ფილების მაღალი სიმტკიცის მიუხედავად, მათ ქვეშ უნდა იყოს მტკიცე ფუძე. უშუალოდ გრუნტზე ან თხელ ქვიშის ფენაზე ბეტონის დაგებისას, ავტომობილების გავლის დროს ღრეკად ფილებზე დაწოლის შედეგად გრუნტზე გროვდება ნარჩენი დეფორმაციები. თავდაპირველად ფილების ქვეშ წარმოიქმნება ღრუები. ფილები კარგავენ კონტაქტს გრუნტთან, ხოლო შემდეგ კი ჩნდება ბზარები. ამიტომ მოძრაობის მაღალი ინტენსიურობის გზებზე ბეტონის ფენილებს აგებენ ბიტუმით ან ცემენტით გამაგრებულ ღონღის ან ხრეშის მტკიცე ფუძეზე. ცემენტით გამაგრებული ფუძის ზემოთ აგებენ ორგანული შემკვრელებით დამუშავებულ ქვიშის შუა ფენას ხახუნის შესამცირებლად.

აღნიშნული ნაკლოვანებების და ბეტონისათვის გაცილებით უფრო მაღალი ხარისხის ქვის მასალების გამოყენების საჭიროების გამო უკანასკნელ ათწლეულებში მოწინავე ქვეყნებში შემცირდა ცემენტბეტონის ფენილების მშენებლობა ასფალტბეტონის ფენილებთან შედარებით. მაგალითისათვის გერმანიაში ის 25%-ს არ აღემატება. ეს ფაქტორები განსაკუთრებით მხედველობაშია მისაღები ისეთი რთული რელიეფის ქვეყნებისთვის, როგორცაა საქართველო, სადაც ჭრილებისა და ყრილების ხშირ მონაცვლეობასთან ერთად მასიურად გვხვდება თიხნარი გრუნტები, რომელთაგან აგებულ მიწის ვაკისში ოპტიმალური ტენიანობის და აბსოლუტურად ერთნაირი სიმტკიცის უზრუნველყოფა ძალზედ პრობლემატურია.

მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში ასაწყობი რკინაბეტონის კონსტრუქციების ფართო გამოყენებასთან დაკავშირებით, არაერთხელ სცადეს ასაწყობი ბეტონის

ფენილების აგება. თეორიულად, ასაწყობი კონსტრუქციის ბეტონის ფენილებს გააჩნია მრავალი უპირატესობა. ბეტონის ფილები შეიძლება წინასწარ დამზადდეს ქარხანაში ტექნოლოგიური წესებისა და ბეტონის მოვლის რეჟიმის ზუსტი დაცვით. ამ გზით სამშენებლო სამუშაოები შემოისაზღვრება ადგილზე გამზადებულ ფუძეზე ფენილების მონტაჟით, რომელთა განხორციელება შეიძლება მთელი წლის განმავლობაში. ასაწყობი ბეტონის ფენილებზე მოძრაობის დაწყება შეიძლება უშუალოდ დაგების შემდეგ. ბეტონის ფილების ზოგიერთი კონსტრუქცია შეიძლება გამოვიყენოთ მრავალჯერ.

ასაწყობი ბეტონის ფილების თანამედროვე კონსტრუქციას ამავე დროს გააჩნია მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებანი, რომლებიც აფერხებენ მის ფართო გამოყენებას.

ასაწყობი ფილების დაგების ტემპები დაბალია. ფენილებზე პირაპირების სიმრავლე აუარესებს მოძრაობის მოხერხებულობას, ასაწყობი ფილების პირაპირი არ უზრუნველყოფს ფილიდან ფილაზე ძალვის გადაცემას. ძნელია ფენილის სისწორის უზრუნველყოფა, რაც მეტად საჭიროა მაღალი სისწრაფით მოძრაობისათვის. ასევე ძნელია პირაპირის წყალგაუმტარობის პირობის დაცვა და ფილების ვერტიკალური გადაადგილების თავიდან აცილება ექსპლუატაციის პროცესში. არ არის გადაწყვეტილი საკითხი მრუდხაზოვან უბნებზე ფენილების დაგებისა და ფილების სათანადო კონსტრუქციის შექმნის შესახებ, დიდია არმატურის ხარჯი მონტაჟისა და დატვირთვის დროს ფილების სიმტკიცის უზრუნველყოფისათვის. ასე რომ, პროგრესული იდეა ჯერ არ არის მშენებლობაში ფართოდ რეალიზებული. ეს მკვლევარების წინაშე აყენებს დიდ ამოცანებს.

ორგანული შემკვრელი მასალებით დამუშავებული ღორღისა და ხრეშის ფენილები კარგად ეწინააღმდეგება ავტომობილების მოძრაობისაგან გამოწვეულ ცვეთას და ძალოვან მოქმედებას შემკვრელით ქვის ნაწილაკების მტკიცე ნაერთის შექმნის გამო. ასეთი საფარები წყალშეუღწევადია (წყალმდეგია).

შემკვრელით ქვის მასალის დამუშავების სხვადასხვა ხერხის გამოყენება მშენებლობაში განსახდერავს მიღებული ფენილის სტრუქტურულ სახეს.

მასალების შერევა სპეციალური დანადგარებში (სტაციონარული და მოძრავ შემრეველებში) უზრუნველყოფს ღორღის კარგ შემოგარსვას შემკვრელი მასალით. ამ დროს შემკვრელი მასალის ხარჯი ნაკლებია, ვიდრე მაგალითად გაჟღენთის ან ადგილზე არევის ხერხის გამოყენებისას. ქვის მასალებისა და შემკვრელების უშუალოდ გზაზე შერევისას ფენილის ხარისხი შედარებით დაბალია.

გაჟღენტა – ითვალისწინებს ემულსიის, ცხელი ბლანტი ბიტუმის ან კუპრის შეყვანას ქვის მასალის დაუტკეპნავ ფენაში (ფენის გაჟღენტვას), რომლის შემდეგ ზედაპირზე აყრიან წვრილ ღორღს და ამკვრივებენ. ფენილის მდგრადობა გაჟღენტის მეთოდით უზრუნველყოფილია უმთავრესად დატკეპნისას ღორღის ჩასოლვით. ამ ტიპის საფარის ნაკლს წარმოადგენს ორგანული შემკვრელი მასალების შედარებით დიდი ხარჯი. შემკვრელი ხშირად ვერ აღწევს ღორღის მცირე ნაწილაკებამდე უშუალო კონტაქტის წერტილში, რაც მეტად მნიშვნელოვანია სიმტკიცისათვის.

ზედაპირული დამუშავება – ითვალისწინებს თხელი დამცავი ფენის შექმნას საგზაო სამოსის ზედაპირზე ბიტუმის მოსხმით, წვრილი ღორღის მოყრით და დატკეპნით. მოსხმული ბიტუმის რაოდენობის მიხედვით განასხვავებენ ერთმაგ და ორმაგ ზედაპირულ დამუშავებას. ზედაპირული დამუშავება ადიდებს საფარის წინააღობას ცვეთისადმი და ხდის მას წყალშეუღწევადს, რის შედეგად, წლის ტენიან პერიოდში საფარი მშრალია და ამის გამო მაქსიმალურია მისი დრეკადობის მოდული. ჩვეულებრივ საგზაო სამოსის სისქის და სიმტკიცის გაანგარიშებისას ზედაპირული დამუშავების ფენას არ ითვალისწინებენ. შემსუბუქებული ტიპის ფენილებზე ზედაპირული დამუშავების მოწყობისას, საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება და მათი სიმტკიცის ამაღლება შემოდგომისა და გაზაფხულის პერიოდში იმდენად საგრძნობია, რომ ამ შემთხვევაში ზედაპირული დამუშავების ფენა შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც საფარის დამოუკიდებელი ტიპი.

ღორღის ფენილები და ფუძეები – აგებენ განსაზღვრული ერთნაირი ზომის ღორღის ნატეხებისაგან. ღორღის ფენილის სტრუქტურა უზრუნველყოფილია დატკეპნის დროს ნატეხების ჩასოლვით. ფენილის მოწყობისას დატკეპნილი ღორღის ზედაპირის ფორმებში აწარმოებენ შედარებით უფრო წვრილი ღორღით ჩასოლვას. ღორღის ფენილისა და ფუძის მდგრადობა განპირობებულია ქვის ნატეხებს შორის შიგა ხახუნის ძალებით და ასევე, ქვის მტვრის შემკვრელი თვისებებით.

ღორღის ფენილები ნაკლებად ეწინააღმდეგება ცვეთას, ვინაიდან ავტომობილის თვლებისაგან გადმოცემული მხები ძალა, ასუსტებს მის სტრუქტურას. ამ მიზეზის გამო, ღორღის ფენილს იყენებენ მხოლოდ მოძრაობის მცირე ინტენსიობისას. უფრო ხშირად მას იყენებენ როგორც საფუძველის ერთ-ერთ ფენას ორგანული შემკვრელი მასალების გამოყენებით მოწყობილი ფენილის ქვეშ. ბუნებრივი ხრეშის ან სხვადასხვა ზომის მარცვლების ხელოვნურად შერჩეული ნარევის გამოყენების შემთხვევაში სიმტკიცის უზრუნველყოფა ხდება ოპტიმალური ნარევის პრინციპის მიხედვით ჩონჩხის შერჩევით. ამ შემთხვევაში მსხვილ ნაწილაკებს შორის არსებული ფორები შევსებულია შედარებით უფრო წვრილი

ნაწილაკებით და ნარევეს გააჩნია მინიმალური ფორიანობა. ნაწილაკების ჩატყდევას ხელს უწყობს მტკრისა და თიხის წვრილი ნაწილაკები. წლის ტენიან პერიოდებში ფენილის სიმტკიცე კლებულობს.

ხრემის ფუძეები – ადვილია ასაშენებლად და საკმაოდ მტკიცე და მდგრადია, თუ მათ შემადგენლობაში არ არის დიდი რაოდენობით წვრილმარცვლოვანი მინარევეები, რომლებიც დატენიანების პერიოდში ნარევეს აძლევს პლასტიკურობას. ხრემის ფენილის ტიპის მიხედვით საფარებს აგებენ ადგილობრივი ნაკლებადმტკიცე მასალებისაგან და მრეწველობის თანაპროდუქტებისაგან (სუსტი კირქვებისაგან, ბრძმედისა და საცეცხლურის წილისაგან, ქვანახშირის შახტის ტერიკონებიდან და სხვა).

ქვაფენილი – ცალკეულ, ერთმანეთთან მჭიდროდ განლაგებულ ბუნებრივ ან ხელოვნურ ქვებისაგან მოწყობილი ფენილები. გაუმჯობესებული ქვაფენილები მოწყობილია ქვის ძელაკების ან კლინკერისაგან და გამოირჩევა სწორი ზედაპირით. ქვაფენილები უხეში ნამტვრევი ან კაჭარი (რიყის) ქვისაგან, ზოგჯერ გამოიყენება IIაბ-IIცდ კატეგორიის გზებზე, როგორც დროებითი ტიპის საფარი ან როგორც ფუძე შედარებით უფრო გაუმჯობესებული ტიპის ფენილების ქვეშ, ხოლო უფრო დაბალი კატეგორიის გზებზე - როგორც ფენილის დამოუკიდებელი ტიპი.

რიყის ქვასთან ახლოა პაკელაჟი, რომელიც მოწყობილია ფართო ფუძით ქვემოთ დადებულ ქვებისაგან, რომელთა შორის შუალედები ღორღითაა შევსებული.

რიყის ქვისა და პაკელაჟის ფუძეების ძალიან დიდი ნაკლია მათი ხელით დაგების აუცილებლობა, რაც არ შეესაბამება თანამედროვე, მექანიზირებული, ჩქაროსნული მშენებლობის მოთხოვნებს. ამიტომ ქვაფენილების დაგება გზებზე პრაქტიკულად შეწყვეტილია, უფრო ხშირად მას იყენებენ ქალაქების ძველ უბნებში მათი ისტორიული იერის შესანარჩუნებლად.

საგზაო ფენილები და ფუძეები გამაგრებული გრუნტებისაგან და მრეწველობის ნარჩენ პროდუქტებისაგან მეტად პერსპექტიულია, ვინაიდან მრავალ ქვეყანაში ბევრ რაიონში ბუნებრივი ქვის მასალების ნაკლებობაა. ორგანული შემკვრელი მასალებით ან ცემენტით დამუშავებული გრუნტები იძენენ სიმტკიცეს და მდგრადობას ტენისადმი. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ისინი, როგორც საგზაო სამოსების კონსტრუქციული ფენების მასალა.

ცემენტგრუნტის ფუძეები დიდი ხანია ფართოდ გამოიყენება. მცირე ინტენსიობის გზებზე ისინი წარმატებით მუშაობენ. ზედაპირული დამუშავების მტკიცე ფენით მათი დაცვისას შეიძლება მათი მზიდ ფენად გამოყენება.

ადგილობრივ გზებზე იყენებენ ადგილობრივი გრუნტების სამოსელს, გაუმჯობესებულებს გრანულომეტრული დანამატებით. თიხის გრუნტებზე ქვიშის, ხრეშის და სხვა მარცვლოვანი მასალების დამატება ადიდებს მათ წინაღობას გარე დატვირთვებისადმი დატენიანების დროს. ჩონჩხის დანამატის შეყვანა ამაღლებს გრუნტის სიმტკიცეს, თიხნარის ან თიხის დამატებით აღწევენ ქვიშის მარცვლების შეკავშირებას.

ბუნებრივ გრუნტს გზებს არ გააჩნიათ მოწყობილი საგზაო სამოსები. სავალი ნაწილი მოძრაობისგანაა შემკვრივებული. ასეთმა გზებმა შეიძლება უზრუნველყონ მოძრაობის მინიმალურად დასაშვებლი პირობები მხოლოდ წლის მშრალ ამინდში და მცირე ინტენსივობით მოძრაობის დროს. გრუნტის გზებზე ზაფხულის პერიოდში ინტენსიური მოძრაობა ძნელდება მტვრის წარმოქმნის გამო. წვიმიან ამინდებში გრუნტის გზები გაუვალი ხდება. საბურავის შეჭიდება გზის ზედაპირთან მკვეთრად მცირდება და ავტომობილების თვლები იწყებენ აცურებას. მნიშვნელოვანი დატენიანების დროს გზებზე წარმოიქმნება ღრმა ნაკვალევი.

მოძრაობის კომფორტაბელობის მიხედვით საგზაო ფენილები იყოფა კაპიტალურ (გაუმჯობესებული და შემსუბუქებული), გარდამავალ და დაბალ ტიპებად. საგზაო ფენილის ამა თუ იმ კლასზე მიკუთვნებისას გადამწყვეტ ფაქტორს წარმოადგენს მათში დეფორმაციების დაგროვების სისწრაფე და ავტომობილების მოძრაობის შესაძლო სიჩქარე. საგზაო ფენილების კლასიფიკაცია და მათი გამოყენების სფერო მოყვანილია ცხრ. 2.1.

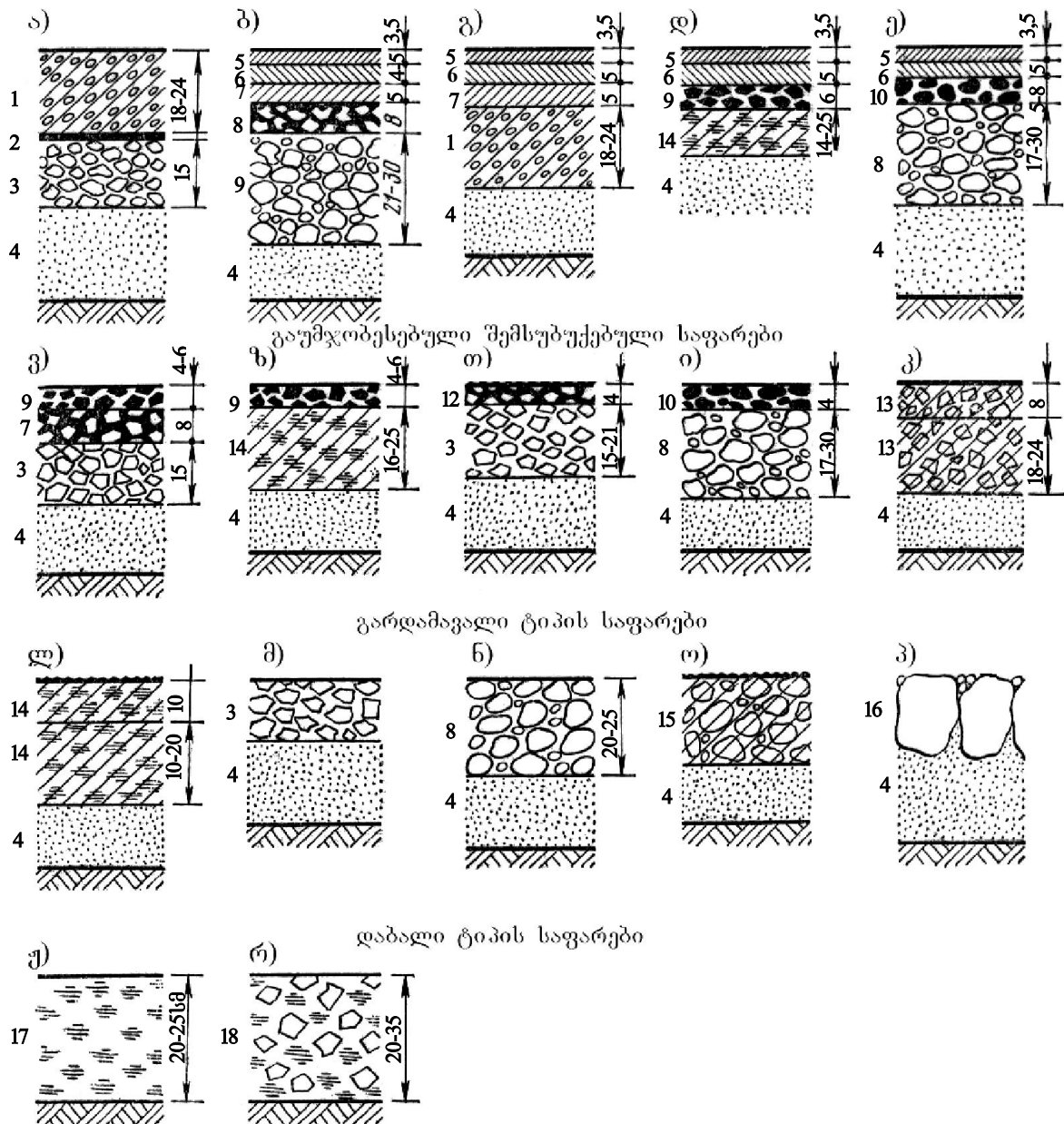
ცხრილი 2.1

ფენილის ტიპები	გამოყენების სფერო ან სატვირთო ავტომობილთა მოძრაობის ზღვრული ინტენსიურობა ა/დღ ორ შესხვედრ ზოლზე	ფენილის ძირითადი სახეობანი
1	2	3
გაუმჯობესებული კაპიტალური	ავტომატარებლების და მძიმე ავტომობილების ინტენსიური მოძრაობისას სატვირთო ავტომობილების მოძრაობისას ინტენსიურობით >3000 როცა ერთ ღერძზე დასაშვებია დატვირთვა 10 ტ.	მონოლითური ან ასაწყობი ცემენტბეტონი ცხელი ასფალტბეტონი
	დასახლებულ პუნქტებში, გზებზე ტრაქტორების გავლის ადგილებზე, მაღალ ყრილებზე და სხვა	ძელაკებისა და მოზაიკის ქვაფენილები ქვისა და ბეტონის ფუძეზე

1	2	3
გაუმჯობესებული შემსუბუქებული	≤ 4000	ცხელი და თბილი ასფალტ და კუბრბეტონის ფენილები მტკიცე ღორღის შერჩეული ნარევისაგან
	≤ 3000	ცივი ასფალტბეტონის ნარევები დანადგარებში ბითუმით ან კუბრით დამუშავებული ღორღის ან ხრეშის ფენილები, ღორღის ფენილები, აგებული გაუფენთისა და ნახევარგაუფენთის მეთოდით
	≤ 1500	დანადგარში ბითუმის ემულსიით და ცემენტით დამუშავებული მსხვილმარცვლოვანი ქვიშიანი და ქვიშნარიანი გრუნტის ფენილები
	≤ 500	საცვეთის ფენები დატანილი ზედაპირული დამუშავების მეთოდით, მტკიცე ღორღის გამოყენებით გარდამავალი ტიპის ფენილებზე
გარდამავალი	300-500	ფენილი ღორღის, ხრეშის წილისა და სხვა მტკიცე მინერალური მასალებისაგან
	500	გრუნტის ან ადგილობრივი ნაკლებადმტკიცე ქვის მასალების ფენილები დამუშავებული ორგანული და არაორგანული შემკვრელი მასალებით
	500	ქვაფენილები რიყის ქვისა და ნამტვრევი ქვებისაგან
დაბალი	100	ადგილობრივი მასალებით (ხრეშით, ღორღით და სხვა) გამაგრებული ან გაუმჯობესებული გრუნტის ფენილები

გაუმჯობესებული ფენილები საგზაო სამოსის საჭირო სიმტკიცისა და ადგილობრივი საგზაო-სამშენებლო მასალების გამოყენების მიხედვით შეიძლება დაიგოს ბეტონის, შემკვრელებით დამუშავებული ქვის მასალების, ღორღის, წილების, სამთამადნო მრეწველობის ნარჩენებისა და სხვა ფუძეებზე.

სხვადასხვა ტიპის საგზაო სამოსების ზოგიერთი გავრცელებული კონსტრუქციის მაგალითები ნაჩვენებია ნახ. 2.5.



ნახ. 2.5. საგზაო სამოსების კონსტრუქციების მაგალითები:

- ა - ცემენტბეტონის ფენილი; ბ - ასფალტბეტონის ფენილი ხრეშის ფუძეზე;
- გ - სამფენიანი ასფალტბეტონის ფენილი ბეტონის ფუძეზე (ქალაქებში);
- დ - ასფალტბეტონის ფენილი შავი ლორღის, ორგანული შემკვრელი მასალით დამუშავებული გრუნტის და ცემენტბეტონის ფუძეზე; ე - ასფალტბეტონის ფენილი შავი ლორღით გაუმჯობესებული ხრეშის ფუძეზე; ვ - შავი ლორღის ფენილი ლორღის ფუძეზე; ზ - შავი ლორღის ფენილი ცემენტგრუნტის ფუძეზე; თ - შავი ლორღის ფენილი ლორღის ფუძეზე; ი - შავი ხრეშის ფენილი ხრეშის ფუძეზე;
- კ - ცემენტით (60% მასის მიხედვით) გაუმჯობესებული; ლ - გრუნტით გაუმჯობესებული შემკვრელი მასალით; მ - ლორღის ფენილი; ნ - ხრეშის ფენილი; ო - ხრეშის ფენილი მცირე დოზებით შემკვრელით გაუმჯობესებული; პ - ქვაფენილი;
- რ - გრუნტის ოპტიმალური ნარევი; ს - ლორღით, ხრეშით, წილით გაუმჯობესებული გრუნტის ფენილი.

- 1 - ცემენტბეტონი; 2 - ორგანული შემკვრელი გაუმჯობესებული ქვიშის ფენა;
- 3 - ლორღის ფენა; 4 - დამატებითი (ყინვაგამძლე, სადრენაჟო) ფუძის ფენა; ქვიშის, ხრეშის, წილის და ყინვაგამძლე ადგილობრივ მასალისაგან; 5 - საშუალომარც-

ვლოვანი, წვრილმარცვლოვანი ან ქვიშიანი ასფალტბეტონი; 6 – მსხვილმარცვლოვანი ფოროვანი ასფალტბეტონი; 7 – ღორღი, დამუშავებული ორგანული შემკვრელი მასალით გაუღუნთვის მეთოდით; 8 – ხრეშოვანი ნარევი; 9 – შავი ღორღი დანადგარში დამზადებული; 10 – ხრეში შავი ღორღის დამატებით; 11 – ცემენტ-გრუნტი; 12 – შავი ღორღი გაუღუნავი ხერხით მოწყობილი და ზედაპირული დამუშავებით; 13 – ღორღი ცემენტის დანამატებით; 14 – არაორგანული შემკვრელით გაუმჯობესებული გრუნტი; 15 – არაკონდიციონირებული მასალისაგან მოწყობილი ხრეში ფენილი ცემენტის მცირე დოზებით გამაგრებული; 16 – რიყის ქვის ქვაფენილი; 17 – ქვიშა-თიხოვანი დანამატებით გაუმჯობესებული გრუნტი; 18 – ღორღით, ხრეშით, წილით გაუმჯობესებული გრუნტი.

გარდამავალი და დაბალი ტიპის ფენილებს აგებენ უშუალოდ გრუნტზე, გარდა ღორღის ფენილებისა, რომელთა ქვეშ საჭიროა ფუძე დაიგოს შემკვრელი მასალებით გამაგრებული გრუნტისაგან, წილებისაგან და სხვა ადგილობრივი მასალებისაგან. I, II და III საგზაო-კლიმატურ ზონებში ადგილის დატენიანების არახელსაყრელ პირობებში, ამობურცვის მიდრეკილების მქონე და შეკავშირებულ გრუნტებისგან აგებულ მიწის ვაკისზე აუცილებელია სადრენაჟო ქვიშის ფუძის აგება.

საგზაო სამოსების ცალკეული ტიპები შეესაბამება სათანადო კატეგორიის გზებს მოძრაობის საანგარიშო ინტენსიურობის მიხედვით (ცხრ. 2.2). ფრჩხილებში მითითებულია გზების კატეგორია, რომელზედაც შეიძლება დაიგოს მოცემული ტიპის საფარი, თუ მშენებლობა განხორციელდება რამდენიმე სტადიად მოძრაობის ინტენსიობის გაზრდის მიხედვით.

ცხრილი 2.2

საგზაო ფენილების ტიპები	გზების კატეგორია	საგზაო ფენილების ტიპები	გზების კატეგორია
გაუმჯობესებული კაპიტალური	Iab, IIab	გარდამავალი	IIcd
გაუმჯობესებული შემსუბუქებული	IIab	დაბალი	IIIab

2.3. საგზაო სამოსების კონსტრუირების საერთო პრინციპები

საგზაო სამოსი საავტომობილო გზის ყველაზე ძვირადღირებული ნაწილია. მის დაგებაზე საჭირო ხარჯები ზოგჯერ აღწევს მშენებლობის საერთო ღირებულების 60%. საგზაო სამოსებზე უშუალო ზემოქმედებას ახდენენ საავტომობილო დატვირთვები და ბუნებრივი ფაქტორები. მათ უხდებათ მუშაობა გაცილებით უფრო მძიმე პირობებში, ვიდრე გზის სხვა ნაწილებს. ამიტომ, საგზაო სამოსების კონსტრუირება საჭიროებს განსაკუთრებულ ყურადღებას. პირველ რიგში

საჭიროა სიმტკიცის უზრუნველყოფა, მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ აგრეთვე მშენებლობის საერთო ღირებულების და გამოსაყენებელი მასალების რაოდენობის შემცირება. გზის სიგრძის მიხედვით გრუნტები და ჰიდროგეოლოგიური პირობები იმდენად იცვლება, რომ ძნელია ამ ცვლილების გავლენის მთლიანად გათვალისწინება. საპროექტო ხაზის გავლებისას და მიწის ვაკისის დაპროექტებისას საჭიროა გრუნტების ტენიანობის, მოძრაობის ინტენსიურობისა და საშენი მასალებით უზრუნველყოფის მიხედვით შედარებით მსგავსი უბნების ცალ-ცალკე გამოყოფა, რომელთა მიხედვითაც ხდება შემდეგ საგზაო სამოსების ვარიანტების დამუშავება.

საგზაო სამოსების დაპროექტება შედგება ორი თანმიმდევრული ეტაპისაგან:

კონსტრუირება – ფენების ტიპის, სისქისა და მასალის შერჩევა;

გაანგარიშება – შემოწმება, რათა აღძრული ძაბვები არ აჭარბებდეს დასაშვებს.

ეს ორი ეტაპი ურთიერთკავშირშია და ერთმანეთს არ უნდა დაუპირისპირდეს. ორივე ერთი პროცესის შემადგენელი ნაწილია და მხოლოდ მათი ერთობლივი ჩატარება მოგვცემს მდგრად, ეკონომიურ და საექსპლუატაციოდ მოხერხებულ საგზაო სამოსის მიღების გარანტიას.

დატვირთვების ზემოქმედებისას წარმოქმნილი დეფორმაციებისა და დაძაბული მდგომარეობის მიხედვით საგზაო სამოსები პირობითად იყოფა ორ ჯგუფად - ხისტი და არახისტი.

არახისტი სამოსები – მათ გააჩნიათ მცირე წინაღობა ღუნვისადმი. მათ მიეკუთვნება პრაქტიკულად სამოსების ყველა ტიპი, გარდა ქვაფენილებისა, ცემენტბეტონის და ასევე ასფალტბეტონის ფენილებისა ცემენტბეტონის ფუძეზე. არახისტი სამოსების კონსტრუქციული ფენების უმრავლესობას არ შეუძლია გამჭიმვი ძაბვების მიღება, ხოლო ამ ფენების წინაღობა ღუნვისადმი და მათი დრეკადობის მოდულები დამოკიდებულია ტემპერატურაზე და ტენიანობაზე. ამ ფენების დანიშნულებაა გაანაწილოს თვლების წნევა საფუძვლის გრუნტის დიდ ფართობზე და შეამციროს მასზე გადაცემული კუთრი დატვირთვები. გარდა ჩამოთვლილისა, საგზაო სამოსების ფენები ეწინააღმდეგებიან საფუძვლის გრუნტში ზედაპირული წყლის შეღწევას.

ხისტი სამოსები – გააჩნიათ ერთი ან რამდენიმე ფენა შედარებით მეტი წინაღობით ღუნვისადმი. მათი დრეკადობის მოდულები პრაქტიკულად არ არიან დამოკიდებული ტემპერატურაზე და ტენიანობაზე. ხისტი სამოსები მუშაობენ დრეკად ფუძეზე დაყრდნობილ ფილების პრინციპის მიხედვით, გრუნტის ზედაპირზე გარეშე დატვირთვებისაგან მნიშვნელოვნად მეტი წნევის განაწილებით.

საგზაო სამოსის კონსტრუირება ითვალისწინებს ყველაზე უფრო შესაფერისი მასალების შერჩევას გამომდინარე ადგილობრივი მასალების გამოყენების და მუშაობის ორგანიზაციის პირობებიდან. აგრეთვე ცალკეული ფენების ზომების დანიშვნას და მათ განაწილებას სიღრმის მიხედვით. ჩვეულებრივად ამუშავებენ საგზაო სამოსის რამდენიმე ვარიანტს, რომლებიდანაც ირჩევენ საუკეთესოს.

საგზაო სამოსის კონსტრუირება დაპროექტების ყველაზე უფრო შემოქმედებითი ნაწილია. იგი ითვალისწინებს საგზაო სამოსების დაძაბულ მდგომარეობას და დეფორმაციების მექანიზმს, სამოსების სხვადასხვა ტიპების მუშაობის გამოცდილებას სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში მოძრავი დატვირთვებისა და ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედების თავისებურებას. ჯერ ნიშნავენ სამოსის იმ ფენების სისქეებს, რომელთა ზომები განისაზღვრება არა იმდენად სამოსის სიმტკიცით რამდენადაც სხვა ფაქტორებით (წყლის აცილების უზრუნველყოფის, ნაბურცების წარმოქმნის, ცვეთისადმი წინააღმდეგობის პირობებიდან და სხვა). ითვალისწინებენ აგრეთვე მასალების ღირებულებას, რათა სამოსის საერთო სიმტკიცე უზრუნველყოფილი იქნას შედარებით ნაკლები ხარჯებით.

რიგ შემთხვევაში საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში საჭიროა გათვალისწინებულ იქნას ფენების სტადიური (თანდათანობითი) გამაგრების შესაძლებლობა ზემოდან შედარებით უფრო მტკიცე მასალების დაგებით მოძრაობის ინტენსიურობის გაზრდის მიხედვით.

მიწის ვაკისის ზედა ფენა განიხილება როგორც სამოსის შემადგენელი კონსტრუქციული ელემენტი, რომლის სიმტკიცისა და ერთგვაროვნობისადმი წაყენებულია მაღალი მოთხოვნები. გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ მიწის ვაკისის არასაკმაო სიმტკიცე არ შეიძლება კომპენსირებულ იქნას საგზაო სამოსის სხვა ფენების გასქელებით.

საგზაო სამოსის გაანგარიშება ითვალისწინებს, როგორც მთლიანად, ისე მისი ცალკეული ფენების საჭირო სისქის განსაზღვრას და მდგრადობის შემოწმებას. სამოსის ყველა შესადარებელი ვარიანტების შედარებას აწარმოებენ მათი თანაბარი სიმტკიცის პირობებისათვის.

საგზაო სამოსების ვარიანტების შეთავაზებისას გათვალისწინებული უნდა იქნას მოძრაობის ინტენსიურობა, ადგილობრივი გრუნტის მახასიათებლები, ჰიდროგეოლოგიური და კლიმატური პირობები, რომლებიც გავლენას ახდენენ საგზაო სამოსის მუშაობაზე. ასე მაგალითად, ღორღისა და ხრეშის ფენილები, რომლებიც არ არიან დამუშავებული ორგანული შემკვრელი მასალებით უკეთესად მუშაობენ ტენიან ზომიერ კლიმატურ პირობებში და სწრაფად იშლებიან (ინგრევიან) მშრალი კლიმატის პირობებში.

ჩრდილოეთის ქვეყნების (კანადა, სკანდინავია, რუსეთი და ა.შ.) ტენიან კლიმატის პირობებში, სადაც ფართო არის გავრცელებული ნაბურცები, საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში საჭიროა მოეწიოს ნაბურცების წარმოქმნის საწინააღმდეგო სპეციალური ფენები, რომლებიც საჭირო არაა სამხრეთის ქვეყნების უმეტესი რაიონებისათვის. ნაბურცსაწინააღმდეგო ფენის სისქის განსაზღვრა საგზაო სამოსის გაანგარიშების აუცილებელი ელემენტია გაყინვის დიდი სიღრმის მქონე რაიონებში.

საერთოდ, კლიმატური პირობები დიდ გავლენას ახდენენ საგზაო სამოსის ტიპის შერჩევაზე. მშენებლობის სეზონის ხანგრძლივობის შეზღუდვა ამცირებს ორგანული შემკვრელი მასალების ფართე გამოყენების შესაძლებლობას. საგზაო სამოსის კონსტრუქციის შერჩევასა და ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა ადგილობრივი მასალების მაქსიმალური გამოყენება. ამ ამოცანას ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, ვინაიდან ბევრი ქვეყნის უმეტესი რაიონები (უკრაინის მარცხენა სანაპირო, ვოლგისპირეთი, დასავლეთი ციმბირი, ჩრდილო ყაზახეთი) ღარიბია ადგილობრივი ქვის მასალებით. ამ რაიონებში საგზაო მშენებლობისათვის აუცილებელია შემოტანილი ქვის გამოყენება, რომელიც ზოგჯერ ასეულობით კილომეტრის მანძილიდან შემოაქვთ რკინიგზით. ადგილობრივი ქვის მასალების გამოყენების პრობლემა შეიძლება არსებობდეს ქვით ისეთ მდიდარ ქვეყანაშიც, როგორც საქართველოა. ჩვენში გავრცელებული ქვის მასალების დიდი ნაწილი (მაგალითად ქვიშაქვები, თიხოვანი ფიქალები და ა.შ.) ნაკლებად გამძლეა მექანიკური დატვირთვებისადმი მაღალი ტენიანობისა და უარყოფითი ტემპერატურის პირობებში, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას და მოითხოვს სპეციალური ღონისძიებების გათვალისწინებას დაპროექტებისას, ექსპლუატაციის პროცესში კი მათ მკაცრად შესრულებას.

ადგილობრივი ქვის მასალების უქონლობისას ფუძე საჭიროა დაიგოს შემკვრელებით გამაგრებული გრუნტებისაგან. უკანასკნელ წლებში საგზაო მშენებლობაში ფართო გამოყენებას პოულობს თბოელექტროსადგურთა ნაცარი, მეტალურგიული წიდეები, რომლებსაც გააჩნია შეცემენტების თვისებები, ქვანახშირის შახტებისა და მადაროების გამონამუშევარი ქვის ქანები და მრეწველობის სხვა თანაპროდუქტები. ვინაიდან ეს მასალები არაერთგვაროვანია საგზაო სამოსში მათ გამოყენებისას საჭიროა მათი დახარისხება. ადგილობრივ სუსტ ქვის მასალას სჭირდება ცემენტის მცირე დოზებით ან ორგანული შემკვრელებით წინასწარ დამუშავება ყინვაგამძლეობის გაზრდის მიზნით. საერთოდ, რამდენადაც უფრო სუსტია და არაერთგვაროვანი ადგილობრივი მასალები, მით უფრო მეტ ყურადღებას საჭიროებს საგზაო სამოსების კონსტრუქცია და მშენებლობა.

საგზაო სამოსების კონსტრუქციების დროს საჭიროა მათი მშენებლობის

თავისებურებების გათვალისწინება, უპირატესობას ეძლევა კონსტრუქციათა იმ ვარიანტებს, რომელთა განხორციელებას სჭირდება ნაკლები მატერიალური რესურსები და არ არის დაკავშირებული ხელით შრომის გამოყენებასთან. უპირატესობა აქვს კონსტრუქციებს, რომლებიც მარტივია მშენებლობისათვის, იძლევიან მოსამზადებელი სამუშაოების ინდუსტრიალიზაციისა და სამშენებლო სამუშაოთა მთლიანი მექანიზაციის შესაძლებლობას.

დიდი მნიშვნელობა აქვს მშენებლობის პროცესში ავტომობილების დაშვებას საგზაო სამოსის შემკვრივებულ ფენებზე. საგზაო სამოსების კონსტრუქციული ფენების რაოდენობის გადიდება საჭიროების გარეშე, როგორც წესი, ართულებს ტექნოლოგიურ პროცესს და ადიდება მშენებლობის ღირებულებას.

საგზაო სამოსების დაპროექტებისას, თუ ფენილების გამაგრება შემდგომში მოძრაობის ინტენსიობის გაზრდასთან ერთად არის ნავარაუდები, საჭირო სიმტკიცეს უზრუნველყოფენ იმ ფენების ხარჯზე, რომლებიც შემდგომში შეასრულებენ საფარის ფუძის როლს. თავდაპირველად ამ ფენებზე აგებენ თხელ ფენილს ან უბრალო საცვეთ ფენას, რომელსაც საჭიროებისდა მიხედვით აახლებენ.

საგზაო სამოსი დაცული უნდა იყოს ტენის შეღწევისაგან. ცალკეული კონსტრუქციული ფენების წყალშეუღწევადობა უნდა იზრდებოდეს ზედა ფენებისაგან. ტენის შემოსვლა მიწის ვაკისიდან შეჩერებული უნდა იყოს საგზაო სამოსის ამალღებით, დატენიანების შესაძლებელ წყაროს ზემოთ წყალშეუღწევ ფენების დაგებით და ა.შ.

საგზაო სამოსის კონსტრუქციაში მასალების განლაგება ხდება სიღრმეში თანდათანობით კლებადი სიმტკიცის მიხედვით და დროებითი დატვირთვისაგან ძაბვების მიღების შესაბამისად. მხედველობაში მიიღება აგრეთვე სამოსის მომიჯნავე ფენებს შორის სიხისტის და ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების განსხვავება, ვინაიდან მკვეთრი სხვადასხვაობის დროს სამოსში წარმოიქმნება ბზარები.

ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია, რომ ნაკლებადშეკავშირებული მასალების მომიჯნავე ფენების დრეკადობის მოდულების ურთიერთფარდობა არ აღემატებოდეს 5-ს. არცერთ ფენაში არ უნდა მოხდეს პლასტიკური დეფორმაცია, ვინაიდან საანგარიშო დატვირთვების მოქმედებისას სამოსში მძვრელი ძაბვები სიღრმესთან ერთად კლებულობს (იხ. ნახ. 2.1). შესაბამისად სიღრმეში შეიძლება დაიგოს სულ უფრო და უფრო ნაკლები სიმტკიცისა და შეჭიდულობის მქონე მასალები.

ფუძის ზედა ფენებში მძიმე ავტომობილებისაგან წარმოიშვება კუმშვისა და ძვრის მნიშვნელოვანი ძაბვები. ამიტომ მათ აწყობენ მასალებისაგან, რომელთაც

გააჩნიათ საკმაო სიმტკიცე ტემპერატურისა და ტენიანობის ნებისმიერი მერყეობისას. ასეთებია ჩასოლვის დახმარებით გამკვრივებული ღორღი ან სიმსხოს მიხედვით შერჩეული ღორღის ან ღორღი-ხრეშის ნარევები დამუშავებული ბლანტი ბიტუმით ან კუპრით, ღორღი ან ხრეში გამაგრებული ცემენტით.

ფუძის ქვედა ფენაში მაქსიმალურად იყენებენ გამყარებულ გრუნტებს, ქვის მასალებს, რომლებსაც საჭიროების შემთხვევაში ახარისხებენ, ამსხვრევენ და აუმჯობესებენ შემკვრელის მცირე დოზებით.

შორი მანძილიდან შემოზიდულ მასალებს აგებენ მინიმალური სისქის ფენებად, რაც მათგან მონოლითური კონსტრუქციული ფენის ფორმირების შესაძლებლობას იძლევა და შემდგომ ექსპლუატაციის პირობებში საიმედოა. საგზაო სამოსების ცალკეული ფენების სისქეები არ უნდა იყოს ცხრ. 2.3. მოყვანილ მინიმალურ მნიშვნელობებზე ნაკლები, რათა უზრუნველყოფილი იქნეს მათი კონსტრუქციული სიმტკიცე.

ცხრილი 2.3

მასალები	ფენის მინიმალური სისქე, სმ	მასალები	ფენის მინიმალური სისქე, სმ
ასფალტბეტონი და კუპრბეტონი დაგებული ცხელ და თბილ მდგომარეობაში, ერთ ფენად	5	ღორღისა და ხრეშის მასალები, დამუშავებული ადგილზე არევის ხერხით	8
იგივე, ორ ფენად	7	გრუნტები და ნაკლებადმტკიცე ქვის მასალები, დამუშავებული ორგანულ და არაორგანული შემკვრელი მასალებით	10
ცივი წვრილმარცვლოვანი ასფალტბეტონი და კუპრბეტონი	3	ღორღის მასალები, რომლებიც არ არის დამუშავებული შემკვრელებით ქვიშის ფუძეზე	15
ღორღის და ხრეშის მასალები, გრუნტები, დამუშავებული შემკვრელი მასალებით დანადგარებში	8	იგივე, ქვის მტკიცე ფუძეზე ან გამაგრებულ გრუნტზე	8
ღორღის მასალა, დამუშავებული გაჟღენთის მეთოდით	8	ხრეშის მასალები, რომლებიც არ არის დამუშავებული შემკვრელებით	10
იგივე, ნახევარგაჟღენთის მეთოდით (ხერხით)	4		

როგორც ცხრ. 2.2 და ნახ. 2.5-დან ჩანს, მოძრაობის ერთნაირი ინტენსიობის დროს შეიძლება საგზაო სამოსების სხვადასხვა ტიპების გამოყენება. პროექტის დამუშავების დროს, საგზაო სამოსების რამდენიმე შესაძლებელი ვარიანტიდან

ირჩევენ ყველაზე მიზანშეწონილს, რომელიც უკეთ ითვალისწინებს ავტომობილების მოძრაობის მოთხოვნებს, ბუნებრივ პირობებს, ადგილობრივი საშენი მასალების არსებობას, სამშენებლო სამუშაოთა ორგანიზაციის მოხერხებულობას, შემდგომ საექსპლუატაციო ხარჯებს და სხვა. ვარიანტების შედარებას აწარმოებენ თანაბარ სიმტკიცის კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც წინასწარ უნდა იყოს დასაბუთებული გაანგარიშებით.

ვარიანტების შედარების კონცეფციის მიხედვით საგზაო სამოსების ყველაზე გამოსადეგ ტიპია ის, რომელიც უზრუნველყოფს სამშენებლო ხარჯების ანაზღაურების მოცემული ვადის განმავლობაში ყველაზე ნაკლებ ჯამურ სატრანსპორტო დანახარჯებს 1 ტონა კილომეტრის გადაადგილებაზე.

ჯამური სატრანსპორტო ხარჯები შედგება გადაზიდვების თვითღირებულების საავტომობილო და საგზაო მდგენელებისაგან.

გადაზიდვების თვითღირებულებიდან საავტომობილო მდგენელი შედგება ავტომობილის საექსპლუატაციო მასალების ღირებულების, მძღოლების ხელფასის, რემონტისა და საავტომობილო მომსახურების ღირებულების და ავტომობილის ამორტიზაციის ხარჯების ჯამისაგან. ამ ხარჯების მნიშვნელოვანი ნაწილი დამოკიდებულია ფენილის ტიპზე და მდგომარეობაზე (ცხრ. 2.4).

ცხრილი 2.4

ფენილები	მოძრაობის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი	ფარდობითი სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მაჩვენებლები			
		ტექნიკური სიჩქარე	საბოლოო ხარჯი	რემონტის ხარჯები	გადაზიდვების ღირებულება
ასფალტბეტონის	0.015	1	1	1	1
ცემენტბეტონის	0.015	1	1.02	1	1
ღორღის, ორგანული შემკვრელი მასალების გამოყენებით	0.025	0.95	1.05	0.91	1.1-1.3
ღორღის და ხრეშის	0.035	0.7-0.8	1.1-1.2	0.8-0.9	1.4-1.6
ქვაფენილები	0.05	0.65	1.3	0.75	1.7-1.9
გრუნტის პროფილირებული გზა	0.05-0.06	0.4	1.6-1.8	0.60	2.0-2.20

სატრანსპორტო ხარჯების თვითღირებულების საგზაო მდგენელი კოეფიციენტი წარმოადგენს 1 ტკმ-ზე დაყვანილ მშენებლობის ღირებულების, მიმდინარე და კაპიტალური რემონტის და გზის შენახვის ხარჯების ჯამს. გადაზიდვების საგზაო

მდგენელი, ჩვეულებრივ, არ აღემატება გადაზიდვების მთლიანი ღირებულების 10-15%-ს.

გადაზიდვების მანძილისა და ავტომობილების ტვირთამწეობის გაზრდისას გადაზიდვების თვითღირებულების საგზაო მდგენელის როლი შედარებით იზრდება, თუმცა გადაზიდვების თვითღირებულების საერთო სიდიდე კლებულობს.

2.4. საგზაო სამოსების კონსტრუქციული ფენების სიმტკიცის მახასიათებლები

საგზაო სამოსების სისქის გაანგარიშების საიმედო შედეგების მიღება შეიძლება მხოლოდ ქვენაფენი გრუნტისა და სამოსების კონსტრუქციული ფენების მასალების მახასიათებლების (პარამეტრების) ზუსტი მნიშვნელობების გამოყენებით. ახალი გზების დაპროექტებისას ჩვეულებრივ სარგებლობენ ნორმატიულ დოკუმენტების ცხრილებში მოყვანილი გრუნტებისა და მასალების დრეკადობის მოდულებით.

გზების რეკონსტრუქციის პროექტების დამუშავებისას, როდესაც საჭიროა არსებული გაცვეთილი საგზაო სამოსის გაძლიერება, მის დრეკადობის მოდულებს განსაზღვრავენ ექსპერიმენტულად, საანგარიშო ავტომობილის თვლის ქვეშ ჩაღუნვის გაზომვით და მის მიხედვით მოდულის გამოთვლით.

გრუნტების დრეკადობის მოდულები შეიძლება განისაზღვროს ცდებით, გრუნტში მრგვალი შტამპის ჩაწნევით. სიღრმის მიხედვით მიღევადი ძაბვებისაგან გრუნტის მასივის დაჯამებული დეფორმაციები იძლევიან შემდეგ დამოკიდებულებას

$$E = \frac{K_w PD}{\Delta}, \quad (2.1)$$

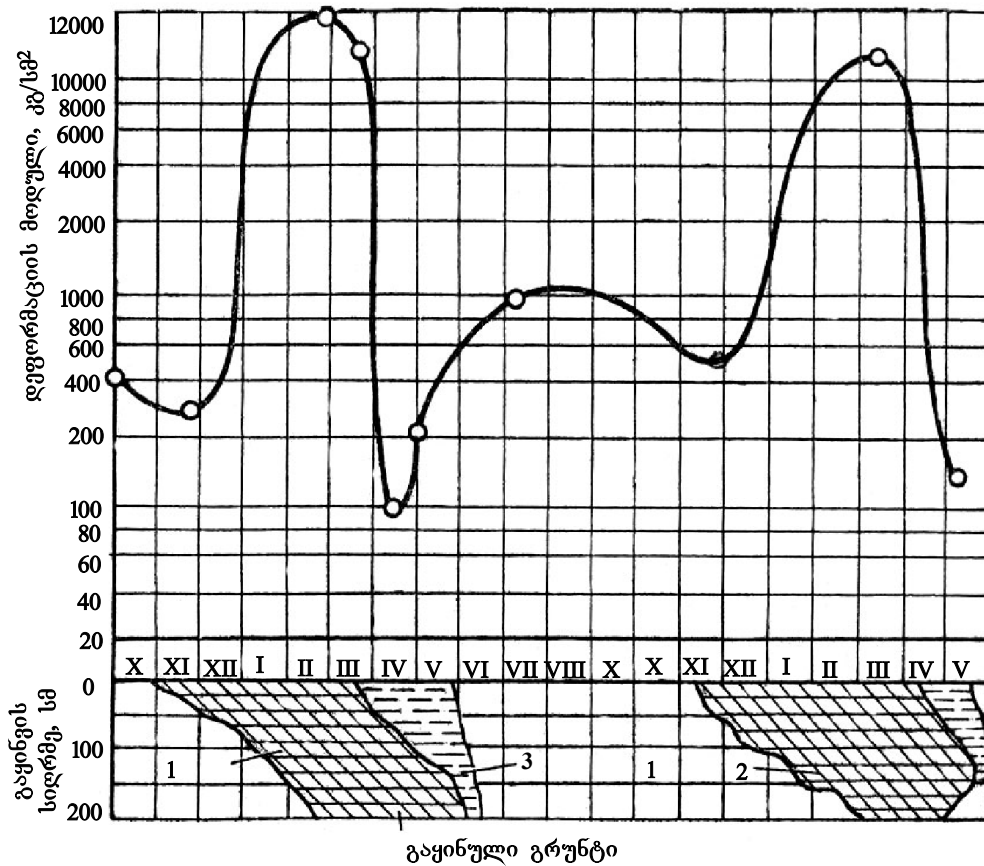
სადაც P – წნევაა შტამპის ფუძეზე, კგ/სმ²; D – შტამპის დიამეტრია, სმ; Δ – გრუნტის დეფორმაცია (შტამპის ჩაწევის სიღრმეა), სმ; K_w – კოეფიციენტი, დამოკიდებული ჩასაწნევი ფართობის ფორმაზე და სიხისტეზე (მრგვალი შტამპისთვის $K_w = 1$).

დრეკადობის მოდულის განსაზღვრისას ითვალისწინებენ დეფორმაციის დრეკად ნაწილს, დეფორმაციის მოდულის განსაზღვრისას კი - მის მთლიან სიდიდეს.

იმასთან დაკავშირებით, რომ გრუნტებისათვის არ არსებობს პირდაპირი პროპორციულობა წნევისა და დეფორმაციას შორის, დრეკადობის მოდული იცვლება შტამპის ჩაწევის ცვალებადობასთან ერთად.

მცირე დეფორმაციებს შეესაბამება მოდულების რამდენიმე უფრო დიდი მნიშვნელობები. საგზაო სამოსების თითოეული ტიპისათვის არსებობს ჩაღუნვის

საკუთარი კრიტიკული სიდიდე, რომელიც ხისტი სამოსებისათვის 3-4-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე არახისტი სამოსებისათვის. ამიტომ, სამოსების თითოეულ ტიპს შეესაბამება ქვენაფენი გრუნტის დრეკადობის მოდულის გარკვეული მნიშვნელობა. გრუნტის დრეკადობის მოდულის სიდიდე ყველაზე უფრო მნიშვნელოვნად იცვლება მცირე დეფორმაციების შემთხვევაში, რაც დამახასიათებელია მონოლითური ცემენტბეტონის სამოსების ჩაღუნვებისათვის. ამ პირობას ითვალისწინებენ აეროდრომებზე ასაფრენ-დასაჯდომი ზოლის ბეტონის საფარების გაანგარიშებისას. საგზაო სამოსების დიდი ჩაღუნვებისას ჩაღუნვებისადმი მცირე წინაღობის დროს (არახისტი სამოსები), დრეკადობის მოდული შედარებით მცირედ იცვლება. ამიტომაც, გაანგარიშების დროს საგზაო სამოსების ყველა ტიპისათვის (როგორც ხისტი, ისე არახისტი), საიმედოობის გარკვეული მარაგისათვის დებულობენ დრეკადობის მოდულების ერთნაირ მნიშვნელობებს.



ნახ. 2.6. წლის განმავლობაში გრუნტის დეფორმაციის მოდულის ცვალებადობა (რუსეთის ჩრდილოეთ ნაწილში ჩატარებული დაკვირვებით):
 1 – გამძვავი გრუნტი; 2 – გაყინული გრუნტი; 3 – გადამეტენიანებული გრუნტი გაზაფხულზე გაღობისას

მიწის ვაკისის წყალ-თბური რეჟიმი წლის განმავლობაში იცვლება. წლის განმავლობაში ასევე შესაბამისად იცვლება დრეკადობის მოდულები და ფუძის

გრუნტის დეფორმაციები (ნახ. 2.6). რამდენადაც უფრო მცირეა საგზაო სამოსის ფუძეში გრუნტის გადამეტენიანობის შესაძლებლობა, მით უფრო მაღალია მათი საანგარიშო მნიშვნელობები.

დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობები განსაკუთრებით ძლიერ მცირდება გაზაფხულის გადამეტენიანების პერიოდში. ამ პერიოდისათვის განისაზღვრება მოდულის საანგარიშო მნიშვნელობები, რომლებიც ნაჩვენებია არახისტი სამოსების გაანგარიშების ინსტრუქციებში. წლის მშრალ პერიოდში და ასევე ზამთარში, როდესაც გრუნტი გაყინულია, გრუნტის დრეკადობის მოდული ცხრილში ნაჩვენებ მნიშვნელობებზე ბევრად მაღალია.

ჩვენი ქვეყნის სხვადასხვა რაიონებში, საავტომობილო გზების მიწის ვაკისის წყალ-თბური რეჟიმის შესწავლის შედეგად, დადგენილია მიწის ვაკისის ზედა ფენების დამახასიათებელი ტენიანობა საგზაო სამოსის ქვეშ (ცხრ. 2.5).

ცხრ. 2.5-ში მოყვანილია გრუნტების სიმტკიცის პარამეტრების საანგარიშო მნიშვნელობები, ცხრ. 2.7, 2.8-ში მოყვანილია საგზაო სამოსების კონსტრუქციული ფენების ძირითადი მასალებისათვის დრეკადობის მოდულების მნიშვნელობები და სხვა საანგარიშო მახასიათებლები.

ცხრილი 2.5

კლიმატური ზონები	ტიპი დატენიანების მიხედვით	საანგარიშო ტენიანობა გრუნტებისათვის, გამოხატული დენადობის ზღვრის ნაწილებში		
		არამტვრისებრივი მსუბუქი ქვიშნარებისათვის	არამტვრისებრივი თიხნარებისათვის და თიხებისათვის	მტვრისებრი ქვიშნარებისათვის, მტვრისებრი თიხნარებისათვის
II	1	0,70	0,75	0,80
	2	0,75	0,80	0,85
	3	0,80	0,85	0,90
III	1	0,65	0,70	0,75
	2	0,70	0,75	0,80
	3	0,70	0,75	0,80
IV	1	0,60	0,65	0,70
	2	0,65	0,70	0,75
	3	0,65	0,70	0,75
V	1	0,60	0,60	0,65
	2	0,60	0,65	0,70
	3	0,65	0,70	0,70

ცხრილი 2.6

გრუნტი	გრუნტის დახასიათება	გრუნტის საანგარიშო მახასიათებლები შეფარდებითი დატენიანების დროს (დენადობის ზღვრის ნაწილი)						
		0,6	0,65	0,7	0,75	0,80	0,85	0,9
მსხვილი ქვიშა	E MPa ϕ გრად				130 43			
ქვიშა საშუალო სიდიდის	E MPa ϕ გრად				120 40			
წვრილი ქვიშა	E MPa ϕ გრად				100 38			
მტვრისებრი ქვიშა	E MPa ϕ გრად				50 36			
მსუბუქი ქვიშნარი მსხვილი	E MPa ϕ გრად C MPa				60 40			
მსუბუქი ქვიშნარი, არამტვრისებრი	E MPa ϕ გრად C MPa	45 35 0.012	42 35 0.011	39 34 0.01	37 34 0.009	35 33 0.01	- - -	- - -
ქვიშნარი მტვრისებრი თიხნარები და თიხები	E MPa ϕ გრად C MPa	60 24 0.032	42 21 0.016	34 18 0.019	28 15 0.015	24 13 0.01	21 11 0.007	20 10 0.005

შენიშვნა: ქვიშა გრუნტებისათვის მახასიათებლები E და ϕ პრაქტიკულად არაა დამოკიდებული ტენიანობაზე, C კი ძალზე მცირეა, არ აღემატება 0,007 მპა-ს და დამოკიდებულია შემაკავშირებელ ნივთიერებათა არსებობაზე.

ცხრილი 2.7

კონსტრუქციული ფენების მასალები	დრეკადობის მოდული, E , Mპა	ღუნვისა გაჭიმვისადმი ზღვრული წინაღობა R , Mპა
მკვრივი ასფალტბეტონი ფენილის ზედა ნაწილისათვის	1300-1500	1,8-2,0
ქვედა ფენა (მინერალური ფხვნილის გარეშე)	800-900	1,0-1,2
ბიტუმით დამუშავებული ღორღის შერჩეული ნარევები	1000-1200	1,4-1,5
იგივე ხრეშის ნარევები	700-900	1,2-1,4
ცემენტის გამაგრებული, ღორღისა და ხრეშის შერჩეული ნარევები	400-700	0,4-0,5
იგივე, ბიტუმით გამაგრებული ცემენტით გამაგრებული	200-350	-
ნაკლებადმტკიცე ქვის მასალები	300-450	0,3-0,4
ცემენტით გამაგრებული ქვიშნარები და ქვიშები	200-400	0,15-0,35
ცემენტით გამაგრებული თიხნარები და მტვრისებრი ქვიშნარები	200-280	0,20-0,30

კონსტრუქციული ფენის მასალები	დრეკადობის მოდული, E1, Mpa	ზღვრული წინაღობა გაჭიმვისადმი ღუნვისას R, Mpa	ძვრისადმი წინააღმდეგობის პარამეტრები	
			გრადუსი φ	Mpa C
თხევადი ბიტუმით დამუშავებული ქვიშნარები	180-280	-	25-35	0,02-0,035
იგივე, თიხნარები და მტვრისებრი ქვიშნარები	150-180	-	20-25	0,02-0,025
ჩასოლვით შემკერივე- ბული ღორღის ფენები	350-450	-	-	-
რიგითი ღორღი	200-350	-	-	-
ქვაფენილები და პაკელაჟი	400-500	-	-	-
ხრეშის მასალები	150-270	-	30-40	0,005-0,05
ხვინჯას ნიჟარქვა	80-100	-	30-40	0,005-0,01

შენიშვნა: დრეკადობის მოდულების ყველაზე დიდი მნიშვნელობები შეესაბამება მასალების უკეთეს ხარისხს (მეტი სიმტკიცე) და მუშაობის უფრო ხელსაყრელ პირობებს: საუკეთესო ჰიდრაულიკური პირობები, შემკვერელი მასალების უფრო მეტი რაოდენობა, გასაუმჯობესებელი მასალის საუკეთესო გრანულომეტრული შემადგენლობა.

თავი 3. ხიდებთან მისასვლელებისა და სარემზულაციო ნაბეზოების დაპროექტება

3.1. ნოღური ყრილების მუშაობის პირობები

მუდმივად მოქმედ ხიდებთან მისასვლელი ყრილები უმრავლეს შემთხვევაში ეწყობა დაუტბორავი მიწაყრილების სახით მდინარის ნოღაში ან უშუალოდ კალაპოტში. დაბალი კატეგორიის გზებზე და დროებით დაბალი წყლის ხიდებზე შეიძლება მოეწყოს პერიოდულად დატბორილი მისასვლელები.

დაუტბორავი მისასვლელების აშენება ეკონომიკურად არაეფექტური ხდება, თუ მათი სიმაღლე აჭარბებს 30 მ ან საფუძვლის გრუნტები სუსტია და ყრილისათვის საჭირო გრუნტის შორიდან მოტანაა საჭირო. ასეთ შემთხვევაში აწყობენ ნოღურ ესტაკადებს.

ნოღური ყრილები უნდა იყოს მყარი მუშაობის ყველაზე არახელსაყრელი პირობების დროსაც კი.

ყრილი რომ იყოს დაუტბოვარი, მის კიდეს მდინარეში სწევნ წყლის შესაძლებელ დონეზე მაღლა, შეტბორების მხედველობაში მიღებით.

წყლის გადმოდინების საზღვარზე შეტბორება ნოღური ყრილის ზედა ფერდობთან აღწევს უდიდეს მნიშვნელობას Δh_6 . წყლის დონე ყრილის ქვედა კალთასთან განისაზღვრება წყლის ზედაპირის ნიშნულით ქვედა წყალმომართველი ჯებირების ბოლოში. ასე რომ, წყლის დონის უდიდესი აწევა ზედა ფერდობთან ერთდროულად განსაზღვრავს დონეების უდიდეს სხვაობას ნოღური ყრილების ზედა და ქვედა ფერდობებთან. წყლის გამოდენის საზღვარზე (ნახ. 3.1) ხიდთან ახლომდებარე ყრილების მონაკვეთებზე დონეების სხვაობა ნაკლებია. უშუალოდ ხიდთან ეს სხვაობა უმცირესია და ტოლია ნაკადის ზედაპირის დაწვევისა ჭავლმომართველი ჯებირების სიგრძეზე.

$$\Delta h_{\min} = I\beta^2(\ell_6 + \ell_j), \quad (3.1)$$

სადაც I – მდინარის კალაპოტის ქანობი, β – ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტი, ℓ_6, ℓ_j – ზედა და ქვედა ჭავლმომართველი დამბების სიგრძე.

ხიდის წინ წყლის ნაკადის სიგანე მცირდება, თანაც მისი საზღვრები მოხაზულია დაახლოებით წრის რკალზე ცენტრალური 90 კუთხით, დაწყებული გამოდენის საზღვრიდან დამთავრებული წყალმომართველ ნაგებობათა თავთან. დინება ნოღურ ყრილებთან მომიჯნავე ამ მრუდხაზოვანი საზღვრების იქითა ზონებში – შეკრულია და შედარებით ნელია. თუ გამოდენის სიგანე ძალიან

ქარის სიჩქარისა და გარბენის სიგრძეზე. ტალღების მაქსიმალური სიგრძე შემოიზღუდება წყლის ორმაგი სიღრმით. ფაქტიურად ის უფრო ნაკლებიცაა, ვინაიდან ტალღის ყველა თეორიული გაანგარიშება სამართლიანია უძრავი წყლისთვის და მოცემულ შემთხვევაში ლაპარაკია ტალღების განვითარებაზე გამდინარე წყლის ზედაპირზე. ტალღის სიმაღლე შეადგენს მისი სიგრძის 1/13-დან 1/8-მდე (საშუალოდ 1/10), ამიტომ შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ნოლაზე ტალღების სიმაღლის ზღვარს წარმოადგენს სიდიდე

$$h_{\text{ტალღ}} = \frac{2h_6}{10} = 0,2h_6 \quad (3.2)$$

h_6 – ნოლაში წყლის სიმაღლეა.

ტალღა, მივარდნილი ყრილის ფერდობზე (ნახ. 3.2) ადის მასზე სიმაღლემდე

$$H = \frac{4,3K_b \cdot h_{\text{ტალღ}}}{m}, \quad (3.3)$$

სადაც K_b – ფერდობის ფარდობითი ხორკლიანობის კოეფიციენტი, m – ფერდობის დახრილობის კოეფიციენტი. ამ დროს ტალღის სიგრძე მიღებულია მისი სიმაღლის ათმაჯ ტოლად.

ფერდობის ფარდობითი ხორკლიანობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია ქვემოთ ფერდობის საფარის ტიპის მიხედვით.

საფარის ტიპი	K_b
მთლიანი შეუღწეველი გლუვი საფარი, ასფალტბეტონი ან მონოლითური ბეტონი	1
ანაკრები ბეტონის ფილები	0,9
ქვის წყობა და ბელტები	0,75-0,80
მინაყარი რიყის ქვისაგან	0,60-0,65
მინაყარი ღორღისაგან	0,55
მინაყარი ტეტრაპოდებისაგან	0,50

წყალსაცავზე უძრავი წყლის დიდი სიღრმისა და გარბენის მნიშვნელოვანი მანძილის გამო შეიძლება იყოს ძლიერი ტალღები, მაგრამ 3.2 ფორმულით – განსაზღვრულზე მაინც ნაკლები. ასეთი დაურღვეველი ტალღის სიმაღლე უნდა განისაზღვროს უშუალოდ ქარის სიჩქარით და გარბენის სიგრძით შემდეგი ფორმულით:

$$h_{\text{მ}} = 0,2\omega^{5/4}L^{1/3}, \text{ მ} \quad (3.4)$$

სადაც ω – ქარის სიჩქარეა, მ/წმ; L – ტალღის გარბენა, კმ.

ტალღის სიმაღლე (3.4) ფორმულით გაანგარიშებაში შეგვაქვს მხოლოდ მაშინ თუ ის იყო $h_{ტალღ}$ (3.2) ფორმულით განსაზღვრულზე ნაკლები. წყალსაცავის აშენების შემდეგ ქარის სიჩქარე იზრდება, ვინაიდან საჰაერო ნაკადსა და წყლის ზედაპირს შორის ხახუნი მცირდება ხმელეთთან შედარებით. ამიტომ ტალღის სიმაღლის გაანგარიშებებში არ უნდა გამოვიყენოთ წყალსაცავის აშენებამდე მიღებული მონაცემები ქარის სიჩქარეზე. თუ წყალსაცავი მხოლოდ პროექტდება, მაშინ ქარის საანგარიშო სიჩქარეები უნდა გავზარდოთ 30-50% დაკვირვებულთან შედარებით.

წყლის დარტყმა ფერდობზე ზემოქმედებას ახდენს ფერდობის საფარსა და გრუნტზე. ყრილების ზედა და ქვედა ფერდობებთან წყლის დონეებს შორის განსხვავება იწვევს ყრილის სხეულში წყლის ფილტრაციას, მაგრამ სანამ დაიწყება ტრანზიტული ფილტრაცია, უნდა მოხდეს მშრალი ნოღური ნაყარების გაჯერება წყლით. რიგ შემთხვევებში ნოღაზე წყალდიდობის დაწყებისას ყრილი გაყინულია, რაც უფრო ართულებს წყლით ყრილის გაჯერებას.

წყლით ყრილის გაჯერების პროცესი შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით: წყლის დონის აწევასთან დაკავშირებით ყრილების ფერდობებთან ხდება ინფილტრაცია მის სხეულში ერთდროულად ორივე მხრიდან. ფილტრაციის სიჩქარე დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა სიჩქარით იწვევა წყლის დონე ფერდობებზე და როგორია გრუნტის წყალგამტარიანობა, რომლისგანააცაა ყრილის სხეული.

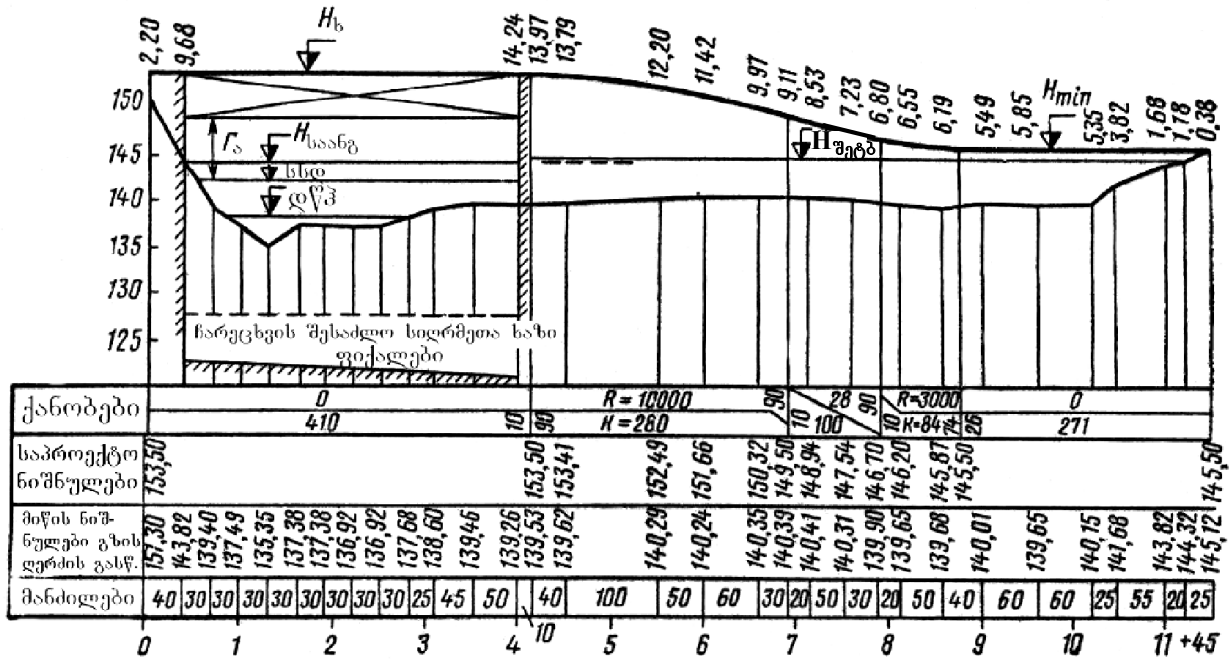
თუ გრუნტის წყალგამტარობა მცირეა, მაშინ დასველდება მხოლოდ ყრილის ფერდობებთან უშუალო მომიჯნავე გრუნტის ნაწილი.

გრუნტები ძლიერი წყალგამტარიანობის უნარით ძალიან ჩქარა ჯერდებიან წყლით. ასეთ შემთხვევაში წყლის დონე ყრილის სხეულში წყალაწვეის დროს თითქმის არ ჩამორჩება ფერდობებზე წყლის დონეს. თუ წყალმოვარდნის მაქსიმუმი ხანგრძლივია, მაშინ ყრილების გაუღენტოვა მთელ ტანში შესაძლებელია სხვა გრუნტების შემთხვევაშიც. ასეთ იშვიათ შემთხვევებში იწყება წყლის ტრანზიტული ფილტრაცია ყრილებში.

მდინარეში წყლის დონის დაწვეა იწვევს ფერდობებზე წყლის დონის შესაბამის შემცირებას და ისევე იწყება წყლის ორმხრივი მოძრაობა, მაგრამ უკვე ყრილის სხეულის შუიდან ფერდობისაკენ. წყლის დავარდნის დროს ხდება წყლის გადმოდენა გრუნტების ფორებიდან. წყალდიდობის დამთავრების პერიოდი ხშირად ხასიათდება სახიდე გადასასვლელებზე ყრილების, ფერდობების მდგრადობის დარღვევით.

3.2. ყრილების დაპროექტება მდინარის ნოღაში

ნოღური დაუტბორავი ყრილი ხიდთან მისასვლელებზე შეიძლება დაიყოს შემდეგ დამახასიათებელ მონაკვეთებად. მდინარის ველიდან დაშვება ნოღაზე; ყრილის მონაკვეთი წყლიდან ვაკისის წარბას მინიმალური დასაშვები აწვეით; ხიდზე ასასვლელი უმნიშვნელოდ აწვეული წყლის დონეზე ზემოთ (ნახ. 3.3).



ნახ. 3.3. ხიდზე გადასვლის განივი პროფილის მაგალითი

ყრილის წიბოს მინიმალურ ნიშნულს ნიშნავენ წყლის მაქსიმალური ჰორიზონტის ზევით, როგორც Δh_6 შეტბორებისა და ყრილის ფერდობზე ტალღის შესაძლებელ მიწვდომის h_a ჯამურ სიდიდეს, ან რაიმე მიზეზით გამოწვეულ ყრილის წიბოს კონსტრუქციულ ამალლებას წყალზე.

თუ ტალღები არ არის, ზემოხსენებულის ვირჩევთ უდიდესს:

$$\Delta_{\min} = \Delta h_6 + \Delta h_a \quad (3.5)$$

ან

$$\Delta_{\min} = \Delta h_6 + \Delta_6 \quad (3.6)$$

კონსტრუქციული მარაგის Δ_6 სიდიდეს იღებენ საგზაო სამოსის სისქის ტოლად, არანაკლები 0,5 მ. ამით გარანტირებულია სამოსის ფუძის დამატებითი ფენისა და მისი გრუნტის ქვედაფენის დაცვა დატბორვისაგან. ეს კი აუცილებელია გრუნტის დრეკადობის საანგარიშო მოდულის შენარჩუნებისათვის, რომელიც ტენიანობის გადიდებისას მნიშვნელოვნად მცირდება. რამდენადაც ნოღებზე წყლის ზედაპირის ნიშნულის შემცირება ხიდის მიმართულებით დიდი არ არის და

შესამჩნევია მხოლოდ ყრილის მცირე მანძილზე, დაბალი ნოღური ყრილის წიბო მიღებულია დაპროექტდეს ჰორიზონტალურად. ხიდის სავალი ნაწილის გრძივ პროფილს და მისგან დაშვებას ყრილზე მინიმალური ნიშნულებით აპროექტებენ დიდი რადიუსების რიგი ვერტიკალური მრუდების სახით. ხანდახან ხიდის სავალი ნაწილის ზედაპირს ტოვებენ ჰორიზონტალურად ან აპროექტებენ ცალმხრივი ქანობით, თუ მრუდების ჩასმა ძალზედ ართულებს ხიდის საყრდენის და მალის ნაშენის კონსტრუქციას (ნახ. 3.3).

ხიდზე ქანობი არ უნდა აღემატებოდეს გზისთვის ზღვრულად დასაშვებს. თუ ვერტიკალური მრუდი მხოლოდ მიწის ვაკისზეა, მაშინ ხიდის ბოლოდან ვერტიკალურ მრუდემდე იდგმება მუდმივქანობიანი მონაკვეთი სიგრძით არანაკლები 10 მეტრისა.

ხიდზე სავალი ნაწილის მინიმალური ნიშნულების დანიშვნა დაკავშირებულია წყლის დონის ზემოთ მალის აუცილებელ ამალეების განსაზღვრასთან. ხიდებისათვის ასაწევი და გასასხნელი მალეების გასასვლელის მინიმალური ნიშნული ინიშნება (ნახ. 3.4) ფორმულით:

$$H_b = H_{საანგ} + \Gamma + h_{კონ} \quad (3.7)$$

სადაც $H_{საანგ}$ – წყლის საანგარიშო დონე; $h_{კონ}$ – მალის ნაშენის კონსტრუქციული სიმაღლე, Γ – წყლის დონიდან ხიდის ნაშენის ამალეება არასანაოსნო მალეებში, ტოლი 0,75 წყლის საანგარიშო დონის დროს, თუ წყალს მოაქვს ჯირკები Γ უდრის 1,5-2,0 მ.

სანაოსნო და დასაცურებელი მდინარეებისათვის ხიდის სავალი ნაწილის ნიშნული განისაზღვრება ხიდქვეშა გაბარიტის Γ სიმაღლით, რომელიც უზრუნველყოფს ხიდის ქვეშ გემების და ტივების უსაფრთხო გავლას.

მაღალწყლიანი ხიდის სანაოსნო მალეების სიგრძეზე სავალი ნაწილის მინიმალური ნიშნული განისაზღვრება (ნახ. 3.4 ბ) შემდეგი ფორმულით:

$$H_b = H_0 + \Gamma + h_{კონ} \quad (3.8)$$

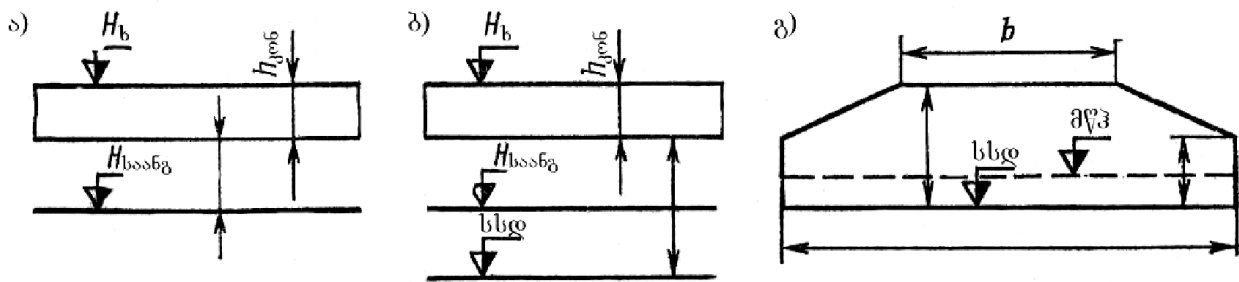
სადაც H_0 – საანგარიშო სანაოსნო დონეა ხიდისა და ყრილის სიმაღლეზე მნიშვნელოვნად ნაკლები, Γ – სანაოსნო გაბარიტი, ათვლილი H_0 -დან.

ამ დროს ხიდის ნიშნული არ შეიძლება იყოს ნაკლები (3.7) ფორმულით გამოთვლილზე.

ნორმატივების მიხედვით ყველა სანაოსნო და დასაცური მდინარეები იყოფა 7 კლასად. მდინარის კლასს პერსპექტიული გამოყენების მიხედვით საზღვრავენ

სამდინარო ფლოტის და ხე-ტყის დამცურებელი ორგანიზაციები. ხიდქვეშა გაბარიტის სიმაღლე მჭიდროდაა დაკავშირებული სანაოსნო მალების სიდიდესთან, რომელიც დანიშნულია მდინარის კლასის შესაბამისად. არასანაოსნო მდინარეებზე სიდიდეს არჩევენ ეკონომიურობის თვალსაზრისით.

ხიდქვეშა გაბარიტს (ნახ. 3.4) უწოდებენ ხიდის მალში ქვემოთ სივრცის ზღვრულ მოხაზულობას დინების მიმართულებით, რომელიც უნდა დარჩეს თავისუფალი გემებისა და ტივების დაუბრკოლებელი გაშვებისათვის და მის შიგნით არ უნდა იყოს ხიდის არავითარი ელემენტი.



ნახ. 3.4. ხიდის სიმაღლის განსაზღვრის სქემები

ხიდში სანაოსნო მალების რაოდენობა, როგორც წესი, ორზე ნაკლები არ უნდა იყოს. ერთი სანაოსნო მალი შეიძლება მოეწყოს მხოლოდ ერთმალიან ხიდებში და იმ პირობით, რომ მეორე მალი არ შეიძლება მოთავსდეს მდინარის კალაპოტის მცირე სიგანის გამო. სანაოსნო მალი შეიძლება ჩაითვალოს მოქმედად მხოლოდ მაშინ, თუ მის მთელ სიგანეზე შეუძლიათ იცურაონ გემებმა წყლის უმცირესი ჰორიზონტის დროსაც კი.

თუ კონსტრუქციული ან არქიტექტურული თვალსაზრისით ორივე სანაოსნო მალის სიდიდე მიღებულია ერთნაირად, მაშინ მათი ზომა უნდა შეესაბამებოდეს ორიდან უდიდესს, რომელიც ნორმითაა გათვალისწინებული.

თუ მდინარეზე რაბები არაა მოწყობილი, საანგარიშო სანაოსნო დონეს, საზღვრავენ ნორმატივების შესაბამისად შემდეგი სახით. ცხრილის 3.1 მიხედვით მოიცემა საანგარიშო წყალმოვარდნის გადამეტების ალბათობა, თვლიან მას ემპირიული ალბათობის ტოლად და ადგენენ წყალმოვარდნის ნომერს მდინარის მაქსიმალურ დონეთა სარანჟირო რიგში. ეს ნომერი ტოლია:

$$N = an + 0,3, \tag{3.9}$$

სადაც n – დონეებზე სისტემატიური დაკვირვების წელთა რიცხვი ახლოს მდებარე წყალსაზომ საგუშაგოზე.

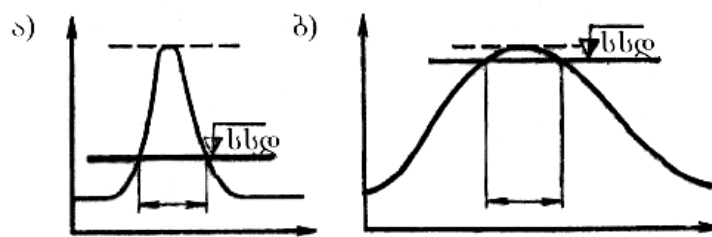
მდინარის კლასი	a	k	მდინარის კლასი	a	k
I	1:50	1:20	V	1:20	1:33
II	1:33	1:16	VI	1:25	1:50
III	1:25	1:16	VII	1:25	1:50
IV	1:20	1:20			

განსაზღვრავენ რა გაანგარიშებად წელს რანჟირებული რიგის დონით მისთვის ნაოსნობის ხანგრძლივობას $T_{დღ}$ ნებადართულია, რომ წყალდიდობის საანგარიშო სანაოსნო დონე იქნეს გადამეტებული რამდენიმე t დღის განმავლობაში, რის დროსაც გადამეტების დასაშვები ხანგრძლივობა ისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$t = k \cdot T, \quad (3.10)$$

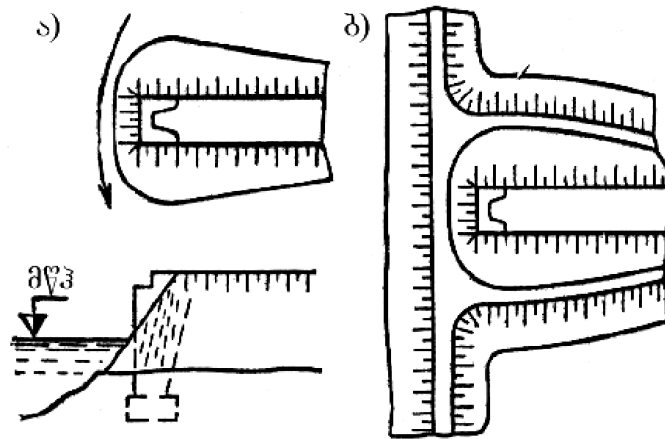
სადაც K – სანაოსნო დროის დაკარგვის წილი ნაოსნობის მთლიან ხანგრძლივობასთან შედარებით საანგარიშო წელში. საანგარიშო სანაოსნო დონის დასადგენად აგებენ საანგარიშო წელში ყოველდღიური დონის გრაფიკს (ნახ. 3.5) და გადააქვთ მასზე საანგარიშო სანაოსნო დონე H_0 (სსდ) ისეთი სახით, რომ მასზე უფრო მაღალი დონეები იყო შემჩნეული არაუმეტეს t -ჯერ.

მდინარეებისათვის წყალდიდობის დონის სწრაფი ცვლილებით საანგარიშო სანაოსნო კორიზონტი მნიშვნელოვნად დაბალია წყალდიდობის პიკზე საანგარიშო წელში (ნახ. 3.5). მდინარეებისათვის, რომელთაც ახასიათებს მაღალი დონის სტაბილური ხანგრძლივობა, სხვაობა უდიდეს დონესა და გაანგარიშებად სანაოსნო დონეს შორის იქნება უმნიშვნელო (ნახ. 3.5, ბ).



ნახ. 3.5. საანგარიშო სანაოსნო დონის (სსდ) განსაზღვრის სქემები

ნოღური ყრილები ხიდთან მიერთების ადგილში მთავრდება კონუსით (ნახ. 3.6, ა). ყრილების შეუღლება ხიდთან შეიძლება სხვადასხვა ხერხით. მათგან წყლის ნაკადის დაუბრკოლებელი გაშვების თვალსაზრისით ყველაზე უკეთესია შემოყრილი ბურჯის მოწყობა, როცა ნაკადი გარსშემოედინება გრუნტის კონუსის გამაგრებულ ზედაპირს.



ნახ. 3.6. ხიდთან მისასვლელელები:
 ა) ნაყარის კონუსი (გეგმა და ჭრილი); ბ) ჭავჭავიძის მიმართული
 დამბის მიმსრობა

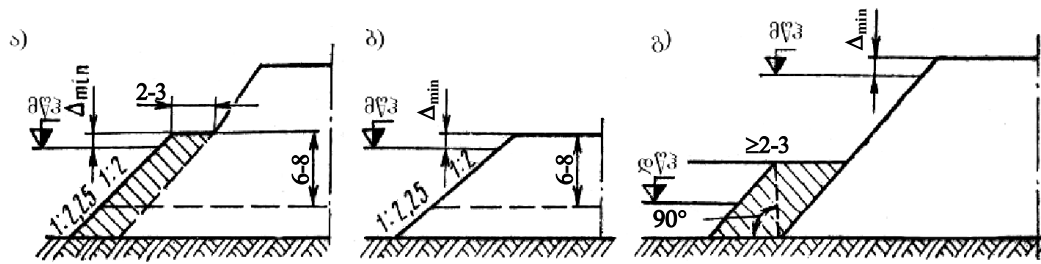
თუ გამაგრებული კონუსის მოწყობა არ უზრუნველყოფს ნოღური ნაკადის სიმდორეს ხიდის ხერეტან და სახიდე გადასასვლელი შეიცავს ნოღურ წყალმომმართველ ნაგებობებს, მაშინ ისინი უნდა შეუერთდნენ კონუსს ისე, რომ ნაკადი მდორედ გარსშემოედინოს ნაგებობის მდინარისეულ ფერდობს, და არა კონუსს. ასეთ შემთხვევაში (ნახ. 3.6, ბ) წყალმომმართველი ჯებირის თხემი განლაგებულია ხიდთან მაღალი ყრილის დონეზე და უღლდებიან მათთან მდორე მრუდებით. ეს საშუალებას გვაძლევს მივიტანოთ ჯებირებზე სარემონტო მასალები.

ზემოდან ნოღური ყრილების სიგანეს ნიშნავენ გზის კატეგორიის, ყრილების სიმაღლის, ფერდობის დახრილობის და მისი მუშაობის პირობების გათვალისწინებით.

ხიდის ამალღებასთან მაღალი ყრილის წყლისზედა ნაწილს აპროექტებენ, როგორც გზის ჩვეულებრივ მონაკვეთს (ნახ. 3.7, ა). წყალმომდგარ ფერდობს აპროექტებენ დახრით არაუმეტეს 1:2 დამრეცობის ზრდით 1/4-ზე სიმაღლის ყოველ 6-8 მ.

მშრალი და წყალშემდგარი ფერდობები უღლდებიან 2-3 მ სიგანის კორიზონტალური მოედანით - ბერმით, რომელიც მოთავსებულია დაბალი ნოღური ყრილის დონეზე. ბერმის მოწყობა უზრუნველყოფს ყრილის ქვედა ნაწილის დატვირთვას და ადიღებს მის მდგრადობას.

მაღალი ნოღური ყრილების დაპროექტებისას აუცილებელია ანგარიშით შემოწმდეს ფერდობების მდგრადობა და მისი ჯღენის სიდიდე. დაბალ ყრილთა ფერდობებს აპროექტებენ ქანობით არაუმეტეს 1:2 დაწყებული უშუალოდ წარბადან დახრით ყოველ 6-8 სიმაღლეზე (ნახ. 3.7, ბ).



ნახ. 3.7. ნოღებზე ყრილის გრძივი პროფილები

მეანდრირებულ მდინარეზე მოწყობილ გადასასვლელებზე ნოღური ყრილები ხშირად კვეთენ ნამდინარეებს. ამ ადგილებში (ნახ. 3.7, გ) ყრილების ფერდობებზე ბერძებს აწყობენ ნამდინარევის სიღრმეზე, მაგრამ არ უნდა იყოს 2-3 მ ნაკლები. ასეთი კონტრაბანკეტის დანიშვნა უზრუნველყოფს წყლის მღორე გადინებას ყრილის ფერდობის გასწვრივ ნამდინარევის საზღვრებში. კონტრაბანკეტი რომ არ წაირეცხოს, მას ასრულებენ ქვაყრილის სახით.

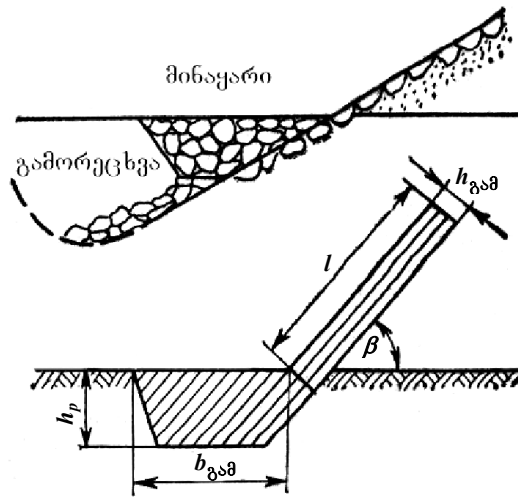
სახიდე გადასავლელებზე ნოღური ყრილების ფერდობები წყლით რომ არ დაზიანდეს ამაგრებენ ან იცავენ სპეციალური ნაგებობებით.

ნოღურ ყრილებზე უფრო ხშირად ხდება ფერდობებით ჩამონგრევა, ფერდობების წარეცხვა გრძივი დინებით და მათი დანგრევა ტალღებით ან ყინულების ხორგებით.

ნოღური ყრილების გრძივი დინებისაგან დასაცავად იყენებენ სხვადასხვა საშუალებებს, რომლებიც შეიძლება იყოს პასიური, ე.ი. წარეცხვის შედეგების აღმოფხვრა და აქტიური, წარეცხვის მიზეზების აცილება, რაც უმეტეს შემთხვევაში უფრო რაციონალური და ეკონომიურია.

დატბორილი ფერდობების გამაგრების სახეები დამოკიდებულია წყლის დინების სიჩქარეზე. ბალახის ბელტებს იყენებენ ფერდობების გამაგრებისათვის ძალიან დაბალი სიჩქარით დინების დროს. ბელტებს აწყობენ სიბრტყეზე ბალახით ზევით. ბელტების გამოყენების აუცილებელი პირობაა მათი ნაპირების მჭიდროდ შეერთება და ფერდობზე დამაგრება, არანაკლები 25-30 სმ სიგრძის ხის ნეღლი ჩხირებით.

ყოველ ბელტს ზომით 0,5x0,25 მ ამაგრებენ ოთხი ჩხირით. სამუშაოები აუცილებელია ჩატარდეს წელიწადის ნესტიან პერიოდში. ასეთი გამაგრება ტარდება მხოლოდ ველის მღორე წყლიან მდინარეებზე. უფრო სწრაფი დინებისას იყენებენ ქვაფენილებს. მათ აწყობენ ერთ ან ორ ფენად. ქვედა ფენას აკეთებენ წვრილი ქვებისაგან, ზედას კი – უფრო მსხვილისაგან. ქვებს აწყობენ მჭიდროდ, ფორმისა და სიმსხოს შერჩევით. ქვებს შორის არეებს ჭედავენ წვრილი ღორღით.

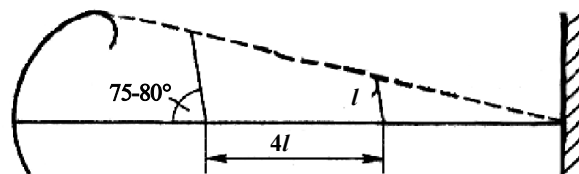


ნახ. 3.8. მინაყარის გაანგარიშების სქემა

სახიდე გადასასვლელებზე გვხვდება აგრეთვე ყრილების ფერდობების გამაგრება დინებისაგან და ტალღებისაგან ქვიანი მოკირწყელის სახით წნელის უჯრედში. წნელის უჯრედის ნაპირები და ფიხები ამოიზრდებიან რა, აძლევენ ფერდობებს მნიშვნელოვან ხორკლიანობას, რომელიც ამცირებს ტალღის მიწყობას ფერდობზე.

გამაგრებათა ზემოთ აღწერილი სახეობები ფართოდაა გავრცელებული, მაგრამ მათი ნაკლია დიდი შრომატევადობა მნიშვნელოვანი მოცულობისას. ამიტომ ხშირად იყენებენ ბეტონის ფილებს, რომლებიც მზადდება ქარხნული წესით და მონტაჟი ხდება მექანიზმებით. დასერილ და მთიანი რელიეფის პირობებში პრაქტიკულად მხოლოდ ბეტონის ფილები გამოიყენება. ყრილების ფერდობთა დაფარვის სახეობის ამორჩევა შეიძლება 3.2 ცხრილის მიხედვით, რომელიც ეყრდნობა არა მარტო დინების სიჩქარეს, არამედ ტალღის შესაძლებელ სიმაღლესაც.

გრძივი დინებისაგან ყრილების აქტიური დაცვისათვის აწყობენ განივ დაუტბორავ ნაგებობებს – ტრავერსებს, რომლებიც გადახრიან ნოღური წყლის დინებას ნაყარის ფერდობებისაგან (ნახ. 3.9).



ნახ. 3.9. ნოღური ტრავერსების განლაგების სქემა

ტრავერსების მოწყობისათვის უფრო ხშირად იყენებენ გრუნტს, ბელტებს და ქვას, ამიტომ ტრავერსების აშენების ფასი ნაკლებია, ვიდრე ფერდობების გამაგრებისა.

გამაგრების სახე	დინების დასაშვები სიჩქარე, მ/წმ	ტალღების დასაშვები სიმაღლე, მ
ბელტები ბრტყლად	$\leq 1,5$	0,25
ერთმაგი მოკირწყვლა	$\leq 3,0$	0,50
ორმაგი მოკირწყვლა	$\leq 5,0$	0,70
ბეტონის ფილები	$> 5,0$	დამოკიდებულია ფილების ზომაზე

ტრავერსები შეიძლება გამოვიყენოთ მხოლოდ მაშინ, როდესაც არ არის ტალღების მიწვობა.

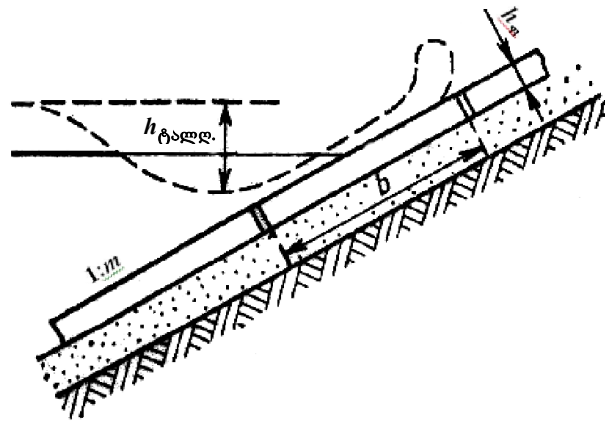
ნოლური ყრილების ფერდობების გამაგრებას და ტალღებისაგან დაცვას აქვს განსაკუთრებული მნიშვნელობა. ყრილთა ფერდობები ტალღებისგან განიცდიან მნიშვნელოვან დაწვევას, თუ გრუნტებს არახელსაყრელი გრანულომეტრიული შემადგენლობა აქვს, შეიძლება ფერდობების გამაგრება დაინგრეს. ამის თავიდან აცილებისათვის საჭიროა გრუნტების სწორი შერჩევა.

კალაპოტის და ნოლის ალუვიის ფენების ქვეშ საკმაოდ ღრმად მყოფი გრუნტები კარგი მასალაა ყრილების მოწყობისათვის. ისინი წყლით არიან გარეცხილი, არა აქვთ მტვრის ნაწილაკები და საიმედო მასალაა ფერდობების გამაგრებისათვის.

გამაგრების ნგრევის პროცესი მიმდინარეობს თანდათანობით. გამაგრების ფილებს ყოველთვის აწვებენ სპეციალურად შერჩეული ხრეშიანი და ღორდიანი ნარევის ფენაზე სისქით 30-45 სმ, რომელიც ხსნის ჰიდროსტატიკურ წნევას ტალღის უკუქცევის დროს. ამ ფილტრს აქვს 40-45% სიღრუე (სიცარიელე). ფილტრის დაჯდომის მიხედვით იწვებენ დაწვევას გამაგრების ფილებიც. წარმოქმნილი ღრუებიდან ტალღები რეცხავენ გრუნტს და ფილტრის მასალას. ფილების საფარის დანგრევის დროს ასეთი ფილტრი უკვე ვეღარ ხსნის ჰიდროსტატიკურ წნევას.

მტვრიანი გრუნტებისაგან ყრილების მოწყობისას ფერდობების გამაგრება უნდა იყოს ისეთი, რომ ტალღების დარტყმისაგან აღძრული დინამიკური დატვირთვა უნდა ქრებოდეს ფილტრის სისქეში. ამისათვის ფილტრის სისქე უნდა იყოს არანაკლები 80-60 სმ.

სამაგრი ფილების აუცილებელ სისქეს საზღვრავენ გაანგარიშებით. ადგენენ ტალღის შესაძლებელ სიმაღლეს და ფერდობზე ტალღის მოწყობის სიმაღლეს. ფერდობზე ტალღის მიწვდობა იძლევა გამაგრების ზედა საზღვარს. შემდეგ ანგარიშობენ ფილების აუცილებელ სისქეს $h_{ფლ}$, იყენებენ რა ემპირიულ ფორმულას (ნახ. 3.10).



ნახ. 3.10. ფილების გაანგარიშების სქემა

$$h_{\text{ფილ}} = \frac{0,11 \cdot h_{\text{ტალღ}} \cdot \gamma_{\delta} \cdot \sqrt{1+m^2}}{(\gamma_{\delta} - \gamma_{\text{ვ}}) \sqrt{b} \cdot m}, \quad (3.12)$$

სადაც b – ფილების ზომა, მ;

m – ფერდობის დახრილობა;

$\gamma_{\delta}, \gamma_{\text{ვ}}$ – ბეტონის და წყლის სიმკვრივე.

ასეთი სისქის ფილას ტალღა ფერდობიდან ვერ გადმოაგდებს.

ნოღური ყრილების ტალღებისაგან დატვირთვის და ფერდობების გამაგრების შემსუბუქებისათვის ზოგჯერ შეიძლება გამოვიყენოთ ტალღების სიმაღლის დაქვეითების ხერხები. ერთ-ერთი ასეთი ხერხია მოცურავე წინააღმდეგობების ე.წ. ბონების მოწყობა. თავისუფალ მდინარეებზე მოწყობილ სახიდე გადასასვლელებზე თუ ნოღები პერიოდულადაა დატბორილი, გარდა მოცურავე ბონისა, ყრილის ზედა ფერდობებზე შეიძლება დაირგოს ხეები და ბუჩქები.

სახიდე გადასასვლელებთან მოცურავე ბონები ტალღების სიმაღლეს აქვეითებს 30-50 სმ-ით, ნარგავები კი – 50-70 სმ-ით.

ბუჩქნარის ზოლის აუცილებელი სიგანე ყრილის წინ დამოკიდებულია ნოღაზე შესაძლო ტალღის სიმაღლეზე. თვლიან, რომ 0,20-0,25მ სიმაღლის ტალღა არ არის საშიში ბელტებით გამაგრებული დაფერდებისთვის. 0,6-0,7 მ სიმაღლის ტალღების დროს ნარგავების სიგანეა 40-50 მ, 1 მ სიმაღლისას კი – 100 მეტრამდე.

3.3. ხიდან მდინარის რეგულირების ამოცანები და პრინციპები

სახიდე გადასასვლელებზე კალაპოტის დეფორმაციამ შეიძლება გამოიწვიოს ნაგებობათა დაზიანება.

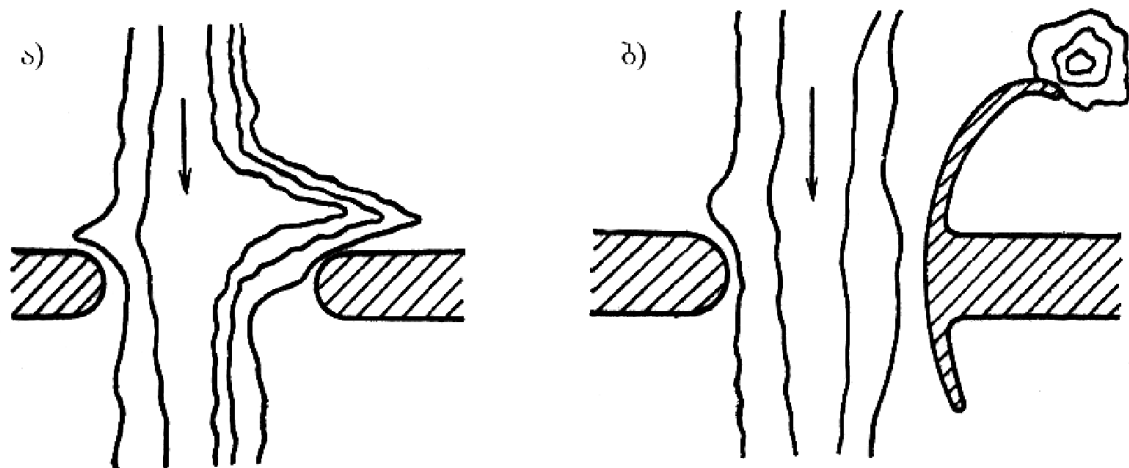
კალაპოტური დეფორმაციები გარდუვალია. ისინი რომ გავხადოთ ძირითადი სატრანსპორტო ნაგებობისათვის უხიფათო, სახიდე გადასასვლელის შემადგენლობაში

რთავენ სხვადასხვა ფორმის, კონსტრუქციისა და დანიშნულების სარეგულაციო ნაგებობებს.

სარეგულაციო ნაგებობათა სწორი დაპროექტება შეიძლება მხოლოდ კალაპოტური დეფორმაციების ხანგრძლივ პროგნოზზე დაყრდნობით. კალაპოტური დეფორმაციები სხვადასხვა სახის მდინარეებზე სხვადასხვაა. ამიტომ სარეგულაციო ნაგებობების ფორმა დამოკიდებულია მდინარის ტიპზე.

ვაკის მდინარეების ხილით გადალახვისას ფარავენ არა მარტო კალაპოტს, არამედ ნოლის რომელიმე ნაწილსაც. მდინარის ნაკადის განაწილება კალაპოტსა და ხიდის ხერცის ნოლურ ნაწილს შორის დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ მიდის ნოლური წყლები ხიდან.

ხიდის ხერცის ნოლური მონაკვეთის ზედმეტი წყლისგან განტვირთვისათვის და ყრილის კონუსთან საშიში ადგილობრივი წარეცხვის ასაცილებლად იყენებენ ნოლურ წყალმომმართველ დაუტბორავ ნაგებობებს (ნახ. 3.11).



ნახ. 3.11. წარეცხვისგან კონუსის დაცვის სქემა:
ა - წარეცხვა რეგულირების არარსებობის შემთხვევაში;
ბ - წარეცხვა მოწყობისას

წყალმომმართველი ნოლური ნაგებობების არსებობისას წარეცხვა ვრცელდება დინების ქვემოთ მით ნელა, რაც გრძელია ეს ნაგებობები. ხერცისაკენ მიმართული ნოლური ყრილის პარალელურად მიმდინარე ნოლურმა ჭავლებმა ხიდის წინ უნდა შეიცვალოს თავისი მიმართულება საწყისის პერპენდიკულარულად. ამიტომ ზედა დამბებს, რომლის გასწვრივაც გაედინება ნოლური ჭავლები ხიდის წინ, აძლევენ ცვალებად სიმრუდეს. ხიდისაგან მოშორებით მათი სიმრუდე უნდა იყოს მნიშვნელოვანი და უშუალოდ ხიდან, სადაც ხდება ჭავლების გასწორება - მცირე.

ხიდან ნაგებობების მცირე სიმრუდე უზრუნველყოფს ხიდის ქვეშ წარეცხვის მცირე სიჩქარესაც.

ხიდის ბურჯი წარეცხვისაგან რომ დავიცვათ, გარდა მაღლივისა, აწყობენ ქვედა დაუტბორავ წყალმიმმართველ დამბებს, რომელთა გადახრა ნაკადის ღერძიდან 5-6 -ს შეადგენს. ქვედა წყალმიმმართველი დამბების საკმარისი სიგრძე არანაკლებია ზედა (მაღლივი) დამბების სიმაღლის ნახევრისა.

წყალმიმმართველი მრუდხაზოვანი (ელიფსური) დამბების რეკომენდებულ მოხაზულობას საზღვრავენ ტოლობით

$$y = R \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin e^{-\frac{x}{R}} \right), \quad (3.13)$$

$$x = -R \left(\cos \alpha + \ln \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right), \quad (3.14)$$

სადაც $\alpha = \arcsin \left(1 - \frac{y}{R} \right)$.

პირველ ტოლობას იყენებენ ძლიერად მომუშავე ნოღებისათვის, მეორე ტოლობა ვარაუდობს სინქარის თანდათანობით გადიდებას დამბის გასწვრივ 0-დან მაქსიმალურის გარკვეულ ნაწილებამდე

$$v_\alpha = v_b \sqrt{\cos \alpha}.$$

სუსტად მომუშავე ნოღების დროს საანგარიშო პარამეტრი

$$R = l_b : 3. \quad (3.15)$$

მაღლივი წყალმიმმართველი დამბების სიგრძეს საზღვრავენ ადგილობრივი პირობებით. შეიძლება გამოვიყენოთ ქვემოთ მოყვანილი უხეშად ორიენტირებული კავშირი დამბების l_b სიგრძისა ხიდის ხვრეტთან, რომელიც დამოკიდებულია ნაკადის შევიწროების კოეფიციენტზე.

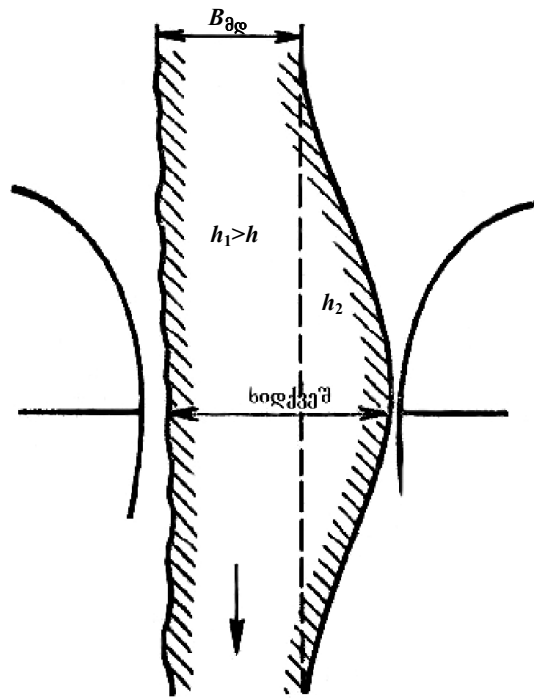
β	1,2	1,25	1,5	2,0	2,5
$l_b : L$	0	0,15	0,3	0,6	0,75

l_b სიგრძის ქვეშ იგულისხმება ჯამური სიგრძე ორი ზედა დამბისა ორმხრივი ნოღების დროს ან ერთი დამბის სიგრძე ცალმხრივი ნოღის დროს.

ხიდის ხვრეტის ნოღური მონაკვეთის გამტარუნარიანობის გაზრდისათვის რეკომენდებულია ხელოვნურად გავზარდოთ კალაპოტის სიღრმე და სიგანე ჩატრით (ნახ. 3.12).

მრუდხაზოვანი წყალმიმმართველი ნაგებობანი არ წარმოადგენენ სარეგულაციო ნაგებობებისას ერთადერთ სახეს.

რიგი არსებული ხიდები საყრდენის ფუნდამენტის ირეცხება მისი არასაკმარისი ჩაღრმავების გამო.

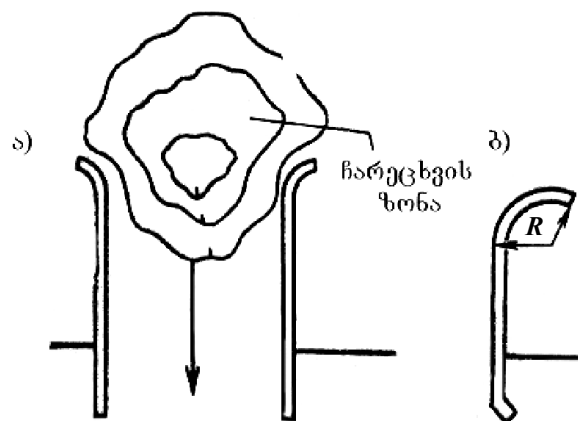


ნახ. 3.12. ჩაჭრის მოწყობის სქემა

ხიდს რომ არ ემუქრებოდეს დანგრევის საშიშროება, უნდა მოხდეს ხიდის საყრდენების რეკონსტრუქცია ან უნდა საყრდენები დაეიცვათ წარეცხვისაგან სხვადასხვა მეთოდებით. მაგალითად, წარეცხვა ხიდიდან გადაწეულ იქნეს ზემოთ, დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ხიდიდან წარეცხვის გარკვეულ მანძილზე გადასაწევად აშენებენ სწორხაზოვან პარალელურ წყალმიმმართველ დამბებს (ნახ. 3.13, ა), წარეცხვა ასეთ შევიწროვებულ კვეთში იწვევს ნარიყის ინტენსიურ გამოტანას ხიდის ქვეშ, დინების მიმართულებით. ამის შედეგად ხიდის ქვეშ წარეცხვა მცირდება.

ცალკეულ შემთხვევაში აუცილებელია გამოყენებული იქნეს წყალმიმმართველი ნაგებობანი კომბინირებული მოხაზულობისა, როცა მრუდხაზოვანი დამბა გრძელდება სწორხაზოვანი ჩართვის მეშვეობით (ნახ. 3.13, ბ).



ნახ. 3.13. სწორხაზოვანი ჭავლმიმმართველი დამბების სქემები

მოხეტიალე კალაპოტიან მდინარეებზე მოწყობილ სახიდე გადასასვლელებზე არსებული სარეგულაციო ნაგებობანი არსებითად განსხვავდებიან ვაკე მდინარეების ნაგებობებისაგან, ვინაიდან აქ რეგულირების ამოცანები იცვლება.

გადასასვლელები მოხეტიალე მდინარეებზე ავიწროებენ კალაპოტს. ასეთ მდინარეებზე ხიდებს არ აქვთ ხვრეტის ნოლური მონაკვეთები, ამიტომაც წყალმიმართველი დამბები ასეთ შემთხვევაში არაა აუცილებელი.

აკუმულაციის ზონაში გამავალი მდინარეების სიჩქარე იწვევს მდინარეების წარეცხვას. მთისპირა მდინარეების ნაპირი რიგ მონაკვეთებზე წარეცხილია და კალაპოტს აქვს ზედმეტად დიდი სიგანე. ასეთ მონაკვეთებზე რივის მოძრაობა ხდება მხოლოდ კალაპოტის აქტიური ზონის სიგანეზე. ამ დროს აქტიური ზონა შეიძლება გადაადგილდეს კალაპოტის სიგანეზე, მიუახლოვდება რა ხან ერთ, ხან მეორე ნაპირს.

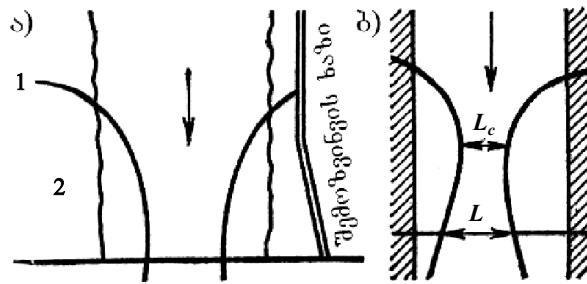
ხიდის ხვრეტს აქვს ან მდინარის აქტიური ზონის ტოლი სიგანე B_0 , ან მასზე ნაკლები.

მდინარეთა ნატანის მოძრაობის შედეგად წარმოიშვება მეჩხები. თუ კალაპოტის დიდი სიგანის მონაკვეთიდან მცირე სიგანის ხიდის ხვრეტისაკენ არ არის მდორე გადასასვლელი, მაშინ ნატანების დაგროვება შეჩერდება. ნაგროვებში ილექება კალაპოტის მაფორმირებელი ნატანი, ამიტომ დაგროვების შეჩერება ხიდის წინ ამცირებს ნატანის რაოდენობას ხიდის ქვეშა კვეთში. ნატანის არასაკმარისობის გამო, ხიდის ქვეშ იწყება წარეცხვები. ეს წარეცხვა ხიდისათვის შეიძლება აღმოჩნდეს კატასტროფული, ამიტომ კალაპოტის სიგანე ხიდის წინა მონაკვეთზე უნდა მდორედ შეიზღუდოს. თანდათანობით ვამცირებთ მას თავისუფალ მდგომარეობაში, მდინარისათვის დამახასიათებელი სიგანიდან ხიდის ხვრეტის სიგანემდე (ნახ. 3.14, ა). სიგანეს ზღუდავენ ზვინულებით. ნაპირის ზვინულები ერთდროულად თანდათანობით ცვლიან კალაპოტის სიგანეს და სიღრმეს, იცავენ ხიდთან და კალაპოტის ნაპირთან მისასვლელებს.

ნაპირების ზვინულების მოხაზულობა გეგმაში უნდა იყოს მდორე, რომელსაც შეესაბამება სიღრმის მდორე ცვალებადობა მდინარის მონაკვეთის რეგულირებულ სიგრძეზე. უშუალოდ ხიდის წინ სასარგებლოა შეიქმნას მონაკვეთი თითქმის უცვლელი სიგანის ნაკადით. ამ დროს ხიდის ქვეშ კალაპოტური დეფორმაციების სიჩქარის განვითარება მცირდება.

ხიდის წინ დარეცხვის კერის შექმნის იდეა პირველად გამოყენებული იქნა ხიდთან სწორხაზოვანი დამბის მოწყობის დროს, შეიძლება დაპროექტდეს და

აშენდეს ნაგებობანი, რომლებიც უზრუნველყოფენ სახიდე გადასასვლელთან ნატანების დაგროვებას და ამავე დროს შეამცირებენ ხიდის ქვეშ ნაკადის სიღრმეს (ნახ. 3.14, ბ).



ნახ. 3.14. სარეგულაციო ნაგებობები მოხეტიალე მდინარეებზე გამაგალ ხიდებთან

სარეგულაციო ნაგებობების მშენებლობის და სხვა ღონისძიებები აღმოფხვრიან სახიდე გადასასვლელზე კალაპოტური დეფორმაციის არასაიმედო განვითარების შესაძლებლობებს.

3.4. სარეგულაციო ნაგებობების კონსტრუქციები

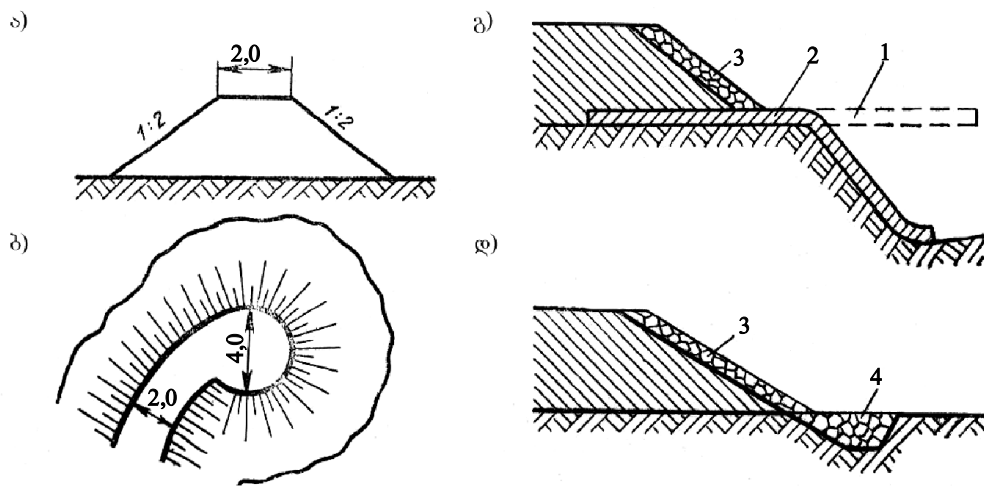
სარეგულაციო ნაგებობების მასალებისა და კონსტრუქციების ამორჩევისას უპირატესად უნდა გამოვიყენოთ ადგილობრივი მასალები. თუ მათ არ შეუძლიათ უზრუნველყონ დამცველი ნაგებობებისა და გამაგრებების აუცილებელი სიმტკიცე, აუცილებელია გამოვიყენოთ ჩამოტანილი ან ხელოვნურად დამზადებული მასალები. ადგილობრივი რესურსების გამოყენება ხშირად გვაიძულებს სარეგულაციო ნაგებობების აშენებისათვის გამოვიყენოთ გრუნტი, ბალახიანი ბელტები და ქვა.

გრუნტის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ სამუშაოთა მაქსიმალური მექანიზება. რაც შეიძლება ფართოდ უნდა გამოვიყენოთ გრუნტი ნაგებობათა საფუძვლის სახით. მაგრამ ეს ხერხდება მხოლოდ ვაკის მდინარეებზე. ნაგებობებში გრუნტი შეიძლება გამოვიყენოთ, თუ მას საიმედოდ გავამაგრებთ. ამ მიზნისათვის ბელტისა და ქვის გამოყენება ამცირებს საამშენებლო სამუშაოების მექანიზაციის დონეს. ნაპირების და ფერდობების ფიჩხებით გამაგრება საერთოდ არ ექვემდებარება მექანიზაციას.

როული რელიეფის პირობებში და აგრეთვე გასამაგრებელ და სარეგულაციო სამუშაოებზე მექანიზაციის ასამაღლებლად უფრო ხშირად იყენებენ გაბიონებს (ქვა მეტალის ბადეებში), ბეტონს და რკინაბეტონს. ეს კონსტრუქციები და მასალები სულ უფრო მეტად გამოიყენება დიდ სახიდე გადასასვლელებზე.

მიწის სარეგულაციო ნაგებობებს ეძლევათ ტრაპეციისებრი განივკვეთი, ფერდობების დახრით 1/2. სარეგულაციო ნაგებობების მდინარისეული ფერდობების დაცვა გვიხდება ქვებით, ბეტონის ან რკინაბეტონის ფილებით. ბელტები გამოიყენება იშვიათ შემთხვევებში, ვინაიდან წყალმოვარდბის სიჩქარე ვაკის მდინარეებზე აჭარბებს 1,5-2,0 მ/წმ, რაც შლის ბელტებს. ასეთ გამაგრებებს იყენებენ მხოლოდ იმ ნაგებობისათვის, რომლის ახლოს წყალი თითქმის უმოძრაოა.

ნაგებობათა ზედა სიგანემ უნდა უზრუნველყოს სატრანსპორტო საშუალებათა გავლა, რომლებსაც მოაქვთ სარემონტო მასალები და აგრეთვე ამ მასალების დაწყობა რემონტის დროს. ამასთან დაკავშირებით წყალმიმმართველ ნაგებობათა სიგანე არ უნდა იყოს 2 მ ნაკლები (ნახ. 3.15). ნაგებობათა ზედა ნაწილში სიგანე უნდა იყოს გაზრდილი, ვინაიდან აქ წყალდიდობისას ტარდება სასწრაფო სარემონტო სამუშაოები (ნახ. 3.15, ბ).



ნახ. 3.15. ჭავლმიმმართველი დამბების კონსტრუქციები

- ა - ჩვეულებრივი განივი კვეთი; ბ - თხემის გაფართოება დამბის თავში;
 გ - ფერდობის ძირის გამაგრება ლეიბებით; დ - რისბერმა დამბის ძირში

წყალმიმმართველი დამბების და ნოღური ტრავერსების თავთან ვითარდება ადგილობრივი წარეცხვები, რომელთა გამოც მოსალოდნელია მიმდინარე წყლით ფერდობების ზედაპირის ძირის გამორეცხვაც, რომელსაც შეიძლება მოჰყვეს ფერდობის დაცურება.

წყალმიმმართველი დამბების ან ტრავერსების თავების ძირების გამაგრება შეიძლება მოქნილი დამცველი საფარებით (ლეიბებით) ან რისბერმებით (ნახ. 3.15, გ, დ). რისბერმებს იყენებენ მხოლოდ ფერდობის ძირის არაღრმა ადგილობრივი წარეცხვის შემთხვევაში. ლეიბების ზომებს ნიშნავენ მოსალოდნელი ადგილობრივი წარეცხვის გაანგარიშების საფუძველზე.

საანგარიშო სარეგულაციო ნაგებობების თავთან და ფერდობებთან ადგილობრივი სიღრმის განსაზღვრის ადგილობრივი წარეცხვის საანგარიშო ფორმულა წარმოადგენს ტოლობას, რომელიც შუბლა მიწყდომის დროს ($\alpha = 90^\circ$) იღებს ასეთ სახეს:

$$h = \frac{23v^2}{g\sqrt{1+m^2}} - \frac{6v_0^2}{g}, \quad (3.16)$$

სადაც v – მიმწყდომი ჭავლის სიჩქარეა, v_0 – წამრეცხი სიჩქარე გრუნტისათვის; m – ფერდობის დახრილობა, ადგილობრივი წარეცხვის გამომწვევი.

ელიფსური წყალმიმართველი ნაგებობებისათვის ნოღური ნაკადის მიმწყდომი სიჩქარე ნაგებობის თავში პრაქტიკულად ტოლია ნოღური ნაკადის სიჩქარისა ხიდის ქვეშ, თუ ხიდის ხვრეტის ნოღური მონაკვეთი შენარჩუნებულია. ვაკის მდინარეების ალუვიური გრუნტებისათვის წამრეცხავი სიჩქარე არ არის დიდი. ამიტომ, ვთვლით რა ნაკადის მიწყდომას ნაგებობის თავთან მართობულად ($\alpha = 90^\circ$), მივიღებთ გამარტივებულ ფორმულას

$$h = \frac{23v^2}{g\sqrt{1+m^2}}. \quad (3.17)$$

ღეიბების სიგრძე, საკმარისი იმისათვის, რომ დაიფაროს წარეცხილი ფერდობი, შეიძლება მოინახოს ამ ფორმულით (ნახ. 3.16, გ).

$$\ell_{\text{ღ}} = h\sqrt{1+m_{\text{ღ}}^2}, \quad (3.18)$$

სადაც $m_{\text{ღ}}$ – ღეიბის დახრილობა წარეცხვის შემდეგ. ღეიბი შეიძლება ჩაიშვას წარეცხვაში და დაფაროს დანგრეული ფერდობი ძალიან დიდი დახრილობით.

ღეიბების დახრის კუთხე შეადგენს $60-70^\circ$ ჰორიზონტთან. ამიტომ, როგორც წესი, $m_{\text{ღ}} = 0,8-1$.

უმარტივეს შემთხვევაში, როცა $m_{\text{ღ}} = m$, დამბის ფერდობისათვის

$$\ell_{\text{ღ}} = \frac{23v^2}{g} = 2,5v^2, \quad (3.19)$$

სადაც v – ნაკადის სიჩქარეა, მ/წმ;

$\ell_{\text{ღ}}$ – ღეიბის სიგრძე, მ.

ღეიბები შეიძლება გაკეთდეს სხვადასხვა მასალებისაგან. დიდი ხანია ათვისებულია ღეიბთა დამზადება ბეტონების შენაწევრებული მასივებისაგან. ხანგრძლივად იყენებენ ქვიან ღეიბებს, მაგრამ მათი ნაკლია სამუშაოების მხოლოდ ხელით ჩატარება.

თუ ქვიანი ლეიბები მაინც გამოიყენება, მაშინ მისი ზომები აუცილებელია განისაზღვროს გაანგარიშებით. ლეიბის სიგრძეს ნიშნავენ (3.18) ფორმულით. ასეთი კონსტრუქციის ლეიბი პრაქტიკულად არ იღებს გამრღვევ ძალას და უნდა გამაგრდეს ფერდობზე ხახუნის ძალებით. ასეთ პირობებში დამცველი ფერდობის საანგარიშო დახრილობა უნდა მივიღოთ $m_{\text{ღ}} \geq 2$.

ფიხიანი ლეიბის სიგანე ინიშნება კონსტრუქციულად 0,25-დან 0,6 მ-მდე და მისი ქვიანი დატვირთვის სიგანე ტოლია ფიხის ფენების სისქის 60%-სა.

ლეიბებს ბეტონის შენაწევრებული ელემენტებისაგან აქვთ საკმაოდ დიდი ღრეჩოები ბლოკებს შორის. ამიტომ ისინი უნდა დალაგდეს ისეთ მსხვილ გრუნტებზე, რომ არ გამოირეცხოს ღრეჩოებიდან. ჩვეულებრივი ბმული გრუნტების დროს აუცილებელია ბლოკებს შორის ღრეჩოები დაიფაროს, რათა თავიდან ავიცილოთ გრუნტის გამორეცხვები.

მოხეტიალე მდინარეებზე სარეგულაციო ნაგებობათა ასაშენებლად ადრე იყენებდნენ ფენა-ფენა ქვიან ფიხოვან წყობას. ეს წყობა სრულდება მხოლოდ ხელით, შეიძლება პრაქტიკულად ვერტიკალური ფერდობების გამოყენება, რომელთაც ახასიათებს ნაგებობათა დაჯდომა.

დეფორმირებული ფსკერის პირობებში კარგი შედეგები აქვს 1-2მ³ მოცულობის გაბიონების წყობით გამაგრებას.

ახალი სახის ლეიბების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს მოხეტიალე და მთის მდინარეებისათვის გამოვიყენოთ გრუნტი სარეგულაციო ნაგებობათა აშენებისათვის. ასეთი ნაგებობების მოწყობის სამუშაოები შეიძლება იყოს მექანიზირებული. განივი და გრძივი სარეგულაციო ნაგებობები მოხეტიალე მდინარეებზე უნდა აიგოს უწყვეტად (მასიური), ვინაიდან ისე ისინი ვერ გადახრიან ნაკადს ნაპირიდან.

მოხეტიალე და მთის მდინარეებზე განლაგებულ ხიდებზე ნაპირების გამაგრებისათვის ხშირად იყენებენ ბეტონის მასიურ ნაგებობებს.

სახიდე გადასასვლელების ექსპლუატაციის დროს, განსაკუთრებით მოხეტიალე და მეანდრირებულ მდინარეებზე, ხშირად აუცილებელია კალაპოტის ნაპირის წარეცხვის პასიური დაცვა. მასალები და კონსტრუქციები, რომლებიც გამოყენებულია მდინარის კალაპოტის ნაპირების წარეცხვისაგან დაცვისათვის, არ განსხვავდება ზემოთ რეკომენდებულისაგან, რომლებიც გამოიყენება სარეგულაციო ნაგებობათა ფერდობების გამაგრებისათვის.

თავი 4. გზების დაპროექტება მთიან რაიონებში

4.1. მთიანი რაიონები მსოფლიოს სხვადასხვა კუთხეში

დედამიწაზე მთიანი რაიონები კონტინენტების უმრავლესობაზე განლაგებული. ევროპაში ასეთი ადგილებია ბალკანეთი, კარპატები, აპენინები, ალპები, პირინეები, სკანდინავიის ჩრდილოეთი ნაწილი. ევროპის მთაგორიანი ქვეყნები: იტალია, საფრანგეთი, შვეიცარია, ავსტრია და ა.შ. გამოირჩევიან მთელ მსოფლიოში საუკეთესო სამთო გზების შესანიშნავად განვითარებული ქსელით, რომლის მშენებლობა ძველი რომის არსებობის დღიდან დაიწყო და დღემდე წარმატებით გრძელდება.

განსაკუთრებით დიდია მთიანი და მაღალმთიანი რაიონების რაოდენობა და საერთო ფართობი აზიაში: ანატოლია, კავკასია, ჰინდიყუში, ჰიმალაი, ტიანშანი, ტიბეტი, ალათაი, კოლიმა და ა.შ. საქართველოს, სომხეთის, თურქეთის, ირანის, ავღანეთის, ჩინეთის, მონგოლეთის, აზიური რუსეთის და იაპონიის ტერიტორიების დიდი ნაწილი მთაგორიანია. საგზაო ქსელი შედარებით კარგადაა განვითარებული საქართველოში, თურქეთში, ირანში, სომხეთში. არასაკმაო ქსელია ავღანეთში, ჩინეთში, მონგოლეთში. რუსეთის აზიურ ნაწილში საავტომობილო გზების ქსელი პრაქტიკულად არ არსებობს. შესანიშნავი სახმელეთო კომუნიკაციების ქსელი და მათ შორის საავტომობილო გზები გააჩნია იაპონიას, რომელიც რთული რელიეფის და ბუნებრივი პირობების მქონე ქვეყანათა შორის პირველობს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარების მაღალი დონით.

აფრიკის კონტინენტზე რთული რელიეფის მქონე მთაგორიანი რეგიონები აზიასთან შედარებით მცირეა. აღსანიშნავია ატლასის მთები ჩრდილოეთ აფრიკაში, ეთიოპიის მთიანეთი აღმოსავლეთ აფრიკაში ტბები: ვიქტორიას, ტანგანიკის და მალავის გარშემო მდებარე ვრცელი მთიანი ტერიტორიები ცნობილია კლიმატდარღობით, რომელიც ყველაზე მაღალია აფრიკაში (5895 მ).

მთაგორიანია სამხრეთ აფრიკა: ნამიბიის, ორანჟის მთიანი რეგიონები, დიდი და მცირე კარეს მთები კეთილი იმედის კონცხთან ე.წ. დრაკონის მთები ინდოეთის ოკეანის სანაპიროსკენ და ა.შ.

გზების ქსელი შედარებით კარგადაა განვითარებული ჩრდილოეთსა და სამხრეთ აფრიკაში. კონტინენტის დანარჩენ ტერიტორიაზე საგზაო ქსელი არ არსებობს, გვხვდება მხოლოდ ცალკეული საავტომობილო გზები.

აღსანიშნავია აღმოსავლეთ აფრიკის ნაპირის მახლობლად მოზამბიკის სრუტის გადაღმა მდებარე მადაგასკარის კუნძული, რომლის მთელი ტერიტორია

მთებითაა დაფარული და ფართობით მნიშვნელოვნად აღემატება ერთად აღებულს ჩრდილოეთსა და სამხრეთ კავკასიას. ამ კუნძულზე გასული საუკუნის 70-იან წლებში ქართველმა ინჟინრებმა „თბილავტოგზაპროექტიდან“ შეიმუშავეს საავტომობილო გზების ქსელის განვითარების პროექტი რომლის რეალიზაცია მალევე დაიწყო და შედეგად მადაგასკარის საგზაო ქსელი საუკეთესო რეგიონის ქვეყნებს შორის.

მთავორიანია ჩრდილოეთ ამერიკის კონტინენტის მნიშვნელოვანი ნაწილი, განსაკუთრებით მისი დასავლეთ ნაწილი ზედ განლაგებული 4-6 ათასი მ სიმაღლის მწვერვალებით. ეს ტერიტორია მოიცავს: ალასკას, მის სამხრეთით წყნარი ოკეანის გასწვრივ ე.წ. სანაპირო მთების წყებას გადაჭიმულს რამდენიმე ათას კმ-ზე მექსიკის საზღვრამდე, კალიფორნიის ნახევარკუნძულს და მის გაგრძელებაზე მექსიკის ტერიტორიაზე სიერა მადრეს მთების პარალელურად განლაგებულ ქედებს. აშშ-ს აღმოსავლეთით ატლანტიკის ოკეანის ნაპირზე ყურადსადებია აპალაჩები და წმ. ლავრენტის მთები.

აღსანიშნავია, რომ აშშ-ს, კანადისა და მექსიკის ეს უზარმაზარი ტერიტორია დაფარულია საავტომობილო გზების შესანიშნავი ქსელით. იგი ერთეულ ფართზე გზების სიგრძით დასავლეთ ევროპის ანალოგიურ მაჩვენებელს 2-3-ჯერ ჩამორჩება, მაგრამ ტერიტორიით რამდენჯერმე აღემატება დასავლეთ ევროპას.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს სამხრეთ ამერიკის კონტინენტი. მის დასავლეთ ნაწილში, წყნარი ოკეანის გასწვრივ, პანამის ყურიდან ჰორნის კონცხამდე რამდენიმე ათას კილომეტრზეა გაჭიმული ანდებისა და კორდილიერების ქედი 6-7 ათას მ-მდე სიმაღლის მწვერვალებით. მთელ ამ ტერიტორიას წყნარი ოკეანის გასწვრივ მიჰყვება ურთულესი რელიეფის პირობებში გაყვანილი სამხრეთ ამერიკის საავტომობილო მაგისტრალი, რომელიც მაღალმთიან უღელტეხილებზე გამავალი გზებით უკავშირდება მის აღმოსავლეთით მდებარე არგენტინას, ბრაზილიას, ბოლივიას და სხვა ქვეყნებს.

ზემოთ მოყვანილ ტერიტორიაზე ტვირთების და მგზავრების მასიური გადაადგილება ხდება სახმელეთო კომუნიკაციები: რკინისა და საავტომობილო გზებით. გამონაკლისია ზღვებისა და ოკეანეების გასწვრივ მდებარე ტერიტორიები, სადაც გადაზიდვების გარკვეული ნაწილი ხორციელდება საზღვაო ტრანსპორტით. რელიეფისა და კლიმატური პირობების სირთულის გამო საჰაერო ტრანსპორტის გამოყენება მთიან და განსაკუთრებით მაღალმთიან რაიონებში მინიმალურია.

21-ე საუკუნიდან განსაკუთრებით ფართოდ ვრცელდება მილსადენი ტრანსპორტი. ნავთობისა და გაზსადენებითაა გადაკვეთილი ჩრდილოეთ და

სამხრეთ კავკასია, ანატოლია, კარპატები და ა.შ. მიუხედავად ამისა განვითარების ყველაზე მეტი პერსპექტივა მთავორიან რაიონებში რკინისა და საავტომობილო გზებს ეკუთვნის. ზოგიერთ ქვეყანაში მთავორიანი და მაღალმთიანი სატრანსპორტო მომსახურებისათვის ფართოდ იყენებენ ვიწროლიანდაგიან (900-1100 მმ) რკინიგზებს თბომავლებით ან ელექტროწევით. ასეთი ქვეყნებია: ბოლივია, ეკვადორი, ჩილე, პერუ, ინდოეთი, პაკისტანი და ა.შ. ასეთი გადაწყვეტილება გამართლებულია მიწის ვაკისისა და ხელოვნურ ნაგებობათა ზომების სიმცირითა და მკაცრი ზამთრის პირობებში ექსპლუატაციის სიადვილით საავტომობილო გზებთან შედარებით. ამ უკანასკნელი ფაქტორის გამო ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზებს წარმატებით იყენებენ აგრეთვე შვეიცარიის, ავსტრიის და იტალიის სამთო-სათხილამურო კურორტებზე, სადაც ფართოდაა გავრცელებული კომბინირებული გადაზიდვები – ავტომობილების გადაადგილება სარკინიგზო პლატფორმით ქვეყნის ცენტრალური რაიონებიდან სამთო-საკურორტო მაღალმთიან ზონამდე.

ტრანსპორტის ეფექტურობის ამაღლებისათვის სახმელეთო კომუნიკაციების ოპტიმალური შეხამების საუკეთესო მაგალითს იძლევა იაპონია. მისი რთული რელიეფის (მაღალი მთების, ღრმა ხეობების, საზღვაო აკვატორიების ხშირი გადაკვეთა) გეოლოგიის (კლდოვანი და მეწყრიანი მასივების ხშირი მონაცვლეობა) და არახელსაყრელი კლიმატის (ხშირი ინტენსიური წვიმები, ცუნამი, გრიგალისებური ქარები, ნისლი) მიუხედავად ქვეყნის ტერიტორიაზე შესანიშნავად მოქმედებენ ფასიანი ავტომაგისტრალები ალტერნატიული მარშუტებით, საპარკო გზები და დიდი ქალაქების გვერდის ასაქცევი მონაკვეთები, ზეჩქაროსნული და ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზები.

ეროვნული ეკონომიკის სწრაფი განვითარების საუკეთესო საშუალებაა ქვეყანაში ეფექტურად მოქმედი ავტოსაგზაო ინფრასტრუქტურის შექმნა. საქართველოსათვის ეს პროცესი აუცილებლად ეროვნული კადრების გამოყენებით უნდა წარიმართოს, ვინაიდან ამ დროს მშენებლობისა და დაპროექტებისათვის გაწეული ხარჯების დიდესი ნაწილი ქვეყანაში რჩება და ზრდის მის ერთიან ეროვნულ პროექტს. ამის გარდა ადგილობრივ, კვალიფიციურ სპეციალისტებს წარმატებით შეეძლებათ მსოფლიოს ნებისმიერ ქვეყანაში საგზაო სფეროში საპროექტო და საამშენებლო საქმიანობის წარმართვა. მით უმეტეს, რომ ქართველ მეგზვეე ინჟინრებს სხვადასხვა ქვეყნებში საპროექტო და საამშენებლო სამუშაოების შესრულების მრავალწლიანი ტრადიცია გააჩნიათ. მათ მიერაა დაპროექტებული საავტომობილო გზები პამირზე და ჰინდიყუშზე, შუა აზიასა და

ავღანეთში, ირანში, მადაგასკარზე, ანგოლაში, ჩრდილოეთ და დასავლეთ აფრიკაში, ერაყში, სირიაში, კუბაზე და ა.შ.

საქართველო მთაგორიანი ქვეყანაა. მისი ტერიტორიის 80%-ზე მეტი რთული რელიეფით ხასიათდება, რომელიც წარმოდგენილია ძლიერ დასერილი, მთიანი და მაღალმთიანი ზონებით. დასახლებული პუნქტებისა და ინფრასტრუქტურის უდიდესი ნაწილი განლაგებულია ვაკე, დასერილ ადგილებსა და მთისწინეთში (ნახ. 4.1). მთებში და მაღალმთიან ტერიტორიებზე მოსახლეობის 5%-ზე ნაკლებია დარჩენილი. ამ ტერიტორიებზე ინფრასტრუქტურის განვითარება საშუალებას მოგვცემს მნიშვნელოვნად გავზარდოთ ქვეყნის ეკონომიკური პოტენციალი, ავამაღლოთ მოსახლეობის ცხოვრების დონე, განვამტკიცოთ ქვეყნის თავდაცვისუნარიანობა და ტერიტორიული მთლიანობა. თუშეთი, ხევსურეთი, ფშავი, მთიულეთი და ხევი, ზემო რაჭა და ზემო იმერეთი, მთიანი სამეგრელო და აფხაზეთი, სვანეთი, აჭარა გურიისა და სამცხე ჯავახეთის მთიანეთი განვითარების უზარმაზარ პოტენციალს ფლობენ. ამ პოტენციალის რეალიზაცია შესაძლებელია ინფრასტრუქტურის სათანადო განვითარებით, რომლის უპირველესი და უმნიშვნელოვანესი ნაწილია საავტომობილო გზების ქსელი. სწორედ საგზაო ქსელის განვითარებაა საფუძველი ამ რეგიონებისა და მთელი საქართველოს აღორძინებისა და შემდგომი განვითარებისათვის.

მთიან რაიონებში გზების დაპროექტება და მშენებლობა დაკავშირებულია რიგი რთული საკითხების გადაწყვეტასთან.

მთიან პირობებში რელიეფი ხასიათდება მოკლე მანძილზე ნიშნულების მნიშვნელოვანი სხვაობით, მთის ციცაბო ფერდობებით, მდინარეების ღრმა კლაკნილი ხეობებით. ხშირად მთიანი ადგილის გეოლოგიური აგებულება მცირე უბნებზე მკვეთრად იცვლება. მთიანი ფერდობები უმეტეს შემთხვევებში არამდგრადია, გზის მშენებლობამ შეიძლება გამოიწვიოს მათი წონასწორობის დარღვევა, ჩამონგრევა და ჩამოქცევა, მეწყრული პროცესებისა და ქანების ჩამოშლის აქტივიზაცია. არახელსაყრელი პირობების მქონე უბნების შემოვლა თუ შეუძლებელია საჭირო ხდება ძვირადღირებული სპეციალური ღონისძიებების ჩატარება მიწის ვაკისის მდგრადობისა და უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფისათვის. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მთიან რეგიონებში გვირაბების გამოყენებას, რომლებიც მკვეთრად ამცირებენ გზის სიგრძეს, უზრუნველყოფენ შეუფერხებელ მიმოსვლას მთელი წლის განმავლობაში. საქართველოში მთაგორიანი, საზღვრისპირა რეგიონების ხევის, თუშეთის, ხევსურეთის და ა.შ. განვითარება შეუძლებელია გზების მაღალმთიანი საუდელტეხილო მონაკვეთების გვირაბებით შეცვლის გარეშე. ამ

პრობლემის გადაწყვეტის შესანიშნავ მაგალითს იძლევა დასავლეთ ევროპა ალპებსა და პირენეებში გაყვანილი 10-15 კმ სიგრძის გვირაბებით.

მთიან რაიონებში გზების გაყვანისას, მიწის სამუშაოთა მნიშვნელოვანი მოცულობა სრულდება კლდოვან გრუნტებში აფეთქების მეთოდების გამოყენებით. ციცაბო ფერდობების დიდ საგრძნობ მიწის ვაკის აგებენ საყრდენი კედლების გამოყენებით. მთიანი ფერდობების ძლიერ დანაწევრებული რელიეფი თხოულობს დიდი რაოდენობით ხელოვნური ნაგებობების აგებას მრავალრიცხოვან მდინარეებისა და მშრალი ხეობების გადაკვეთაზე. დიდი გრძივი ქანობების გამო, მცირე წყალსაკრები აუზებიდან ნიაღვრის ნაკადებს თან მოაქვს ქვები და ტალახი. საჭიროა სპეციალური ზომების მიღება საგზაო ნაგებობების ნგრევისა და გამორეცხვისაგან დასაცავად.

მთიან ფერდობებზე სამშენებლო სამუშაოთა შესრულების სიძნელე და დიდი ღირებულება გვაიძულებს განვიხილოთ ტრასის გაყვანის სხვადასხვა, მკვეთრად განსხვავებული ვარიანტები, რათა ვიპოვოთ ყველაზე ოპტიმალური გადაწყვეტა.

მთიანი ადგილის სპეციფიკური პირობები იწვევს გზის მშენებლობისას ცალკეული სახის სამუშაოებზე დანახარჯების თანაფარდობის შეცვლას (ცხრ. 4.1).

ცხრილი 4.1

გზის ელემენტები	დანახარჯები სხვადასხვა სამუშაოებზე %-ში ადგილმდებარეობის ტიპის მიხედვით	
	დაბლობი ადგილები	მთაგორიანი
მიწის ვაკისი	15 – 20	45 – 50
საგზაო სამოსი	45 – 50	10 – 15
ხელოვნური ნაგებობები	10	35

მთებში ბუნებრივი პირობები იცვლება მოკლე მანძილზე, ამასთან ერთად მკვეთრად ვლინდება ვერტიკალური ზონალურობა (კლიმატური პირობების შეცვლა ზღვის დონიდან ამაღლებასთან ერთად) და ფერდობების კორიზონტის მხარეების მიმართ განლაგების ანუ ექსპოზიციის გავლენა. ერთი გზის ფარგლებში შედარებით მცირე მანძილზე ბუნებრივი პირობები შეიძლება მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს.

მთებში ყოველ 100 მ სიმაღლეზე ჰაერის ტემპერატურა მცირდება საშუალოდ ნახევარი გრადუსით. ცივი ჰაერი მიედინება ფერდობებიდან ჩაკეტილი ხეობისაკენ. მაღალმთიან რაიონებს ახასიათებს ტემპერატურის მნიშვნელოვანი სადღეღამისო მერყეობა.

სიმაღლის ზრდასთან ერთად კლებულობს ჰაერის წნევა. ჰაერის ტემპერატურის მიხედვით ყოველ 10-17 მ-ზე ჰაერის წნევის დაწევა ვერცხლისწყლის სვეტის 1 მმ დაწევას შეესაბამება.

მაღალმთიან რაიონებში ჰაერის გაუხშობება იწვევს ავტომობილთა ბენზინზე მომუშავე ძრავების სიმძლავრის მკვეთრ შემცირებას საწვავის არასრული წვის გამო. იგი შეადგენს დაახლოებით 10%-ს ყოველ 1000 მ სიმაღლეზე. ნალექების წლიური რაოდენობა მთებში იზრდება ზღვის დონიდან ამადლებასთან ერთად, საშუალოდ 40-60 მმ-ით სიმაღლის ყოველ 1000 და აღწევს მაქსიმალურს ღრუბლების ინტენსიური წარმოქმნის ზონაში. ზაფხულში მთებში ხშირად არის ინტენსიური წვიმები, რომლებიც წლიური ნალექების 15-20% შეადგენენ.

ჩამოთვლილი ბუნებრივი პირობები განსაკუთრებული ყურადღებით უნდა იქნას შესწავლილი და გათვალისწინებული მთებში გზების დაპროექტებისას.

სხვა ტიპის ადგილებისაგან განსხვავებით, მთებში ტრასის ამორჩევა განისაზღვრება უმთავრესად მთის ქედების და მათი ტოტების განლაგებით, რომლებიც წარმოადგენენ მდინარეთა აუზების წყალგამყოფებს.

მთებში გზების ტრასირების თვალსაზრისით, შეიძლება გამოიყოს რელიეფის ოთხი ტიპი: მთისწინეთი, მთის ხეობები, მთის ფერდობები, წყალგამყოფი, უნაგირები და პლატო. თითოეული მათგანისათვის დამახასიათებელია ტრასირების სათანადო ხერხები. მთისწინეთის გზები ამ მხრივ არ განსხვავდება გზებისაგან ბორცვიან ადგილებში.

გზის გადასვლა ერთი აუზიდან მეორეში შესაძლებელია მხოლოდ მთის ქედების დადაბლებებზე – უნაგირაზე. მთიან ადგილებში გზებისათვის ტრასის გაყვანა ხდება მთის მდინარის ხეობის გასწვრივ, სადაც თავმოყრილია დასახლებული პუნქტები, შემდეგ კი მთის კალთებით ზემოთ სათავისაკენ ასვლა უღელტეხილამდე და სხვა მდინარის ხეობაში გადასვლა.

თითოეულ ამ უბანზე გზების ტრასირებას აქვს თავისი მახასიათებელი თავისებურება. პროფ. კ. მჭედლიშვილი სხვადასხვა რელიეფისა და ლანდშაფტისათვის მათ შორის მთავორიანი და ძალზედ დასერილი რელიეფის პირობებისათვის გამოჰყოფს გზის გეგმის სამ და გრძივი პროფილის სამ ტიპს, რომელთა შეხამება განაპირობებს გზის ძირითად სატრანსპორტო-საექსპლუატაციო მახასიათებლებს.

I ტიპი - ცალმხრივ მიმართული გრძივი ქანობები, მონაკვეთები სიგრძით 3 – 15კმ. გვხვდება მთიან და მაღალმთიან ზონებში, როდესაც გზა ხეობიდან მთის ფერდობებით მიემართება უღელტეხილისაკენ. ვერტიკალური მრუდების რადიუსები დიდია, არ ზღუდავს რეჟიმებს.

II ტიპი – აღმართ – დაღმართების მონაცვლეობა, მონაკვეთების სიგრძეა 0,5 – 1,5 კმ დიდი გრძივი ქანობებითა და მცირე რადიუსიანი ვერტიკალური მრუდებით, რომლებიც დიდ გავლენას ახდენენ მოძრაობის რეჟიმზე. გვხვდება ძირითადად მთისა და გარდამავალ (დასერილი რელიეფის) ზონაში.

III ტიპი – მცირე ქანობიანი აღმართ დაღმართის მონაცვლეობა. მონაკვეთების სიგრძე იცვლება ფართო დიაპაზონში. ვერტიკალურ მრუდეთა რადიუსები შედარებით დიდია, მაგრამ ხშირად არასაკმარისია გასწრების პირობიდან უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. ამ მონაკვეთებზე ხშირია საგზაო სატრანსპორტო შემთხვევები (სსშ). ასეთი მონაკვეთები ძირითადად გვხვდება ბარის ზონაში და მთებში მდინარეთა ხეობების ქვედა ნაწილში.

რელიეფისა და ლანდშაფტის თავისებურებანი საშუალებას გვაძლევს გამოვყოთ გზის გეგმის სამი ტიპი:

A ტიპი – ხასიათდება მრავალი მცირე რადიუსიანი $R \leq 200-300$ მ და დიდი მოხვევის კუთხის მრუდებით. ხშირია სერპანტინებიც. მრუდეთა რიცხვი 1 კმ-ზე აჭარბებს 10-12-ს. დამახასიათებელია მთის ზონისათვის. მნიშვნელოვნად ზღუდავს მოძრაობის რეჟიმს.

B ტიპი – მრუდეთა რიცხვი 3-4 1 კმ-ზე, მოხვევის რადიუსი $R \geq 600-800$ მ, მოხვევის კუთხე $\alpha \geq 20-40^\circ$. ხშირია გარდამავალ ან ბარის ზონაში. გვხვდება მაღალმთიან პლატოზეც სამხრეთ კავკასიაში, პამირზე და ა.შ.

C ტიპი – მოსახვევთა რაოდენობა 0,5-1 1 კმ-ზე, $R > 800-1200$ მ. $\alpha \leq 5-20^\circ$ არ ზღუდავს მოძრაობის რეჟიმებს. ახასიათებს ბარის ზონას.

გეგმისა და პოფილის შეხამებათა მიხედვით გამოვყოფთ ტრასების მახასიათებელ ტიპებს I-A - მთიან და მაღალმთიან ზონებშია, მოძრაობის რეჟიმები ძლიერ შეზღუდულია, საგზაო სატრანსპორტო შემთხვევების (სსშ) რაოდენობა შედარებით მცირეა მაგრამ მძიმე შედეგებით გამოირჩევა.

II-A, II-B – მთიან და დასერილი რელიეფის (გარდამავალი ზონის) დამახასიათებელია. მოძრაობის რეჟიმები შეზღუდულია. მხედველობის მცირე მანძილითა და ავტომობილის მდგრადობისათვის არახელაყრელი ტრასის მონაკვეთებით. სსშ რაოდენობა შედარებით I-A-სთან დიდია. განსაკუთრებით იზრდება მაღალი ინტენსივობის პირობებში.

III-A – ახასიათებს მთის ზონებში, მდინარეთა ხეობების ქვედა ნაწილს. შეზღუდულია მხედველობა გეგმაში. სსშ რაოდენობა მცირეა.

III-B – ახასიათებს დაბალი კატეგორიის გზებს ბარის ზონაში. რეჟიმები

შეზღუდვა მინიმალურია. ხშირია სსშ, მათ შორის მძიმე შედეგებით სიჩქარის გადაჭარბების გამო არასაკმარისი მხედველობის პირობებში.

III-C – ახასიათებს ბარის ზონას, მოძრაობის რეჟიმებს ტრასის პარამეტრები არ ზღუდავს. სსშ გამომწვევი ძირითადი მიზეზია სიჩქარის გადაჭარბება და მძღოლის მიერ ყურადღების მოღუნება. თუ გზის სხვა პარამეტრები (ვიწრო გვერდულები, ახლოს მდგარი შენობები, ხეები და ა.შ.) არადაამაკმაყოფილებელია სსშ რაოდენობა განსაკუთრებით დიდია.

4.2. მთის ფერდობების მდგრადობა

მთებში ციცაბო ფერდობებზე კლდოვანი მთის ქანები როგორც წესი გამოდიან ზედაპირზე. მთის კალთების ქვედა ნაწილი კი, დაფარულია მთის ქანების გამოფიტვის პროდუქტებით.

მთებში გზების გაყვანა გვიხდება არ უშუალოდ მტკიცე კლდის ქანებზე, არამედ მათ დამფარავ გამოფიტვის პროდუქტებზე, თიხოვან ან კლდოვან არადაცემენტებულ ქანებზე. ისინი შეიძლება იყოს ალუვიალური დანალექები დარჩენილი ადგილზე, ან დელუვიალური და ალუვიალური დანალექები ფორმირებული გამოფიტვის გადაადგილებული პროდუქტებისაგან.

მთის კალთებზე გამოფიტვის პროცესების განვითარების დონე შეიძლება მიახლოებით შეფასებული იქნას მათი დამფარავი მცენარეული საფარის მიხედვით. ხავსის ნადები დამახასიათებელია გამოფიტვის ზონის გავრცელებისათვის 10–25 სმ სიღრმეზე.

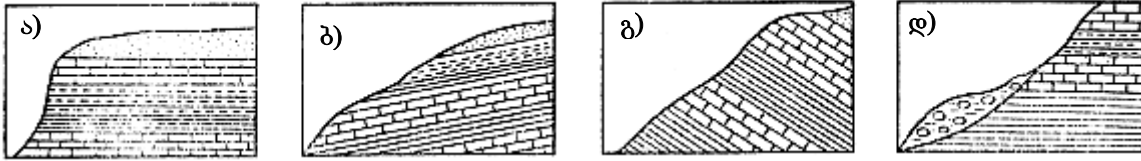
ბალახის მთლიანი საფარი წარმოიქმნება როდესაც გამოფიტვის პროდუქტების სისქე აღწევს 1–1,5 მ. ბუჩქნარების განვითარება მოწმობს გამოფიტვის გავრცელებაზე 1–2 მ. სიღრმეზე.

ფენებად აგებული დანალექი ქანები, ხშირად ჩაწოლილია ნაოჭების სახით, რომლებიც მიმართულია სიმრუდით ქვემოთ (სინკლინალი), ან ზემოთ (ანტიკლინალი). გვხვდება ფენები სხვადასხვა დახრილობით, პორიზონტალურიდან თითქმის ვერტიკალურამდე, აგრეთვე ფენების გაწყვეტა, გადანაცვლება და ჩამოშლა.

კირქვების ან ქვიშაქვების ფენებს შორის შეიძლება იყოს თიხის შუაშრები, რომელთა ტენით გაჯერებისას შესაძლებელია ძვრები, რის შედეგად ზემოთ განლაგებული ფენები ჩამოიშლება მეწყერების სახით.

საავტომობილო გზების განივი პროფილის ზომები როგორც წესი, მთის ფერდობების შემადგენელი ფენების სისქესთან შედარებით მცირეა. ამიტომ

ფენების განლაგების სახესხვაობანი გზის გაყვანასთან დაკავშირებით შეიძლება დაყვანილ იყოს რამდენიმე სქემატიზირებულ ტიპამდე (ნახ. 4.2).



ნახ. 4.2 მთის ფერდობების სტრუქტურა
 ა – ფენების ჰორიზონტალური განლაგება; ბ – ფენების დაქანება
 ფერდობების შიგა მხრიდან; გ – ფენების დახრა ფერდობის
 საწინააღმდეგო მხარეს; დ) შედარებით ახალი ქანების
 მიყრდნობილი განლაგება.

გზის გაყვანისათვის ყველაზე უფრო არახელსაყრელი მდგომარეობაა ფენების ზედაპირის განლაგება დახრილობით ფერდის მხრისკენ. ამ დროს საჭიროა გეოლოგიური პირობების ყურადღებით შეფასება. ბუნებრივ – კლიმატური ფაქტორების ზემოქმედების დონე მთის ფერდობებზე განისაზღვრება მათი ექსპოზიციით ჰორიზონტის მხარეების მიმართ და აგრეთვე დახრილობით, რომელზედაც არის დამოკიდებული მიღებული სითბოს რაოდენობა. სამხრეთისა და სამხრეთ – დასავლეთის ფერდობები კარგად თბება მზით. მათი გამოფიტვა უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს, მათზე უფრო ხშირად წარმოიქმნება ჩამონაშალი, ხდება თოვლის ჩამოზვავება და ღვარცოფი ტოვებს ნარიყს. ასეთი ფერდობები უფრო სწრაფად თავისუფლდება თოვლისაგან და მათზე უფრო იშვიათად შეიმჩნევა გრუნტის წყლების გამოსვლა, იშვიათია მეწყერების წარმოქმნაც.

ჩრდილო და ჩრდილო – აღმოსავლეთ ფერდობებზე თოვლი ზოგჯერ ზაფხულის შუა პერიოდამდე დევს. გამოფიტვის პროცესები ნაკლებად ინტენსიურია, იშვიათია ჩამონაშალი და თოვლის ჩამოზვავება.

ექსპოზიციის შერჩევის საკითხი უნდა გადაწყდეს ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის, ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით. პირველ რიგში საჭიროა ფერდობების გეოლოგიური აგებულებების შესწავლა მათი მდგომარეობის შეფასება. ამის მიხედვით კი პროგნოზირება გზის აგების შემდეგ, გამოფიტვის პროცესების შესაძლო განვითარების შესახებ

გზის მიერ ძირითადი კლდოვანი ქანების გამოსვლების გადაკვეთისას მიწის ვაკისის მდგრადობა უზრუნველყოფილია თუ კლდოვანი მასივი არ არის დანაწევრებული ტექტონიკური ბზარებით.

ყველაზე უფრო საშიშია გზის ჭრილში გაყვანა დანალექ ქანებში, რომელთა ფენები დაქანებულია ფერდობებისაკენ. მათში ჩვეულებრივ არის შუალედური

შრეები თიხის და ფიქალებისაგან, რომლებიც წყლის შეღწევისას კარგავენ ბმულობას. ამან შეიძლება გამოიწვიოს ჩამოჭრილი ფენების გადანაცვლება ან ლოდების გამოცვენა. ფერდობში მიწის ვაკისის შეჭრისას იცვლება ფერდების ბუნებრივი დაძაბული მდგომარეობა, რომელიც ჩამოყალიბდა მისი ხანგრძლივი გეოლოგიური ისტორიის განმავლობაში.

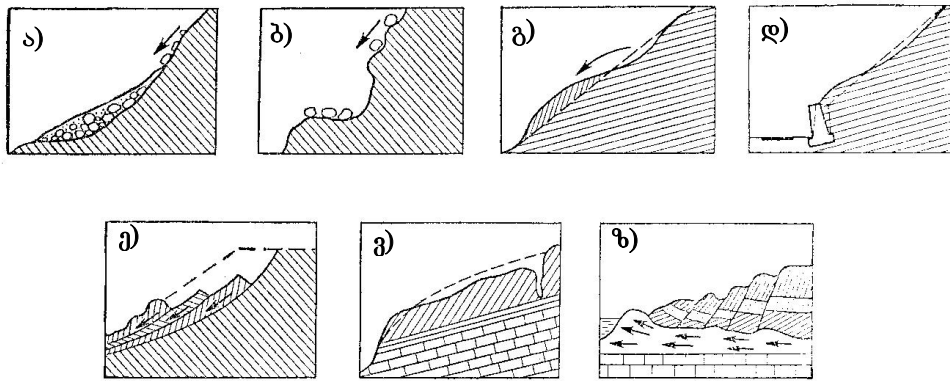
მთის ქანებში შეჭრის კონტურებზე წარმოიქმნება ძაბვათა კონცენტრაცია. ცალკეული შრეების მთლიანობა ირღვევა და ადრე შექმნილი მდგრადობა უზრუნველყოფილი გაგლეჯისადმი წინააღმდეგობის ან დაყრდნობის შედეგად იცვლება მხოლოდ ძვრისადმი წინააღმდეგობით სუსტ შუალედურ შრეებში და ქვეგებულ ფენებთან კონტაქტის ზედაპირზე. ზოგიერთ შემთხვევაში გაშიშვლებული შრეები, რომლებიც ადრე დაფარული იყო უფრო მდგრადი ქანებით, იწყებენ სწრაფად გამოფიტვას. განსაკუთრებით ადვილად იფიტებიან თიხოვანი ფიქალები, რომლებიც ფართოდაა გავრცელებული საქართველოს დასავლეთსა და აღმოსავლეთ რაიონებში. მათი დაცვისათვის საჭიროა ფერდობებს მიეცეს მცირე დახრილობა, რაც გამოფიტულ ზედა ფენაში ხელს შეუწყობს მათზე მცენარეული საფარის წარმოშობას. კარგია თუ გაშიშვლებული ფერდობი დაიფარება ბეტონის შემოსი კედლით.

ამოფრქვეული ქანები უფრო მტკიცენი არიან და ინარჩუნებენ თავიანთ სიმტკიცეს ფერდობებზე ფენების ნებისმიერი მიმართულების დროს. მაგრამ ვინაიდან ზედაპირულ შრეებში ისინი ყოველთვის მეტნაკლებად დაბზარულია გამოფიტვისა და ტექტონიკური პროცესების შედეგად, საჭიროა მოველოდეთ ბზარებით გამოყოფილი ცალკეული მასივების მდგრადობის დაკარგვას.

გამოფიტვის პროცესების აქტივიზაციასა და განვითარებას ხელს უწყობს კლდეზე სამუშაოთა წარმოება აფეთქებით, დიდი სიმძლავრის თავმოყრილი მუხტების გამოყენებით. მათი მოქმედება არ შემოსისაზღვრება დანგრევის ხილვადი ზონით, ძირეული ქანების მასივში დიდ სიღრმეზე ვრცელდება ბზარების ქსელი ამის შემდეგ, ჭრილების ფერდობები მტკიცე კლდოვან ქანებშიც ინტენსიურად იფიტებიან. ამიტომ, ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებული ფერდობების დახრილობა საჭიროა დაზუსტდეს ძიების პროცესში ფერდობზე ფენების განლაგების შესაბამისად.

ფერდობების დეფორმაციის სახეობანი, რომელიც ხშირად გვხვდება პრაქტიკაში შეიძლება დაყვანილ იქნას რიგ ტიპურ შემთხვევამდე. პროფ. ნ. მასლოვის მიერ შემოთავაზებული სქემის მიხედვით შეიძლება გამოვყოთ მთის კალთებისა და ფერდობების მდგომარეობის დაირღვევის ძირითადი ფორმები (ნახ.

4.3). ციცაბო ფერდობებიდან გამოფიტვის პროდუქტების ჩამოშლა, რომლებიც წარმოქმნილია კლიმატური ფაქტორების ცვლადი მოქმედების შედეგად (გათბობა – გაცივება, წყლის შეღწევა ნაპრალებში, გაყინვა, დატენიანება – გამრობა); ცალკეული ქანებისა და ნატეხების ჩამოქცევა და ჩამოყრა ციცაბო ფლატე უბნებიდან კლდის ქანებში ძლიერი დაბზარულობით (ქვაცვენა) ნალექების გადამეტენიანების შედეგად გრუნტის ფერდობიდან შედარებით თხელი ზედაპირული ფენების ჩამორეცხვა (ღვარცოფი); თიხოვანი კალთების ნელი ტემპით დამეწყვრა, რომელიც მიმდინარეობს რამდენიმე სანტიმეტრის სიჩქარით წელიწადში. შედეგად საყრდენი კედლები ათეულ წლობით მუშაობის შემდეგ მოულოდნელად ინგრევა. ასეთი ფერდობების მიწის ვაკისით დატვირთვისას ან ზედაპირული წყალსარინის დარღვევისას, დეფორმაციის სიჩქარე მატულობს, ხოლო ნელად მიმდინარე ძვრები შეიძლება ჩამოქცევაში გადავიდეს.



ნახ. 4.3. ფერდობების მდგრადობის დარღვევისა და დეფორმაციის ფორმები
 ა – ჩამოქცევა; ბ – ქვის ცვენა; გ – ფერდის ჩამოცურება; დ – თიხოვანი
 ფერდების პლასტიური დინება; ე – დამეწყვრა, ძვრის მრუდხაზოვანი
 ზედაპირის წარმოქმნით; ვ – დამეწყვრა ფიქსირებული ძვრის ზედაპირზე;
 ზ – პლასტიური ფენების გამოწურვით გამოწვეული დაშლა

ერთგვაროვანი გრუნტის მასივის სისქის ნაწილის ჩამოქცევა შესაძლებელია ფერდის ზემოეტი დახრილობისაგან. შესაძლებელია აგრეთვე გრუნტის ნაწილის გადანაცვლება ქვედა ფენებთან კონტაქტის ზონაში შეჭიდულობის დაკარგვის შედეგად. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს ქვედა ფენების ჭარბტენიანობა, როდესაც მისი ზედაპირი დახრილია.

შესაძლებელია გრუნტის მასივის ჩამოქცევა ვერტიკალური ბზარის წარმოქმნით და გამოყოფილი ბლოკის გვერდით გადანაცვლებით. მცირე ზიდვის უნარის მქონე ქვედა ფენის გრუნტების გამოღვევის შედეგად (დარბილებული თიხა ან მცურავი ქვიშები).

ჩამოთვლილი მაგალითები მოიცავენ ფერდობების მდგრადობის დარღვევის ყველა შესაძლებელ შემთხვევას წმინდა სახით. ბუნებაში კი ყოველი დეფორმაცია

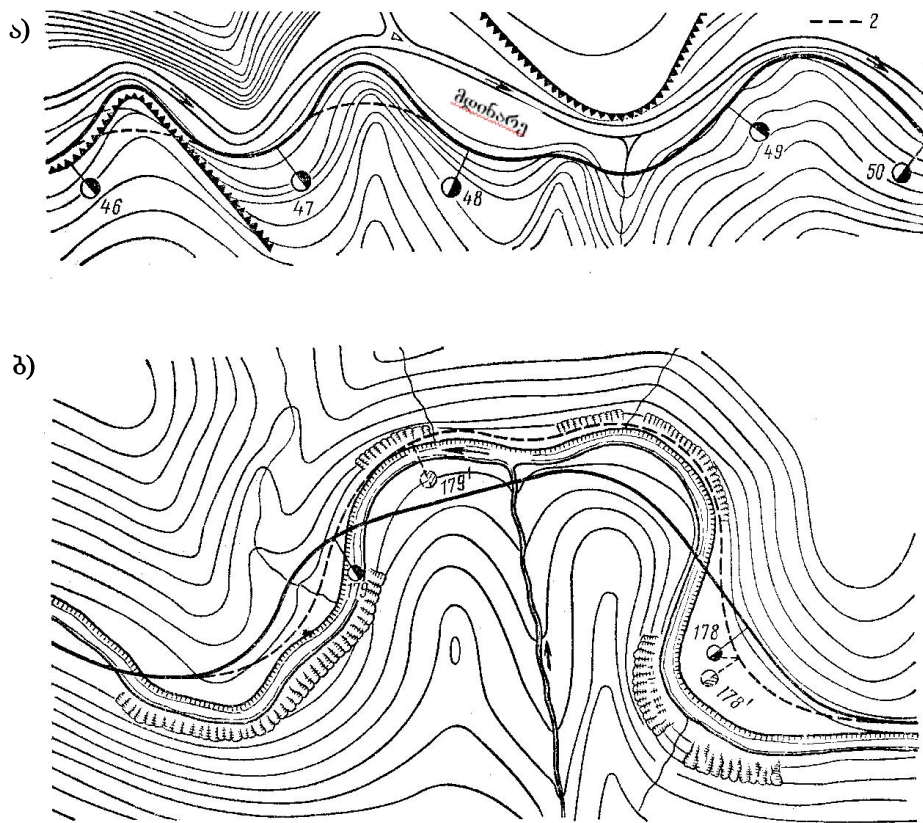
მისი რამდენიმე ფორმის ერთობლივ გამოვლინებას წარმოადგენს. ეს ძალიან ართულებს ფერდობების მდგრადობას უზრუნველყოფისათვის ღონისძიებათა შემუშავებას, საჭიროებს ადგილობრივი პირობების ყურადღებით შესწავლას, მდგრადობის დარღვევის მიზეზების გულდასმით გაანალიზებას.

4.3. გზის გაყვანა მთის მდინარეთა ხეობებში

გზების ტრასირება მთის მდინარეთა ხეობებში დამოკიდებულია მდინარეთა ფსკერის დახრილობაზე, იგი ჩვეულებრივ ნაკლებია მთებში გზებზე დაშვებულ გრძივ ქანობებზე. მხოლოდ მდინარეების სათავეებში, სადაც მდინარის გრძივი ქანობების სიდიდეები აჭარბებენ გზაზე დასაშვებ მაქსიმალურს, ხდება გზის გადასვლა ხეობიდან უღელტეხილის უბანზე.

მთის მდინარეებში წყლის დინების დიდი სიჩქარე იწვევს ხეობების ძირისა და კალთების მნიშვნელოვან გამორეცხვას. მთის მდინარეებს, ჩვეულებრივ აქვთ მოარული კალაპოტი, ამიტომ მათ ნაპირებზე გზების გაყვანისას ხშირად საჭიროა გასამაგრებელი სამუშაოების ჩატარება. ხეობაში გატარებისას გზის ტრასის მიმართულება გეგმაში განისაზღვრება მდინარის ხეობის კალთების კლაკნილობით, მასში ჩამავალი შენაკადებით, კალთების არამდგრადი უბნებით და კლდოვანი შეერილების არსებობით. ისინი საჭიროებენ შემოვლას, ღრმა ჭრილებით ან მოკლე გვირაბებით გავლას ან გზის გადატანა მდინარის მეორე ნაპირზე (ნახ. 4.4). ტრასის გადანაცვლების შეზღუდული შესაძლებლობის გამო ხეობის სველებს მიაკუთვნებენ „გეგმაში შეზღუდულ“ კატეგორიას. როგორც უკვე აღვნიშნეთ მდინარის ხეობებში გამვლელი გზებისათვის დამახასიათებელია მცირე რადიუსის მრუდების დიდი რაოდენობა გეგმაში, ხიდების დიდი რაოდენობა გვერდით შენაკადებზე, გამონატანის კონუსების დაღეჭვის ზონაში გადაკვეთით. ასეთი მონაკვეთის ტიპური მაგალითია საქართველოს სამხედრო გზა ჟინვალიდან მცხეთამდე. მდინარის ხეობაში გზის მშენებლობისას გვიხდება მიწის სამუშაოთა დიდი მოცულობის შესრულება, საყრდენი და გასამაგრებელი კედლების მოწყობა და, ბოლოს სპეციალური ნაგებობების ამოყვანა თოვლის ზეგებისა და ქვათაცვენისაგან დაცვის მიზნით.

საჭიროა გათვალისწინებული მთის მდინარეების ჰიდროლოგიური თავისებურებანი: დინების დიდი სიჩქარეები (წყალმარჩხობისას 1,5-4 მ/წ. წყალმოვარდნისას 8-10 მ/წ. ხარჯების დიდი მერყეობა წყალმარჩხობისას და წყალმოვარდნისას, სიღრმის მკვეთრი ცვალებადობა (0,25-0,5) მ წყალმარჩხობისას და ღონის 3-4 მ სწრაფი და მაღალი აწევა წყალმოვარდნისას).



ნახ. 4.4. მდინარის ხეობაში გაყვანილი გზის გეგმა
 ა - გზა მიჰყვება მდინარის ერთ ნაპირს; ბ - რთულ უბანზე გადადის
 მეორე ნაპირზე 1, 2 - ტრასის ვარიანტები

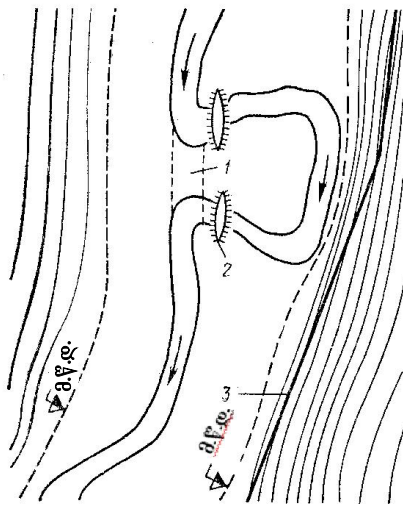
ხეობაში გამავალი გზა სასურველია ყოველთვის განლაგებული იყოს მდინარეებში წყლის მაქსიმალურ ჰორიზონტზე მაღლა, რათა ავიცილოთ მიწის ვაკისის გამორეცხვის შესაძლებლობა. ვიწრო, ძლიერ ციცაბო კლდის კალთებიან ხეობაში მიწის ვაკისი განლაგება ზოგჯერ ხდება მდინარესთან ძალიან ახლოს. ამ შემთხვევაში მიწის ვაკისის მდინარის მხრისგან ფერდობს ემუქრება გამორეცხვის საშიშროება და საჭიროა მისი საიმედოდ გამაგრება. რიგ შემთხვევებში შესაძლებელია მდინარის კალაპოტის გასწორება (ნახ. 4.5).

რკინიგზისა და საავტომობილო გზების მშენებლობის პრაქტიკაში შემუშავებულია მიწის ვაკისის გამაგრების მრავალი ხერხი:

კლდოვან საფუძველ ქანებზე ნაპირების გასამაგრებელი საყრდენი კედლების ამოყვანა;

გამორეცხვის საწინააღმდეგოდ, ფერდობის ქვით ან ბეტონით შემოსვა რომელიც ეყრდნობა ჩაღრმავებულ საძირკველს (კბილს);

ფერდობზე ბეტონის ბლოკების ან ფილების დალაგება, რომელიც გამორეცხვისას ძირს ეშვებიან;



ნახ. 4.5. კალაპოტის გასწორება მიწის ვაკისის წარცხვის
თავიდან ასაცილებლად:
1 – გასწორებული კალაპოტი; 2 – დამბა; 3 – გზის ტრასა

ფერდობზე ფიგურული ბეტონის ელემენტების ჩაწყობა (ტეტრაპოდების, ტეტრაედრების და ა.შ.); რომლებიც ჩაჭიდებულია ერთმანეთთან და გამორეცხვისას ძირს ეშვებიან.

ერთმანეთთან გადაბმული ბლოკებისაგან შემდგარი ბეტონის ლეიბების გამოყენება, რომლებიც გამორეცხვისას ძირს ეშვებიან.

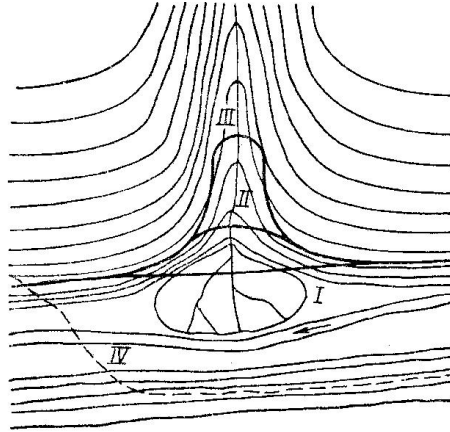
წყლის გრძივი დინების სიჩქარის შემცირების მიზნით, გზის გასწვრივ აწყობენ სხვადასხვა სახის ბეტონის დეზებს. საჭიროა გვახსოვდეს, რომ წყლის ნაკადის გადაწევის შედეგად დეზებმა შეიძლება გაააქტიურონ მოპირდაპირე ნაპირის გამორეცხვის პროცესი.

ტრასის მდგომარეობის შერჩევისას შესწავლილი უნდა იყოს ხეობების ფერდობების გეოლოგიური აგებულება, გადასაკვეთი წყალსადინარების რეჟიმი და თოვლის ჩამოხვევების შესაძლებლობა. არახელსაყრელ გეოლოგიურ პირობებში ფერდობების მნიშვნელოვანი დახრილობისას მეწყერული უბნების ჩამონაშალების და ღვარცოფ საშიში ნარიყიანი დარტაფების შემოვლის მიზნით ტრასა გადააქვთ ხეობის ერთი მხრიდან მეორეზე. ტრასის სიმდოვრისათვის მდინარეს ხშირად კვეთენ მცირე კუთხით, ცილინდრული კვეთის საყრდენებზე ირიბი ხიდების მოწყობით.

მიწის, განსაკუთრებით კლდოვანი სამუშაოების მოცულობის შემცირების მიზნით, ტრასა გაჰყავთ ფერდობების ყველაზე უფრო ნაკლებად დამრეც ადგილზე, ხეობის ძირითადი მოსახვევების მიყოლით.

თუ გზა გაჰყავთ მდინარის გასწვრივ წყალსადინარების გადაკვეთა, რომლებიც ერთვიან მდინარეს, შესაძლებელია ტრასირების შემდეგი ვარიანტებით (ნახ. 4.6).

წყალსადინარის გადაკვეთა მისი მდინარესთან შერთვის ახლოს, ნარიყის კონუსზე (ხაზი 1, ნახ. 4.6) ეს ვარიანტი მოუხერხებელია იმით, რომ ნარიყის კონუსის ფარგლებში წყალსადინარი, ჩვეულებრივ იყოფა რამდენიმე მოხეტიალე კალაპოტად, რომლებიც იცვლიან თავის მდებარეობას.



ნახ. 4.6. წყალსადინარის გადაკვეთის ვარიანტები მდინარის ხეობაში ტრასირებისას

თუ არსებულ კალაპოტებს დაეფარავთ ხიდებით, რამდენიმე ხნის შემდეგ ხიდების ერთი ნაწილის ხვრეტი იწყებს ამოვსებას ნარიყით, ხოლო მეორე ნაწილი ირეცხება, რამაც შეიძლება დაანგრიოს მიწის ვაკის დაცავი მიმართველი კაპიტალური ჯებირებიც კი, ასეთი გადაწყვეტილება არაეფექტურია დიდი სიჩქარის ნაკადის ზემოქმედებისას. ამიტომ, ნარიყის კონუსების გადაკვეთაზე აგებენ მრავალმალიან ხიდებს, ღრმა საყრდენებზე რომლებსაც არ ეშინიათ გამორეცხვისა, მიუხედავად იმისა, რომ მალეების ნაწილი ამოვსებული იქნება ნარიყით;

წყალსადინარის გადაკვეთა ნარიყი კონუსის ზემოთ მისი ტრანზიტული ზონის ფარგლებში სადაც წყალსადინარის დახრილობა დიდია და ნარიყის დალექვა არ ხდება (ხაზი II). ტრასის დაგრძელებისა და დიდი ხიდის მრუდზე აგების საჭიროების მიუხედავად, ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ტრასირება საკმაოდ დიდი რადიუსებით, რაც მოხერხებულია ავტომობილების მოძრაობისათვის;

გვერდით ხეობაში ღრმა შესვლა ხელოვნური ნაგებობათა სიდიდისა და მიწის სამუშაოთა მოცულობის შემცირების მიზნით (ხაზი III). ამ შემთხვევაში მიწის სამუშაოთა მოცულობები მცირდება ავტომობილების მოძრაობის პირობების მნიშვნელოვანი გაუარესების ხარჯზე. ეს გამოწვეულია გარბენის მანძილის გაზრდითა და მცირე რადიუსების მრუდების გამო ვიწრო ხეობაში გადებული ხიდის შესასვლელელებზე;

ტრასის გადატანა ხეობის მეორე ნაპირზე (ხაზი IV). საჭირო ხდება ორი ხიდის აგება, ეს გამართლებულია თუ გადასაკვეთ მდინარეზე მოსალოდნელია ინტენსიური დვარცოფული ნარიყი და ხეობას აქვს არამდგრადი ფერდობები.

ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის საუკეთესო გადაწყვეტა შეიძლება მოიძებნოს მხოლოდ ბუნებრივი პირობების გულდასმით ანალიზისა და ვარიანტების ტექნიკურ-ეკონომიური შედარების საფუძველზე.

მდინარის ხეობის კალთებზე ტრასირებისას ფერდობის დახრილობის ყოველ დამახასიათებელ ადგილზე და ტრასის საპლიუსო წერტილებში იღებენ განივ პროფილებს, რომლებზედაც შემდეგში გამოხაზავენ მიწის ვაკისის განივკვეთებს რათა დახუსტდეს საპროექტო ხაზის მდებარეობა და განისაზღვროს მიწის სამუშაოთა მოცულობა.

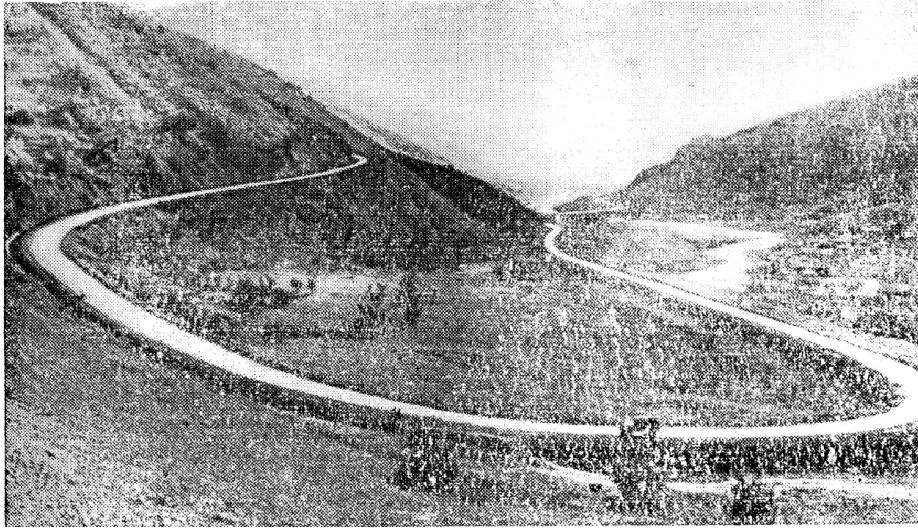
მთის ფერდობებზე განივ პროფილებს ჩვეულებრივ იღებდნენ ვატერპასების საშუალებით. ხოლო კლდის ციცაბო ფერდობებზე, სადაც ვატერპასის გამოყენება შეუძლებელია გადაღებას აწარმოებდნენ ოპტიკური თეოდოლიტის საშუალებით, ფერდობების დამახასიათებელი წერტილების მონიშვნით, მაგრამ ფერდობის დაწვრილებითი დამახასიათებელი წერტილები მიღებისათვის პროფილების გადაღება უფრო დიდი წარმატებით შეიძლება შესრულდეს თანამედროვე ელექტრონული გეოდეზიური ხელსაწყოებით მაგ. ლაზერული ტახეოგრაფით, ელექტრონიკული და ა.შ. რომლებიც შეგროვილ ინფორმაციას პირდაპირ აწვდიან კომპიუტერს, რაც ძალზედ ამარტივებს და აიოლებს კვლევა ძიებისას მიღებული მონაცემების დამუშავებას.

ციცაბო მთის კალთების გადაღებისას და სიმაღლეების დიდი სხვაობისას, ელექტრონული ხელსაწყოებით გადაღების მეთოდს აქვს სხვა უპირატესობაც გადაღებების ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით. საშუალება გვქვია დაწვრილებითი ანალიზი გაუკეთოთ ადგილობრივ პირობებს პორიზონტალებიანი გეგმის კომპიუტერული მოდელით დავუმატოთ ადრე გამორჩენილი ან საჭიროდ მიჩნეული დამახასიათებელი წერტილები.

4.4. ტრასის განვითარება ფერდობებზე და საუღელტეხილო გზები

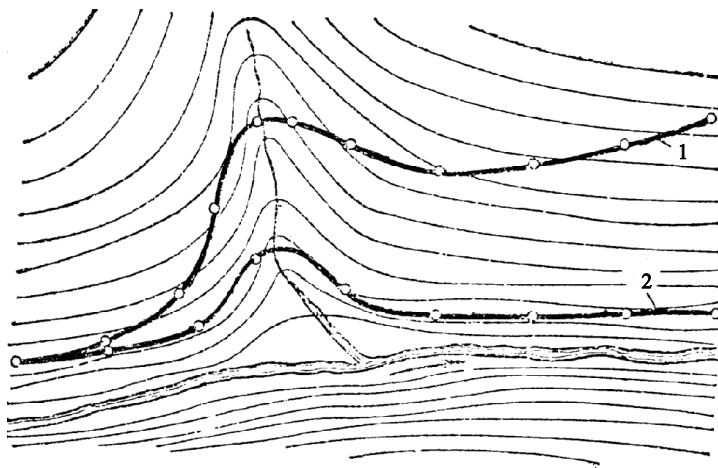
ხეობებიდან საუღელტეხილო უბნებზე (ნახ. 7.7), გარდამავალ მონაკვეთებზე რელიეფს აქვს დიდი გრძივი ქანობები, რომლებიც აღმატებიან საავტომობილო გზებზე დასაშვებს.

ტრასის გაყვანისათვის საჭირო ხდება მის სიგრძის ხელოვნურად დაგრძელება (ტრასის განვითარება). გვერდით ხეობებში შესვლით ტრასის განვითარებისაგან



ნახ. 4.7 გზის გადასვლა ხეობიდან უღელტეხილისაკენ

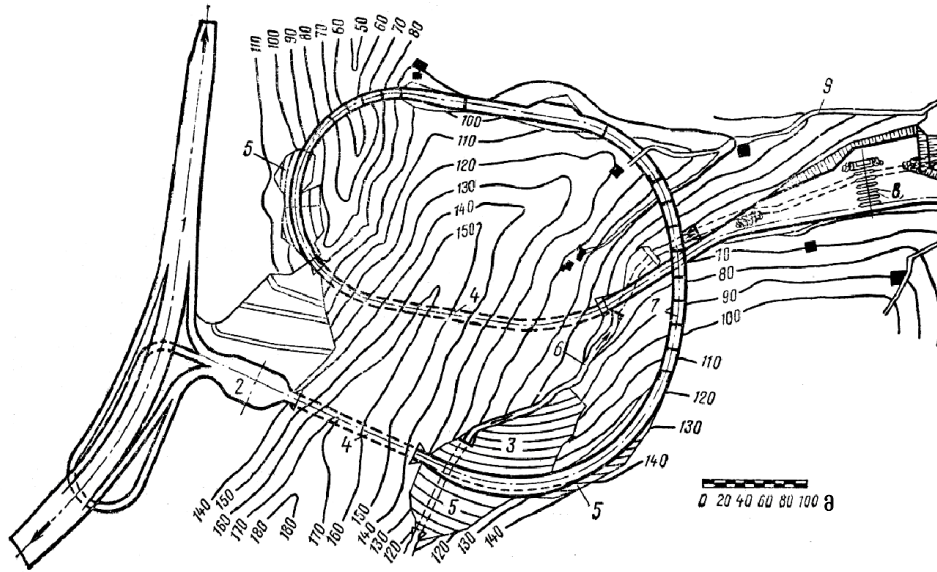
განსხვავებით გზა გაჰყავთ მაქსიმალურთან მიახლოებული გრძივი ქანობებით, სიმაღლის აღების ყოველი შესაძლებლობის გამოყენებით (ნახ. 4.8). შეიძლება გამოვიყენოთ ტრასის განვითარების უფრო რთული საშუალებებიც, როგორცაა მაგ. საავტომობილო მაგისტრალის გაყვანა სპირალურად გვირაბებით და ესტოკადებით (ნახ. 4.9). აღპებში გაყვანილი გზის მაგალითი გვიჩვენებს, რომ შესაძლებელია საჰაერო ხაზის საწყისს და ბოლო წერტილებს შორის 500 მ. მანძილზე გადაილახოს ნიშნულების სხვაობა 80 მ.



ნახ. 4.8. ტრასის განვითარება მიმდებარე ხევში შესვლით
1 – ტრასირება ხევში შესვლით; 2 – ტრასირება მდინარის ხეობის გასწვრივ

უღელტეხილთან მისასვლელი ხასიათდება მნიშვნელოვანი გრძივი ქანობებით, მრუდების დიდი რიცხვით, შებრუნებული მრუდებით, სერპანტინებით და დიდი მოცულობის კლდის სამუშაოებით. მაინც ხშირად საჭირო ხდება სპეციალური საინჟინრო ნაგებობების – თოვლდამცავი გალერეებისა და გვირაბების მოწყობა.

თვით უღელტეხილებს და მთის პლატოს აქვთ შედარებით მშვიდი რელიეფი და ნაკლები ქანობი ვიდრე მათთან მისასვლელელებზე.



ნახ. 4.9. ტრასის განვითარება სპირალით (იტალია)

- 1 – საავტომობილო მაგისტრალი; 2 – სამზერი მოედანი; 3 – ყრილების ფერდობები; 4 – გზის მონაკვეთები გვირაბში; 5 – ჭრილების ფერდობები; 6 – ნაკადური შეყვანილი კოლექტორში; 7 – ესტოკადები; 8 – გზაზე გავლის ღირებულების გადასახდელი საღაროები; 9 – საქვეითო ბილიკი

უღელტეხილთა უბნებზე უფრო მკვეთრად ვლინდება მაღალმთიანი რაიონების კლიმატური თავისებურებანი. დაპროექტების დაწყებამდე დადგენილ უნდა იქნას თოვლის ხაზისა და მყინვარების დონეები და მათი დაწვევის ვადები, მდგრადი ნისლის ადგილები და სხვა მახასიათებლები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ დაწინააღმდეგოთ საგვირაბო ვარიანტების მიზანშეწონილი სიმაღლე, განვსაზღვროთ აგრეთვე მომავალი გზის სატრანსპორტო თვისებები მაღალმთიან პირობებში საავტომობილო ძრავების მუშაობის თავისებურებების გათვალისწინებით.

ქართული მეცნიერების აკად. რ. დვალისა და აკად. ვ. მახალდიანის ხელმძღვანელობით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტში წლების განმავლობაში მიმდინარეობდა ავტომობილების მთიან და მაღალმთიან პირობებში ექსპლუატაციის თავისებურებათა შესწავლა. ამ გამოკვლევათა შედეგები ფართოდ გამოიყენება გზების დაპროექტების პროცესში. რ. დვალისა და ვ. მახალდიანის მონაცემებით ბენზინზე მომუშავე ძრავების სიმძლავრე დამოკიდებულია ჰაერის სიმკვრივეზე. საწვავი ნარევის შედგენილობა ხასიათდება ნამდვილად გამოყენებული ჟანგბადის რაოდენობის ფარდობით თეორიულად საჭირო რაოდენობასთან (ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი). საავტომობილო ძრავები ჩვეულებრივ მუშაობენ ნარევებზე, რომელთა ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტი 0,8–1,2 ფარგლებში. დიდ სიმაღლეზე ჰაერის სიმკვრივე

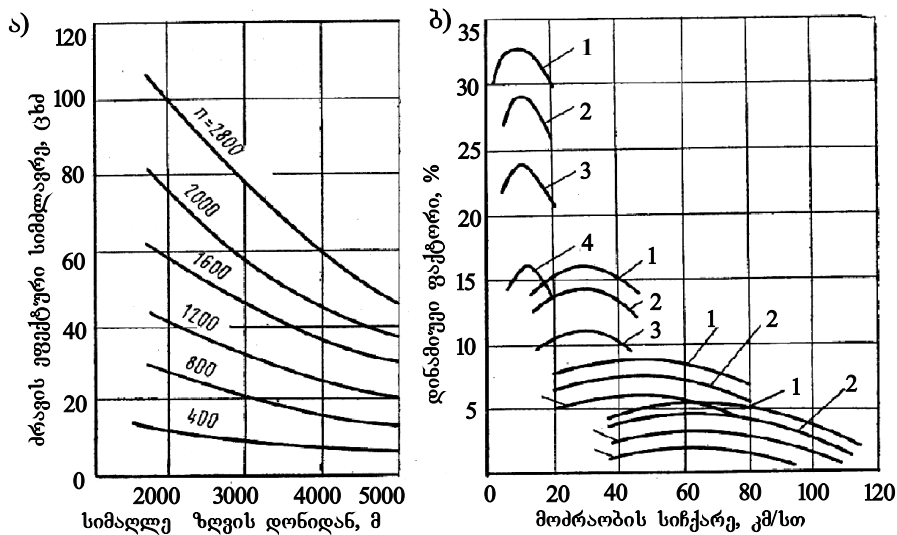
კლებულობს და ამის შედეგად ძრავების შევსება მცირდება. ეს იწვევს ძრავების სიმძლავრის დაქვეითებას, როგორც ცილინდრებში მოხვედრილი ჟანგბადისა და საწვავის შემცირების გამო.

ძრავების მუშაობაზე ასევე გავლენას ახდენს მათი გაგრილების გაუარესება წყლის დუდილის ტემპერატურის შემცირების გამო. ბენზინზე მომუშავე ძრავით ავტომობილების გამოყენების ეფექტურობის მაჩვენებლები უარესდება ზღვის დონიდან ყოველ ათას მეტრზე ასვლისას (ცხრ. 4.2).

ცხრილი 4.2

სიმაღლე ზღვის დონიდან	ძრავის ეფექტური სიმძლავრის შემცირება %-ში	საწვავის ხარჯის გაზრდა %	გადაზიდვითა წარმოებლობის შემცირება %
1000	11,3	9,0	17
2000	21,5	24,5	35
3000	30,8	34,0	50
4000	39,2	38,1	70
5000	46,7	40,0	85

როდესაც გადაზიდვებს ვაწარმოებთ, 2000 მ-ზე მეტ სიმაღლეზე საჭიროა მხედველობაში ვიქონიოთ ძრავების სიმძლავრის დაქვეითება (ნახ. 4.10). ამიტომ, მაღალმთიან ადგილებში გზების დაპროექტებისას საუფელტეხილო უბნებისათვის ზღვრული ქანობი მიზანშეწონილია დაინიშნოს 1–2% – ნაკლები, ვიდრე ტრასის უბნებისათვის, ზღვის დონიდან მცირე სიმაღლეებზე.



ნახ. 4.10. ავტომობილების დინამიური თვისებების ცვლილება ზღვის დონიდან სიმაღლის ზრდის გამო

- ა – ძრავის გარე სიჩქარული მახასიათებლის ცვლილება;
- ბ – ავტომობილის დინამიური მახასიათებლების ცვლილება;
- 1 – ზღვის დონეზე; 2 – 2000 მ ზღვის დონიდან; 3 – 3000 მ; 4 – 4000 მ

გზების დაპროექტებისას აუცილებელია მაღალმთიანობის სხვა პარამეტრების გათვალისწინებაც, მაგალითად, უღელტეხილის სიმაღლის შერჩევაზე დიდ გავლენას ახდენს მყინვარებისა და მუდმივი თოვლის ხაზის დაწვეის დონე. ალპებში იგი შეადგენს დაახლოებით 2200 მ-ს. კავკასიონზე 3000-ს, პამირზე 5000 მ-ს. შესაბამისად კავკასიის გზებზე ყველაზე მაღალმთიანი უღელტეხილები განლაგებულია 2500 – 2800 მ სიმაღლეზე. პამირის ტრაქტზე კი (ოშ - ხოროგი) უღელტეხილი აკ ბაიტალი მდებარეობს ზღვის დონიდან 4400 მ. მასზე ავტომობილის დინამიური ფაქტორი შეადგენს მხოლოდ 44% ნომინალურიდან.

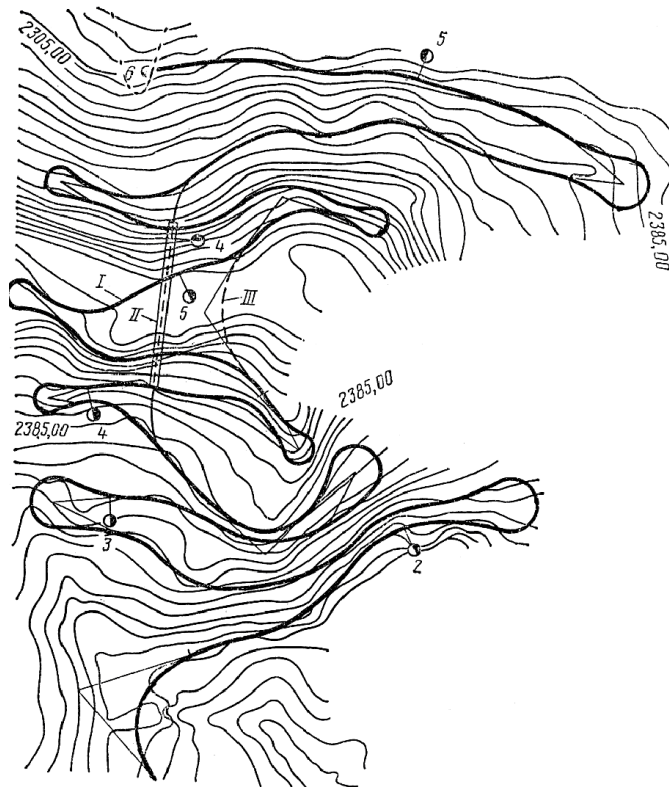
მთის ქედების გადაკვეთისათვის ირჩევენ უმცირესი სიმაღლის უღელტეხილებს, რომლებიც ტრასის მოცემულ მიმართულებასთან ახლოს არიან განლაგებული და აქვთ მოხერხებული მისადგომები, რაც ხელს უწყობს ტრასის განვითარებას. შეუსწავლელ რაიონებში საუღელტეხილო უბნის დადგენისათვის ადრე რეკონსტრუქციას აწარმოებდნენ ბარომეტრული ნოველირების დახმარებით იკვლევდნენ არსებულ სასაპალნე და საცალფეხო ბილიკებს. ნაკლებშესწავლილ ადგილებში ვერტმფრენიდან ათვალეირებდნენ ადგილს იყენებდნენ აეროფოტოგადაღებასა და რადიონიველირებას.

ამჟამად ადგილმდებარეობის წინასწარი გაცნობისათვის (რეკონსტრუქცია) წარმატებით გამოიყენება სატელიტური სისტემებიდან მიღებული ვიზუალური ინფორმაცია, რომელიც ინტერნეტის საშუალებითაა ხელმისაწვდომი, ხოლო უფრო დაწვრილებითი გამოსახულების მოძიება შესაძლებელია სპეციალიზირებულ კარტოგრაფიულ დაწესებულებებში მათი ელექტრონული ვერსიების სახით.

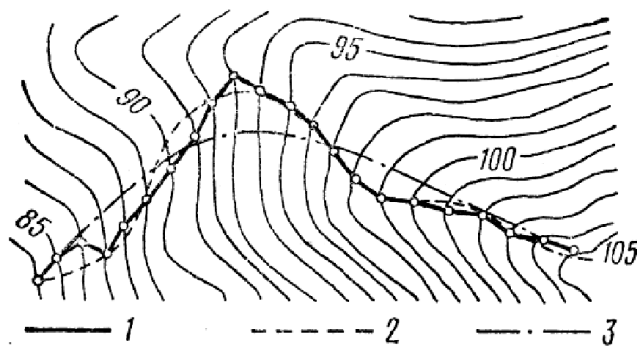
საუღელტეხილო სვლის ძირითადი თავისებურებაა ტრასის ხელოვნური დაგრძელების აუცილებლობა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ ადგილის დახრილობა უმოკლესი პირდაპირი მიმართულებით მნიშვნელოვნად აღემატება მოცემულ ზღვრულ ქანობს (ნახ. 4.11).

ტრასის განვითარებისას იყენებენ ზღვრულ, არამედ უფრო ნაკლებ ქანობს, რომელსაც უწოდებენ სახელმძღვანელოს. მას იღებენ ზღვრულზე 10–15-ით ნაკლებს, ითვალისწინებენ რა საბოლოო ტრასირებისას ტრასის სიგრძის შემდგომ შემცირებას, გეგმაში მცირე გადატეხების გასწორების, მოხვევის კუთხეებში მრუდეების ჩაწერის და მცირე რადიუსის მრუდებზე ზღვრული ქანობების შემცირების გამო. რამდენადაც უფრო რთულია მთიანი ფერდობის რელიეფი და მეტია მოთხოვნა ტრასის სიმდოვრის მიმართ, მით მეტად უნდა შემცირდეს მოცემულ ქანობის სიდიდე (ნახ. 4.12).

საუღელტეხილო უბნებზე ტრასირებას მუდამ აწარმოებენ უღელტეხილიდან ხეობისაკენ. ფერდობის ზედა ნაწილში უღელტეხილისა და ხეობის სათავეს შორის



ნახ. 4.11. საუღელტეხილო ტრასის ვარიანტები
 I – ტრასის განვითარება სერპანტინებით; II – გვირაბის მოწყობით; III – ღრმა ჭრილის მოწყობით



ნახ. 4.12. ტრასირება ჰორიზონტალებიან გეგმაზე მოცემული ქანობით გაყვანილი ხაზის მიხედვით.
 1 – მოცემული ქანობის ხაზი; 2 – მოცემულ ქანობთან მაქსიმალურად მიახლოებული მცირე რადიუსიანი მრუდებით;
 3 – ტრასის განვითარება მდორე ხაზით

ტრასას ავითარებენ ზიგზაგებად, მაქსიმალურად დასაშვები ქანობებით მისი გაყვანით, კუთხეების წვეროებში სერპანტინების მოწყობით (ნახ. 4.13).

მთებში სამუშაოს სირთულის გამო მიზანშეწონილია, თავდაპირველად ტრასა შეირჩეს სატელიტური სისტემებიდან მიღებული მასალების ან მსხვილმასშტაბიანი ჰორიზონტალებიანი გეგმის საშუალებით.

ადგილის გეოლოგიური აგებულების ანალიზის საფუძველზე ტრასის განვითარებისათვის ირჩევენ ყველაზე ნაკლებად დამრეც და მდგრად კალთებს.

ადგილზე შეიძლება მხოლოდ საორიენტაციო დაინიშნოს ტრასის შესაძლო მიმართულება. მთის კალთებზე მაგისტრალური სვლის გაყვანის შემდეგ იღებენ გეგმას ჰორიზონტალებში 100–140 მ სიგანის ზოლისათვის, რომელზეც კამერალურად აპროექტებენ ტრასას ჩვეულებრივ მისი რამდენიმე ვარიანტის შედგენით. თვით ამ ზოლის ფარგლებში ასრულებენ დეტალურ საინჟინრო გეოლოგიურ გადაღებას. შერჩეული ვარიანტი შემდეგ გადააქვთ ადგილზე და დაკვალების დროს ახდენენ კორექტირებას.



ნახ. 4.13. ციცაბო აღმართის გადალახვა სერპანტინებით

ჰორიზონტალებიან გეგმაზე წინასწარი დაპროექტების გარეშე ძიებისას მაგისტრალური სვლის გაყვანისათვის იყენებენ თეოდოლიტს. ხელსაწყოს ამაგრებენ ტრასის საწყის წერტილზე და ჭოგრს აყენებენ კუთხით, რომელიც შეესაბამება ტრასირებისათვის მიღებულ ზღვრულ ქანობს. შემდეგ ტრასის გამყვანი აგზანის მელარტყეს მომავალი ტრასის მიმართულებით 50 – 100 მ. მანძილზე. ლარტყაზე პირობით ნიშნით აღნიშნავენ ხელსაწყოს სიმაღლეს. ლარტყის ხან მარჯვნივ, ხან მარცხნივ, გადაადგილებით ტრასის გამყვანი ისე აყენებს ლარტყს, რომ ძაფების გადაკვეთა დაემთხვეს ლარტყაზე, მონიშნულს. თუ ტრასის მიმართულება უმნიშვნელოდ იცვლება, ერთი სადგომიდან შეიძლება ლარტყის რამდენჯერმე დაყენება. შემდეგ თეოდოლიტი გადააქვთ ლარტყის შორეული დაყენების ადგილზე და ლარტყებს აყენებენ ტრასის ახალი მიმართულების მიხედვით. ტრასის განვითარების შემდეგ ცალკეულ უბნებს ასწორებენ და ნიშნავენ მოხვევის კუთხეებს.

4.5. სერპანტინების დაპროექტება

ძალიან ხშირად ციცაბო ტრასის განვითარება ადგილის სიმცირის გამო შესაძლებელია და ამიტომ იძულებულნი ხდებიან გაიყვანონ ზიგზაგებად. წარმოქმნილი მახვილი კუთხეების შიგნით მრუდების ჩაწერა შეუძლებელი ხდება ვინაიდან მრუდის სიგრძე ბევრად ნაკლებია მისი ტანგენსების ჯამზე და ამიტომ,

გზის გრძივი ქანობი მრუდის უბანზე მნიშვნელოვნად აჭარბებს დასაშვებს. ასეთ შემთხვევაში იყენებენ მრუდებს, შემოხაზულს მოხვევის კუთხის გარე მხრიდან, რომლებსაც სერპანტინები* ეწოდებათ (ნახ. 4.14).



ნახ. 4.14. სერპანტინის საერთო ხედი

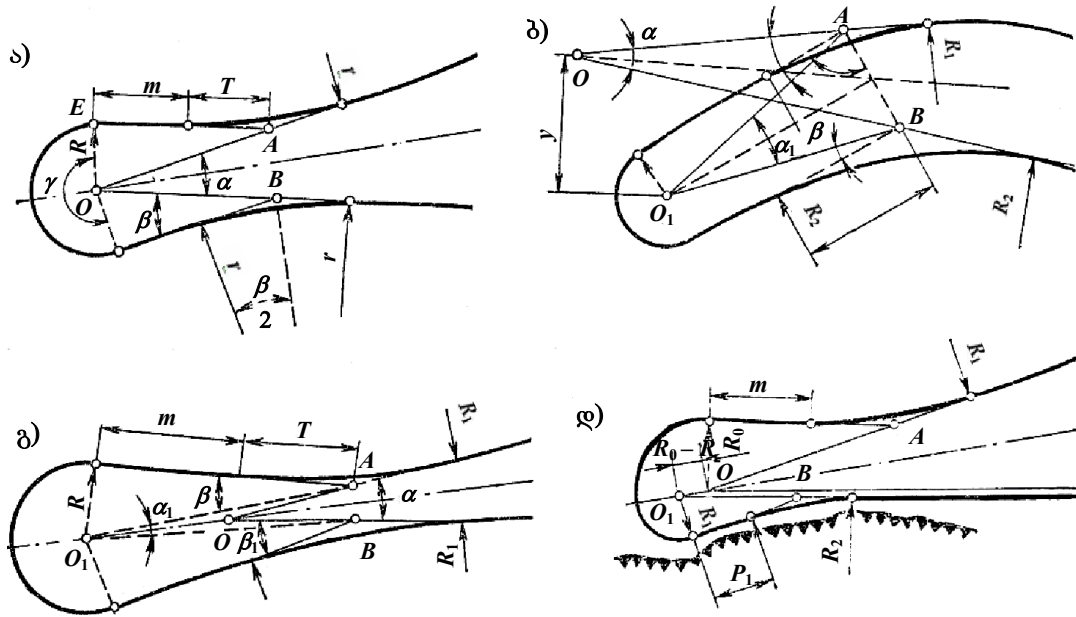
სერპანტინი შედგება მთავარი მრუდისაგან K , რომელიც მოჭიმულია γ ცენტრალური კუთხით და შებრუნებული (დამხმარე) მრუდებისაგან. შებრუნებული მრუდის ბოლოებსა და სერპანტინის მთავარ მრუდს შორის საკმაო მანძილი უნდა იყოს გარდამავალი მრუდების ან სწორი ჩადგმების განლაგებისათვის, ვირაჟის განდევნისა და სავალი ნაწილის გაგანიერებისათვის (ნახ. 4.15).

სერპანტინის „ყელი“ ანუ მანძილი შებრუნებულ მრუდების – წვეროებს შორის სერპანტინის მახვილი კუთხის მცირე სიდიდის გამო განისაზღვრება მიწის ორი ვაკისის განლაგების პირობებით.

სერპანტინის დაპროექტება მდგომარეობს მისი ტრასის ყველა ელემენტის სიდიდის გაანგარიშებაში და ადგილზე მიწის ვაკისის, საყრდენი კედლების, კიუვეტებისა და ფერდობებით განლაგების შესაძლებლობის დადგენაში.

სერპანტინის ელემენტების გაანგარიშებისათვის ტრასის სიგრძის განსაზღვრისას (ნახ. 4.15 ა) დაისახავენ მთავარი და შებრუნებული მრუდების და რადიუსების სწორი ჩადგმის მნიშვნელობით და პოულობენ შებრუნებული მრუდების მოხვევის კუთხეს β .

* სერპანტინი – ფრანგული წარმოშობის საგზაო ტერმინია, ქართულად ითარგმნება როგორც „გველისებრი“



ნახ. 4.15. სერპანტინები:

ა - პირველი ტიპი; ბ - მეორე ტიპი; გ - პირველი ტიპი ძირითადი მრუდის ცენტრის გადაწვევით; დ - პირველი ტიპის, არასიმეტრიული

შებრუნებული მრუდის ტანგენსის სიგრძე ტოლია

$$T = rtg \frac{\beta}{2}.$$

მანძილი შებრუნებული მრუდის წვერიდან სერპანტინის მთავარი მრუდის საწყისამდე $AE = T + m$.

AOE სამკუთხედიდან განისაზღვრება:

$$tg \beta = \frac{R}{T + m} = \frac{R}{rtg \frac{\beta}{2} + m},$$

სადაც R - სერპანტინის მთავარი მრუდის რადიუსია, მ.

წინა ფორმულაში $tg \beta$ - გამოსახვით $tg \frac{\beta}{2}$ -ით და მიღებული კვადრატული განტოლების ამოხსნით, ვპოულობთ

$$tg \frac{\beta}{2} = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 - R(2r + R)}}{2r + R}. \quad (4.1)$$

მანძილი შებრუნებული მრუდის კუთხით წვერიდან სერპანტინის კუთხის წვერომდე, განისაზღვრება გამოსახულებით

$$AO = \frac{T + m}{\cos \beta} = \frac{R}{\sin \beta}.$$

სერპანტინის მთავარი მრუდის მომჭიმავი ცენტრალური კუთხე ტოლია

$$\gamma = 360^\circ - 2(90^\circ - \beta) - \alpha = 180^\circ + 2\beta - \alpha .$$

სერპანტინის მთავარი მრუდის სიგრძე

$$K = \frac{\pi R \gamma}{180^\circ} . \quad (4.2)$$

სერპანტინის მთლიანი სიგრძე

$$S = 2(k_0 + m) + k , \quad (4.3)$$

სადაც K_0 შებრუნებული მრუდის სიგრძეა, მ.

ეს მონაცემები საკმარისია ადგილზე სერპანტინის დაკვალვისათვის.

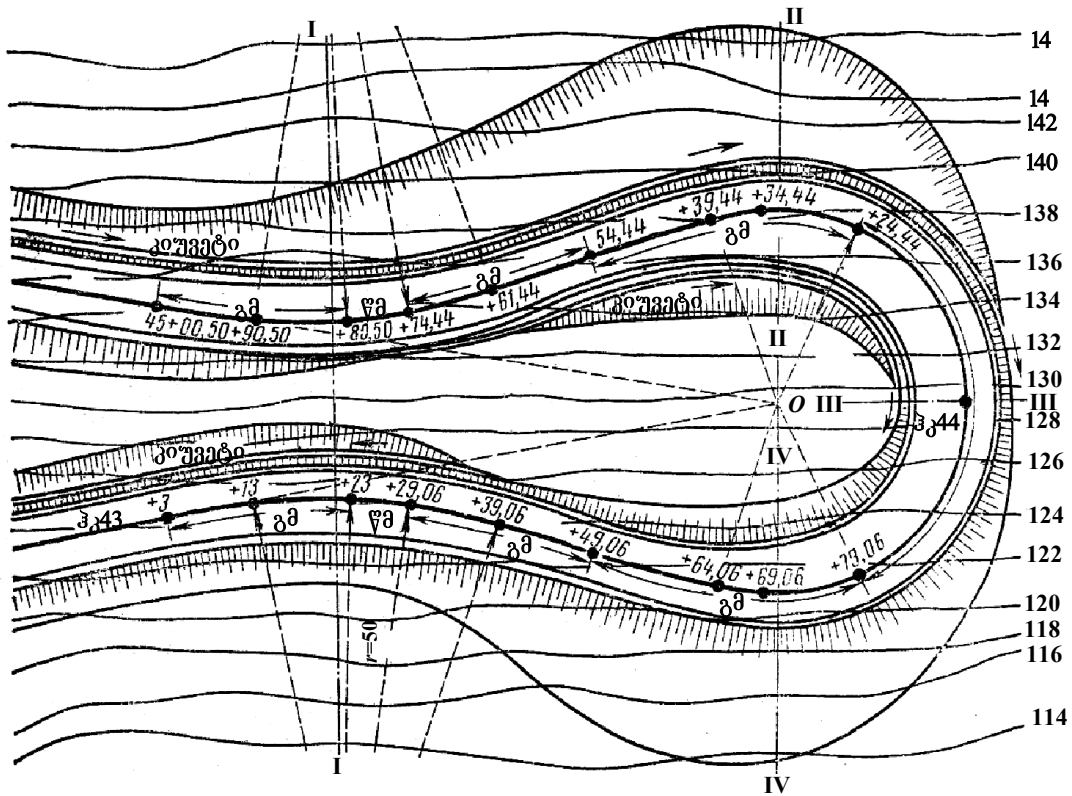
განხილულ სერპანტინს, რომლის შებრუნებული მრუდები განლაგებულია ამოხნეკილობით სხვადასხვა მხარეს, რადიუსები ტოლია და სწორი ჩადგმების სიგრძეები კი ერთნაირი, ეწოდება I სახის სიმეტრიული სერპანტინი.

სერპანტინების დაპროექტებისას ძირითადი ყურადღება ექცევა მიწის ვაკისი მდგრადობას, ავტომობილების მოძრაობის ნორმალური პირობების შექმნას და მიწის სამუშაოთა რაც შეიძლება ნაკლები მოცულობის უზრუნველყოფას. სერპანტინებისათვის ირჩევენ გეოლოგიურად მდგრადი ფერდობების დამრეც უბნებს, ცდილობენ რა უზრუნველყონ სერპანტინის მთავარი მრუდის დაკვალვა რაც შეიძლება დიდი რადიუსით. სერპანტინის მოხაზულობა საჭიროა ეხამებოდეს ადგილის რელიეფს. ამიტომ ზოგჯერ სერპანტინებს აწყობენ შებრუნებული მრუდებისაგან, რომლებიც ამოხნეკილობით ერთ მხარეს არიან მიმართული. (მეორე ტიპის სერპანტინები) მთავარი მრუდის გადაადგილებულ ცენტრით, და ასევე მთავარი და შებრუნებული მრუდებით, რომლებიც შემოხაზულია სხვადასხვა რადიუსის რკალებით (იხ. ნახ. 4.15, ბ).

სერპანტინებს აპროექტებენ ჰორიზონტალებიან გეგმაზე, მისი ელემენტების განლაგებით რელიეფის თავისებურებების შესაბამისად. სერპანტინის ყველაზე მოხერხებულ განლაგებას და ფორმას ადგენენ ვარიანტების შედარების გზით. სერპანტინების ჯგუფის დაპროექტებისას ჰორიზონტალებიანი გეგმაზე მონიტორის ეკრანზე იგივე მასშტაბში სახავენ სხვადასხვა რადიუსის მრუდებს და მიღებული გეგმის გრძივი და განივი პროფილების ერთობლივი განხილვით არჩევენ სერპანტინის სხვადასხვა ტიპის ვარიანტებიდან საუკეთესოს.

ციცაბო ფერდობებზე საჭიროა გათვალისწინება, რომ თოვლი ერთი სერპანტინიდან გაწმენდისას არ ეცემოდეს მეორე, ქვემოთ განლაგებულ სერპანტინზე. ვარიანტების შედარებისას კომპიუტერის ეკრანზე ხდება გრძივი და განივი პროფილების გამოხაზვა, შემდეგ ავლებენ საპროექტო ხაზს (ნახ. 4.16) და

გასაზღვრავენ სამუშაოთა მოცულობას ადგილის გეოლოგიური აგებულების გათვალისწინებით. ცნობილმა ქართველმა მეგზევე ინჟინერმა კომნენ ანდრონიკაშვილმა 1960-იან წლებში შეიმუშავა სერპანტინის უწყვეტი გარდამავალი (კლოტოიდური) მრუდებით დაპროექტების მეთოდიკა, რომელიც განსაკუთრებით ეფექტურია ციცაბო და ძლიერ დანაწევრებულ ფერდობებზე ტრასირებისას.



ნახ. 4.16. სერპანტინის პროექტი
 ა - სერპანტინის გეგმა ზედაპირული წყლების აცილების ღონისძიებებით;
 წმ - წრიული მრუდი; გმ - გარდამავალი მრუდი

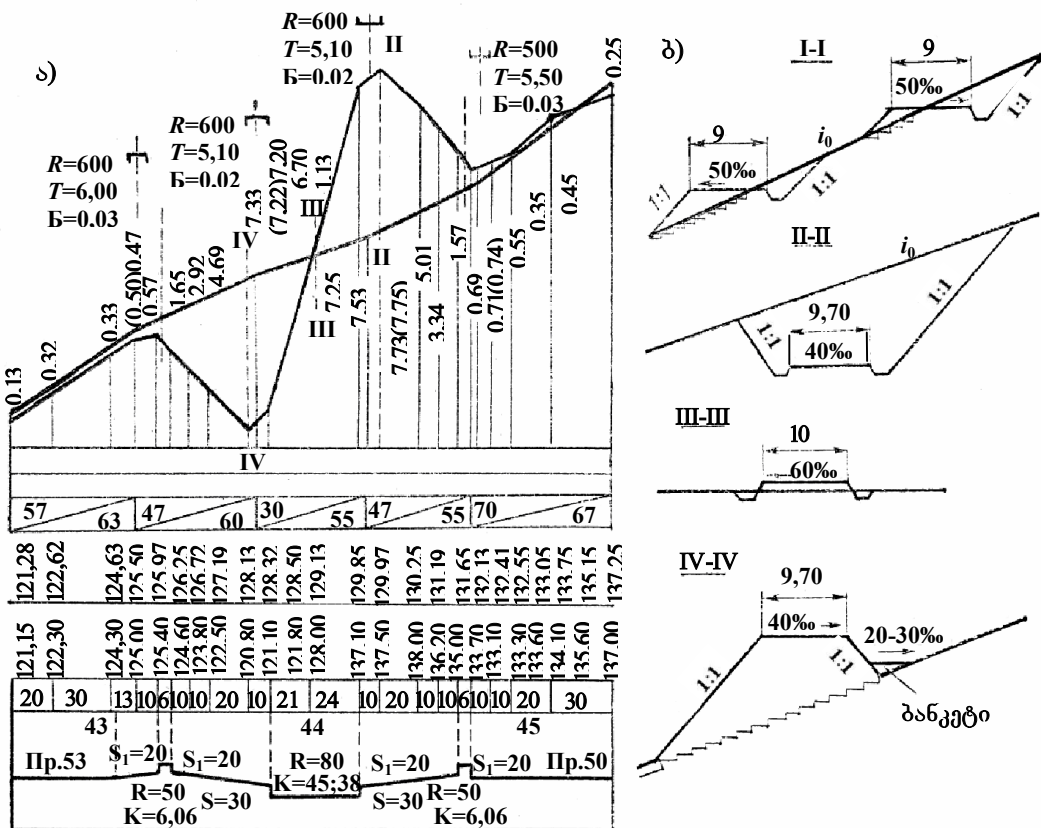
სერპანტინის გეომეტრიულ ელემენტებს ნიშნავენ მიღებული სინქარისა და მოძრაობის ინტენსივობის მიხედვით.

ცხრ. 4.3 მოცემულია დაბალი კატეგორიის (III^ა, III^ბ) გზებზე გამოყენებული სერპანტინის ელემენტების სიდიდეები. ასეთ მონაკვეთებზე ავტომატარებელთა და უნაგირა გამწვთა მოძრაობა თუ მათი სიგრძე აჭარბებს 11 მ - აკრძალულია. II კატეგორიის გზებისათვის სერპანტინის ძირითადი მრუდის რადიუსი უნდა აჭარბებდეს 30 მ-ს.

როგორც წესი I კატეგორიის გზებზე სერპანტინები არ კეთდება დანარჩენებზე კი მანძილი ერთი სერპანტინის დამხმარე მრუდის ბოლოსა და მეზობელი სერპანტინის დამხმარე მრუდს საწყისს შორის უნდა იყოს დიდი და ყოველ შემთხვევაში არა ნაკლები: II კატეგორიის გზებისათვის 400 მ., - (III^ა) კატეგორიის გზებისათვის 300 მ., (III^ბ) კატეგორიის გზებისათვის 200 მ.

სერპანტინის ელემენტები	სერპანტინის ელემენტების სიდიდეები საანგარიშო სიჩქარეთა სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის კმ/სთ		
	30	20	15
ძირითადი მრუდის მინიმალური რადიუსი, მ.	30	20	15
ვირაუს ქანობი, %	60	60	60
გადასასვლელი მრუდის სიგრძე, მ.	30	25	20
სავალი ნაწილის გაგანიერება, მ.	2,2	3,0	3,5
მაქსიმალური გრძივი ქანობი დასაშვები სერპანტინის ფარგლებში, %	30	35	40

ყველა შემთხვევაში (იხ. ნახ. 4.17) გზის სერპანტინიან უბნებს აქვთ დაბალი სატრანსპორტო – საექსპლუატაციო თვისებები. მოძრაობის სიჩქარე მათზე დაბალია, ხშირია საგზაო – სატრანსპორტო შემთხვევები, ხოლო ზამთარში ძნელია მათი გაწმენდა თოვლისაგან, ვინაიდან სერპანტინის ზემო შტოდან ჩამოწმენდილი თოვლი ეცემა ქვედა შტოზე. ამიტომ მთებში გზების ძიებისას საჭიროა ყურადღებით იყოს შესწავლილი ყველა საშუალება, რათა თავიდან ავიცილოთ სერპანტინები.

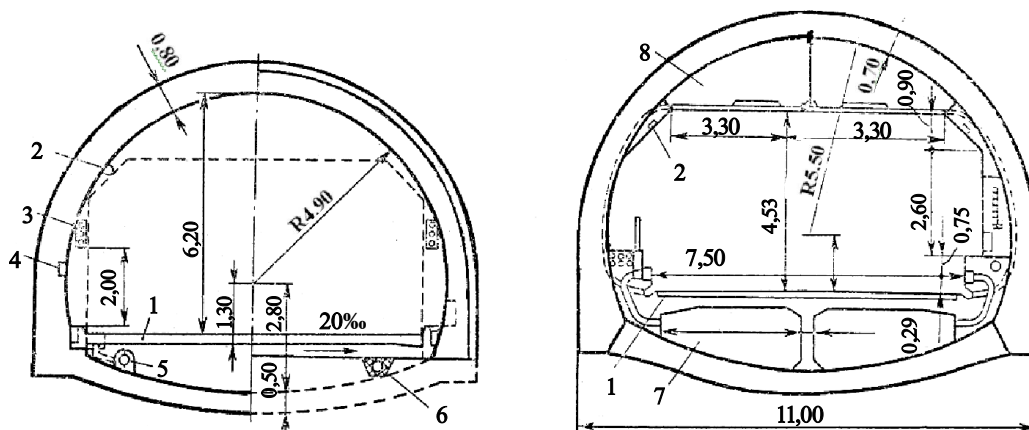


ნახ. 4.17. სერპანტინის პროექტი
 ა – გრძივი პროფილი, ბ – განივი პროფილი მახასიათებელ ადგილებში

4.6. გვირაბები

ხეობაში სვლით გზების ტრასირების უბნებზე, მოკლე და ციცაბო კლდის შეერილების გადაკვეთისას, ასევე მაღალმთიან საუღელტეხილო უბნებზე, რომლებზეც ხშირია თოვლის ნამქერები, მიზანშეწონილია ტრასის გაყვანა გვირაბებით. მაღალი ღირებულებისა და მშენებლობის სირთულის მიუხედავად გვირაბის ვარიანტები უზრუნველყოფენ გზის ექსპლუატაციის გაცილებით უკეთეს პირობებს. როგორც წესი საუღელტეხილო უბნებზე ახდენენ რამდენიმე ვარიანტის შედარებას გვირაბის პორტალის განლაგების მიხედვით სხვადასხვა სიმაღლეზე.

გვირაბში შესასვლელს ჩვეულებრივ განლაგებენ ჭრილში. ჭრილიდან გვირაბზე გადასვლას იწყებენ როდესაც ჭრილის 1 გრძ.მ-ს ჯამური სამშენებლო და საექსპლუატაციო ღირებულება უთანაბრდება 1 გრძ.მ გვირაბის ღირებულებას. ითვლება, რომ ჭრილის დამუშავებისას ამოყრით აფეთქების მეთოდით გვირაბზე გადასვლა მიზანშეწონილია მოხდეს 20–35 მ სიღრმის ჭრილიდან გვირაბის კვეთისა და სიგრძის, გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პირობების მიხედვით. გვირაბში სავალი ნაწილის სიგანეს ნიშნავენ 7–8მ, ცალი მხრიდან 1 მ სიგანის ტროტუარის მოწყობით. თუ ქვეითი მგზავრების რაოდენობა აღემატება 1000 კაცს/სთ ტროტუარებს ორივე მხრიდან აწყობენ. გვირაბის სიმაღლეს ნიშნავენ იმავე გაბარიტით, როგორც ქვედა სვლის ხიდებზე, საჭიროების შემთხვევაში სავენტილაციო არხების დამატებითი მოწყობით (ნახ. 4.18).



ნახ. 4.18. გვირაბის განივი ჭრილი საავტომობილო გზაზე

- ა - ვენტილაციის გარეშე; ბ - ვენტილაციით
 1 - ფენილი; 2 - განათების ხელსაწყოები; 3 - შუქნიშანი; 4 - ტელეფონის აპარატი; 5 - წყალსარინი მილი; 6 - დრენაჟი; 7 - სუფთა ჰაერის მოდინების არე; 8 - გამონაბოლქვი გაზების გადინების არე

გვირაბებს აპროექტებენ მოძრაობის ორი ზოლისათვის. I კატეგორიის გზებზე დასაშვებია გვირაბების მოწყობა ოთხ ზოლიანი მოძრაობისათვის

მინიმალური, 1, 2მ სიგანის გამყოფი ზოლით. შეიძება აგრეთვე ორიარუსიანი გვირაბების მოწყობა თითოეულ იარუსზე ორზოლიანი მოძრაობით.

გვირაბებში ავტომობილის მოძრაობის წინაღობა იზრდება გზის ღია უბნებთან შედარებით ავტომობილის წინ ჰაერის დამატებითი კუმშვისა („დგუშის ეფექტი“) და მოძრავ ავტომობილისა და გვირაბის კედლებს შორის ჰაერის ნაკადის ტურბულენტობის გამო.

თუ გვირაბის სიგრძე შეადგენს 1 კმს სატვირთო ავტომობილებისათვის ჰაერის წინააღმდეგობა დიდდება დაახლოებით 40%-ით, ხოლო მსუბუქი ავტომობილებისათვის 10%-ით.

გვირაბების დაპროექტება გეგმაში და გრძივ პროფილში ისეთივე ნორმებით წარმოებს, როგორც საავტომობილო გზების ღია უბნებისა უპირატესობას ვაძლევთ გვირაბების განლაგებას სწორ უბნებზე. მრუდების რადიუსები გეგმაში გვირაბებში უნდა იყოს არა ნაკლებ 300 მ. რაც აუცილებელია ხილვადობისადმი მინიმალური მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად და სავალი ზოლის გაგანიერებისაგან თავიდან ასაცილებლად.

გრძივი ქანობი გვირაბებში უნდა იყოს არა ნაკლებ 0,4% (წყალარინების უზრუნველსაყოფად) და არა უმეტეს 4%-სა. თუ გვირაბის სიგრძე აღემატება 500 მ. გამონაკლის შემთხვევაში, შეიძლება ქანობის გადიდება 6%-მდე. 300-მდე სიგრძის გვირაბებს ეძლევათ ერთმხრივი ქანობი. 300-ზე მეტი რეკომენდებულია ორმხრივი ქანობი გვირაბის შუაგულისკენ მიმართული აღმართით.

გვირაბის კედლებში აწეობენ 2 მ სიგანის, 2 მ სიღრმის და 2,5 მ სიმაღლის კამერებს მასალებისა და ხელსაწყოების შესანახად, რომლებსაც განლაგებენ გვირაბის თითოეული მხრიდან ჭადრაკული წყობით ყოველი 300 მ-ზე. 300–400 მ სიგრძის გვირაბში ითვალისწინებენ 1 კამერას მის შუაგულში.

150 მ-ზე მეტი სიგრძის გვირაბში მოწყობილი უნდა იქნას ხელოვნური ვენტილაცია. თუ გვირაბის სიგრძე ნაკლებია თვლიან, რომ ჰაერის ცვლას უზრუნველყოფს ავტომობილების მოძრაობა. ვენტილაციამ გვირაბებში უნდა უზრუნველყოს ასევე დიზელის ძრავებიანი ავტომობილებით გადამუშავებული გაზების მოცილება, რომლებიც ხელს უშლიან ხილვადობას. სხვადასხვა მარკის ბენზინის ფართო გამოყენებასთან დაკავშირებით, რომელთა წვის პროდუქტები გარდა ნახშირჟანგისა შეიცავენ სხვა მავნე ნაერთებსაც, გვირაბებში ჰაერის გაწმენდას უყენებენ ისეთივე მაღალ მოთხოვნას, როგორც სამრეწველო საწარმოებში. ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე გვირაბების ვენტილირების დროს მოძრავი ავტომობილების გაველების გათვალისწინების გარეშე, არ უნდა აღემატებოდეს 6 მ/წმ.

როდესაც გვირახის სიგრძე აჭარბებს 300 მ-ს აუცილებელია ხანძარსაწინააღმდეგო სისტემის მოწყობა, რომლის ძირითადი ელემენტია წყლის მოწოდების დამოუკიდებელი წყარო ორივე პორტალის მხრიდან სათანადო მარაგის მქონე წყლის მოცულობით. პორტალებთან აუცილებელია აგრეთვე მაშუქი საინფორმაციო ტაბლოების მოწყობა, რომლებიც მიუთითებენ მძღოლს საჭირო სიჩქარისა და დისტანციის დაცვის, ხოლო ავარიულ სიტუაციაში გადაადგილების შეწყვეტის შესახებ.

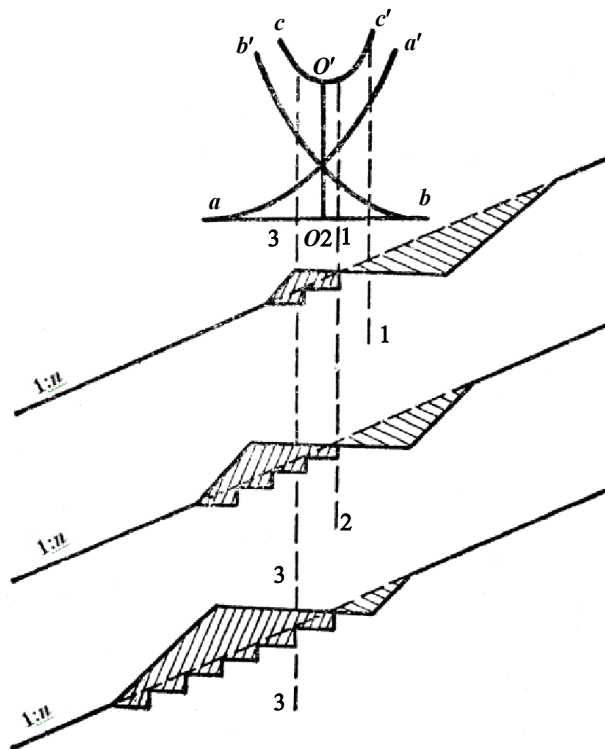
ქალაქგარე გვირახებს, რომელთა სიგრძე სწორ უბნებზე 300 მ-ზე, ხოლო მრუდე უბნებზე 150 მ-ზე მეტია და ასევე ყველა საქალაქო გვირახს, მიუხედავად მისი სიგრძისა, უნდა ჰქონდეს ხელოვნური განათება. გვირახების განათება შესასვლელთან, სავალი ნაწილის დონეზე უნდა იყოს არა ნაკლებ: 30 ლქ დამით, დღისით პორტალებთან 40–75 ლქ ხოლო გვირახის შუაში 30-ლქ.

დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ გრძელ ან გეგმაში მრუდხაზოვან გვირახში შესვლისას, მძღოლი, ხვდება რა კაშკაშად განათებული ღია უბნიდან ნაკლებ განათებულ გვირახში, რამდენიმე ხნით კარგავს ხილვადობას („სინათლის ზღურბლის“ მოვლენა). ამის თავიდან აცილების მიზნით შესასვლელ უბნებში კაშკაშად ანათებენ ან გზას ზემოდან, გვირახში შესვლის წინ ფარავენ ცხაურით, რომლებიც თანდათან ამცირებენ გზის ზედაპირის განათებას.

4.7. გზების გრძივი პროფილი მთებში

ვაკე რელიეფზე, გრძივი პროფილი იძლევა სრულ შესაძლებლობას წარმოვიდგინოთ ადგილზე გზის განლაგება და ყოველ წერტილში მიწის ვაკისის კონსტრუქცია. მთიან ადგილებში ფერდობზე გზების გაყვანისას მუშა ნიშნული გზის ღერძზე არ ახასიათებს განივი პროფილის მოხაზულობას და მიწის სამუშაოთა მოცულობას. ეს გამოწვეულია იმით, რომ გზის ღერძზე ერთი და იგივე ნიშნულის შემთხვევაში ფერდობის სხვადასხვა დახრილობისას, მიწის ვაკისი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს დიდი ან პატარა ჭრილით ყრილებით ან საყრდენი კედლებით. ფერდობების რელიეფის ხშირი ცვალებადობის გამო მიწის ვაკისის მუშა ნიშნულები არსებითად იცვლება გზის მცირე სიგრძეზე, ამიტომ, მთიან ადგილებში, გზის გრძივი პროფილის დაპროექტებისას მიწის ვაკისის მდგომარეობას მუდამ უწევენ კონტროლს განივი პროფილებით. ცდილობენ, რომ მოცემული ქანობით საპროექტო ხაზის გავლებისას მიღწეულ იქნას მიწის ვაკისის მდგრადობა საყრდენი კედლების მოწყობის გარეშე და გაწონასწორდეს ყრილების და ჭრილების მოცულობა.

გზის ღერძის მუდმივი ნიშნულის შემთხვევაში მიწის ვაკისის ღირებულება მნიშვნელოვნად იცვლება ფერდობის მიმართ მისი მდებარეობის მიხედვით (ნახ. 4.19). ფერდობის ყოველი განივი ქანობისათვის არსებობს გზის ღერძის მდებარეობა, რომლის დროსაც მიწის ვაკისს აქვს უმცირესი ღირებულება, საჭიროების შემთხვევაში საყრდენი კედლების მოწყობის გათვალისწინებითაც კი. მაგრამ მიწის ვაკისი მინიმალური ღირებულების დაცვა, ყოველთვის არ არის მიზანშეწონილი, ვინაიდან, ციცაბო ფერდობებზე ყრილის ნაწილი არ არის საკმარის მდგრადი, ხოლო საყრდენი კედლების მოწყობა კი დიდი რაოდენობით ხელის სამუშაოებს მოითხოვს ამიტომ, მთებში გზების დაპროექტებისა და მშენებლობის გამოცდილების საფუძველზე რეკომენდებულია, რომ ფერდობებზე ჭრილის ფარგლებში განლაგებული იქნას მიწის ვაკისის ნაწილი, არანაკლები შემდგომი შემდგომი სიდიდეებისა:



ნახ. 4.19. გზის ღერძის მდებარეობის დადგენა ფერდობზე მიწის ვაკისის მინიმალური ღირებულების პირობიდან
a-a' – ჭრილის ღირებულება; *b-b'* – ყრილის ნაწილის ღირებულება;
c-c' – სამუშაოთა ჯამური ღირებულება; *o-o'* – ტრასის ღერძის საუკეთესო მდებარეობა; 1, 2, 3 – ტრასის ღერძის მდებარეობა

ფერდობის დახრილობა, გრად	20,	25,	30,	35,	40.
შეჭრის სიდიდე მიწის ვაკისის					
საერთო სიგანიდან %	50 – 65,	60 – 70,	70 – 80,	80 – 100,	100

ვინაიდან ფერდობის განივი ქანობები მცირე სიგრძეზე იცვლება, საპროექტო ხაზის რაციონალური მდგომარეობის პოვნა გრძივ პროფილზე შესაძლებელია მხოლოდ რიგ ცდების შემდეგ. საავტომობილო გზების დაპროექტების

თანამედროვე პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას გვაძლევს მცირე დროში და ვადგინოთ საპროექტო ხაზის საჭირო მდებარეობა.

ფერდობიან უბნებზე ძიების დროს იღებენ განივ პროფილებს რელიეფის ცვლილებების ყველა დამახასიათებელ ადგილებში, რათა დაპროექტების კამერულ ეტაპზე მათი საშუალებით აიგოს ადგილის გეგმა ამ ჰორიზონტალებში.

სამთო გზის გრძივ პროფილზე საპროექტო ხაზის გავლებისას აუცილებელია განივ პროფილზე შემოწმდეს მიწის ვაკისის მიღებული განლაგება მასშტაბში 1:100–1:200. კომპიუტერული გრაფიკის მეშვეობით ადგენენ ამ მასშტაბში ფერდობზე აგებული მიწის ვაკისის განივი პროფილების მოხაზულობას. ადგილის გეოლოგიური აგებულების, ფერდობის დახრილობის, საყრდენი და სამოსი კედლების განივკვეთების გათვალისწინებით საპროექტო ხაზის საუკეთესო მდებარეობას პოულობენ დაპროექტების ბიჯისა და გრძივი ქანობის სიდიდის შეცვლით აგრეთვე ტრასის გადანაცვლებით ჰორიზონტალებიან გეგმაში მშენებლობის ჯამური ღირებულების მიხედვით.

ზღვრული გრძივი ქანობებით საპროექტო ხაზის გავლებისას, გეგმაში მცირე რადიუსის მრუდების უბნებზე საჭიროა ქანობების სიდიდეთა შემცირება, ვინაიდან მრუდებზე იზრდება ავტომობილების მოძრაობის წინააღმდეგობა და რთულდება ავტომობილების მართვის პირობები.

როგორც მკვლევართა მონაცემების მიხედვით (პროფესორები ა.ბირულია, მ.ზამახაევი) მრუდებზე საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ძრავის სიმძლავრის დამატებითი ხარჯვა, რაც გამოიწვია ავტომობილის საღრის გვერდცდენამ, აგრეთვე გრძივი ქანობის გადიდება ავტომობილის ტრაექტორიის სიგრძის შემცირების გამო სავალი ნაწილის შიდა ზოლზე მოძრაობისას.

რეკომენდებულია მაქსიმალური გრძივი ქანობების შემსუბუქების შემდეგი სიდიდეები:

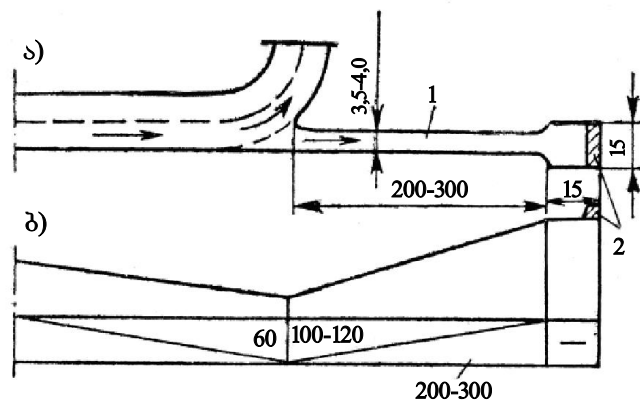
მრუდების რადიუსი გეგმაში, მ.	50	40	30	20	15
გრძივი ქანობის საჭირო					
მინიმალური შემცირება, %	10	20	30	40	50

გრძივი ქანობი უნდა შემსუბუქდეს ორივე მხრიდან 5–10 მ მანძილზე მრუდის დაწყებამდე.

მთებში გზების დაპროექტების დროს უნდა ვეცადოთ თავი ავარიდოთ გრძელ ციცაბო უბნებს გრძივი ქანობებით, რომლებიც 6% აღემატება. თუ ეს გარდაუვალია ყოველ 2–3 კმ. უნდა გათვალისწინებული იქნას უბნები, რომელთა გრძივი ქანობი არ აღემატება 2%, სიგრძით არანაკლებ 50 მ. ავტომობილების

გაჩერებისათვის. ამ ადგილებში მიწის ვაკისი უნდა გაგანიერდეს რათა გაჩერებული ავტომობილები არ უშლიდნენ ხელს მოძრაობას.

განსაკუთრებით რთულ რელიეფის პირობებში, მშენებლობის ღირებულებისა და მოცულობის შემცირების მიზნით, სწორ უბნებზე დაშვებულია ზღვრული გრძივი ქანობების გადიდება 1,5–2%. გრძივი ქანობის გადიდების მიზანშეწონილობა დასაბუთებულ უნდა იყოს ტექნიკურ - ეკონომიკური გაანგარიშებებით. მაგრამ, ასეთი უბნები მკვეთრად აუარესებენ გზის სატრანსპორტო – საექსპლუატაციო თვისებებს და მნიშვნელოვნად ამცირებენ საავტომობილო გადაზიდვის ეფექტურობას. მთებში გზების გრძელ, ციცაბო დაღმართებზე ზოგჯერ ხდება ავარიები ავტომობილების მუხრუჭების უწყესრიგობის გამო. თუ რელიეფი იძლევა საშუალებას, რეკომენდებულია ავარიის საწინააღმდეგო (სამუხრუჭო) შესასვლელების მოწყობა (ნახ. 4.20) სავალ ნაწილზე მოყრილი დაუტკეპნავი ხრეშით. მოძრაობისადმი დიდი წინაღობის მქონე საფარზე მოძრაობისას ავტომობილი თანდათან ამცირებს სიჩქარეს. ასეთი სამუხრუჭე შესასვლელია მოწყობილი ხაშური-ზესტაფონის საუღელტეხილო მონაკვეთზე მდ.ძირულას ხეობაში. საავარიო შესასვლელი აუცილებელია გრძელი დაღმართების ბოლოშიც, რომელთა სიგრძე 3 კმ აღემატება, ქანობი 6%, მეტია, ხოლო დაღმართი მთავრდება მცირე რადიუსის მრუდით.



ნახ. 4.20. ავარიული შესასვლელის მოწყობის სქემა
 ა – გეგმა; ბ – გრძივი პროფილი
 1 – ავარიული შესასვლელი; 2 – ხრეშის ნაყარი

გრძივი პროფილის დაპროექტების პროცესში აუცილებელია გადაწყდეს წყლის აცილების საკითხი – ანგარიშობენ ხიდების და მილების ხვრეტს, ნიშნავენ ხელოვნური ნაგებობების განლაგების ადგილებს, აპროექტებენ სამთო და გზისპირა არხებს, მათი ტრასის დატანით ჰორიზონტალებიან გეგმაზე. სამთო და სხვა წყალსარინი არხების კვეთს ნიშნავენ გაანგარიშებებით. გამორეცხვის თავიდან ასაცილებლად მათი ფსკერის დახრილობის სიდიდე უნდა დაინიშნოს

არხის ფსკერისა და ფერდობების გამაგრების გათვალისწინებით, გარდა კლდოვანი გრუნტებისა.

4.8. გზების განივი პროფილები მთებში

მთებში მიწის ვაკისის უმეტესი ნაწილი აგებულია ფერდობებზე (ნახ. 4.21), როდესაც განივი ქანობი 1:5 მეტია ჩამოცურების წინააღმდეგ ყრილების მდგრადობისათვის ფერდობზე აკეთებენ 1-დან 4 მ სიგანის საფეხურებს, განივი ქანობით – 2 %, რომელიც მიმართულია ფერდობის საწინააღმდეგოდ.

მთებში საგზაო ვაკისის ყველაზე უფრო გავრცელებული ტიპია ნახევარყრილი-ნახევარჭრილი. ყრილებისა და ჭრილების ფერდობებს ეძლევათ დახრილობა მთის ქანების სიმტკიცის შესაბამისად. ვინაიდან, მთიან ადგილებში შეუძლებელია მართვა დაკარგული ავტომობილის გზიდან უხიფათოდ გადასვლა, სამთო გზებზე აწყობენ მინიმალური დახრილობის ფერდობებს, რამდენადაც საშუალებას იძლევიან მათი შემადგენელი ქანები, გვერდულებზე კი ეწყობა ბარიერები.

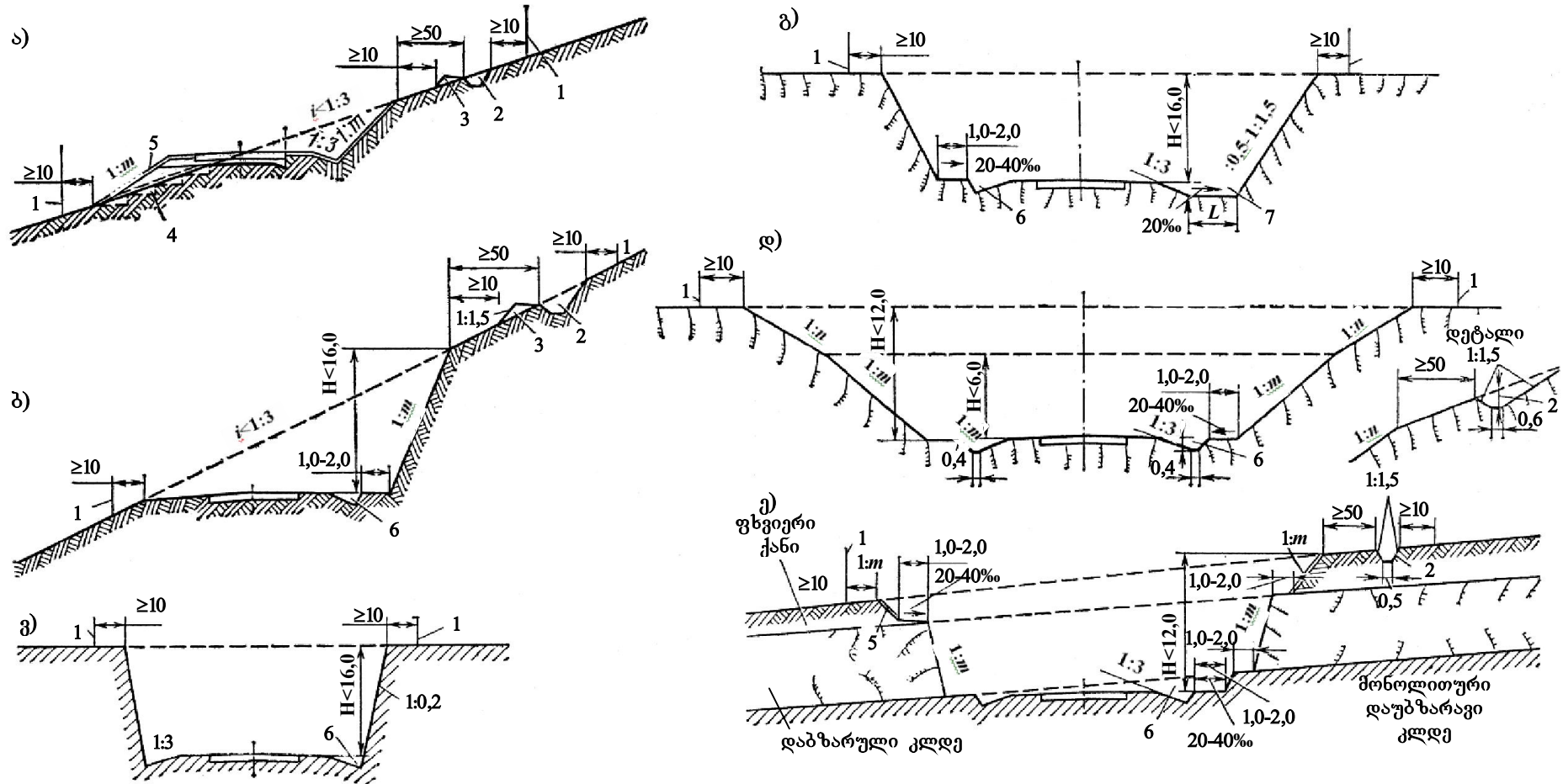
ამოფრქვეულ ქანებში ჭრილებს უფრო ციცაბო ფერდობებს აძლევენ თუ ქანები მხოლოდ ფილისებრ დანაწევრებულია და ვერტიკალური ბზარების ქსელი იშვიათია.

დანალექ ქანებში ფერდობის დასაშვები დახრილობა უმთავრესად დამოკიდებულია ფენების მიმართულებაზე და დაცემის კუთხეზე. თუ ფენას დახრილობა გზის მიმართულებით აქვს, ჭრილების ფერდობს უნდა ჰქონდეთ ფენებზე ნაკლები დახრილობა, იმ შემთხვევაში, როდესაც ფენები დახრილია გზის საწინააღმდეგო მხარეს, ან ჰორიზონტალურადაა განლაგებული ფერდობები შეიძლება დაინიშნოს თითქმის ვერტიკალური.

ჭრილის სიღრმის მიხედვით ქანების სახეობისა და აგებულების ცვლილებასთან დაკავშირებით, მისი ფერდობის დახრილობას ნიშნავენ ცვლადს (იხ. ნახ. 4.20). ფერდობების დახრილობას ღებულობენ 7.4 ცხრილის შესაბამისად.

თუ ქანები მტკიცეა და უზრუნველყოფენ დიდი დახრილობის ფერდობის მდგრადობას, მაგრამ განიცდიან გამოფიტვას, მათ ძირთან გზისპირა არხის უკან აწყობენ თაროს, რომელზედაც გროვდება გამოფიტვის პროდუქტები.

ჭრილების ფერდობისათვის სწორი დახრილობის დანიშვნისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ძიების დროს მიღებული გეოლოგიური გამოკვლევების შედეგებს და არსებულ გზებზე ბუნებრივ გაშიშვლებების და ფერდობების მდგომარეობაზე დაკვირვების მონაცემებს.



ნახ. 4.21. საგზაო ჭრილების განივი პროფილები მთებში

ა - ნახევარჭრილ-ნახევარყრილი; ბ - გზა თაროზე სუსტად გამოფიტულ ქანებში; გ - ჭრილი მტკიცე კლდოვან ქანებში; დ - ჭრილი სუსტ ადვილადგომქარვად ქანებში (სამკუთხა კიუვეტებით და კიუვეტ რეზერვუებით); ე - ჭრილი სხვადასხვა სიმტკიცის კლდოვანი ქანების კვეთისას; ვ - ჭრილი სხვადასხვა სიმტკიცის ქანების კვეთისას.

1 - განთვისების ზოლის საზღვარი; 2 - სამთო არხი. სიღრმე ანგარიშით $\geq 0,6$ მ; 3 - ბანკეტი. სიმაღლე $\leq 0,6$ მ; 4 - საფეხურები ნაყარი ნაწილის მდგრადობისათვის; 5 - ფერდობებზე მოწყობილი მცენარეული ფენა; 6 - გზისპირა ღარი სიღრმით $\geq 0,3$ მ; 7 - განიერი კიუვეტ-ტრანშეა

მთის ქანები	ფერდობების დახრილობა სხვადასხვა ჯიშის მთის ქანებში	
	მონოლითური ჭრილები	დაშლილები 1 – 6 მ. სიმაღლის ყრილებში
ძნელად გამოქარვადი კლდოვანი, ბზრების გარეშე	1:0,2	1:1 – 1:3
ადვილად გამოქარვადი, ბზარებიანი წყლის არ შემწოვი	1:0,5 – 1:1,5	1:1,5
იგივე წყლის შემწოვი	1:1 – 1:1,5	1:1,5
მსხვილ მონატეხი, ღორღოვანი	1:1,5	1:1,5

კლდოვან ქანებში ფერდობის დახრილობის დანიშვნისას საჭიროა, ასევე სამუშაოთა წარმოების მეთოდის გათვალისწინებაც. ჭრილების დამუშავებისას დიდი სიმძლავრის მუხტების აფეთქებით ღრმა სანაღმო ჭებში და წოლხერელებში, მონოლითური მტკიცე კლდე აფეთქების ცენტრიდან დიდ მანძილზე იმსჭვალება ბზარების ხშირი ქსელით. ეს ხელს უწყობს ქანების ინტენსიურ გამოქარვასა და ჩამოშლას. ასეთ შემთხვევაში, მონოლითურ მტკიცე ქანებშიც კი ფერდობის დახრილობას ნიშნავენ როგორც დაბზარულ ქანებში. ფერდობების დახრილობას აღარ შევამცირებთ თუ გამოვიყენებთ არაბრიზანტულ ასაფეთქებელ ნივთიერებებს, რომლებიც არ აჩენენ კლდეში ბზარებს ჭრილის მიმდებარე მასივში. საჭიროა გათვალისწინებული იქნას, რომ ბევრი ქანი, მაგ. ფიქალები, არგილიტები, ალევროლითები და თიხოვანი ქვიშაქვები, რომელთაც მშრალ მდგომარეობაში საკმაოდ დიდი სიმტკიცე გააჩნიათ, დატენიანებისას კარგავენ თავიანთ სიმტკიცეს, რაც იწვევს ფერდობების ინტენსიურ დანგრევას. ასეთი ქანები განსაკუთრებით ხშირად გვხვდება საქართველოს ტერიტორიაზე.

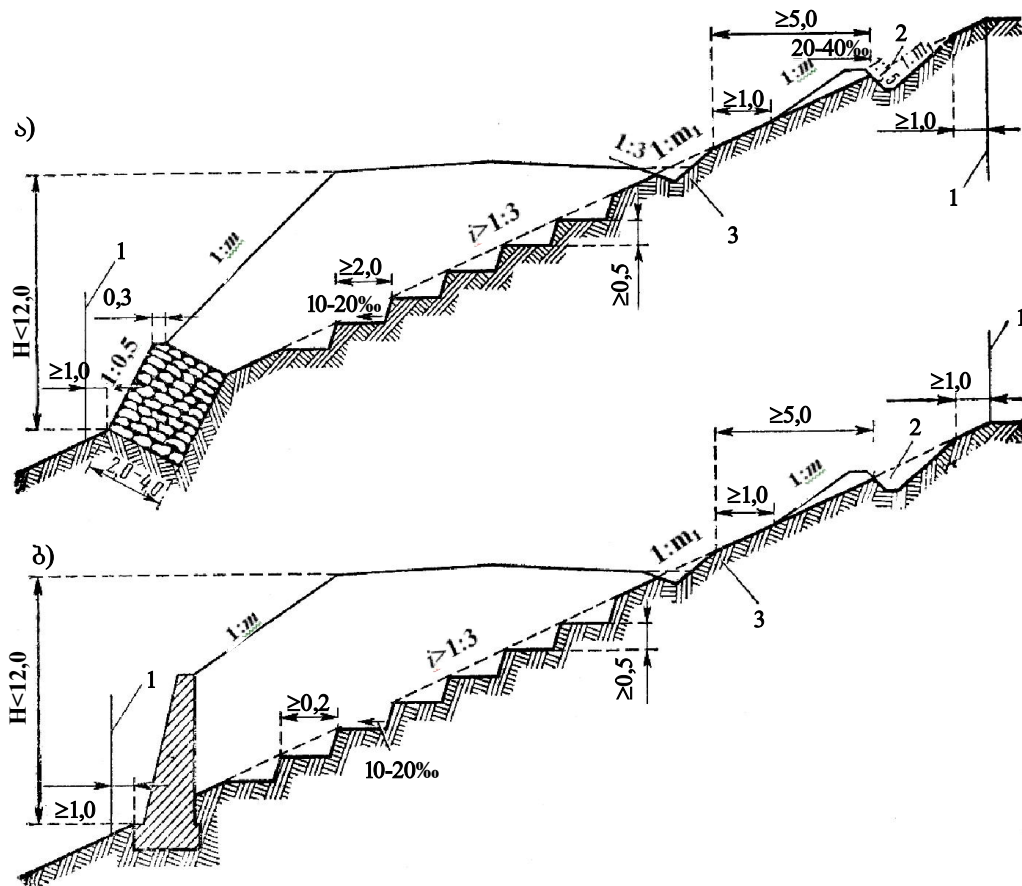
ფერდობებზე, ხშირად გამოდიან წყალგამტარი შრეები, რომლებშიც მოძრაობენ გრუნტის წყლები, ამ შემთხვევაში აუცილებელია დამჭერი დრენაჟების მოწყობა.

კლდოვან ქანებში აკეთებენ არაღრმა სამკუთხა კვეთის კიუვეტებს შიდა ფერდის ქანობით 1:3. ჩამონაშალ ფხვიერ გრუნტებში ჭრილის ფერდისა და კიუვეტის გარე წარბას შორის აწყობენ ბერმას სიგანით არა ნაკლებ 0,5 მ. ხოლო კიუვეტს ეძლევა ტრაპეციისებრი მოხაზულობა ფერდობებით 1:1 – 1:0,5. კიუვეტის სიღრმესა და ფსკერის სიგანეს ნიშნავენ ჰიდრაგლიკური გაანგარიშებით, მაგრამ არა ნაკლებ 0,3 მ.

ფერდობზე ნახევარყრილსა-ნახევარჭრილში გზის განლაგება ჭრილისა და ნაყარი ნაწილის გაწონასწორებული მოცულობით, თეორიულად სამუშაოთა

მინიმალურ მოცულობებს იძლევა. მაგრამ ყრილებში მიწის ვაკისის ნაწილის დაზვიინვის დროს იკარგება ბევრი გრუნტი, რომელიც გორდება ძირს ციცაბო ფერდობებიდან. ფერდობების დამუშავება საფეხურებად ხშირად ვერ უზრუნველყოფს ყრილის საკმაოდ საიმედო შეკავშირებას ბუნებრივ ფერდობთან. მიწის ვაკისის ნაყარი ნაწილის სათანადო გამკვირვება მეტად რთულია ამიტომ დაჯდომის შედეგად საგზაო სამოსში ზოგჯერ წარმოიქმნება გრძივი ბზარები.

უკანასკნელ წლებში, განსაკუთრებით I-II კატეგორიის გზებზე უარს ამბობენ განივ პროფილებზე ნახევარყრილისა და ნახევარის სახით და მიწის ვაკისის განლაგებენ ერთი მხრიდან მთლიანად გახსნილი ჭრილში - ფარდობში ამოჭრილ თაროზე (ნახ. 4.21, ბ) „თაროს“ ტიპის განივი პროფილი, აღიღებს მიწის სამუშაოების მოცულობას, მაგრამ უზრუნველყოფს მიწის ვაკისის სულ მდგრადობას მთის მყარ ფერდობზე.



ნახ. 4.22. ყრილების განივი პროფილები მდგრად ფერდობებზე, დახრილობით მეტი 1:3
 ა - ქვედა ბანკეტის მოწყობით ქვისაგან (ალტერნატივაა გაბიონი);
 ბ - საყრდენი კედელი

მთის ციცაბო კალთებზე ყრილის მოწყობისას, მიწის სამუშაოების მოცულობა მნიშვნელოვნად მატულობს, ვინაიდან ყრილის ფერდო განლაგებულია კალთისადმი მცირე კუთხით. ამიტომ 1:1,5 და უფრო ციცაბო ფერდობის დროს აგებენ საყრდენ

კედლებს, ხოლო 1:3-დან 1:2 დახრილობისას – აგებენ მშრალი წყობის ბანკეტებს ან გაბიონებს შევსებით არაგამოფიტვადი ქანების ქვებისაგან სისქით არანაკლებ 0,4 მ. (ნახ. 4.22).

საყრდენ კედლებს აგებენ ქვებისაგან, ბეტონისაგან და რკინაბეტონისაგან. მათ ზომებს ნიშნავენ გაანგარიშებით, რომლებიც სამშენებლო მექანიკისა და გრუნტების მექანიკის კურსებშია მოცემული. პირველი მიახლოებით მშრალი ქვის წყობის საყრდენი კედლების სისქე შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული ფორმულით:

კედლების სისქე ჭრილის ფერდობთან $B=1+0,125h$, სადაც h – ჭრილის ფერდოს ზედა წარბას და საყრდენი კედლის ზედა ნაწილის დონეებს შორის სხვაობაა;

კედლების სისქე ყრილების ფერდობებთან $B=1+0,375h$, სადაც h კედლის სიმაღლეა.

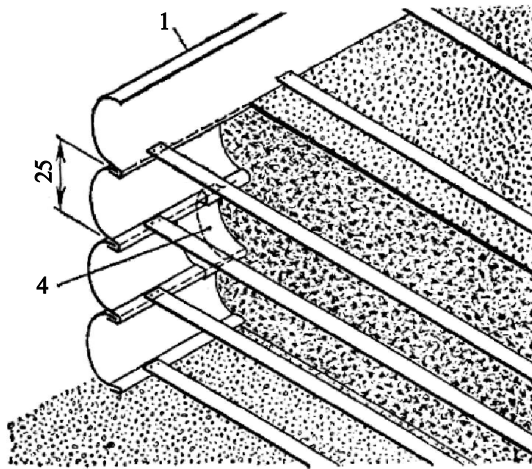
კედლის სიგანე ზემოდან შეადგენს 0,8–1,0 მ. საყრდენი კედლების საძირკვლის ჩაღრმავება უნდა იყოს არანაკლებ 0, 25 მ. კლდოვან ქანებში, 0,5 მ. - მადრენირებელ არაწყალნაჯერ გრუნტებში, ხოლო გაყინვის სიღრმის ნახევარი გადამეტენიანებელ გრუნტებში. კუთხოვანი პროფილის რკინაბეტონის საყრდენი კედლები, ცვლადი სისქის ვერტიკალური კედლით და დახრილი საძირკვლის ფილით, მეტად მოხერხებულია მონტაჟის დროს. მათი გამოყენება გამორიცხავს ხელით შრომას რაც გარდუვალია ქვის წყობით კედლების მშენებლობისას.

1966 წ. საფრანგეთში ინჟ. ა. ვიდალის მიერ შემოთავაზებულ იქნა საყრდენი კედლები არმირებული გრუნტისაგან. ისინი წარმატებით იქნა გამოყენებული კანადის, აშშ-ს, გერმანიის და რიგი სხვა ქვეყნების საავტომობილო გზებზე (ნახ. 4.22).

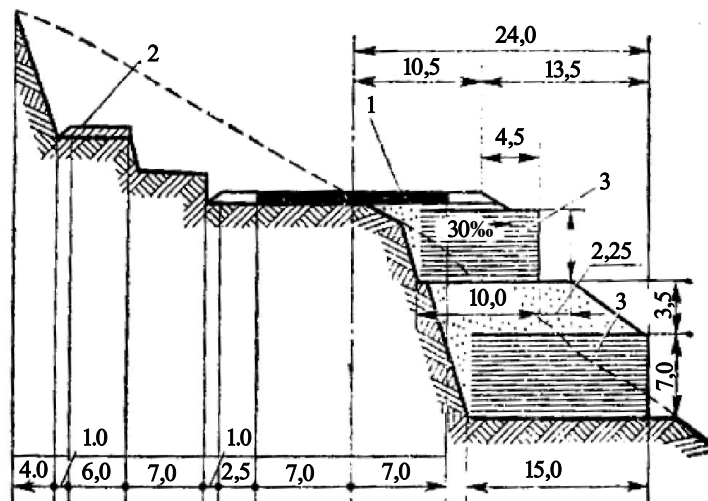
საყრდენ კედლებს აწყობენ პროფილირებული ლითონის ზოლებისაგან ან რკინაბეტონის ელემენტებისაგან. მათ შორის სივრცეში გრუნტის ჩაყრისას აწყობენ წვრილ მოთუთიებელ ფოლადის ან დიურალუმინის მილებს სისქით 3 მმ, სიგანით 60-120 მმ და სიგრძით 25 მ. (ნახ. 4.23 და 4.24). ასეთი კედლების მუშაობის ვადა ძირითადად დამოკიდებულია არმატურის კოროზიისადმი მედეგობაზე. ამიტომაც მათი აშენებისათვის იყენებენ არაორგანულ გრუნტებს (ქვიშას, ხრეშს), რომლებიც არ არიან ბიოლოგიურად აქტიურები.

ჩაყრისათვის იყენებენ მსხვილმარცვლოვან, კარგად მფილტრავ მასალებს, რომლებშიც წყალი ჟონავს შეგუბების გარეშე. საფრანგეთში თვლიან, რომ ისინი

არ უნდა შეიცავდნენ მასის 15%-ზე მეტ 0-75 მმ ნაკლებ ზომის ნაწილაკებს, არაუმეტეს 25%-ს 150 მმ მსხვილ ქვებს, ხოლო 350 მმ-ზე მეტ ზომის ქვებს საერთოდ არ უნდა შეიცავდეს.



ნახ. 4.23. საყრდენი კედლის კონსტრუქცია არმირებული გრუნტისაგან
 1 – კედლის ზედაპირი მეტალის ზოლებისაგან; 2 – გრუნტში ჩაწყობილი საყრდენი კედლის დამჭერი მეტალის ღეროები; 3 – საყრდენი კედლის შიგა ნაყარი გრუნტი; 4 – გადაფარვის მოწყობა შეერთებაზე

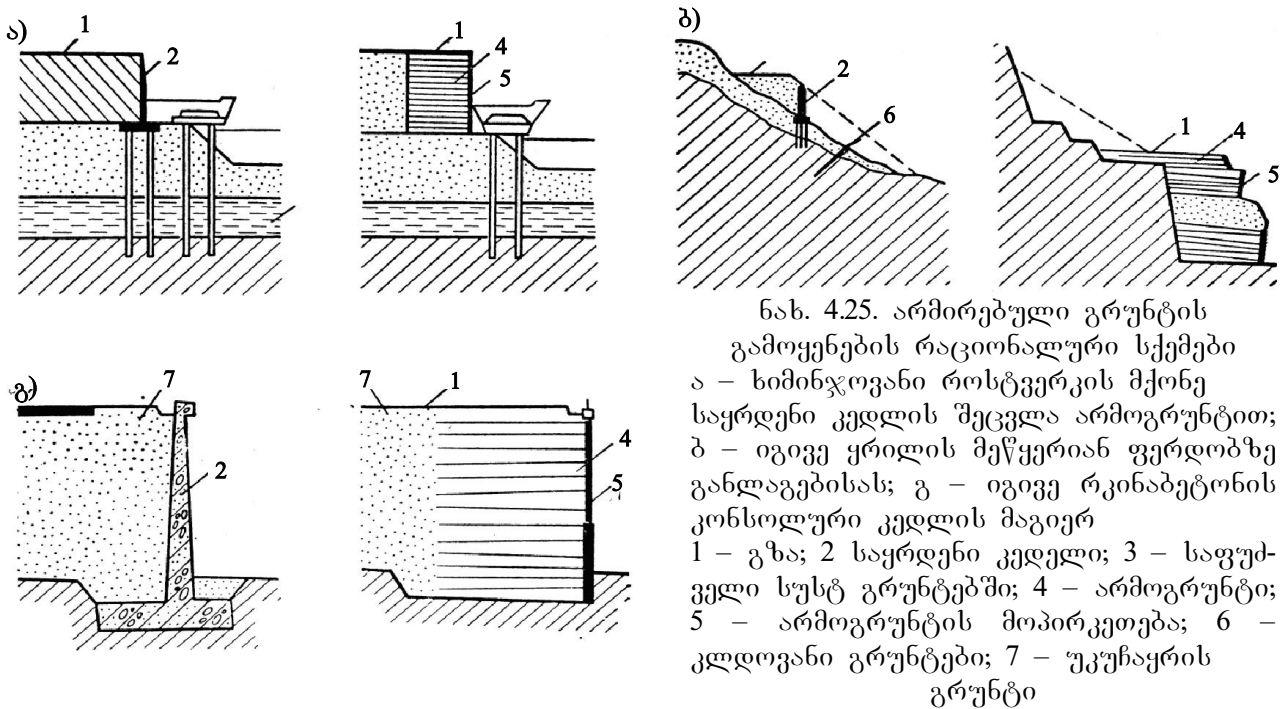


ნახ. 4.24. საავტომობილო გზის განივი პროფილი ფერდობზე არმირებული გრუნტისაგან მოწყობილი ორი ქვედა საყრდენი კედლით
 1 – ძირითადი გზა; 2 – დამხმარე გასასვლელი საგზაო-სამშენებლო მანქანებისათვის; 3 – არმირებული გრუნტის საყრდენი კედლები

ქვიშის და ხრეშის ჩანაყარის ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ფოლადის არმატურასთან შეადგენს 0,45 – 0,50, ამასთან გრუნტების დატენიანება ადიდებს ზოლების წინააღობას ამოძრობისადმი.

ფოლადის მიღების გალვანიზაციის სათანადო ხარისხის ხარისხის შემთხვევაში მათი მუშაობის ვადა არა ნაკლებ 50 წელს აღწევს.

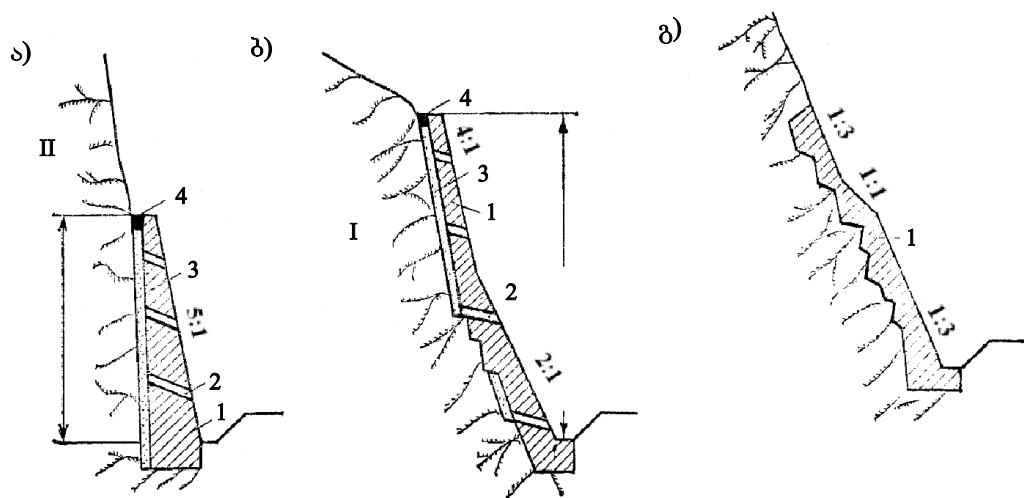
სახლდარგარეთის მოწინავე ქვეყნებში ცნობილია არმირებული გრუნტის 2500-მდე კონსტრუქცია. მათი უპირატესობაა: ეკონომიურობა, აგების სისწრაფე; არაკვალიფიციური მუშების გამოყენების შესაძლებლობა. ასეთი კედლები უძლებენ მნიშვნელოვან დატვირთვებს მათ შორის გამოწვეულს მეწყერებისა და სეისმური მოვლენებისაგან, ადვილად ეწერებიან გარემოს რთულ ფორმებში, ამიტომაც მათი გამოყენება მიზანშეწონილია რთული დასერილი რელიეფისა და მთაგორიან პირობებში. ნახ. 4.25 თუმცა საქართველოს საგზაო მშენებლობის პრაქტიკაში მათი ფართოდ გამოყენება ჯერ არ დაწყებულა ჩვენში ტრადიციული ბეტონის საყრდენი კედლებისათვის ინერტული მასალისა და ცემენტის სიიაფის გამო მეტაღთან შედარებით.



არმირებული გრუნტის საყრდენი კედლების გაანგარიშებისას ვარაუდობენ, რომ გრუნტის გვერდითი წნევის ათვისება ხდება გრუნტზე ზოლების ხახუნის წინააღობით. ზოლების რაოდენობა, სიგრძე და კვეთი საკმარისი უნდა იყოს იმისათვის, რომ მათი წინააღობა გაგლეჯისადმი და გრუნტიდან ამოძრობისადმი აჭარბებდეს გრუნტის გვერდით წნევას გარდა ამისა, გრუნტის არმირებულ ნაწილს ამოწმებენ ძვრაზე და გადაყირავენებაზე, განიხილავენ რა მას, როგორც გრავიტაციული ტიპის ჩვეულებრივ საყრდენ კედელს. გამოცდილების მიხედვით, მიღების სიგრძეს დებულობენ კონსტრუქციულად არა ნაკლებ 0,8 კედლის სიმაღლისა.

მერგელისა და ფიქალიანი ქანებისაგან აგებული, ჭრილებისა და ციცაბო მთის კალთების ფერდობები, მდგრადი არიან ჩამომეწყერების მიმართ, მაგრამ

ადვილად განიცდიან გამოქარვას, დანგრევასა და ჩამოყრას. მათ დასაცავად აწყობენ დამცავ, ანუ შემმოს კედლებს. ისინი არ განიცდიან გარე დატვირთვას, არ იჭერენ ფერდობს, როგორც საყრდენი კედლები, არამედ, მხოლოდ ფარავენ მას და იცავენ მას ბუნებრივი ფაქტორების ზემოქმედებისაგან. ამიტომ შემმოს კედლებს აქვს გაცილებით ნაკლები სისქე, ვიდრე საყრდენ კედლებს მათი განივი მოხაზულობა დამოკიდებულია დასაცავი ფერდის მოხაზულობებზე (ნახ. 4.25). ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია შესაბამისი კედლების უკანა ზედაპირი გაკეთდეს სწორი, რათა კედლებს ჰქონდეთ დამოუკიდებელი დაჯდომის შესაძლებლობა. მათ უკან საჭიროა სადრენაჟო შუაშრის მოწყობა შეგუბებული წყლის გამოსაშვებით, რათა გაყინვის დროს ავიცილოთ კედლის დანგრევა.



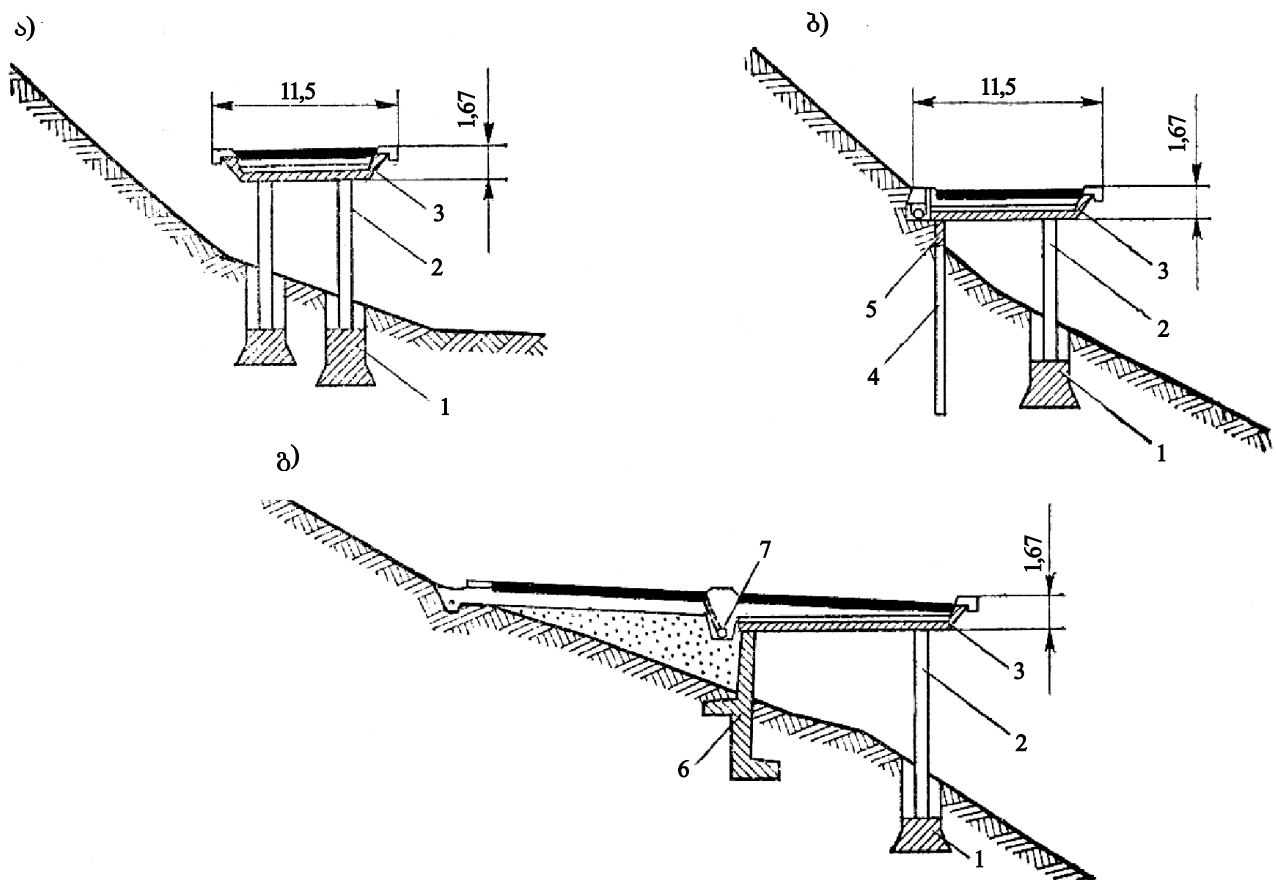
ნახ. 4.26. შემმოსი კედლების სახეობანი
 ა და ბ – დრენაჟის მოწყობით; გ – კლდოვან ქანზე დასმით
 1 – შემმოსი კედელი; 2 – წყლის გამოსასვლელი ხვრელი;
 3 – სადრენაჟო მინაყარი; 4 – წყალგაუმტარი ფენა

მშრალ ფერდობებზე კედლების მოწყობა შეიძლება საფეხურების ამოშენებით კედლის ქანში. ზოგიერთ შემთხვევაში, როცა დაბზარვა ვრცელდება მცირე სიღრმეზე კარგ შედეგებს იძლევა ფერდობის დაქანების შემცირება.

შემმოსი კედლების მოწყობისათვის შეიძლება ასაწყო ბეტონის ელემენტების გამოყენება. ბევრ შემთხვევაში საკმარისია დაბზარული კედლის ფერდობთა ზედაპირის ტორკრეტირება ბზარებში კარგად შეღწევადი ცემენტის ხსნარების გამოყენებით.

მონოლითურ კლდოვან გრუნტებში ციცაბო ფერდობზე ჭრილების მოწყობისას, შეიძლება დატოვებულ იქნას გზაზე ჩაკიდებული კედლის შევრილები: ასეთ განივ პროფილს ეწოდება ნახევარგვირაბი. საქართველოში ისინი გვხვდება საქართველოს სამხედრო გზაზე, ბზიფის ხეობაში და სხვა ადგილებში.

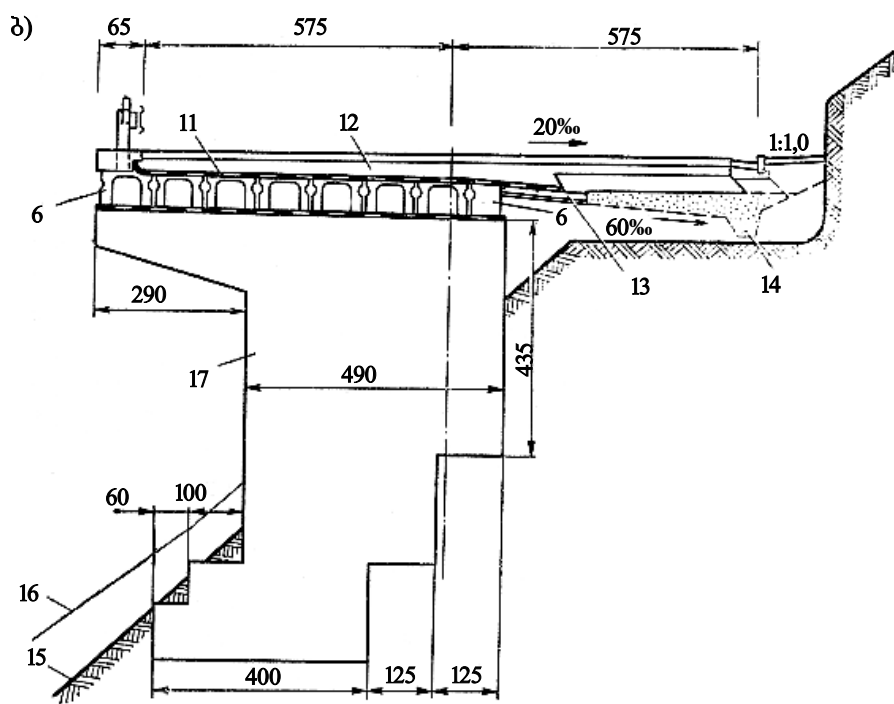
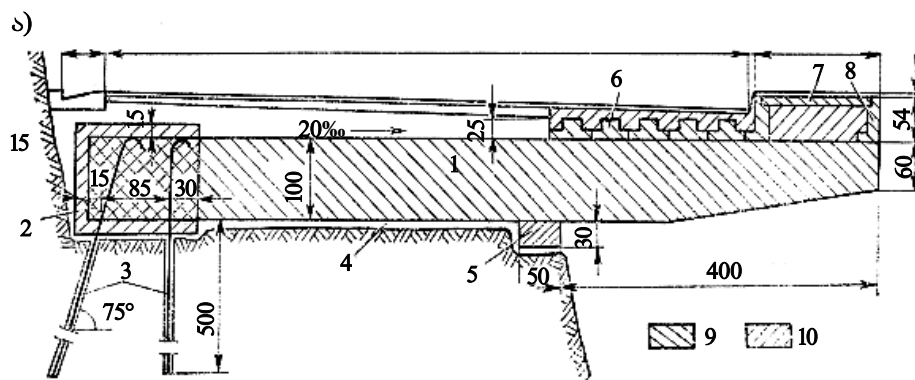
მთის ციცაბო ფერდობებზე, სადაც საჭიროა საყრდენი კედლების მნიშვნელოვანი სიმაღლე, სამუშაოს მოცულობის შემცირების მიზნით აწეობენ ესტაკადებს და ნახევარხიდებს (ნახ. 4.27), კლდოვან ფერდობებზე ეწყობა აივნები – კონსოლური კონსტრუქციები, ჩამაგრებული კლდეებში, რომლებზედაც ნაწილობრივ არის განლაგებული მიწის ვაკისი (ნახ. 4.28). აივნების საყრდენების ჩამაგრება ციცაბო კლდის კედლებზე რთულია, ამიტომ კონსოლების დასაჭერად ცდილობენ ვერტიკალური საყრდენების ან განბრჯენების მოწყობას. ასეთი კედლის შესანიშნავი მაგალითია საქართველოში რიონის ხეობაში ცაგერთან მისასვლელ გზაზე აშენებული მონოლითური ბეტონის საყრდენები.



ნახ. 4.27. ნახევარხიდების სქემები

- ა – ესტაკადების მოწყობა ფერდობზე მაღალი ყრილის მაგიერ;
- ბ – ნახევარხიდი; გ – ნახევარხიდი ყრილით.
- 1 – საძირკველი; 2 – საყრდენი; 3 – მზიდი კონსტრუქცია;
- 4 – ნაბურღი ხიმინჯი; 5 – გრძივი რიგელი;
- 6 – საყრდენი კედელი; 7 – წყალსადინარი.

ზემო ფერდობებიდან გზისკენ ჩამონადენი წყლის არიდებისათვის აწეობენ სამთო არხებს, რომლებიც განლაგებული არიან ზედა მხრიდან არა ნაკლებ 6 მ. დაშორებით ჭრილის წარბასგან.



ნახ. 4.28. აივანთა კონსტრუქციები

ა - აივანი კლდეში ჩახსმული კონსოლური კოჭებით;

ბ - აივანი რკინაბეტონის საყრდენებით

- 1 - მზიდი კონსოლი; 2 - საანკერო ბლოკი; 3 - საანკერო ღეროები $b=2$ სმ. ჩაბეტონებული ბურღილებში; 4 - ბეტონის შემასწორებელი ფენა; 5 - საღებები; 6 - გრძივი კოჭები; 7 - ტროტუარის ფილა; 8 - ტროტუარის ფილის საყრდენი გრძივი კოჭები; 9 - წინასწარ გამზადებული ელემენტი; 10 - ადგილზე ჩახსმული ბეტონი; 11 - საიზოლაციო ფენა; 12 - საგზაო სამოსი; 13 - გარდამავალი ფილა; 14 - სადრენაჟო ნატარი; 15 - კლდე; 16 - გრუნტის ზედა ფენა; 17 - საყრდენი მონოლითური რკინაბეტონისაგან

4.9. გზის გაყვანა ქვათაცვენისა და შვავების უბნებში

მთის მდინარეთა ხეობაში გზების ტრასირების დროს ზოგჯერ გვიხდება შვავიანი უბნების გადაკვეთა. შვავებია - ციცაბო ფერდობებზე გამოფიტული მთის ქანების დაშლის შედეგად მიღებული წვრილ და ნამსხვრევი პროდუქტების

დანალექები. ჩამონაშალი გროვდება ფერდობების ძირში კონუსების ან ზვინულების სახით, რომლებიც შედგება ბუნებრივი ღორღისაგან გრუნტის ნაწილაკების უმნიშვნელო მინარევით ზედა ნაწილში. ნაწილაკების სიმსხოსა და მათი პეტროგრაფიული შემადგენლობის მიხედვით, ჩამონაშლებს აქვს დახრილობა 40-45°, რომელიც შეესაბამება ჩამონაშლის მასალის ბუნებრივი დახრის კუთხეს წყალნაჯერ მდგომარეობაში. ქვედა ნაწილში (ჩამონაშლის შლეიფი) ჩამონაშალი უფრო დამრეცია. მასალის ჩამოსვლის ინტენსივობის მიხედვით განასხვავებენ 3 ტიპის ჩამონაშლებს: მოქმედი ჩამონაშალი, რომლის ზრდა გრძელდება, მიღვეადი და მიღეული.

მიღეული ჩამონაშალი იფარება ბალახით, ბუჩქნარებით და ხეებით. მიღეული ჩამონაშალიც კი არამდგრადი წონასწორობის მდგომარეობაშია, ჩამონაშლის ქვედა ნაწილის ჩამოჭრამ ჭრილით, სეისმურმა ბიძგებმა, ჩამონაშალით გამოწვეულმა გადატვირთვამ შეიძლება კვლავ გამოიწვიოს ჩამონაშლის აქტივიზაცია და აამოქმედოს ის.

მოქმედი და მიღვეადი ჩამონაშლისაგან შექმნილი კონუსების თვალსაჩინო მაგალითები გვხვდება არაგვის ხეობაში საქართველოს სამხედრო გზის გასწვრივ. განსაკუთრებით აქტიურია ჩამონაშალი კონუსები არაგვის მარჯვენა ნაპირზე.

ცნობილი გეოგრაფის პ. პუშკინის მიერ შემოთავაზებულია ჩამონაშლის დახასიათება მათი ძვრადობის ხარისხის მიხედვით, ძვრადობის კოეფიციენტებით

$$K = \frac{\alpha}{\varphi},$$

სადაც α – ჩამონაშლის ზედაპირის დახრილობის კუთხეა;

φ – ბუნებრივი დახრის კუთხე ჩამონაშლის მასალისათვის.

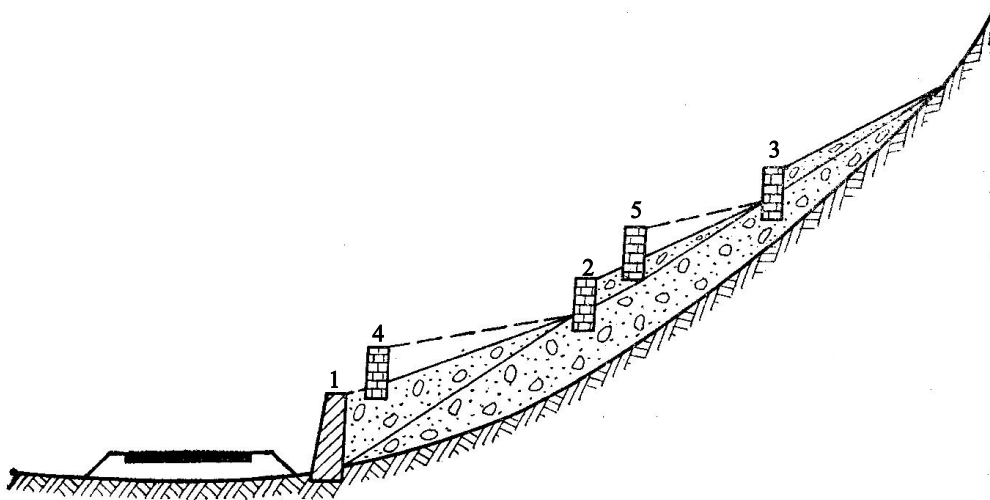
ძვრადობის დონე	მოძრავი	ნაკლებად მოძრავი	შედარებით უძრავი
ძვრადობის კოეფ.	0,7–1	0,5–0,7	0,5

გზების ტრასირების დროს საჭიროა მოძრავი ჩამონაშალების შემოვლა; თუ ეს შეუძლებელია, საჭიროა ღონისძიებათა გათვალისწინება მიწის ვაკისის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად. თუ ჩამონაშალების ძვრადობის კოეფიციენტები 0,5 ნაკლებია, მათი გამოყენება შეიძლება მიწის ვაკისის განლაგებისათვის ყრილებში დამატებით ნაგებობების გარეშე.

მდინარეებში ჩამავალი ჩამონაშალების შლეიფები, რომლებიც შედგება მსხვილმონატეხი კარგი ფილტრაციის მქონე მასალისაგან, შეიძლება გზით გადაიკვეთოს. განსაკუთრებით თუ ჩამონაშალი გამაგრდა და მის ზედაპირზე წარმოიქმნა ნიადაგოვანი შრე, რომელიც მცენარეებით დაიფარა. გზას

აპროექტებენ ჩვეულებრივი მეთოდით, მასზე ყრილებში განლაგებით. მოქმედი ჩამონაშალის შემთხვევაში, როდესაც მოხდება დანალექების დაგროვება, გზის წინ ამოჰყავთ დამჭერი კედელი ჩამოშლილი ნატეხების შეკავებისათვის და შეგროვებისათვის. კედლები ამოჰყავთ 1,5–2 მ. სიმაღლისა, მშრალი წყობით, 0,8–1მ. სიგანით, არანაკლებ 0,5 მ. სიღრმეზე.

ჩამონაშალი მასალის მცირე ჩამოსვლის დროს, კედელს პერიოდულად ამაღლებენ და ჩამონაშალის მასივზე აგებენ დამატებით კედლებს (ნახ. 4.29). აქტიური, მძლავრი ჩამონაშალების შემთხვევაში რომელთაც შლეიფი წყალსადინარების ნაპირებს აღწევს, ხშირად მიზანშეწონილია ტრასის გადატანა ხეობის სხვა კალთაზე, რაც ხშირად საიჭროებს 2 ხიდის აგებას, ჩამონაშალების მძლავრი შლეიფების შემთხვევაში შეიძლება გვირაბებით გასვლა.



ნახ. 4.29. ჩამონაშალისაგან გზის საყრდენი კედლებით დაცვის სქემა. ციფრები გვიჩვენებენ კედლების აგების თანმიმდევრობას.

ჩამონაშალის მასალა წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას ყრილების ასაგებად. თუ მათი სიმტკიცე საკმაოა შეიძლება მათი გამოყენება, გზის სამოსის მოსაწყობად და ბეტონის დასამზადებლად.

ზოგჯერ დაგროვილი ჩამონაშალის მასალის მცირე მოცულობის დროს, ზედა საყრდენი კედლების ამოყვანის მაგივრად, მიზანშეწონილია ჩამონაშალის აღება და მისი მასალის გამოყენება ყრილების მოსაწყობად.

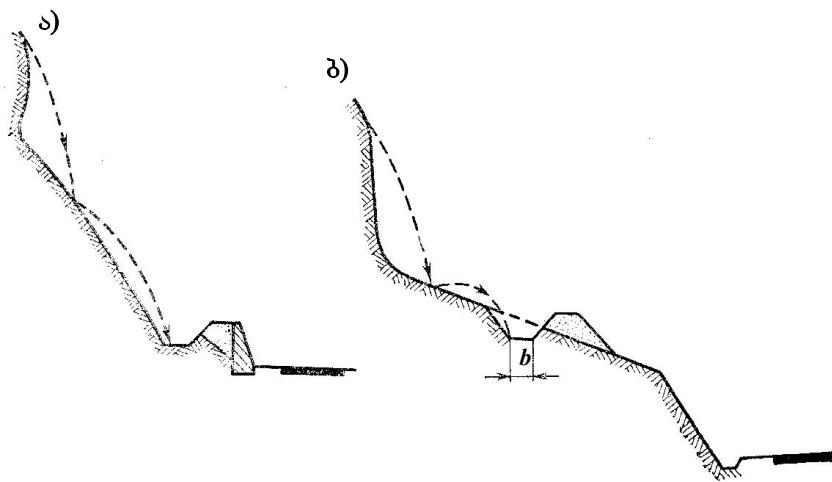
სამთო გზების ბევრ უბანზე ხდება ჩამოზვავება ანუ მთის ციცაბო ფერდობებიდან მთის ქანების მონატეხების უეცრად ჩამონგრევა. ჩამოზვავების მიზეზია ფერდობების ძლიერი დახრილობა, რომელზეც ვერ ჩერდება მონატეხი ქანები, რომლებმაც დაკარგეს კავშირი მთავარ მასივთან. ჩამოზვავებას ხელს უწყობს მთის ქანების დაშლა გამოფიტვის პროცესების შედეგად, დახრილი

ფენების შეჭრა მიწის ვაკისის მოწყობისას, მთის ქანების დაბზარვა, გამოწვეული ბუნებრივი ტექტონიკური რღვევებით, მშენებლობისას მძლავრი აფეთქებებით, წყლის გაფართოებით მთის ქანების ნაპრალებში მისი გაყინვისას, სეისმური ბიძგებით და სხვა.

გზის კვლევა – ძიების დროს მიზანშეწონილია ჩამოზვავების უბნების შემოვლა. თუ ეს შეუძლებელია, საჭირო ხდება გზის ექსპლუატაციის პროცესში უბნებზე განუწყვეტელი კონტროლის წარმოება. სპეციალური ბრიგადა რეგულარულად უნდა ათვალიერებდეს ფერდობებს, თუ საჭირო მოძრაობას აჩერებენ და მორყეულ ქვებს ძირს ყრიან.

უბნებზე, სადაც ჩამოზვავება და ქვათაცვენაა მოსალოდნელი, გზების წვრილი ქვების ვარდნისაგან დასაცავად ფერდობებზე აყენებენ ლითონის დამჭერ შემკავებელ ცხაურა ფარებს ან ფერდობზე ჩამოაფარებენ მსხვილი მავთულის ბადეს (უჯრედის ზომა 6x6 სმ, მავთულის დიამეტრი 3 მმ).

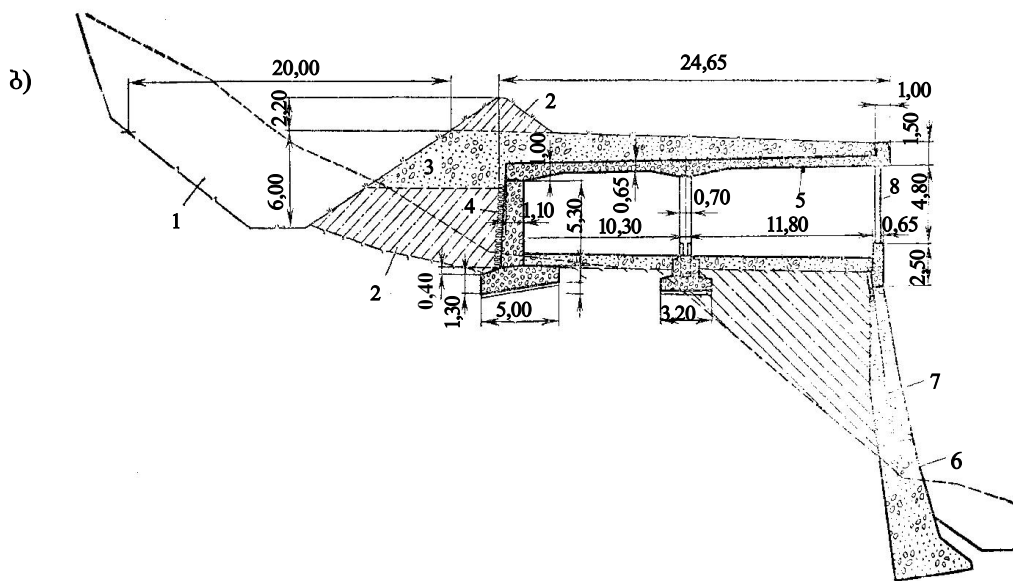
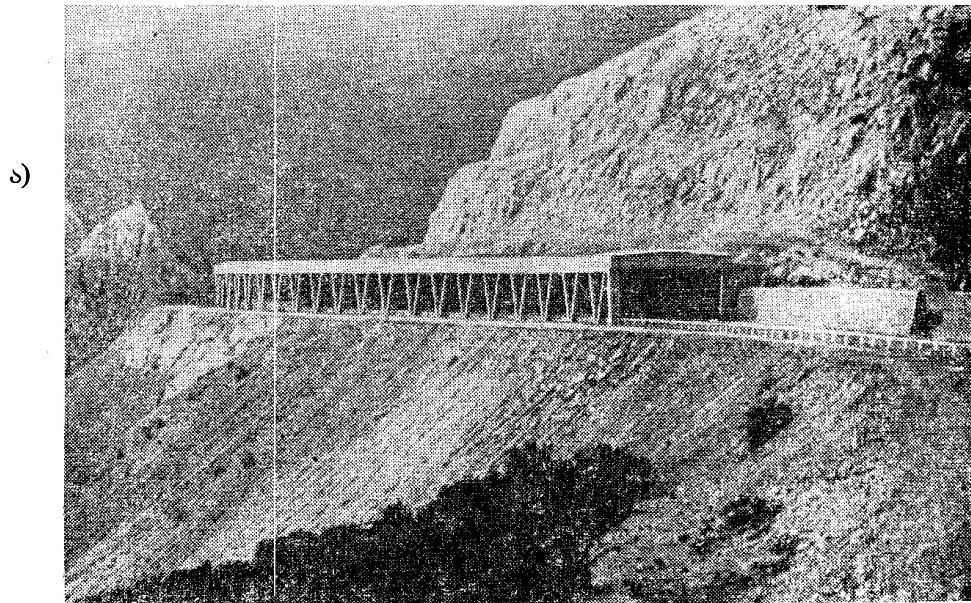
მსხვილი ქვების ვარდნისაგან დაცვის მიზნით გზასთან ახლოს აწყობენ დამჭერ თხრილებს ზვინულებით ან დამჭერ კედლებს (ნახ. 4.30) მათ ზომებს ნიშნავენ ქართველი მეცნიერის პროფ. ნ. როინიშვილის მიერ შემოთავაზებული მეთოდის მიხედვით. ეს მეთოდი დამყარებულია, ტეხილი განივი პროფილის ფერდობზე დაგორებული ქვის მოძრაობის ტრაექტორიის გაანგარიშებაზე. ამ დროს ითვალისწინებენ წინააღმდეგობას, რომელსაც განიცდის ქვა მოძრაობისას და დარტყმის დროს ენერჯიის დაკარგვას. დამჭერ კედლებს ანგარიშობენ ქვის დარტყმაზე.



ნახ. 4.30. დამჭერი თხრილები ზვინულებით და დამჭერი კედლები.
 ა – დამჭერი კედელი გზის წარბასთან; ბ – დამჭერი თხრილი ზვინულით მიწის ვაკისის ფარგლებში.

ინტენსიური მოძრაობის გზებზე, ქვაცვენის უბნებზე, ზოგიერთ შემთხვევაში საჭირო ხდება დამცავი გალერეების აგება (ნახ. 4.31). ნახ. 4.29 ნაჩვენებია დამცავი

გალერეის განივი კვეთი, რომელიც შვეიცარიის საავტომობილო მაგისტრალზეა აგებული. ასეთი გალერეები ხშირია საქართველოშიც.



ნახ. 4.31. ქვაცვენისაგან დამცავი გალერეა
 ა - საერთო ხედი; ბ - ავტომაგისტრალის განივი ჭრილი
 1 - დამჭერი თხრილი; 2 - თიხნარი გრუნტი; 3 - ქვიშახრეშის ნარევი;
 4 - სადრენაუო ფენა; 5 - ანაკრები რკინაბეტონის გალერეა; 6 - ქვედა
 საყრდენი კედელი; 7 - ბეტონის გრძივი კოჭის სამაგრი ანკერი;
 8 - მეტალის დგარი.

4.10. ღვარცოფის ნარიეების გადაკვეთა

ჩამონგრეული ფხვიერი და მცირებმული მთის ქანების დიდი მასები ჩვეულებრივ გროვდება ციცაბო ფერდობებზე და ხეობების ძირზე (ფსკერზე).

ინტენსიური წვიმებისას სათავეებთან ახლოს განლაგებული წყალსაცავების ავსების ან მათი ჯებირების დაზიანების შემთხვევაში წარმოიქმნება ტალახის ან ტალახქვიანი დროებითი ნაკადები, ე.წ. ღვარცოფი ანუ სელი. ღვარცოფის (სელური) ნაკადი წყლის გრუნტის და ქვების ნარევი სიმკვრივით 1,2–1,8 ტ/მ³, რომელიც ჩამოედინება მშრალ ხეობებში და მთის მდინარეების კალაპოტებში 5–8 მ/წმ სიჩქარით თავსხმა წვიმების შედეგად. მაგ. აშშ ქ. ლოს-ანჯელესს პერიოდულად ემუქრება ძლიერი ღვარცოფული ნაკადი გამოწვეული ხანგრძლივი ინტენსიური წვიმით. იქ 1934 წ-ს ორი დღეღამის განმავლობაში უწყვეტმა წვიმამ გადააჭარბა ნალექების წლიურ ნორმას და გამოიწვია კატასტროფული ღვარცოფი. 6 მ სიმაღლის ტალღებმა ქალაქის ტერიტორიაზე დატოვა 12 მლნ მ³ ნარიყი, მთლიანად დაანგრია სატრანსპორტო და კავშირგაბმულობის კომუნიკაციები, შენობები.

1967 წ-ს საქართველოში დარიალის ხეობაში ივნის-ივლისი განსაკუთრებით წვიმიანი იყო. 5 აგვისტოს ღამით მძლავრმა ღვარცოფმა აავსო თერგის კალაპოტი, დაანგრია ნაპირსამაგრი ნაგებობები, მიწის ვაკისი და ხელოვნური ნაგებობები საქართველოს სამხედრო გზაზე. თერგზე ხარჯი გაიზარდა 30-ჯერ და მიაღწია 1500 მ³/წმ. ჩამოტანილი მყარი ნატანის მასამ შეადგინა რამდენიმე მლნ მ³, სადაც ჩართული იყო 2,5–3 მ დიამეტრის ლოდები.

ღვარცოფული ნაკადები განსაკუთრებით საშიშროებას უქმნიან დასახლებულ პუნქტებსა და საგზაო ხელოვნურ ნაგებობებს აღმოსავლეთ საქართველოში, სადაც ბევრია მშრალი ხევი, რომელთა კალაპოტში წყალი მოედინება მხოლოდ ინტენსიური წვიმების შემდეგ და ხშირ შემთხვევაში ნაკადს ღვარცოფული ხასიათი აქვს. ამ მხრივ ცნობილია საგარეჯოს, თელავისა და ყვარლის რაიონის მშრალი ხეხევი. 2010 წლის გაზაფხულზე ინტენსიური წვიმების შედეგად აივსო ჭერმის ხევის სათავეში არსებული წყალსაცავი შეიქმნა ჯებირის დანგრევის საფრთხე რასაც შეექმლო მძლავრი ღვარცოფული ნაკადის წარმოქმნა. ამასთან დაკავშირებით საჭირო გახდა სოფელ ველისციხის მცხოვრებთა დიდი ნაწილის გაყვანა სახიფათო ზონიდან.

ბევრ შემთხვევაში ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების ღვარცოფისაგან დაცვა წარმოადგენს ძალიან რთულ პრობლემას. ამ საკითხის გადაწყვეტისათვის საჭირო ხდება რთული ნაგებობების აგება, როგორც მაგ. 115 მ სიმაღლის კაშხალი აღმა-ათაში. მდ. დურუჯი მრავალი წელია საფრთხეს უქმნის ყვარელს. დურუჯს ყოველწლიურად გამოაქვს თიხოვანი ფიქალების ნაშალი დიდძალი მასალა და ლექავს ალაზნის ველზე. ყვარლის ეფექტური დაცვა ღვარცოფული ნაკადისაგან ჯერ არ არის უზრუნველყოფილი.

ღვარცოფების სავარაუდო შეფასება შეგვიძლია მის მიერ აუზის 1 კმ² ფართობიდან წლიურად გამოტანილი დანალექების რაოდენობით. ძალიან ძლიერად ეროზირებული აუზი კატასტროფული ღვარცოფით – 3800 მ³/კმ², ძლიერ ეროზირებული აუზი, ინტენსიური ღვარცოფით – 1800–2000 მ³/კმ², საშუალოდ ეროზირებული აუზი, შედარებით მცირე ღვარცოფით – 900–1200 მ³/კმ².

გზების დაპროექტების დროს, როგორც წესი ხშირად ვხვდება შედარებით მცირე ღვარცოფის ნაკადები, წარმოიქმნილი შედარებით მოკლე ციცაბო ფერდობებისა და მნიშვნელოვანი ქანობების მქონე ხეობების სათავეებთან. ნაკადები ერთვიან იმ მდინარეს, რომლის გასწვრივაც აგებენ გზას. მრავალი ასეთი ხევი ერთვის მდინარე არაგვს სოფ. მლეითიდან ანანურამდე.

ტალახქვიანი ნაკადის მქონე ხევიდან მდინარის ხეობაში მისი გამოსვლისას ხევის გრძივი ქანობი მცირდება წარმოიქმნება თანდათან მზარდი ნარიყის კონუსები. წყლის შემცველობის მიხედვით ღვარცოფის ნარიყი მოძრაობს ან როგორც ერთგვაროვანი ბლანტი მასა (ტალახიანი ან ტალახქვიანი ნაკადი), ან როგორც წყალქვიანი ტურბულენტური ნაკადი. მისი ჩამოტანილი მყარი ნატანი ხშირად ნაკადის მოცულობის 20–40%-ს აღწევს.

ღვარცოფის ნარიყში ქვების ნაწილი გადაადგილდება შეტივტივებულ მდგომარეობაში, უფრო მსხვილი ქვები მოძრაობენ, ხევის ფსკერზე გორვით. ცალკეული ქვების მოძრაობა ფერხდება კლდის შეერილებით გამოწვეული უსწორმასწორობის გამო. ამის შედეგად წარმოიქმნება დროებითი ხერგილები, მაგრამ ღვარცოფის მასის ნაკადი ზემოდან არღვევს საგუბარს და ღვარცოფი, უფრო მეტი სიჩქარით მიდის ქვემოთ.

ღვარცოფის ნაკადებზე ცალკეულ მეცნიერთა დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ წატაცებული ნაწილაკების ხაზოვანი ზომები ნაკადში სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია, ხოლო გადამტანი ნაწილაკების მასა სიჩქარის მეექვსე ხარისხის პროპორციულია. ამიტომ მთის მდინარეებს და ღვარცოფის ნაკადებს გადააქვთ მნიშვნელოვანი სიდიდის ქვები.

ღვარცოფის ნაკადის სიჩქარე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$V = kH^{2/3}i^{1/3} \text{ მ/წმ}$$

სადაც H – საშუალო სიღრმეა, მ; i – ხევის ქანობი, K – ღვარცოფის ნაკადში ნარიყის საშუალო დიამეტრის D სიდიდეზე დამოკიდებული კოეფიციენტი:

D, მ	19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10
k	10	20	50	100	200	500

მიახლოებით შეიძლება ჩაითვალოს, რომ ღვარცოფის ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარეა $V = (3,5 \div 5)\sqrt{D}$ (მ/წმ).

ღვარცოფის ნაკადის გავლის ჰორიზონტისა და მისი სიჩქარის დადგენით შეიძლება ღვარცოფის ხარჯის განსაზღვრა. ღვარცოფის ნარიყის მაქსიმალური ხარჯისა და ნარიყის მოცულობის განსაზღვრისათვის საგზაო ხელოვნურ ნაგებობათა ჰიდრაულიურ გაანგარიშების სპეციალისტი, ცნობილია რუსი მეცნიერი პროფ. ე. ბოლდაკოვი გვთავაზობს შემდეგ გამარტივებულ ფორმულებს:

$$Q = \Psi(K \cdot h)^m \cdot F^n k \quad W = K \cdot h \cdot F \cdot \gamma$$

სადაც Q – ხარჯი, მ³/წმ;

W – ჩამონადენის მოცულობა, ათასი მ³.

K ჩამონადენის ფენის გადიდების კოეფიციენტი ქვებისა და გრუნტების ჩართვის ხარჯზე ტალახქვიანი ნაკადებისათვის $K=1,7$ წყალქვიანი ნაკადებისათვის $K=1,2$. h – ჩამონადენის ფენისა; Ψ – ხევის გრძივ ქანობზე დამოკიდებული მორფოლოგიური კოეფიციენტი; F – წყალსაკრების ფართობი; K – ხევის ხორკლიანობის კოეფიციენტი. k -ს მნიშვნელობა ტალახქვიანი ნაკადებისათვის მიღებულია 10-ის ტოლად, წყალქვიანი ნაკადებისათვის 5; n და m ხარისხის მაჩვენებლებია; γ – ნალექების უთანაბრობის კოეფიციენტი.

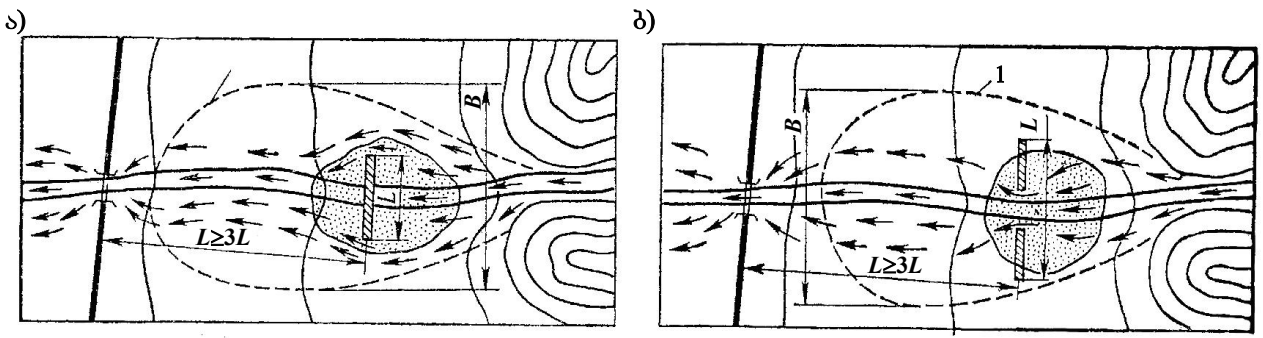
ღვარცოფის ნაკადების გადაკვეთა ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია ტრანზიტული კალაპოტის საზღვრებში, სადაც არის მდგრადი კლდოვანი ნაპირები და ნაკადის კალაპოტი, როგორც წესი, მუდამ ფიქსირებულია. წყალსადინარებს გადადიან ხიდის ერთი მალით, მალის ძირის ამალღებით არა ნაკლებ 1 მ. მაღალი წყლის ჰორიზონტზე, მაგრამ ამ შემთხვევაში ხიდთან შესასვლელების ტრასირება ნორმატივების დაცვით საკმაოდ ძნელია. თუ ხეობა, რომელშიც ღვარცოფის ნაკადი ჩაედინება, ფართოა, ხოლო ნარიყის კონუსსა და წყალსადინარს შორის არის თავისუფალი ზოლი, შეიძლება გზის გაყვანა წყალსადინარის გასწვრივ, თუ მდინარე წყალმოვარდნის დროს არ ტბორავს ხეობას. ამიტომ არავის ხეობაში (მლეთა-ანანურის მონაკვეთი) ნარიყის კონუსმა არსებული ხიდების ხვრეტი იმდენად შეამცირა, რომ მათ დაკარგეს ნაკადის გატარების უნარი და აუცილებელი გახდა ტრასის გადატანა კონუსიდან მოშორებით მდინარის კალაპოტის უშუალო სიახლოვეში.

ღვარცოფის ნაკადის ნარიყის კონუსის გზით გადაკვეთის გარდაუვალობის შემთხვევაში ტრასა გაყვანილ უნდა იყოს მის ქვედა ნაწილში, მსხვილი ქვების დარიყვის ზონის გარეთ მოხეტიალე კალაპოტების ხიდებით გადაფარვით. ხიდები

საჭიროა აიგოს სვეტისებრი ტიპის თითო საყრდენით, რომელთა მუშაობის პირობები არ იცვლება კალაპოტის მიმართულების შეცვლისას და რომლებიც არ ზღუდავენ ღვარცოფის ნაკადს.

კალაპოტების არამდგრადობის გამო ხიდების ხვრეტები საჭიროა მნიშვნელოვნად გადიდდეს ჰიდრავლიური გაანგარიშებით მიღებულ ზომებთან შედარებით. მცირე ხიდები და მილები სწრაფად იჭედება, რის შედეგად ღვარცოფის ნაკადი ზემოდან გადაედინება ყრილს.

მიწის ვაკისის ორივე მხიდან აუცილებელია მტკიცე გამაგრება რათა არ წაირეცხოს ვაკისი. თუ გზას აგებენ ღვარცოფის გამონატანის დაღეკვის ზონაში ან ნარიყის კონუსებსა და მდინარეს შორის ზედა მხრიდან ზოგჯერ აგებენ ნარიყის, შემაკავებელ ჯებირებს, რომლებიც ანელებენ ღვარცოფის ნაკადს და იწვევენ ნარიყის დაღეკვას (ნახ. 4.32). ჯებირები შეიძლება იყოს უწყვეტი ან წყვეტილი.



ნახ. 4.32. ნატანის დამჭერი ჯებირები
 ა – უწყვეტი, ბ – წყვეტილი;
 1 – ნატანის კონუსის საზღვარი

თუ კალაპოტის სიგანე, რომელზედაც ღვარცოფი მოედინება, აღემატება 100მ რეკომენდებულია უწყვეტი ჯებირები. ჯებირის საჭირო სიგრძე დამოკიდებულია კალაპოტის სიგანეზე და დაღეკილი ნარიყების ზომაზე. ჯებირის სიგრძე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით

$$L = \beta B, \tag{4.7}$$

სადაც β ჯებირით კალაპოტის შეზღუდვის კოეფიციენტი, B – კალაპოტის სიგანეა, მ.

ღვარცოფული ნაკადის სიგანე მისი ზედაპირის დონეზე შეგვიძლია ვიანგარიშოთ ფორმულით

$$B = 7,1Q^{0,4}W_3^{0,067} \cdot i^{-0,23}, \text{ მ}$$

სადაც Q – ნაკადის საანგარიშო ხარჯია, მ³/წმ;

W_3 – ღვარცოფის მასის დენადობის კოეფიციენტი ნაკადის პიკის დროს;

i – ნაკადის ქანობი იმ ადგილას სადაც ვითვლით სიგანეს, %.

შეზღუდვის კოეფიციენტი β ინიშნება ნარიის K დაკავების პროცენტის და ნარიი ქვების შეფარდებითი სიდიდის $\frac{D_{\text{საშ}}}{B}$ მიხედვით

ნარიის შეკავების პროცენტი K	100	75	50
შეზღუდვის კოეფიციენტი β	0,55–0,65	0,40–0,45	0,30–0,35

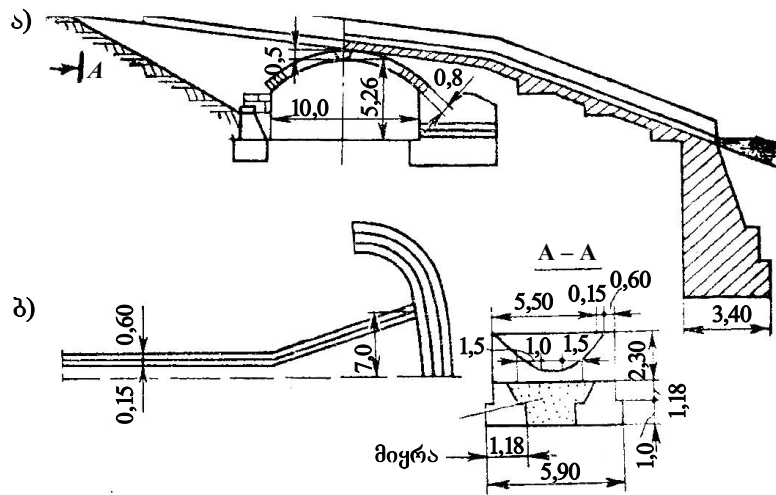
დიდი მნიშვნელობანი მიეკუთვნება იმ შემთხვევას, როდესაც $\frac{D_{\text{საშ}}}{B} > 0,01$.

ჯებირის განლაგება მიზანშეწონილია გზიდან არანაკლებ მისი სამმაგი სიგრძის დაშორებით. წყვეტილი ჯებირები გამოიყენება, როდესაც კალაპოტის სიგანე არ აღემატება 100 მ. მათ საერთო სიგანეს განსაზღვრავენ ფორმულით (4.7), ხოლო ღიობების სიდიდეებს ანგარიშობენ წყლის ხარჯის გატარებაზე მოცემული განმეორებადობით. განივ პროფილში ჯებირს აძლევენ ტრაპეციისებრ კვეთს 0,5–2,0 მ. სიგანით ზემოდან, ღვარცოფის ნაკადის ინტენსიურობისა და გადასატანი მასალის სიდიდის მიხედვით.

დაბალი კატეგორიის გზებით ღვარცოფის წყალსადინარების გადაკვეთისას. მოძრაობის მცირე ინტენსიურობის დროს შეიძლება დაშვებულ იქნას ღვარცოფის ნაკადის გატარება სავალი ნაწილის დონეზე განლაგებული ღარით.

დიდი ინტენსიურობით მოძრაობის გზებზე მცირე ღვარცოფის გადაკვეთისას, თუ მისი ხარჯი არ აღემატება 20 მ³/წმ და ქვების სიდიდეა არა უმეტეს 0,3–0,4 მ³, ხევი კი მიემართება გზისკენ დიდი ქანობის მქონე კალაპოტით აპროექტებენ ღვარცოფის ჩასაშვებ მოწყობილობას (სელედუკებს), რომლებიც გაატარებენ ღვარცოფის ნაკადს გზის ზემოდან ნახ. 4.33 გამოსატულია ღვარცობსაშვები არაგვის ხეობაში საქართველოს სამხედრო გზაზე. ჩვეულებრივ ღვარცოფის მოწყობილობისას ღარის სიგანე 4–5 მ. გვერდით კედლების სიმაღლე 3–4 მ.

ნახ 4.34, ბ. ნაჩვენებია ქ. ბორჯომში „ცოფიან დელეზე“ ღვარცოფსაშვების კომპლექსის საპროექტო გადაწყვეტა. კომპლექსი შედგება სამთო ნაგებობების, არხის, თაღის, მალისა და მდინარის გასწვრივ აგებული საყრდენი კედლისაგან, სათავე ნაგებობა შედგება თხრილისა და მიმართველი კედლებისაგან. მან უნდა შეკრიბოს ღვარცოფის ნაკადი და შეიყვანოს არხში. არხი შედგება საყრდენი კედლებისა და ფუძის ფილისაგან, რომლებიც ქმნიან დიდქანობიან (13%) მცირესორკლიან ხელოვნურ კალაპოტს. არხი გადადის ქვის თაღზე და ეშვება მდ. მტკვარში. თაღის მალი 10 მ შერჩეულია მის ქვეშ გამავალი გზის გაბარიტის დაცვის პირობიდან ღვარცოფის მიერ ჩამოყვანილი ნაშალი ქანი მიაქვს მტკვარს. წყალდიდობისას მტკვრის გასწვრივ აგებული საყრდენი კედელი იცავს ნაგებობას გამორეცხვისაგან.



ნახ. 4.33. სელედუკის კონსტრუქცია
 ა - საერთო სქემა და ჭრილი; ბ - ბოლო ნაწილის გეგმა

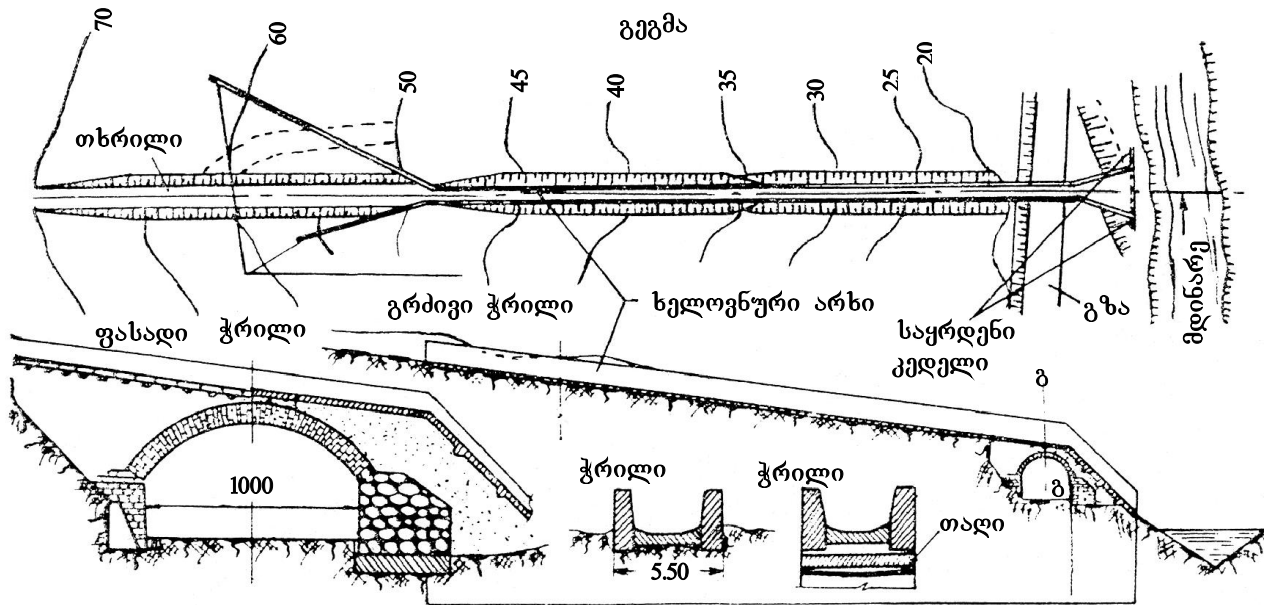
ღვარცოფსაშეების ანუ სელედუკების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ისინი ეფექტურია მხოლოდ რიგი მოთხოვნების დაცვის შემთხვევაში: ხევის ფსკერთან საგულდაგულო შეხამება ხევის გრძივი ქანობის შეუმცირებლად; ჯებირები, რომლებიც მდორედ, ნაკადის მკვეთრი შევიწროების გარეშე, მიმართავენ ღვარცოფის ნაკადს ხიდისკენ. მიმართველი კედლები მკვეთრი გადაღუნების გარეშე ნაკადის ღერძთა არა უმეტეს 10–15° კუთხის წარმოქმნით.

ადგილობრივ მმართველობასთან შეთანხმებით მიზანშეწონილია გათვალისწინებულ იყოს ღვარცოფის ნაკადებისაგან ტერიტორიისა და გზის დაცვის კომპლექსური ღონისძიებანი. ფერდობების ეროზიის შეჩერების მიზნით აკრძალულია ხეების უსისტემო ჩეხვა; ბუჩქნარების განადგურება, საძოვრების გადატვირთვა პირუტყვით. საჭიროა აგრეთვე ნიადაგის შესაფერისი აგროდამუშავება, სათანადო კულტურების შერჩევით.

დიდი მნიშვნელობა აქვს წინასწარ ღონისძიებებს: მყინვარული წარმოშობის ტბებიდან წყლის პროფილაქტიკური გადმოშვება; დაგროვილი მყარი ნატანის გატანა აუზის ტერიტორიიდან; მყინვარებისა და მთის კალთების ზედაპირებზე თვითმფრინავიდან მუქი ფერის მტვრის შეფრქვევა მათი დნობის პროცესის გაძლიერებისათვის და ა.შ.

ფერდობების გამაგრებისათვის და მათი ჩამორეცხვის შეჩერებისათვის რგავენ ხეებსა და ბუჩქნარს, ატერასებენ ფერდობებს, აწყობენ წყალსაკრებ და წყალსარინ არხებს. ღვარცოფის ნაკადის ენერჯიის შემცირებისათვის კალაპოტში აწყობენ სპეციალური საგუბარების სისტემას ბარაჟებს 2–5 მ სიმაღლის მასიური, ქვის ან ბეტონის კედლების სახით. ქართველი ინჟინრის ი. ხერხეულიძის მიერ შექმნილი

ბარაუების ცხაურა კონსტრუქცია, რომელიც აიწყო რკინაბეტონის ელემენტებისაგან იგი ატარებს წყალს და მასში შეტივტივებულ მცირე ნაწილაკებს. აკავეებს მსხვილ ქვებს. ასეთი ბარაუი აიგო მდ. დურუჯზე ქ. ყვარლის დასაცავად.



ნახ. 4.34. დვარცოფსაშეები ბორჯომში „ცოფიან ღელეზე“

საგუბარებს განალაგებენ ხევის კალაპოტის გასწვრივ ისე, რომ ფსკერის ქანობი, რომელიც აკავშირებს ზედა საგუბარის ძირს ქვედა საგუბარის ზედა ნაწილთან, არ უნდა აღემატებოდეს 6–8%. ნიაღვრისა და მდინარის წყლების გაშვებისათვის საგუბარების ქვედა ნაწილში ტოვებენ ხვრეტს.

4.11. გზებით მეწყერიანი უბნების გადაკვეთა

მთის კალთებზე გატარებული გზების დანგრევის ხშირ მიზეზს წარმოადგენს მეწყერები. მეწყერები გავრცელებულია მრავალ ქვეყანაში: რუსეთში, ვოლგისპირეთში, უკრაინაში, ყირიმის სამხრეთ სანაპიროზე, მოლდავეთში, კავკასიის რივიერაზე სოჭი-ადღერის მონაკვეთზე, შავი ზღვის სანაპიროს მაგისტრალის გასწვრივ. განსაკუთრებით ბევრია მეწყერები იაპონიაში, რომელსაც აქვს მთაგორიანი რელიეფი და ამავე დროს კლიმატი ხასიათდება ინტენსიური და უხვი ნალექებით. საქართველოში მრავალია მეწყერსაშიში ტერიტორიები. მათ შორის გამოირჩევა აჭარის მთიანეთი, რაჭა, კახეთის ცალკეული ნაწილები მტვროვანი და ლიოსისეხებული თიხებით.

დიდი მეწყერები იკავებენ მნიშვნელოვან ფართობს, აზიანებენ ეროვნული ეკონომიკის ბევრი დარგის ინტერესებს. მათთან ბრძოლას წარმოებს სპეციალური ღონისძიებებით, შესაბამისი პროექტებით. საგზაო ორგანიზაციებს ჩვეულებრივ

საქმე აქვს მცირე მეწვერებთან, გზისპირა ზოლის საზღვრებში, რომელთა გამაგრება ნაკლებად რთულია. ზოგიერთ შემთხვევაში გზების დაპროექტებისას საჭირო ხდება მნიშვნელოვანი სიდიდის მეწვერების განეიტრალება. „თბილავტო-გზაპროექტის“ მიერ 1976–80 წწ შესრულდა შავი ზღვისპირა ავტომაგისტრალის პროექტი სოჭი-ადღერის მონაკვეთზე. პროექტის ავტორის, ცნობილი ქართველი ინჟინრის სახელმწიფო პრემიის ლაურეატის ა. გოროზიას ხელმძღვანელობით შეიქმნა უნიკალური მეწვერსაწინაამდევო ნაგებობები, რომელთაც უზრუნველყვეს არა მარტო მაგისტრალის შეუფერხებელი ექსპლუატაცია არამედ მიმდებარე რთული საკურორტო ინფრასტრუქტურის უსაფრთხოებაც. ყველა შემთხვევაში მეწვერებთან წარმატებით ბრძოლა შესაძლებელია ოღონდ აუცილებელია მათი წარმოშობის ყველა მიზეზის დეტალური შესწავლა და ფერდობების გამაგრების სწორი ღონისძიების შერჩევა.

მეწვერის წარმოშობის მთავარი მიზეზია ფერდობის დახრილობის შეუსაბამობა გრუნტის ბუნებრივი დახრილობის კუთხესთან და მისი შემადგენელი ქანების არახელსაყრელი განლაგება. მეწვერული პროცესის აქტივიზაცია ხდება აგრეთვე ზედაპირული ან გრუნტის წყლების ინტენსიური ზემოქმედების შედეგად, რომლებიც ამცირებენ გრუნტის წინაღობას ძვრისადმი და ადიდებენ მისი მცოცავი მასის წონას.

გზის გაყვანამ შეიძლება გამოიწვიოს მეწვერის აქტივიზაცია ჭრილების მოწყობისა და კარიერების დამუშავებისას ფერდობების შეჭრის შედეგად. მეწვერის მიზეზი შეიძლება იყოს აგრეთვე ფერდობების დამატებითი დატვირთვა ყრილის წონით და მეწვერის გრუნტის გადამეტენიანება საგზაო წყალსარინის სისტემაში წყლის დაგროვების შედეგად.

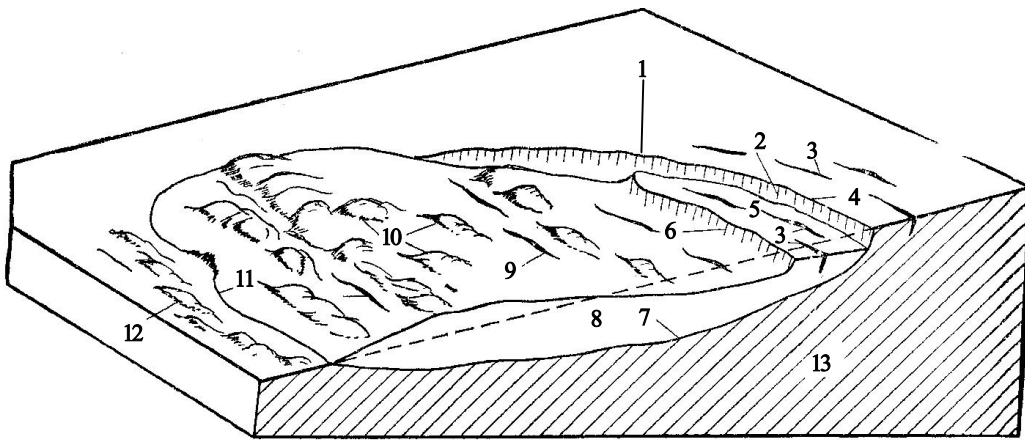
ფერდობების გეოლოგიური აღნაგობის მიხედვით შემღწევი (შემჟონი) ტენის მოქმედება სხვადასხვაგვარად ვლინდება. ციცაბო ფერდობებზე ზედა ერთგვაროვანი წყლით გაჯერებული თიხის შრეები ჩამოედინება ბლანტი მასის სახით. გრუნტის დიდი ერთგვაროვანი მასივები ტენიანი ტენიანი გრუნტის წონის გადიდების გამო შეიძლება ჩამოინგრეს წარმოქმნილ დაცურების მრუდებზე (ნახ. 4.35).

მიწის ვაკისისა და მეწვერების პრობლემათა ცნობილი მკვლევარის, პროფ. ე. დობროვის მიერ ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მეწვერების 65%, რომლებმაც დააზიანეს საავტომობილო გზები, გამოწვეული იყო ფერდობების ყრილის წონისაგან გადატვირთვით. 22% წყალსარინის სისტემის არადამაკმაყოფილებელი მუშაობით და 13% მიწის ვაკისის აგების დროს ფერდობების შეჭრით.

ქვენაფენი, დახრილი, მკვრივი წყალშეუღწევადი ქანების არსებობისას,

გაჟონილი წყალი, აჯერებს რა გრუნტის ქვედა შრეებს, ამცირებს შეჭიდულობას თიხნარ გრუნტებში და ეს იწვევს მასივის ჩამოცოცებას დაცურების ფიქსირებულ ზედაპირზე. მდინარეებისა და ზღვების სანაპიროებზე, მეწყერი ხშირად გამოწვეულია ციცაბო ნაპირების გამორეცხვით, ასეთი სახის მეწყერები განსაკუთრებით ხშირია დასავლეთ საქართველოში, ტეხურის, ცხენისწყლის, აჭარისწყლის ხეობებში. შესაძლებელია მეწყერი ასევე გამოწვეული იქნას მშენებლობისას ბუნებრივი ფერდობების შეჭრის შედეგად.

მეწყერული უბნებისათვის დამახასიათებელია შემდეგი ელემენტები (ნახ. 4.35); დაცურების ზედაპირი, რომელზედაც ხდება გრუნტის მასივის ანუ მეწყერის ტანის მოწყვეტა და მისი გადაადგილება ქვევით.



ნახ. 4.35. მეწყერის აგებულების სქემა.

1 – მეწყერის ცირკი; 2 – მთავარი საფეხური; 3 – ნორმალური გრუნტის წყდომისაგან; 4 – ჩაწყდომის წარბა; 5 – მეწყერის წვერი; 6 – შიდა საფეხური; 7 – დაცურების ზედაპირი; 8 – მეწყერის ტანი; 9 – ამობურცვის ნაპრალები; 10 – მეწყერის ზედაპირის უსწორობანი; 11 – მეწყერის ძირი; 12 – მეწყერის საფუძვლის დეფორმაცია; 13 – ძირითადი მასივი.

მეწყერის ძირი – დაცურების ზედაპირის ჩამოსვლის საზი ქვემოთ; მოწყვეტის ბზარები – წარმოიქმნება დაცურების ზედაპირის გამოსასვლელთან ფერდობის ზედა ზედაპირზე მეწყერის დაძვრის წინ.

მეწყერი წარმოადგენს დინამიკურ სისტემას, რომლის მდგრადობის კოეფიციენტი დროის მიხედვით იცვლება. მეწყერები, ჩვეულებრივ, პერიოდულად მეორდება.

მეწყერის დაძვრის შემდეგ რამდენიმე წლით, მყარდება შედარებითი სტაბილიზაციის პერიოდი. მაგრამ, ამ დროს ფარულად, მეწყერის სხეულში შემღწევი ტენისა და დატვირთვების ზემოქმედებით. ნელა მიმდინარეობს ცოცვადობის დეფორმაციის დაგროვების პროცესები, გრუნტში მცირდება შეჭიდულობა და წარმოიქმნება ადგილობრივი ძვრები.

განსაზღვრული დროის შემდეგ ხდება გრუნტის მასივის საერთო დაძვრა, ხოლო შემდეგ დგება მეწყერის მიღევის ახალი პერიოდი. ციკლის ხანგრძლივობა შეადგენს 5-დან 20 წლამდე. ამიტომ მეწყერის გეოლოგიურ პროფილში ჩვეულებრივ შეიძლება რამდენიმე თანმიმდევრულად გადანაცვლებული მასივების განსხვავება. მათი ძვრისას ქვევით, მეწყერის ძირთან წარმოიქმნება ამობურცული ბორცვები.

მეწყერიანი ფერდობების ნიშანთვისებას წარმოადგენს დამახასიათებელი რელიეფი, რომელზედაც მოჩანს წარსული მეწყერების კვალი – ფერდობის ძირთანამობურცული ზვინულები, დახრილი, ხმლისებრი გაღუნული ხეები („მთვრალი ტყე“).

მეწყერიან უბნებზე ტრასის მდებარეობას ირჩევენ მისი დეტალური გამოკვლევის შედეგად. აუცილებელია მეწყერიანი მოვლენების გავრცელების ზონის და ფერდობების გეოლოგიური აგებულების შესწავლა. საჭიროა დადგინდეს წყლოვანი ჰორიზონტები, გრუნტის წყლების დებიტი და ჩამონადენის მიმართულება. ფერდობების მეწყერისადმი მიდრეკილების შეფასება შეიძლება თანამგზავრებიდან მიღებული ვიზუალური ინფორმაციის მიხედვით, რომელზედაც მკაფიოდ ჩანს მეწყერების გეომორფოლოგიური თვისებები – მოწყვეტები, საფეხურები, გამოწურვისა და გადაადგილების ზვინულები, ბორცვები და ახვა. დაცურების ზედაპირის განლაგების სიღრმე შეიძლება დადგინდეს სეისმოაკუსტიკური გამოკვლევის საფუძველზე. შეგროვილი მასალების საფუძველზე ადგენენ მეწყერის წარმოშობის მიზეზებს, სახავენ ღონისძიებებს ამ მიზეზების თავიდან აცილებისათვის. აფასებენ გრუნტის მასალების მდგრადობას და ირჩევენ ტრასის მიმართულებას.

მეწყერიანი ფერდობების მდგრადობის საკონტორლო გაანგარიშებებს აწარმოებენ 1 თავში აღწერილი მეთოდების მიხედვით. ყველაზე რთულია საანგარიშო ზედაპირის შერჩევა, რომელზედაც შეიძლება მოხდეს მთის ქანების დაძვრა. მისი სავარაუდო მდებარეობა განისაზღვრება გეოლოგიური ფენების განლაგებით. ძირეული და მეოთხეული ქანების საზღვრებით, წყალშეუღწევადი ქანების ზედაპირით. წყლოვანი ქვიშების თხელი შუაშრეებით და ა. შ. საჭიროა აგრეთვე განხილულ იქნეს დაცურების ზედაპირის მოხაზულობის და მდებარეობის რამდენიმე ვარიანტი. ცილინდრული ზედაპირიანი შრეების ფაქტიური საზღვრების აპროქსიმაციით ან მისი, როგორც ფიქსირებული ტეხილის განხილვით. უმეტეს შემთხვევაში, ყველაზე უფრო მიზანშეწონილია მეწყერიანი ადგილების ზედა მხრიდან შემოვლა, მაგრამ ეს ყოველთვის არ არის შესაძლებელი, ვინაიდან ხშირად საჭირო ხდება გზის მიერ სიმაღლეთა მნიშვნელოვანი სხვაობის გადალახვა, რაც აუარესებს გზის სატრანსპორტო თვისებებს.

დამეწერილ ფერდობებზე გზის გაყვანისას მათზე იქმნება დამატებითი დატვირთვა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მეწერული პროცესების აქტივიზაცია. მეწერის გადაკვეთის გარდუვალობის შემთხვევაში საჭიროა ყრილის გაყვანა დამეწერილი მასივის ქვედა ძირეულ ნაწილში, ხოლო ჭრილები პირიქით დასაშვებია განლაგდეს მხოლოდ დამეწერილი ფერდობის ზედა და შუა ნაწილში.

მეწერიანი მასივების მდგრადობის ამაღლებისათვის ძირითადია ავიცილოთ მეწერის წარმოშობის მიზეზები, პირველ რიგში, წყლის შეღწევა.

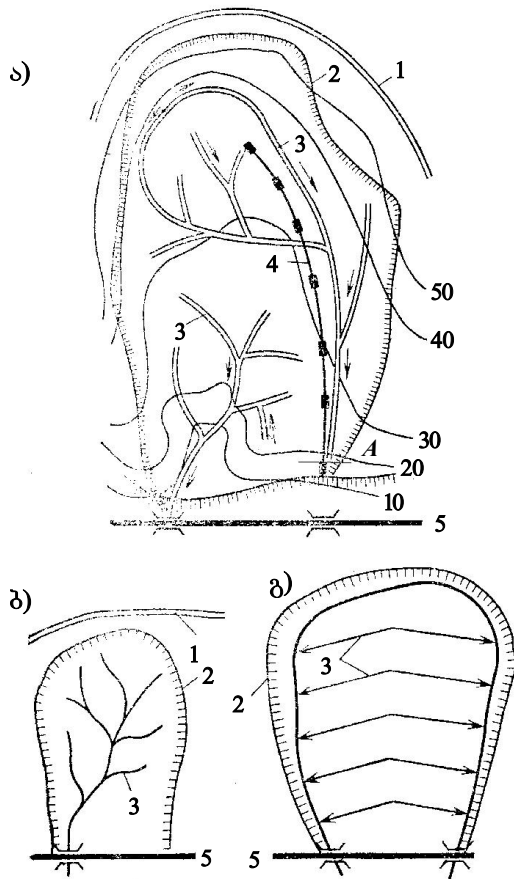
გამაფრთხილებელი ხასიათის ღონისძიებებს ეკუთვნის წყალსარინის სისტემის სწორი ორგანიზაცია; სპეციალურად შერჩეული ღრმა ფესვთა სისტემის მქონე ნერგების დარგვა და შესაბამისი აგროტექნიკური წესების დაცვა, იმ სამშენებლო და სასოფლო-სამეურნეო სამუშაოების აკრძალვა, რომლებიც იწვევენ ფერდობების მდგრადობის შემცირებას.

ტოპოგრაფიული გადაღებების მონაცემების მიხედვით ადგენენ მეწერიანი უბნის გეგმას, ხოლო საინჟინრო გეოლოგიური გამოკვლევების საფუძველზე – გრუნტის წყლების ნაკადების მიმართულებასა და სიმძლავრეს, პირველ რიგში დებულობენ ზომებს დამეწერილი უბნებიდან ზედაპირული და გრუნტის წყლების სრული აცილებისათვის სამთო არხებისა და დრენაჟების მოწყობით.

მეწერულ მასივში წყლის შეღწევის საწინააღმდეგოდ იღებენ რიგ ღონისძიებებს (ნახ. 4.36).

ზედაპირული წყლების აცილების ზედაპირის მოშანდაკების საშუალებით – ჩაღრმავებული ადგილების ამოვსებით, სამთო და წყალსარინი არხების მოწყობით, დრენაჟებით ფერდობის ზემო ნაწილიდან შემოსული გრუნტის წყლების დაჭერით, დრენაჟებით მეწერის ტანის გაშრობით. მეწერის ტანში წყლოვანი შუაშრების არსებობის დროს არხების გადახურულ უბნებზე აწყობენ ვარდნილებსა და სწრაფსადენებს.

ჩამონადენი ზედაპირული წყლების დასაჭერ ზედა თხრილებს განლაგებენ მეწერიანი უბნის პერიმეტრის მიხედვით, არა უმეტეს 2–3% დახრილობით. საჭიროა მათი კვეთის და გამაგრების დანიშვნა გაანგარიშების მიხედვით. წყლის დინების დიდი სიჩქარის დროს არხებს ამაგრებენ ასაწყობი ბეტონის ღარებით. სამთო არხებში წყლის დიდი რაოდენობის თავმოყრა არ არის სასურველი, ვინაიდან გამაგრების დაზიანებისას, შესაძლებელია მისი შეღწევა გრუნტში. ამიტომ, წყლის დიდი მოდინების დროს, ერთი ღრმა არხის მაგივრად უმჯობესია ორი, სამი სამთო არხის მოწყობა უბანს გარეთ წყლის დამოუკიდებელი არიდებით.



ნახ. 4.36. მეწვერსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა სქემები
 ა - ღონისძიებები გზისპირა მეწვერზე; ბ - წვიმისა და მტკნარი
 წყლების დამტკერი არხების ქსელი; გ - არხების თანაბარი ქსელი
 მეწვერის მოშანდაკებულ ზედაპირზე;
 1 - სამთო არხი; 2 - მეწვერის საზღვარი; 3 - მოკირწყლული
 არხები; 4 - წოლხვრელი; 5 - გზა.

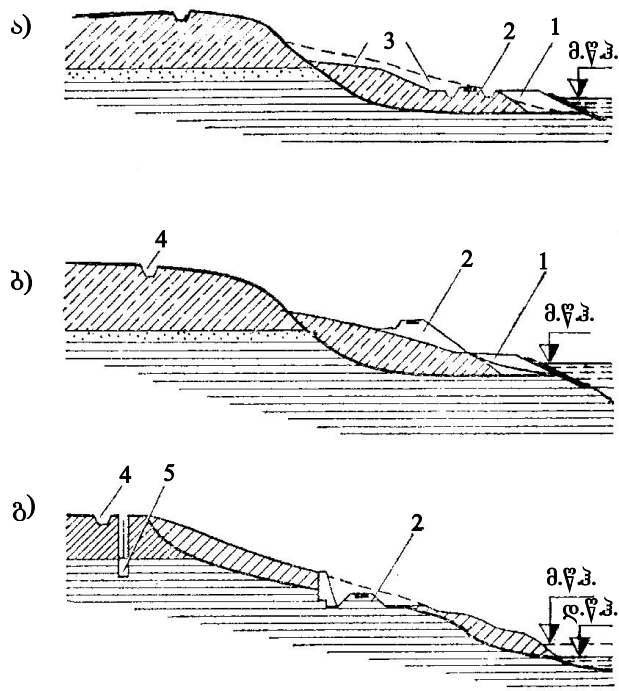
მეწვერის ზედაპირიდან წყლის სწრაფი მოშორებისათვის და მისი შეწოვის შემცირებისათვის, დამეწვერილ ფერდობზე განალაგებენ არხების განშტოებულ ქსელს - წყალშეუღწევადი გამაგრებით (იხ. ნახ. 4.36, ა). მისი ტრასირება ხდება გამდინარე და ნიაღვრის წყლების ჩადენის ნაკვალევზე (ნახ. 4.36, ბ) ან თხრილების პარალელური ქსელით, რომლებიც ატარებენ წყალს მეწვერის საზღვრებთან განლაგებულ მაგისტრალურ არხებისაკენ (იხ. ნახ. 4.36, ბ).

გრუნტის წყლების დასაჭერად მეწვერიანი უბნის საზღვარზეა და მეწვერის ტანში აწყობენ დრენაჟებს. გადამლობმა დრენაჟებმა უნდა დაიჭირონ მიწისქვეშა წყლები მეწვერის გადანაცვლების საზღვრებს გარეთ.

განივ დრენაჟებს აწყობენ გრუნტის წყლების მოძრაობის მიმართულებისადმი პერპენდიკულარულ მთის ფერდობის იმ ნაწილში, რომელსაც მეწვერი არ შეხებია, ვინაიდან მეწვერის უმნიშვნელო ძვრამაც შეიძლება დაარღვიოს განივი დრენაჟით წყლის აცილების პროცესი.

წყალშემცავ შრეების არსებობისას მეწყერის ტანში აწყობენ გრძივ დრენაჟებს, რომლებიც განლაგებულია მეწყერის გასწვრივ, ისინი ნაკლებად მგრძობიარე არიან მისი ძვრისადმი ვიდრე განივი დრენაჟები. დრენაჟების შეერთების ან მიმართულების ცვლილების ადგილზე აწყობენ ჩასახედ ჭებს. თუ გრუნტის წყლების სიღრმე აჭარბებს 5 მ-ს, მაშინ სამთო წესით ძირითად, წყალმდეგ ქანებში გაჰყავთ სადრენაჟო წოლხვრელები.

მცირედ დამეწყერილი მასივების მდგრადობის გასაუმჯობესებლად ღებულობენ ზომებს ჩამომცოცი მასის წონის შესამცირებლად, ფერდობის ჩამომეწყერებული ნაწილის თავის კალაპოტთან კავშირის შესაქმნელად და დაცურების ზედაპირზე ძვრისადმი წინაღობის გასადიდებლად. ამ მიზნით ხორციელდება: დამეწყერილ მასის მეწყერის კალაპოტთან ჩაჭიდების ამაღლება ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯების მოწყობით; შემაკავებელი ნაგებობების ამოყვანა დაუშლელ მკვრივ ქანებში საყრდენი კედლებით, კონტრფორსებით, კონტრბანკეტები და ა.შ. (ნახ. 4.37). სანაპირო ფერდობების გამაგრება წყალსადინარების მიერ წარეცხვისგან დამცავი ჯებირებისა და საფარების მოწყობით. დაცურების ზედაპირის ზონაში გრუნტების დამუშავება შემკვრელი მასალების ინიექციებით ან ელექტროქიმიური მეთოდით;



ნახ. 4.37. დამეწყერილი მასივისათვის მდგრადობის მისანიჭებელ ღონისძიებათა სქემა:

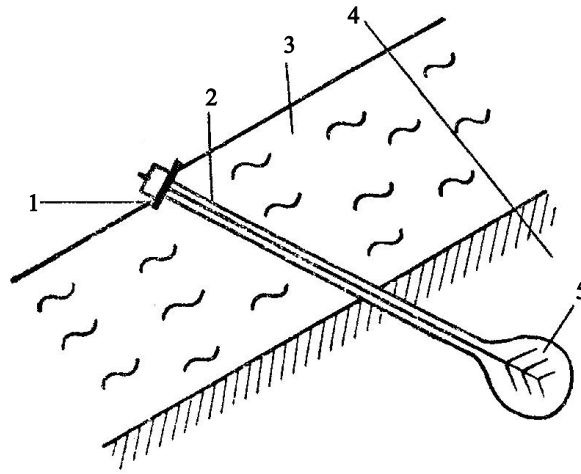
ა – ფერდობის დახრის შემცირება; ბ – კონტრბანკეტის მიყრა;

გ – საყრდენი კედლის აშენება.

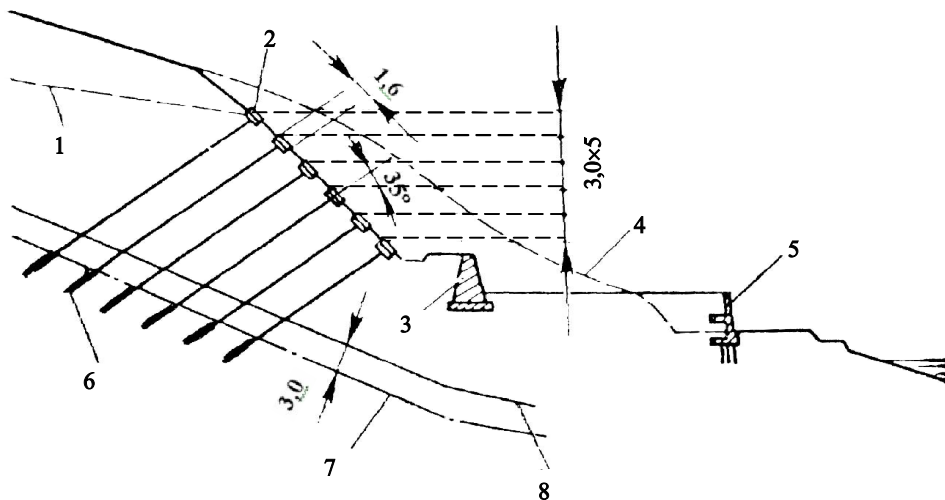
1 – კონტრბანკეტი; 2 – გზა; დ – გრუნტის მასივის ნაწილობრივი მოჭრა ფერდობის შემსუბუქებისათვის; 4 – დამცავი არხი;

5 – დამჭერი დრენაჟი.

ჩამომეწყერებულ მასების შესაკავებლად შესაძლებელია ანკერების ჩაწყობა. მათი ჩართვა მუშაობაში ხდება გრუნტის მასივის ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარებისდა მიხედვით (ნახ. 4.38, 4.39).



ნახ. 4.38. მცოცავი მეწყერის მასივის ანკერებით გამაგრების სქემა:
 1 – ანკერის ფილა; 2 – ანკერის მჭიმი; 3 – მცოცავი მასივი;
 4 – ძირითადი ქანები; 5 – ანკერის ჩამაგრება ბეტონში

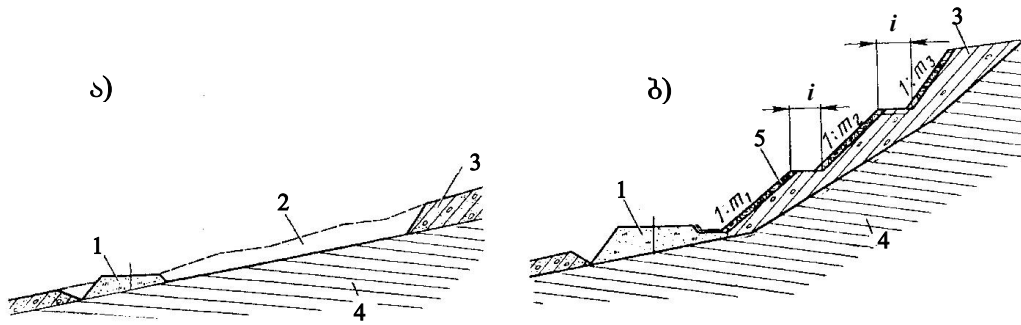


ნახ. 4.39. მეწყერის სტაბილიზაციის საავტომობილო გზაზე:
 1 – ჩამოცურების ზედა სიბრტყე; 2 – ანკერების მოსაჭიმი ფილები ზედა ფერდობზე; 3 – საყრდენი კედელი; 4 – ფერდობის არსებული მოხაზულობა; 5 – ქვედა საყრდენი კედელი; 6 – ანკერების ბოლოების ჩამაგრება ძირითად ქანებში; 7 – ძირითადი ქანების საზღვარი
 8 – ჩამოცურების ზედაპირი

ეფექტურია დამეწყერილი ფერდობის განტვირთვა გრუნტის მოჭრით მეწყერის აქტიურ ზონაში მისი გადატანით პასიურ ზონაში (ნახ. 4.40, ა). აგრეთვე ფერდობის ტერასირება (ნახ. 4.40, ბ).

მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების დასახულ კონსტრუქციას ამოწმებენ გაანგარიშებით.

ამ ჩამოთვლილი ღონისძიებებიდან გზების მშენებლობასა და ექსპლუატაციაში ყველაზე ფართოდ გამოიყენება გრუნტისა და ზედაპირული



ნახ. 4.40. ფერდობის რელიეფის ხელოვნური შეცვლა.
 ა - დამეწვრული გრუნტების მოჭრა; ბ - ფერდობის ტრასირება.
 1 - მიწის ვაკისი; 2 - დამეწვრილი გრუნტის მოჭრა; 3 - დამეწვრილი გრუნტები; 4 - ძირითადი ქანები; 5 ბეტონის ცხაურები.

წყლების აცილების ღონისძიებები და სხვადასხვა კონსტრუქციის საყრდენი კედლები.

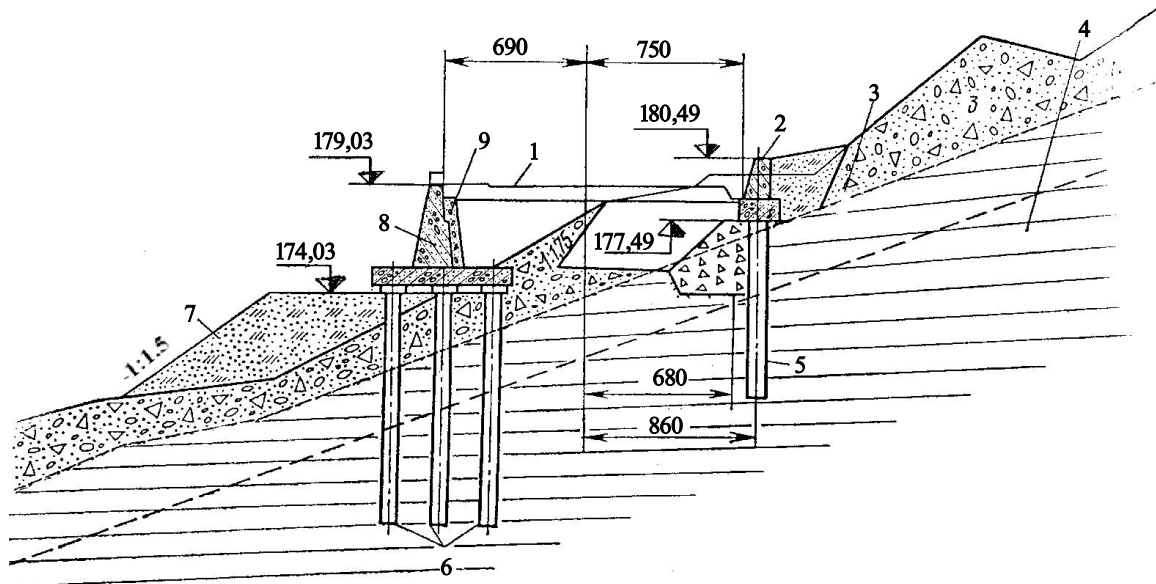
4.12. მაგალითები უცხოელ და ქართველ სპეციალისტთა საინჟინრო პრაქტიკიდან

უცხოელ და ქართველ სპეციალისტთა მრავალწლიანი გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ მეწვერ საწინააღმდეგო ღონისძიებების შერჩევა დამოკიდებულია სამუშაო სახეობაზე: დაპროექტება; მშენებლობა; რეკონსტრუქცია; მეწვერის შედეგების ლიკვიდაცია ექსპლუატაციის პერიოდში. გარდა ამისა მხედველობაშია მისაღები საინჟინრო - გეოლოგიური პირობები, გარემოს დაცვის აუცილებლობით გამოწვეული ღონისძიებანი და ტექნოლოგიური შესაძლებლობანი.

მრავალწლიანმა პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ მეწვერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების შერჩევასა შესაძლებელია ორგვარი მიდგომა: პირველი მიზანშეწონილია მაშინ თუ ტრასირება ე.წ. მჭრელი ხაზითაა ჩატარებული და საქმე გვაქვს მაღალ ყრილებსა და ღრმა ჭრილებთან. მაშინ როგორც წესი არ გამოიყენება დამჭერი კონსტრუქციები და ძირითადი აქცენტი გადატანილია ზედაპირული და გრუნტის წყლების აცილებაზე, მიწის ვაკისის ფერდობების რაციონალური მოხაზულობის დანიშვნაზე, ფერდობების ზედაპირის ეროზიისაგან დაცვაზე და ა.შ.

თუ ტრასირება განხორციელებულია ფერდობებზე ე.წ. შემოფარგელის მეთოდით მაშინ უპირველეს ყოვლისა საჭიროა დამჭერი კონსტრუქციების გათვალისწინება წყლების აცილების, ფერდობების პლანირებისა და ეროზიის საწინააღმდეგო ღონისძიებებთან ერთად (ნახ. 4.41).

ყველა შემთხვევაში აუცილებელია რამდენიმე კონკურენტუნარიანი ვარიანტის შემუშავება და მოცემული რეგიონის პირობების გათვალისწინებით ღონისძიებათა ყველაზე ოპტიმალურად აქტიური კომპლექსის შერჩევა.



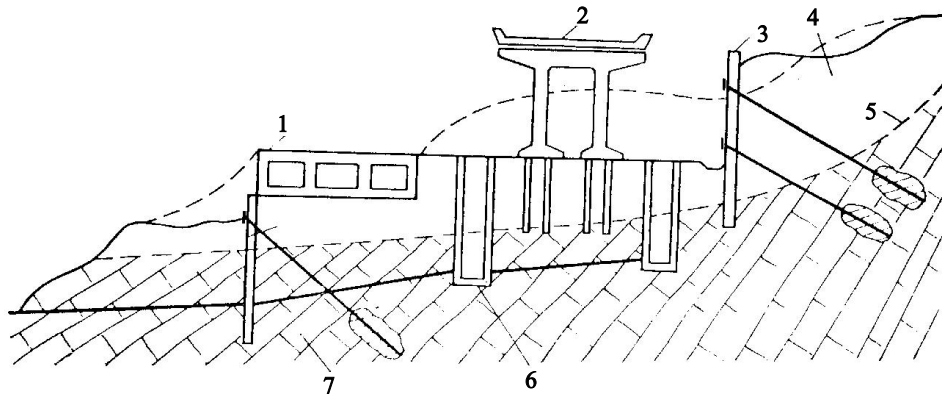
ნახ. 4.41. მეწყერსაწინააღმდეგო კონსტრუქცია ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯებით.
 1 – ანკერული დამჭერი რკინაბეტონისაგან; 2 – ზედა საყრდენი კედელი;
 3 – დელიუვი; 4 – ძირითადი ქანები; 5 – ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები
 $\varnothing 860$ მმ; 6 – ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები $\varnothing 750$ მმ; 7 – დროებითი ყრილი;
 8 – ქვედა საყრდენი კედელი; 9 – კედლის მიღმა დრენაჟი.

მთაგორიან რაიონებში ხშირად გზის გაყვანის მსოლოდ ერთადერთი შესაძლო მიმართულებაა და ამიტომ მოსალოდნელია შეხება დიდი მასშტაბის მეწყერთან მოცულობით 1 მლნ მ³ და მეტი. ასეთ შემთხვევაში ზემოთ ჩამოთვლილი ღონისძიებები უშედეგოა და შესაძლებელია მსოლოდ ისეთი ორგანიზაციულ-ტექნიკური და საექსპლუატაციო ღონისძიებათა შემუშავება, რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ წინასწარ შევიტყოთ მოსალოდნელი მეწყერის შესახებ და თავიდან ავიცილოთ მისი კატასტროფული შედეგები. მათ შორის უპირველეს ყოვლისა აუცილებელია მეწყერსაშიში ზონის ფარგლების დადგენა და მისი მუდმივი კონტროლი, გზის გაფართოებისა და სხვა სახის საამშენებლო - სარემონტო სამუშაოების მკაცრი შეზღუდვა, მეწყერის აქტივიზაციის, შესახებ ყველა დაინტერესებული ორგანიზაციის დაუყოვნებლივ ინფორმირება.

მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებებს განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იქ სადაც ეს უშუალოდაა დაკავშირებული გარემოს დაცვასა და შენარჩუნებასთან. ასეთი ადგილები კი ჩვეულებრივ წარმოდგენილია მთაგორიანი რაიონებით, ზღვისპირა ზოლით, ძვირფასი სასოფლო სამეურნეო და რეკრეაციული დანიშნულების ზონებით. ეს ყველაფერი პირდაპირ მიგვითითებს ეფექტური მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებების განხორციელების განსაკუთრებულ აქტუალურობაზე საქართველოს პირობებში. ამიტომ დიდი ყურადღებით უნდა გავითვალისწინოთ მოწინავე ქვეყნების სპეციალისტთა საინჟინრო პრაქტიკა და

აგრეთვე ქართველი მეგზვეე ინჟინრების თაობათა მიერ დაგროვილი მდიდარი გამოცდილება საქართველოსა და მის ფარგლებს გარეთ მნიშვნელოვანი საგზაო ობიექტების დაპროექტებისას.

აქტიურ, კომპლექსურ ღონისძიებათა გამოყენების შესანიშნავი მაგალითია შვეიცარიაში, ქ. ციურიხის მახლობლად გასული საუკუნის სამოციან წლებში აშენებული გზის მონაკვეთი სადაც ფერდობების მდგრადობა უზრუნველყვეს ძირითად ქანებში ჩამაგრებული ხიმინჯებით (ნახ. 4.42). ფერდობების წყალშემცველი

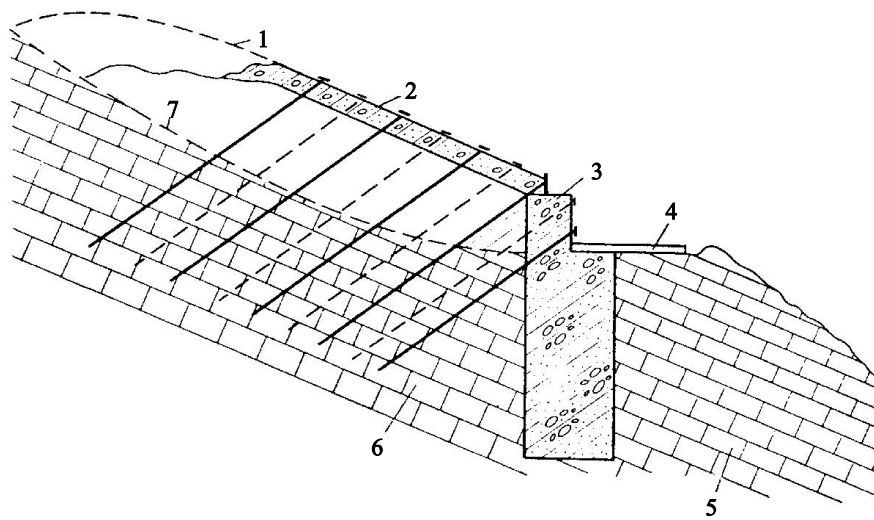


ნახ. 4.42. ძველი მეწყერის სტაბილიზაცია ქ. ციურიხის მახლობლად:
 1 – დაანკერებული საყრდენი კედელი კოლექტორებით; 2 – ესტოკადა ხიმინჯოვან როსტვერკზე; 3 – დაანკერებული საყრდენი კედელი;
 4 – დამეწყრილი გრუნტები; 5 – ჩამოცურების სიბრტყე; 6 – სადრენაჟო წოლხვრელები პორიზონტალური დრენაჟებით; 7 – ძირითადი ქანები

ფენების დრენირება ხორციელდება პორიზონტალური დრენაჟებისა და სადრენაჟო ჭების მოწყობით. ყველაზე რთული უბანი გადაიკვეთა ხიმინჯებიან საძირკველზე მოწყობილი ესტოკადით, ხოლო ჭრილის ზედა ფერდობისა და ესტოკადის, საყრდენების დასაცავად მოეწყო ანკერებით გაძლიერებული საყრდენი კედელი ხიმინჯებზე. საქართველოში გავრცელებულ პირობებთან მეტად ახლოა იტალიაში ქ. სან-რემოს მახლობლად ავტომობილსტრალზე განხორციელებული სტაბილიზაცია მერგელებსა და მერგელისებურ კირქვებზე განლაგებულ ფერდობებზე (ნახ 4.43).

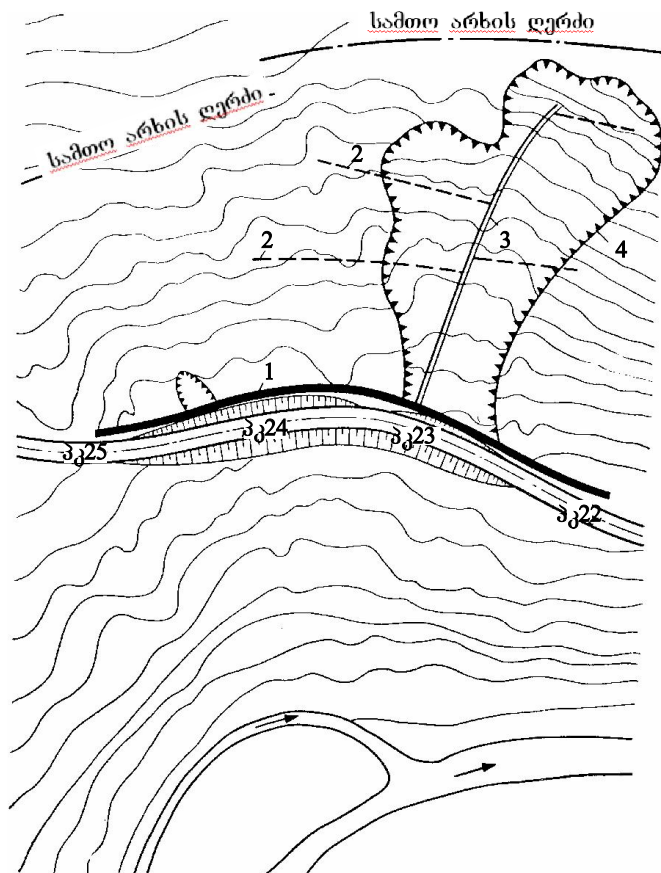
ამისათვის გამოყენებული იქნა მძლავრი საყრდენი კედელი ძირითად ქანებში ჩადრმავებული საძირკველით, ანკერების სისტემა თითოეული 3x4,5 მ ფართობზე, განლაგებული ჭადრაკულად 1200 კნ ამტანუნარიანობით რაოდენობით 300 ცალი, სიგრძით 45–75 მ.

მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა არჩევა და განხორციელება დიდათ არის დამოკიდებული მეწყერის ტიპზე, მისი განვითარების მექანიზმზე მისი აქტიურობის ხარისხზე. ვარიანტების შერჩევა ხდება ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშების საფუძველზე გზის კატეგორიისა და მოძრაობის ინტენსიობის გათვალისწინებით (ნახ. 4.44).



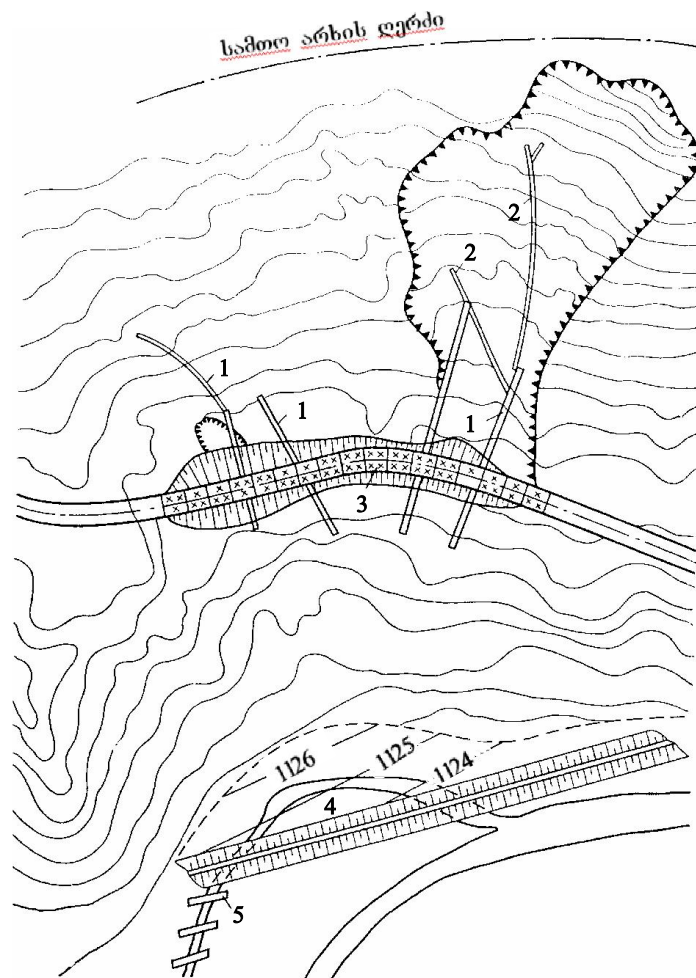
ნახ. 4.43. მეწყერსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა კომპლექსი იტალიაში,
ქ. სან-რემოს მახლობლად:
1 – ფერდობის ზედაპირი; 2 – შემოსი საყრდენი კედელი ანკერებით;
3 – მონოლითური საყრდენი კედელი; 4 – გზა; 5, 6 – ძირითადი ქანები;
7 – ჩამოცურების სიბრტყე

ქვემოთ განხილულია მთაგორიანი პირობებისათვის ტიპურ შემთხვევაში ქართველ ინჟინერთა მიერ შემუშავებული მეწყერ საწინააღმდეგო ღონისძიებათა ვარიანტები (ნახ. 4.44 და 4.45).



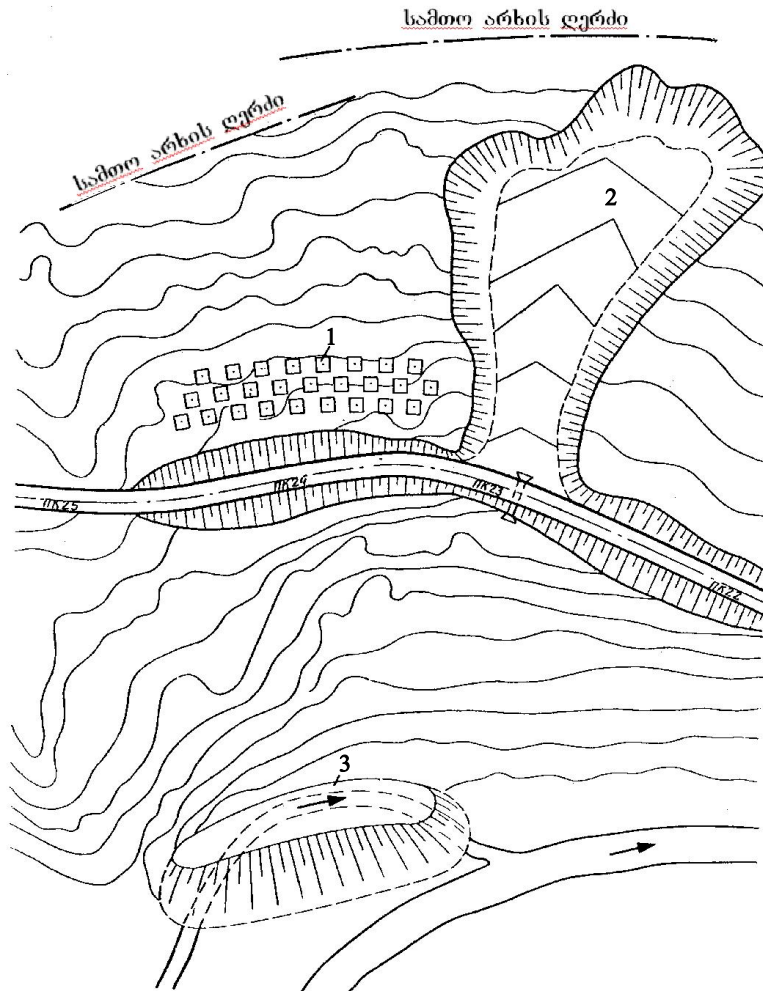
ნახ. 4.44. მეწყერის სტაბილიზაცია საავტომობილო გზაზე (I ვარიანტი):
1 – საყრდენი კედელი; 2, 3 – ზედაპირული და გრუნტის წყლების
აცილების სისტემა; 4 – მეწყერის აქტიური ნაწილის საზღვარი

ტრასა ჰკვეთს მეწყერიან მონაკვეთს ფერდობზე, რომლის ძირში მოედინება მთის მდინარე. მონაკვეთის სიგრძეა 400 მ. დამეწყრილი მასივი სისქით 3–80 შედგება ღორღიანი თიხნარისაგან, რომელიც ცურდება მიწისქვეშა წყლებით დასველებულ მერგელებსა და ქვიშაქვაზე. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ხშირად უბრალო ღონისძიებებიც ძალზედ ეფექტურია, ზოგ შემთხვევაში კი აუცილებელია მეტად რთული და ძვირადღირებული ღონისძიებების განხორციელება. მარტივი ღონისძიებებია: ფერდობის დატერასება; სამთო არხების მოწყობა; 2–3 მ სიმაღლის საყრდენი კედლის მოწყობა კედლის მიღმა დრენაჟი და ა.შ. (ნახ. 4.44) რთულ შემთხვევებში საყრდენი კედლების გამოყენება ზოგჯერ არასაკმარისია და საჭირო ხდება ნაბურღ-ნატენ ხიმიწებების, როსტვერკის და სხვა რთული ღონისძიებების განხორციელება. ნახ. 4.45 წარმოდგენილი ღონისძიებათა კომპლექსი მოიცავს ნაბურღ-ნატენ ხიმიწებს, წყლის აცილების სისტემას და კონტრფორსს. ნაბურღ-ნატენი ხიმიწები განლაგებულია 4 რიგად, ჭადრაკულად და შეერთებულია რკინაბეტონის როსტვერკით.



ნახ. 4.45. მეწყერის სტაბილიზაცია საავტომობილო გზაზე (II ვარიანტი)
 1 – ზედაპირული და გრუნტის წყლების აცილების სისტემა; 3 – ნაბურღ-ნატენი ხიმიწები; 4 – კონტრბანკეტი; 5 – ნაპირსამაგრი ნაგებობები.

საინჟინრო გეოლოგიური პირობების გულდასმით შესწავლამ შესაძლებელი გახდა უფრო საიმედო მეორე ვარიანტის შექმნა (ნახ. 4.46). მცირე, 2–3 მ სიმაღლის მქონე მეწყერიანი ნაწილი მთლიანად იხსნება. მოხსნილი გრუნტისაგან კეთდება კავალიერი კონტრბანკეტით ზედაპირული წყლები ცილდება სამთო არხებით. უფრო დიდი სიმაღლის, 7–8 მ სისქის მასივი მაგრდება ჭადრაკულად განლაგებული ანკერებით ბიჯით 5 მ, მათი რაოდენობა 70 ცალი.



ნახ. 4.46. მეწყერის სტაბილიზაცია საავტომობილო გზაზე (III ვარიანტი):
 1 – ანკერული კონსტრუქციები; 2 – მეწყერის აქტიურ ზონაში გრუნტის მოხსნა; 3 – გრუნტის კონტრბანკეტი

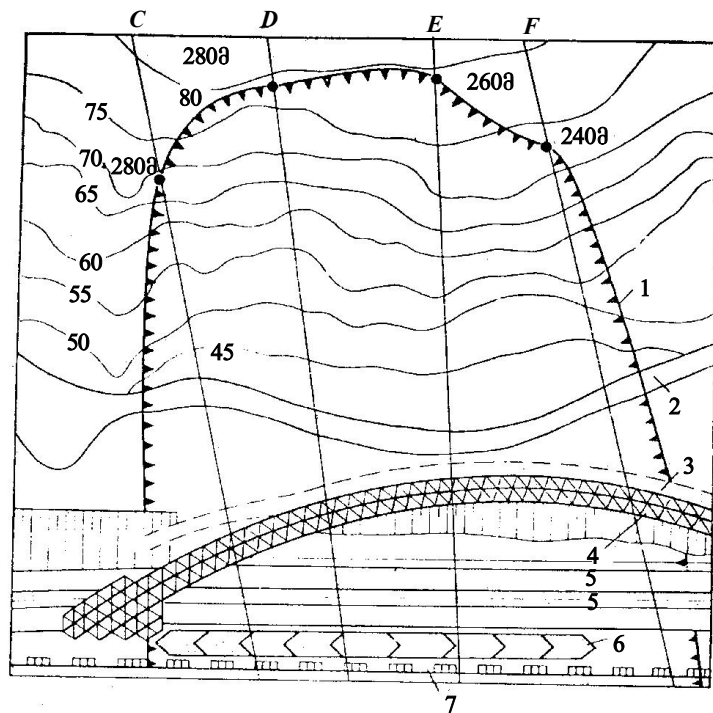
რთული მეწყერიანი მონაკვეთის კომპლექსური ღონისძიებებით ეფექტური გამაგრების შესანიშნავი მაგალითია საპროექტო ინსტიტუტის „თბილავტოგზის“ მიერ 1975–1980 წწ შესრულებული პროექტი შავი ზღვისპირეთის საავტომობილო მაგისტრალზე სოჭის რაიონში. პროექტის ავტორია ცნობილი ქართველი ინჟინერი ავთანდილ გოროზია. შავი ზღვისპირეთის ავტომაგისტრალის აგურა – ადღერის მონაკვეთზე თავმოყრილი იყო ბუნებრივ და ტექნოგენურ სირთულეთა მთელი კომპლექსი. ძლიერ დანაწევრებული ტერიტორია; არამდგრადი თიხნარი გრუნტების

საფარი; მაღალი სეისმურობა; ეროზია, გრუნტისა და ზედაპირული წყლების სიჭარბე. ამასთან ერთად ტერიტორია მდებარეობს ცნობილ საკურორტო ზონაში მრავალი დასასვენებელი სახლით და რეკრეაციული დანიშნულების სხვადასხვა ობიექტებით. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებულ მოთხოვნებს უყენებდა პროექტს არქიტექტორული და ეკოლოგიური თვალსაზრისით.

გამოყენებული ღონისძიებები პირობითად შეიძლება დაგვით ორ ჯგუფად პირველს მიეკუთვნება ტრასირების განმსაზღვრელი ფაქტორები: დიდი სიგრძის ხიდი – ესტოკადა და დიდი რადიუსის მდორე მრუდებზე განლაგებული გვირაბი, რომელთაც განაპირობებს ადგილობრივი განაშენიანების, მწვანე საფარისა და მნიშვნელოვანი ნაგებობების შენარჩუნება.

მაგისტრალი რომ ჩვეულებრივ მიწის ზედაპირზე გასულიყო ეს გამოიწვევდა არანაკლებ 100 მ სივანის განთვისების ზოლზე არსებულ განაშენიანების აღებას, ხმაურ საწინააღმდეგო, გამწვანების და ა.შ. ძვირადღირებული ღონისძიებების განხორციელებას.

მეორე ჯგუფის ღონისძიებები უშუალოდ მეწყერსაწინააღმდეგოა: ზედაპირული წყლების ამცილებელი სამთო არხები; გრუნტის წყლების სდრენაჟო სისტემები; მეწყერის დაწოლის შემაკავებელი კონსტრუქციები და ა.შ.



ნახ. 4.47. მეწყერდამჭერი კონსტრუქციების სისტემა შავიზღვისპირეთის ავტომაგისტრალზე ქ. სოჭის მახლობლად:
 1 – მეწყერის აქტიური ზონის საზღვარი; 2 – არსებული გზა; 3 – თაღისწინა ხიმინჯებიანი ზოლი; 4 – რკინიგზა; 5 – დაპროექტებული გზა; 6 – საყრდენი კედელი ხიმინჯებიან როსტვერკზე; 7 – ზღვის გამორეცხვისაგან დამცავი ზონა; 8. C – C; D – D; E – E; F – F; მეწყერის დაწნევის ეპიურის საანგარიშო კვეთები

ძირითადი აქცენტი გაკეთდა სხვადასხვა დიამეტრის ნაბურღ-ნატენ ხიმინჯებზე, რომელთა გამაერთიანებელ როსტვერკზე მოეწყო საყრდენი კედლები, აიგო აგრეთვე ცალკეული ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები დამცველი კედლითა და კედლის მიღმა დრენაჟით, საყრდენი და შემოსი კედლები ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯების საძირკველზე ნახ 4.47. ტერიტორიის კეთილმოსაწყობად ფართოდ იქნა გამოყენებული მოჭრილი გრუნტი რომელითაც დაიფარა მრავალრიცხოვანი ხეები შიგ ჩაწყობილი ნიაღვრის მიმღები კოლექტორებით. „თბილავტო გზაპრექტმა“ განიხილა 20-ზე მეტი ვარიანტი. საბოლოოდ აირჩა ორი მეწყერდამჭერი კონსტრუქცია: პირველი გზის ზემოთ განლაგებული ჰკვეთს მეწყერს. იგი თაღოვანი ტიპის როსტვერკია დაყრდნობილი ნაბურღ-ნატენ ხიმინჯებზე. თაღის ქუსლები ჩამაგრებულია მკვრივ ძირითად ქანებში. მეორეს აქვს ქვედა საყრდენი კედლის სახე და ისიც შედგება როსტვერკისა და ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯებისაგან. კომპლექსი განხორციელებულია 300 მ-ის სიგრძეზე და მას არ მოეპოვება ანალოგი მსოფლიოში. იგი ნამდვილად წარმოადგენს ქართული საგზაო საინჟინრო აზროვნების საუკეთესო ნიმუშს.

4.13. გზების დაცვა ზეგვისაგან

მთიან რაიონებში სადაც ბევრი თოვლი მოდის, ციცაბო ფერდობებიდან ხშირად ჩამოდის ზეგვი. ზეგვს უწოდებენ ათეულ ათასობით, ზოგჯერ კი მილიონი კუბური მეტრის მოცულობის თოვლის მასებს, რომლებმაც დაკარგეს შეჭიდულობის უნარი ქვენაფენ ზედაპირთან და დიდი სიჩქარით ეშვებიან ფერდობზე, ანგრევენ გზებს და საგზაო ხელოვნურ ნაგებობებს. ზეგვის წინ მოძრაობს ჰაერის ტალღა, რომელიც იწვევს ნგრევას იქ სადაც ზეგვი ვერ აღწევს.

მთის ფერდობებზე თოვლის საფარი ჩვეულებრივ ფენოვანია. სხვადასხვა სიმკვრივის თოვლის შრეები ხშირად იყოფა მაგრად გაყინული თოვლის ქერქებით („თოვლის ან ქარის დაფა“), რომლებიც წარმოიქმნება ძლიერი ქარის დროს თოვლის გაყინვის შედეგად. მთის ფერდობებზე თოვლის სიმკვრივე მერყეობს 0,04–0,05- დან (ახლადდათოვლილ) 0,7–0,8-მდე (სველი თოვლი).

ასევე შესაბამისად იცვლება თოვლის მასის კუთრი წონა 40–50-დან 700–800 კგ/მ³.

ზამთრის განმავლობაში თოვლის საფარში მიმდინარეობს გადაკრისტალების პროცესი. იგი გამოწვეულია თოვლის ქვედა ფენებიდან ზედა მიმართულებით წყლის ორთქლის მოძრაობის გამო ტემპერატურის სხვაობის გავლენით, რომელიც

აღწევს 10–15°. ზედა ფენები მჭიდროვდება ხოლო ქვედაში ცინულოვანი კრისტალებიდან წარმოიშობა ფხვიერი შუაშრე – „სიღრმისეული თრთვილი“, რომელსაც გააჩნია მცირე წინაღობა ძერისადმი. თოვლჭყაპის დროს თოვლის ფენებში წარმოიშობა შუაშრეები, რომელთა შორის არის წვრილი ფხვიერი თოვლი

თოვლის საფარის სისქის გაზრდა და მასში შესუსტებული შუაშრეების წარმოშობა ამცირებს ფერდობზე თოვლის მდგრადობას. კრიტიკული წონასწორობის მიღწევისას საკმარისია მცირე ბიძგი თოვლის კარნიზის ჩამოვარდნისაგან, ჰაერის რყევისაგან ან ძლიერი ქარის ნაკადისაგან, თოვის გასროლისაგან და თვით ხმამაღალი დალაპარაკებისაგანაც კი, რომ ზვავი წამოვიდეს.

თოვლის მასების მდგრადობის შეფასების მეთოდები დამყარებულია ფერდობზე თოვლის მასების ზღვრული წონასწორობის პირობების განხილვაზე. ზვავის წარმოშობის პროცესის სირთულე, თოვლის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ცვალებადობა დროში და თოვლსაკრები აუზის ფორმების აღრიცხვის სიძნელე ართულებს ამ მეთოდების გამოყენებას თითოეული კონკრეტული ზვავსაშიში ადგილების გაანგარიშების დროს.

განასხვავებენ მშრალ და სველ ზვავებს. პირველი წარმოიქმნება ცინვების პერიოდში. ზვავის ჩამოსვლისას მშრალი თოვლი ძლიერ იფრქვევა, წამოიქმნება თავისებური თოვლის ღრუბელი, რომელიც დიდი სიჩქარით მოძრაობს ქვედა მიმართულებით.

სველი ზვავი წარმოიქმნება გაზაფხულზე ან ძლიერი თოვლჭყაპის დროს, თოვლის ქვედა ფენები იჟღინთება წყლით. მიწის ზედაპირთან ან მკვერივი თოვლის შუაშრეებთან მისი შეჭიდულობის უნარი მცირდება და თოვლის მასა ცურდება ქვევით ფერდობზე, სველი ზვავი მოძრაობს მთლიანი მასით, რომელიც თან იტაცებს ხეებსა და ქვებს.

უბნები, სადაც წარმოიშობა ზვავი, ხასიათდება ციცაბო ხეობებითა და ტალღეებით, რომელთა ზედა ნაწილში აქვთ ჩაღრმავება – თოვლსაკრები აუზი, სადაც გროვდება თოვლი. მოძრაობაში მყოფი თოვლი მისრიალებს ვიწრო არხით (ზვავის ღარით). ფერდობის ძირში დაგროვილი ზვავი ფართოვდება, ანელებს თავის მოძრაობას და ჩერდება. წატაცებული გრუნტის ქვებისაგან, ხეებისაგან და ა.შ. წარმოქმნის გამონატანის კონუსს. ზვავის მიერ მოტანილი და წლების განმავლობაში დაგროვილი მასალები ზოგჯერ წარმოქმნიან ყრილებს ხეობის მიმართულების პარალელურად. ვიწრო ხეობებისა და თოვლსაკრები აუზების დიდი

სიმაღლის შემთხვევაში, ნარიყის კონუსით ხდება ხეობის გადაღობვა, ზოგჯერ მის მის საწინააღმდეგო ფერდობამდე.

თოვლის მასის მოძრაობის ხასიათის მიხედვით პროფ. გ. ტუშინსკი ანსხვავებს ზვავის სამ ტიპს:

თანაბარი – ფერდობზე თოვლის მთლიანი მასა თანაბრად გადაინაცვლებს ფერდობზე ზუსტად ფიქსირებულ კალაპოტის გარეშე.

ღარისებრი – თოვლი თოვლსაკრები აუზიდან თავიდანვე მისრიალებს ზევით – შედარებით ვიწრო არხით. არხის კალთებზე მცენარეული საფარი არ არის და მათზე შეიმჩნევა ზვავური ეროზიის კვალი.

მხტომარე – თოვლი ჯერ გადაადგილდება ჩასადენ არხზე, ხოლო შემდეგ, როდესაც ის წარმოქმნის კორიზონტალურ მოედანს ან მისი დახრილობის გაზრდისას აიწევს საფეხურიდან და ეცემა ხეობის ფსკერზე.

ზვავსაწინააღმდეგო ღონისძიებათა დაგეგმვისა და შესაბამისი ხელოვნური ნაგებობების დაპროექტებისათვის აუცილებელია თოვლის ზვავის ქვემოთ მოყვანილი მახასიათებლების რაოდენობრივი შეფასება.

თოვლის ზვავის სიჩქარე – დამოკიდებულია მთის ფერდობის დახრილობასა და მისი ზედაპირის სახეობაზე. თუ დავეუშვებთ, რომ ფერდობის დახრილობა მუდმივია თოვლის ზვავის გადაადგილების სიჩქარე შეგვიძლია გავიანგარიშოთ ფორმულით

$$v = \sqrt{0,5as}, \text{ მ/წმ}$$

სადაც $a = 9,8(\sin \alpha - f \cos \alpha)$ მ/წმ²;

α – ფერდობის დახრის კუთხეა, გრად;

f – ხახუნის კოეფიციენტი;

s – ფერდობის სიგრძე.

კლდოვანი თოვლიანი ბალახით დაფარული ზედაპირისათვის $f = 0,25$ ყველა სხვა შემთხვევაში (ბუჩქნარი, ტყე) $f = 0,30$.

თოვლის ფენის სტატიკური დაწოლა ნაგებობის 1 მ²-ზე დამოკიდებულია ნაგებობის კონსტრუქციასა და მის მდებარეობაზე. იანგარიშება ფორმულით

$$P_{\text{სტ}} = \gamma h_0 \cos^2 \alpha_6,$$

სადაც γ – თოვლის საშუალო მოცულობითი წონა ტ/მ³;

h_0 – თოვლის ფენის სისქე გამოთვლილი მოცემული უზრუნველყოფით;

α_6 – ნაგებობის ზედაპირის დახრის კუთხე.

მხები ძალა, რომელიც მოქმედებს ნაგებობაზე თოვლის მასის ცოცვის დროს – იანგარიშება ფორმულით $T = 0,40P_{ს6}$.

მცოცავი თოვლის მასის დაწოლის ძალა თოვლის მაკავებელ ნაგებობაზე მოქმედებს ფერდობის პარალელურად და იანგარიშება ფორმულით

$$P = 0,50\gamma_0 K_1 \sin 2\alpha \text{ ტ/მ};$$

γ – თოვლის მოცულობითი წონა 0,45 ტ/მ³;

K_1 – ფერდობის მდგომარეობის კოეფიციენტი $K_1 = 1,5 \div 3,5$;

α – ფერდობის დახრის კუთხე, გრად

ზვავის მიმმართველი კედლების სიმაღლე – ინიშნება ზვავის სიმაღლისა და სიჩქარის მიხედვით

$$H = H_{ზვ} + 0,05v^2.$$

თუ კონკრეტული ზვავის მონაცემები არ გვაქვს, მაშინ $H_{ზვ} = 3h_0$, სადაც $H_{ზვ}$ – ზვავის სიმაღლეა, h_0 – თოვლის საფარის სისქე.

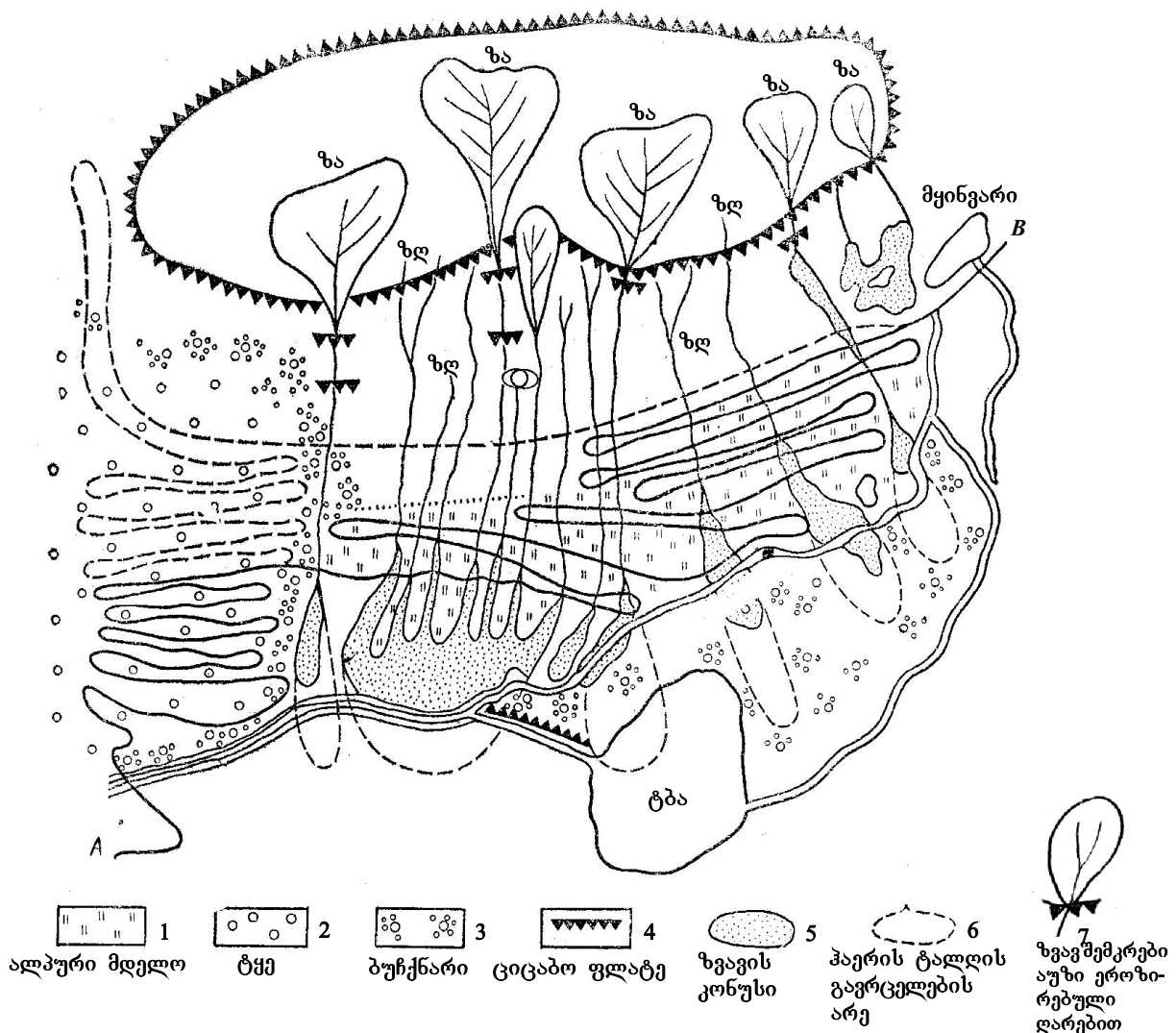
მთებში გზების კვლევა-ძიებისას საჭიროა დადგინდეს ზვავის მხრივ საშიში უბნები. ეს შეიძლება გაკეთდეს კარტოგრაფიული მასალების შესწავლის საფუძველზე, სატელიტური ვიდეო ინფორმაციის მიხედვით და უშუალოდ ადგილმდებარეობის შემოწმებით. საჭიროა გავითვალისწინოთ, რომ ციცაბო ფერდობებზე, რომელთა დახრა 60°-ზე მეტია თოვლის დაგროვება არ ხდება, ვინაიდან იგი თანდათან ჩამოიყრება. ყველაზე უფრო დიდ საშიშროებას წარმოადგენს 15-25° დაქანებების მქონე ფერდობები, საიდანაც დაგროვილი თოვლი, კარგავს რა თანდათან მდგრადობას, შეიძლება ჩამოზვავდეს.

წლიდან წლამდე მეორდება რა ზვავი ადგილებზე ტოვებს თავის დამახასიათებელ კვალს. ის ანადგურებს ფერდობებზე წიწვოვან ხეებს, რომელთაც აქვთ დაფენილი ფესვოვანი სისტემა. ინახება მხოლოდ წვრილტანიანი ფოთლოვანი ჯიშის ხეები – არყის და სხვა, რომლებიც ზვავის მოქმედებით იღუნება და ეკრობა მიწას. ზვავის ნარიყის კონუსის ადგილებში თოვლი შენარჩუნებულია ივნისამდე - ივლისის ბოლომდე, რაც ხელს უწყობს ტენისმოყვარული მცენარეების გაჩენას და აგვიანებს ზრდის სეზონურ პროცესებს. მაგრამ მარტო მცენარეულობაზე დაკვირვება არ იძლევა ზვავური ადგილების გამოვლენის საშუალებას. ზოგჯერ ძლიერი ზვავი რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში ერთხელ მეორდება.

კვლევა-ძიების დროს აუცილებელია თავიდან ავიცილოთ ზვავსაშიში ადგილების გზების გადაკვეთა. შემოვლა თუ შეუძლებელია გზა გაჰყავთ ხეობის

ფსკერიდან ისეთ სიღრმეზე, რომ არ მოხდეს ჩამოგორებული ზვავის დაფარვა. ზვავსაშიში უბნების გადაკვეთა თუ გარდაუვალია საჭიროა გზამ გაიაროს ზვავის ჩასადენი არხის უბნებზე, სადაც შესაძლებელია მინიმალური სიგრძის თოვლსაცავი გალერეის აშენება.

ნახ. 4.48 წარმოდგენილია ტრასირების ორი ვარიანტი თოვლის ჩამოზვავების რაიონში. პირველი ვარიანტი (მთლიანი ხაზი) ტრასა გაყვანილია ხაზის განვითარებით მთის ფერდობზე, იგი რამდენჯერმე კვეთს ზვავსაშიშ ადგილებს. მეორე ვარიანტში (წყვეტილი ხაზი) ტრასა განვითარებულია ტყის მასივის ფარგლებში, რომელიც დაზღვეულია ზვავის საშიშროებისაგან და მხოლოდ ერთ ადგილას კვეთს ზვავსაშიშ ადგილს ზვავის დარების ზონაში.

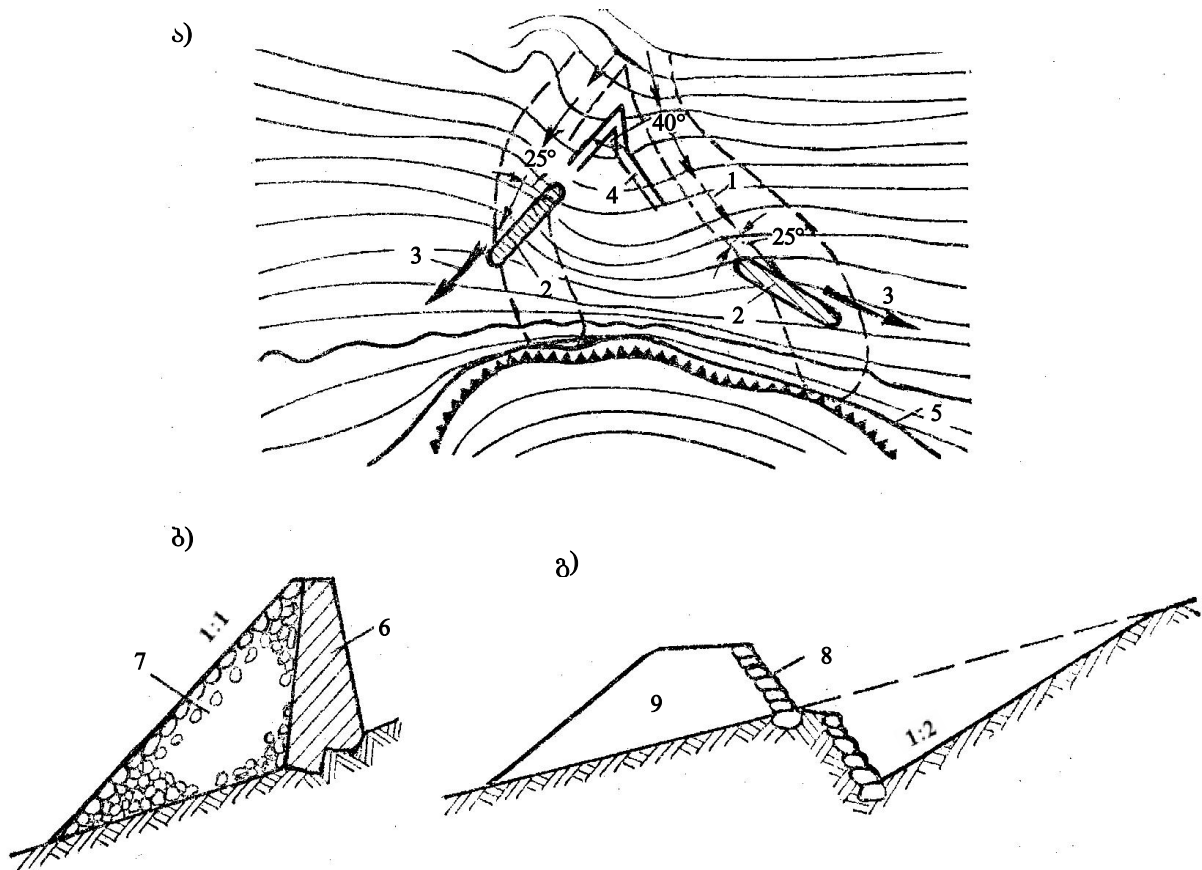


ნახ. 4.48. ტრასირების ვარიანტები თოვლის ზვავებიან ადგილებში

ჩამოზვავებისაგან გზების დასაცავად ითვალისწინებენ რიგ ღონისძიებებს: თოვლის დაგროვების შემცირება ზვავსაკრებ აუზებში; ფერდობებზე თოვლის მდგრადობის ამაღლება; თოვლის მასის მოძრაობის შეწყველება; გზიდან ზვავის მიმართულების შეცვლა ან მისი გადაშვება გზის ზემოდან.

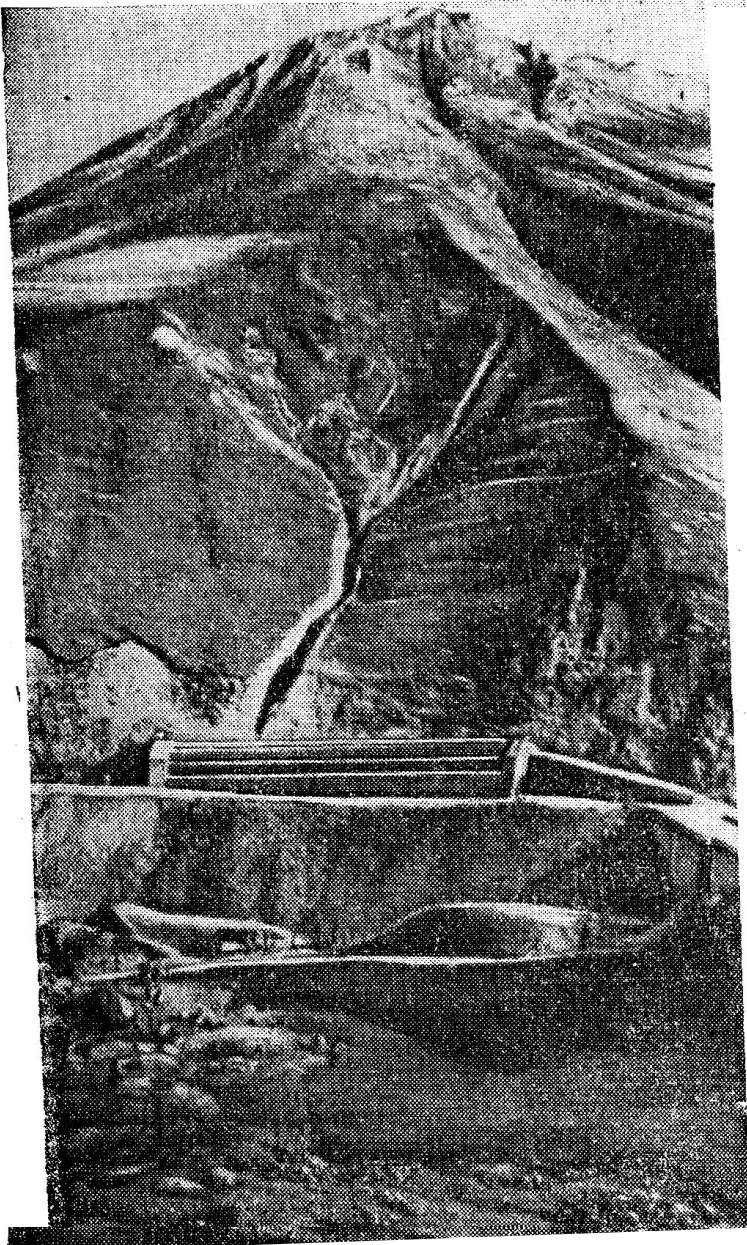
ზვავსაკრებ აუზებში თოვლის დაგროვების ერთ-ერთ წყაროს წარმოადგენს მისი ქართ მოხვეტა ზემოთ განლაგებული ქარპირა ფერდობებიდან. პლატოზე თოვლის შესაკავებლად აგებენ ქვის კედლებს და ზამთარში აყენებენ თოვლსაკრებ ფარებს, რომლებიც თავიანთი კონსტრუქციით გზისპირა შემოღობვების ანალოგიურია. ზვავსაკრები აუზის სწორ გლუვ ფერდობზე თოვლის შესაკავებლად აგებენ ქვის კედლებს, მიწის ზვინულებსა და ტერასებს.

ფერდობზე მოძრავ ზვავს ცალკეულ ნაწილებად თუ დაეყოფთ, მაშინ მათი ენერგია ერთმანეთზე დარტყმისას ქრება. ამიტომ შედარებით დიდი ფართობის მქონე ფერდობებზე წარმატებით იყენებენ ზვავსაჭრელებს, რომლებიც გალაგებულია ჭადრაკულად ზვავისკენ მიმართული სოლისებური პირამიდების სახით წვეროში $30-40^\circ$ კუთხით და სიმაღლით 4-6 მ. მათ აკეთებენ ქვისაგან ან ქვის მოპირკეთებულ გრუნტისაგან. კარგი შედეგებს იძლევა ზვავსაჭრელი მოწყობილობა ასაკრებ ბეტონის ელემენტებისაგან (ნახ. 4.49).



ნახ. 4.49. ზვავსაჭრელი დამბებით გზის ზვავისაგან დაცვის სქემა:
 ა - ადგილის გეგმა დამბების განლაგებით; ბ - ზვავსაჭრელი დამბა;
 გ - ზვავსაჭრელი დამბა თხრილით.
 1 - ზვავის გადაადგილების მიმართულება; 2 ზვავსაჭრელი კედელი;
 3 - აცილებული ზვავის მიმართულება; 4 - ზვავსაჭრელი დამბა; 5 - გზა
 6 - საყრდენი კედელი; 7 - ქვაყრილი ზედა ფენის დაწყობით; 8 - მსხვილი
 ქვებისაგან აწყობილი შემოსი ზედაპირი; 9 - გრუნტი.

ზოგ შემთხვევაში შესაძლებელია დაგორებული ზვავის გზიდან აცილება. ამრიგი ჯგებირების, მძლავრი საყრდენი კედლების ან ფერდობის საიმედო გამაგრებული მიწის ნაგებობების საშუალებით, რომლებიც არა უმეტეს 30° კუთხით არაინ განლაგებული ზვავის მოძრაობის მიმართულებასთან (ნახ. 4.49). მაგრამ ისინი იცავენ გზას მხოლოდ თოვლისაგან და ვერ უზრუნველყოფს დაცვას საჰაერო ტალღის მოქმედებისაგან. ზვავისაგან გზის დასაცავად ყველაზე საიმედო



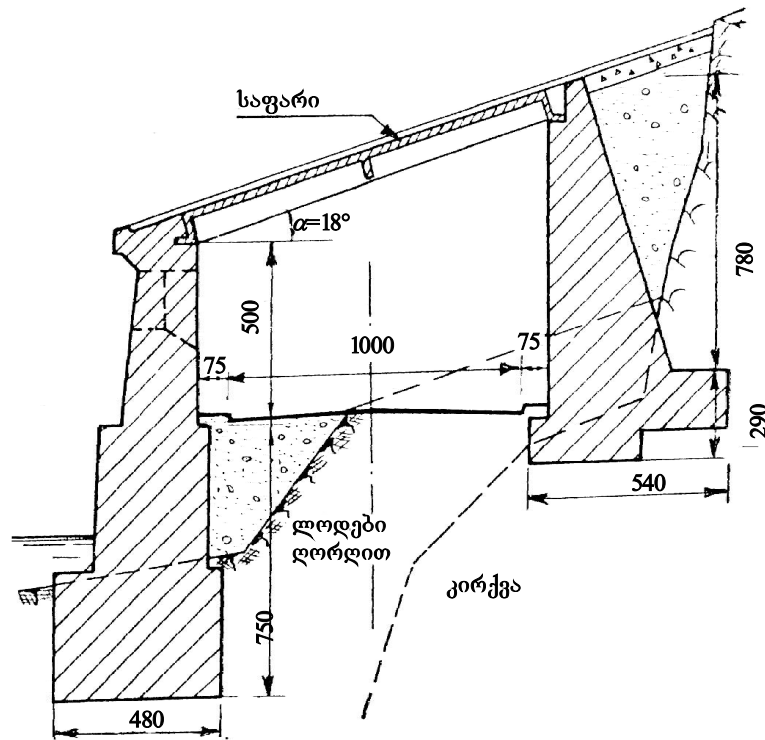
ნახ. 4.50. ზვავდამცავი გალერეა

საშუალებაა გალერეები. ნახ. 4.50 კარგად ჩანს ძაბრული ფორმის თოვლმკრები აუზი და ხევი ფერდობზე. აუზში გროვდება თოვლი და მოძრაობს ხევის მიმართულებით. იმისათვის, რომ თოვლის მასა დარტყმის გარეშე გადასრივად აღდგეს გალერეის გადახურვაში. გალერეას ჩვეულებრივ განლაგებენ აუზის კალთაში შეჭრილ თაროებზე, რომლებზეც მოძრაობს ზვავი. გალერეის ზემოდან აწყობენ ნაყარს, იმ მიზნით, რომ გამოვიდეს ფერდობის ბუნებრივი გაგრძელება ან მისი დახრილობა ცოტათი გაიზარდოს. ზვავსაწინააღმდეგო ნაგებობას ანგარიშობენ დარტყმის წნევაზე და თოვლის ზვავის წონაზე.

ამჟამად გალერეებს აგებენ რკინაბეტონის ანაკრები კონსტრუქციებისა და ადგი-

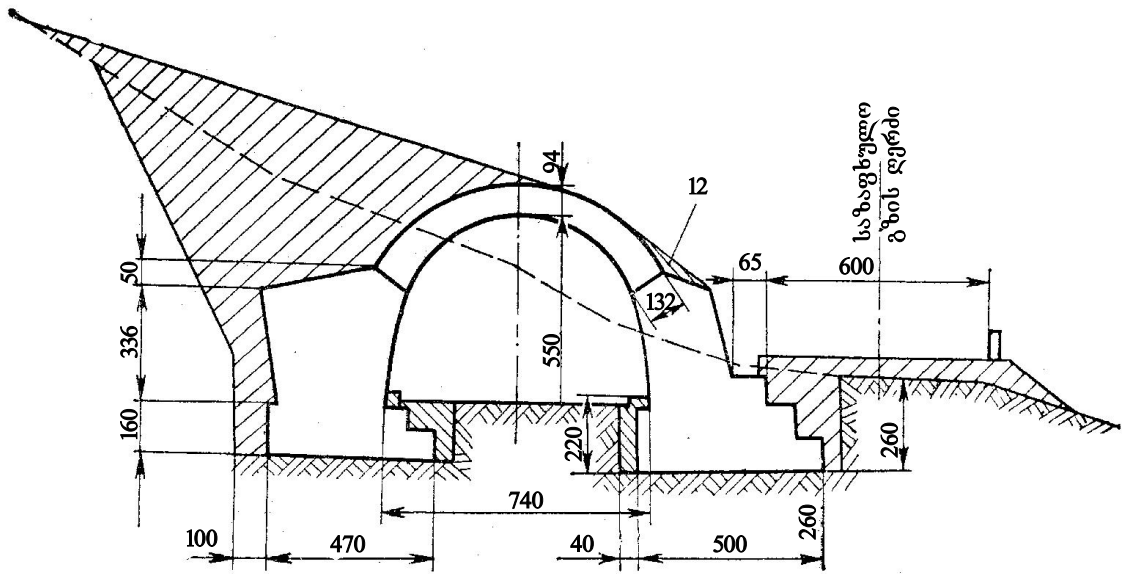
ლობრივი ქვის გამოყენებით. დგარები, კოჭები და ფილები ეწყობა რკინაბეტონისაგან, ზედა და ქვედა საყრდენი კედლები ქვის წყობისაგან ხსნარზე ან სხმული ბეტონისაგან (ნახ. 4.51). რკინაბეტონის დგარებზე ეწყობა

რკინაბეტონის კოჭები. მათზე და ზედა საყრდენ კედლებზე ეყრდნობა გადახურვის რკინაბეტონის კოჭები გაერთიანებული დიაფრაგმებით. კონსტრუქციაზე თოვლის ზვავის დარტყმის ძალის შესამცირებლად ეწყობა ქვის ნაყარი მოკირწყვლით. ზედა საყრდენი კედლის გარეთ მოწყობილია დრენაჟი. გალერეას თავსა და ბოლოში შეიძლება ჰქონდეს პორტალები. ასეთ კონსტრუქციაში გალერეის ცალი მხარე ღიაა, გამკვლელთათვის ჩანს მთების პანორამა, არ დგება ნესტი.



ნახ. 4.51. ზვავისგან დამცავი კოჭური გალერეა საქართველოს სამხედრო გზაზე

საქართველოს სამხედრო გზაზე მრავალი ზვავისგან დამცავი გალერეაა მოწყობილი. მათ შორის ყველა მხრიდან ღია სახით აშენებულ გალერეებში ზვავის ჩამოსვლისას და ფერდობებიდან ქარის ზემოქმედებით თოვლის ჩამოხვეტისას ჰაერის აგრიგალების შედეგად ფართო სავალი ნაწილი იფარება თოვლის ნამქერით. ამიტომ დიდი დიობების დატოვების შესაძლებლობა უნდა დასაბუთებულ იქნას ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში. სადაც არსებობს გალერეის ზვავის თოვლისაგან ამოვსების საშიშროება უმთავრესია მოეწყოს სათავეებში პორტალებით დაცული პატარა ფანჯრების მქონე ზვავისგან დამცავი გალერეა. (ნახ. 4.52) მიზანშეწონილია დგარებს შორის დარჩენილი სივრცეების დახურვა ბეტონის ფილებით.



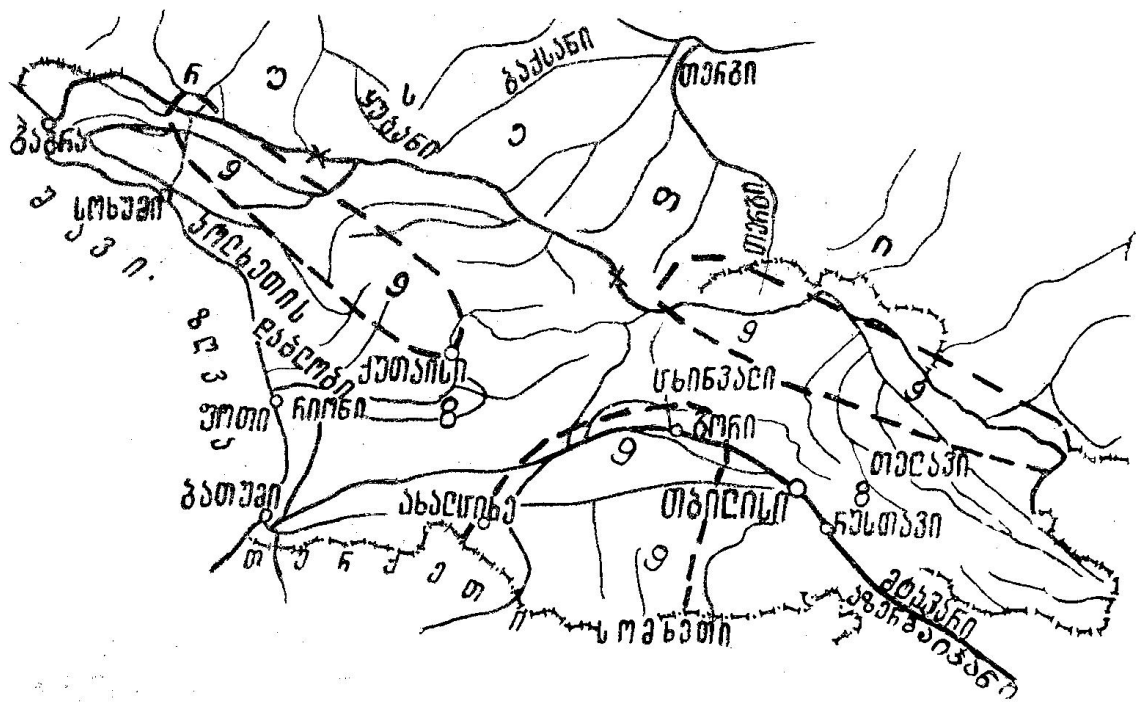
ნახ. 4.52. ზვავისგან დამცავი თაღოვანი გალერეა საქართველოს სამხედრო გზაზე

4.14. სეისმურ რაიონებში საავტომობილო გზების დაპროექტების თავისებურებანი

გზების მშენებლობის რაიონებში მიწისძვრის ძალას აფასებენ სეისმურობით ბალებში. ქვეყნებში სადაც ხშირია მიწისძვრები შემუშავებულია ტერიტორიის სეისმური რაიონირების რუკები და იმ დასახლებული პუნქტების სიები, რომლებისთვისაც მითითებულია სეისმურობა ბალებში. ნახ. 4.53 ნაჩვენებია საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება სეისმურობის მიხედვით. უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენში აკად. კ. ზავრიევის ხელმძღვანელობით შექმნილია სეისმომედეგობაზე გაანგარიშების მძლავრი სკოლა. მრავალი წელია არსებობს შესაბამისი საკვლევი ინსტიტუტი, საერთაშორისო გამოცდილების მქონე ქართველ მეცნიერთა და პრაქტიკოს ინჟინერთა ფართო წრე.

საავტომობილო გზების დაპროექტებისას იმ რაიონებში, რომლებიც 7, 8, 9 ბალის ძალის მიწისძვრებისა მოსალოდნელი საჭიროა მიწის ვაკისზე და ხელოვნურ ნაგებობაზე მოქმედი დამატებითი სეისმური ძალების გათვალისწინება.

9–10 ბალამდე სიძლიერის მიწისძვრის დროს ხდება მიწის ვაკის დიდი დეფორმაციები – ფერდობებზე ყრილების ძვრები და ჩაჯდომა. ჭრილის ფერდობის სათავეებთან გრუნტის მასივის ჩამომეწყობა და ჩამოხვავება მთებში 6 ბალის მიწისძვრის დროს ხდება მეწყერების ზვავებისა და ჩამონაშლების გააქტიურება.



ნახ. 4.53. საქართველოს სეისმური დარაიონების რუკა

მიწის ვაკის მდგრადობის შემოწმებისას, ფერდობებზე 1:3 მეტი დახრილობის დროს საანგარიშო სეისმურობას აღიდეგენ 1 ბალით. სეისმური ძალების მიმართულება, ჩვეულებრივ, ითვლება კორიზონტალურად, ხოლო შემაერთებელ დეტალებისათვის (ანკერის ქანებისათვის, საყრდენი ნაწილების გამაგრებისათვის) გაჭიმვისა და ჭრის გამომწვევად.

სეისმურ რაიონებში გზების კვლევა-ძიებისას საჭიროა გათვალისწინებულ იქნას, რომ სეისმური მოვლენები ყველაზე უფრო მეტად შედგება ძლიერ დასერილი რელიეფის მქონე ადგილებში – ხევებში, ციცაბო ფლატე ფერდობებიან ხეობებში, ფერდობებზე, რომლებიც შედგება გამოფიტული ან ფიზიკურ-გეოლოგიური პროცესების ზემოქმედებით დარღვეული ქანებისაგან.

სეისმური თვალსაზრისით არ არის ხელსაყრელი საგზაო მშენებლობაში გამოვიყენოთ წყალნაჯერი მაკროფოროვანი – ხრეშიანი, ქვიშიანი და თიხიანი გრუნტები, აგრეთვე პლასტიური და დენადი თიხები რომლებიც მიწისძვრის დროს თხევადდებიან. გზების გაყვანისათვის ყველაზე გამოსადეგია გამოუფიტავი ან ნახევრად კლდოვანი ქანები და მკვრივი მშრალი მსხვილმონატეხი გრუნტები.

სეისმურ რაიონებში საგზაო ნაგებობების კონსტრუქციებს და ასევე მიწის ვაკის მდგრადობას ანგარიშობენ ინერციის სეისმური ძალის გათვალისწინებით ნაგებობის საკუთარი წონის და მოძრავი დატვირთვის ერთდროული მოქმედებისას. ამ შემთხვევაში ქარისმიერ დატვირთვას არ ითვალისწინებენ.

მიწის ვაკისის ფერდობსა და საყრდენი კედლების გაანგარიშებისათვის მიღებულია რომ სეისმური ინერციის ძალები მოქმედებენ ჰორიზონტალურად. მათ განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$S = 1,5Q \cdot K ,$$

სადაც Q – ვერტიკალური დატვირთვაა, (ნაგებობის, საკუთარი წონა, გრუნტის, სატრანსპორტო საშუალებათა წონა და ა.შ.) რომელიც სეისმური ზემოქმედებისას იწვევს ინერციულ ძალას.

K – სეისმური კოეფიციენტია დამოკიდებული საანგარიშო სეისმურობაზე.

საანგარიშო სეისმურობა ბალებში ...	7	8	9
K -ს მნიშვნელობა	0,025	0,05	0,1

საყრდენი კედლების გაანგარიშების დროს, სეისმური ინერციის ძალების გარდა, ივალისწინებენ აქტიური წნევის გადიდებასა და პასიური წნევის შემცირებას სეისმური ძალების ზემოქმედების შედეგად.

სეისმურ რაიონებში ფერდობზე მიზანშეწონილია მიწის ვაკისის განლაგება მთლიანად ყრილებში, ან ფერდობში შეჭრილ თაროზე. ნახევარყრილი-ნახევარჭრილი ტიპის განივი პროფილები რეკომენდებული არ არის. 8 და მეტი ბალის სეისურობის მქონე რაიონში, 1: 2 უფრო ციცაბო ფერდობებზე ყრილის ქვედა ნაწილი საჭიროა გამაგრდეს საყრდენი კედლებით ან ყრილი შეიცვალოს ესტაკადებით.

9 ბალი და მეტი ძალის საანგარიშო სეისმურობის რაიონებში, არაკლდოვან გრუნტებში, ჭრილებში და ყრილებში, რომელთა მუშა ნიშნული არ აღემატება 4 მ. ფერდობები უნდა გაკეთდეს 0,25-ით ნაკლებად დახრილი, ვიდრე არასეისმურ რაიონებში. 1:2,25 და ნაკლები დახრილობის ფერდობებს დახრილობის შემცირება აღარ ესაჭიროება.

4.15. მცირე ხელოვნური ნაგებობების დაპროექტების თავისებურებანი მთებში

მთიანი რაიონებისათვის დამახასიათებელია ნალექების დიდი რაოდენობა და მისი მაღალი ინტენსიურობა.

მთის ხეობებს გააჩნია ციცაბო გრძივი ქანობები. დამახასიათებელია წყლის დინების დიდი სიჩქარე და მისი დონის მკვეთრი ამაღლება.

მთის მდინარეებზე წყალმოვარდნა ჩვეულებრივ მოულოდნელად იწყება და სწრაფად ქრება. წვიმებს შორის პერიოდში ბევრი წყალსადინარი სრულებით შრება, რის გამოც ძალიან ხშირად მკვლევარებს ექმნებათ ყალბი წარმოდგენა

მოცემულ ადგილზე ხელოვნური ნაგებობის საჭირო სიდიდის შესახებ. კვლევა-ძიების პროცესში, ხევისა და აუზის საჭირო ფართობისა და დაქანებების შესახებ ჩვეულებრივ შეგროვილი მონაცემების გარდა წყალმოვარდნის გავლის ადგილების მიხედვით საჭიროა დადგენილ იქნას მაღალი წყლების დონე. ხოლო ფსკერული ძირული დანალექების სიმსხვილის მიხედვით განსაზღვროს წყლის დინების მიახლოებით სიჩქარე.

მთის წყალსადინარებს ნიაღვრების შემდეგ ხშირად მოაქვს ხეები, ბუჩქები და მონატეხი ქვის მასალების დიდი მასები. მთის მდინარეებს მნიშვნელოვანი გამანადგურებელი ძალა აქვთ. ამიტომ საჭიროა საიმედო წყალგამტარი ნაგებობების მოწყობა, რომლებმაც რაც შეიძლება ნაკლებად უნდა შეზღუდონ ნაკადის ბუნებრივი რეჟიმი.

მცირე მიღებისა და ხიდების ხვრეტები ძალიან ჩქარა ივსება ნატანით, ამიტომ მთის გზებზე ბევრად უფრო მიზანშეწონილია ერთმალისანი ხიდების აგება, ვიდრე მრავალმალისანისა.

ხიდების ხვრეტები მშენებლობის პრაქტიკის მონაცემების მიხედვით, უნდა იყოს არა ნაკლებ 3–4 მ ხოლო მაღალი წყლის დონიდან აწევა არა ნაკლებ 1 მ.

ქვის ფსკერთან პერიოდულ წყალსადინარებზე ნატანის არარსებობის შემთხვევაში და როდესაც ხარჯი არ აღემატება 2–3 მ³/წ. წყლის გასაშვებად შეიძლება მოეწყოს მუონავი ყრილები, რომლებიც აღჭურვილი უნდა იქნას დამცავი ფილტრებით დალაშქვისაგან.

წყალსადინარების დიდი გრძივი ქანობები და ადგილის ციცაბო რელიეფი ართულებს მცირე ხელოვნური ნაგებობების კონსტრუქციას. დინების სიჩქარისა და გამორეცხვის საშიშროების შესამცირებლად აუცილებელია გაკეთდეს სპეციალური მისასვლელი კალაპოტები, რომელთა სიახლოვეში სიჩქარე მცირდება.

ხრამიან ფლატე ფერდობებზე ზოგჯერ მიზანშეწონილია წყალსადინარი გადაშვებულ იქნას გზის ზემოდან სპეციალური ღარით – წყალსაგდებით, რომელიც კონსტრუქციით სელედუკების ანალოგიურია. ყველაზე უფრო გავრცელებულია ვარდნილები და სწრაფსადენები. ვარდნილებს აგებენ მრავალსაფეხუროვანს, წყალსაცემი ჭებით ან მათ გარეშე, ფსკერის დახრილობის მიხედვით.

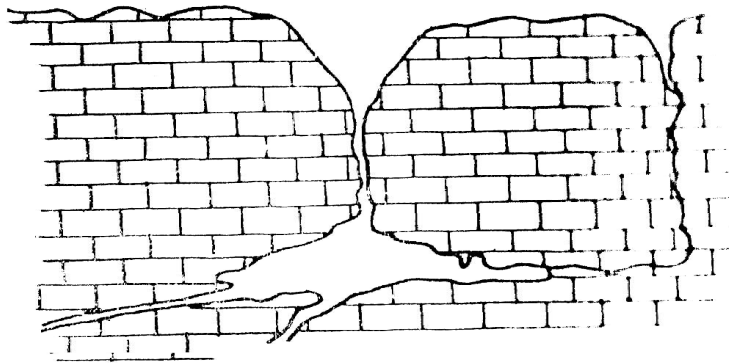
დიდი სიგრძის კალაპოტის შემთხვევაში შეიძლება ერთმანეთთან შევახამოთ ვარდნილები და სწრაფსადენები, ხოლო სიჩქარის შემცირების მიზნით ღარებს მივცეთ გადიდებული ხორკლიანობა.

ხელოვნურ ნაგებობებთან მისასვლელი კალაპოტების კონსტრუქციების დაპროექტების საკითხები დაწვრილებით არის განხილული „ჰიდრაულიკის“ და

„ხელოვნურ ნაგებობათა დაპროექტების“ დისციპლინებში, აგრეთვე სხვადასხვა სპეციალურ ლიტერატურაში.

4.16. გზების დაპროექტება კარსტულ რაიონებში

მთაგორიან ადგილებში მიწისქვეშა წყლების დინება იწვევს ხსნადი მთის ქანების (თაბაშირის, კირქვის, დოლომიტის, ქვა მარილის და ა.შ) გახსნა-გამოტუტვას. ამ მოვლენას კარსტული პროცესი ეწოდება. მის შედეგად ქანებში სიცარიელები ჩნდება, ზედაპირზე კი წარმოიშვება ძაბრისმაგვარი ჩაღრმავებები. კარსტი გეოგრაფიული ტერმინი. ასე ეწოდება იტალიის სამხრეთ საზღვართან, სლოვენიაში მდებარე პლატოს სადაც პირველად აღიწერა ეს პროცესი (ნახ. 4.54).



ნახ. 4.54. კარსტული ძაბრი კირქვების ზედაპირზე. ძაბრი სიღრმეში უკავშირდება კარსტულ სიცარიელეს.

გრუნტისა და შემღწევი ზედაპირული წყლების ერთობლივი მოქმედებით ასეთი მთის ქანები იხსნება და წაიტაცება მიწისქვეშა წყლებით. მიწის სიღრმეში წარმოიქმნა სიღრუე, მიწისქვეშა სავალები და დიდი მღვიმეები ღრუ ადგილების ჭერის ჩამონგრევითა და ჯდომით, ასევე ძაბრები, ღრანტეები და ნალარები, წარმოქმნილი უშუალოდ გადარეცხვისა და გახსნის შედეგად. კარსტული ძაბრების დიამეტრი ჩვეულებრივ შეადგენს 1-დან 50 მ; სიღრმე იშვიათად აღემატება 15–20 მ.

ასეთი ადგილის თავისებური ზედაპირი – კარსტული ლანდშაფტი მიუთითებს კარსტული პროცესების არსებობაზე, რაც გათვალისწინებული უნდა იყოს საავტომობილო გზებისა ტრასირებისას.

კარსტული პროცესები გავრცელებულია მრავალი ქვეყნის რიგ რაიონებში, შუა აზიაში, ალტაიზე, ურალში ციმბირში, შორეულ აღმოსავლეთში, ყირიმში კავკასიაში და ა.შ. საქართველოში კარსტული ტერიტორიები განსაკუთრებით ხშირია აფხაზეთში, სამეგრელოს მთიან რაიონებში, ზემო იმერეთში და რაჭაში.

კარსტულ რაიონებში საავტომობილო გზების მშენებლობა გარკვეულ საშიშროებასთანაა დაკავშირებული. კარსტული პროცესების განვითარებისას შესაძლოა გზის დანგრევა ან გზით გადაკვეთილი კარსტული სიღრუეების ჭერის ჩამონგრევა. ამიტომ, საავტომობილო გზეპის კვლევა-ძიებისას დადგენილ უნდა იყოს კარსტული მოვლენების ინტენსიურობა, რომელიც დამოკიდებულია მთის ქანების შედგენილობაზე და მისი დაბზარულობის ხარისხზე, მის ხსნადობაზე გრუნტის წყლების ქიმიურ შედგენილობაზე და ადგილის რელიეფზე. მშენებლობისათვის საშიშროების დონის მიხედვით კარსტებს ყოფენ ორ ტიპად 1 - კარსტი ადვილადხსნად ქანებში – სულფატურებში (თაბაშირით), სულფატ-კარბონატულებში და ქვის მარილის, სადაც ყოველწლიურად შეიძლება წარმოიქმნას ძაბრები და მოხდეს დაჯდომა. II – კარსტი ძნელადხსნად კარბონატულ ქანებში, კირქვებში, დოლომიტებში, ცარცში და მონატეს ქანებში კარბონატული ცემენტით.

ძნელად ხსნად კარბონატულ ქანებში კარსტის განვითარება მიმდინარეობს ნელა და კარსტული ლანდშაფტის ახალი ელემენტები ხშირად ათეული წლების განმავლობაში არ ჩნდება. ეს საშუალებას იძლევა დაკარსტულ რაიონში აიგოს გზები და სხვა საინჟინრო ნაგებობები (მათი მუშაობის საანგარიშო ვადის გათვალისწინებით).

კარსტული პროცესების განვითარების ინტენსიურობის საორიენტაციო მახასიათებელს წარმოადგენს კარსტული მღვიმის ჭერის ჩამონგრევის შედეგად 1 კვ-კმ ფართობზე წლის განმავლობაში წარმოქმნილი ძაბრების რაოდენობა (ცხრ. 4.5).

ცხრილი 4.5

რაიონის კატეგორია	რელიეფის მდგრადობის დახასიათება	1 კმ-ზე წარმოქმნილი ძაბრების რაოდენობა
I	ძალზე არამდგრადი	5 – 10 წელიწადში
II	არამდგრადი	1 – 5 წელიწადში
III	საშუალომდგრადი	I 0 – 20 წელში
IV	მდგრადი	I 20 - 50 წელში
V	ძალზე მდგრადი	50 წელიწადში არ წარმოქმნილა არც ერთი ძაბრი

ძაბრების ასაკი კვლევა-ძიებისას შეიძლება განისაზღვროს მათ ფერდობზე გაზრდილი ხეების მიხედვით, ფერდობების ბელტიანობის დონით, ძაბრის ნაპირების მომრგვალებულობით და მისი გრუნტით შევსებით.

კარსტული პროცესების ინტენსიურობისა და დონის განსაზღვრისათვის და გზის გაყვანისათვის არახელსაყრელი უბნების გამოვლინებისათვის, კვლევა-ძიებების დროს საჭიროა სამთო ქანების მის წყალში ხსნადი ფენების სისქის,

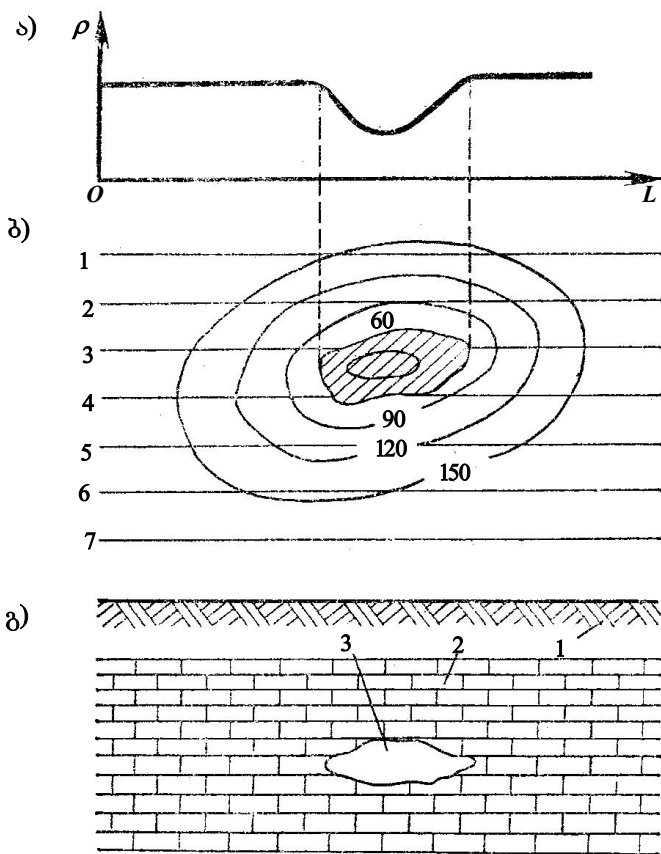
შედგენილობისა და დაბზარულობის შესწავლა. კარსტული პროცესების ინტენსიურობის შესაფასებლად შეიძლება გამოვიყენოთ ე.წ. კარსტული აქტიურობის მაჩვენებელი

$$A = \frac{V}{V'} \cdot 100,$$

სადაც V სიცარიელების ჯამური მოცულობა ქანების გამოფიტვისა და ხსნის შედეგად;

V' – დაკარსტული ქანების საერთო მოცულობა. დაკარსტული პროცესების განვითარების შესაფასებლად.

შესაფასებლად უნდა დადგინდეს აგრეთვე მათი მფარავი გრუნტების შედგენილობა, სისქე და წყალშედწევადობა, კარსტული ძაბრების განლაგების კავშირი ადგილის გეოლოგიურ აღნაგობასთან. საჭიროა ცნობების მიღება გრუნტის წყლების რეჟიმზე, მათ აგრესიულობაზე და კვების წყაროებზე.



ნახ. 4.55. კარსტული სივრცეების გამოვლენა ელექტროდაზვერვის მეთოდით

ა – ელექტროპროფილის მრუდის ცვლილება კარსტის ზემოდან;
 ბ – თანაბარ წინააღმდეგობათა იზოხაზების რუკა, რის საშუალებით ხდება კარსტულ სიცარიელეთა დადგენა; გ – ადგილის გეოლოგიური კვეთი; ρ – წინააღმდეგობა ომი/მ.

1 – გრუნტი $\rho = 300$ ომი/მ; 2 – კირქვა $\rho = 800$ ომი/მ; 3 – კარსტული სივრცე.

მიწისქვეშა კარსტული სიდრეების გამოსავლენად მიზანშეწონილია ელექტროდაზვერვის მეთოდის გამოყენება, რომელიც მდგომარეობს განსაზღვრულ სიდრეზე განლაგებული ქანების სისქის წინააღმდეგობის განსაზღვრაზე. თუ ქანის შიგნით არის სიცარიელე, წინააღმდეგობა მკვეთრად იცვლება (ნახ. 4.55) და გრუნტის წინააღმდეგობასა და ელექტროდებს შორის მანძილის დამოკიდებულების ხაზი მრუდდება. გამოკვლევების მასალების მიხედვით ადგილის რუკაზე აღნიშნავენ დაქვეითებული ელექტრული წინააღმდეგობის ზონის საზღვრებს, რომლებიც კარსტების გავრცელების მახასიათებელს წარმოადგენენ. ტრასის შედარებით უსაფრთხო გაყვანისათვის აუცილებელია წყლისათვის ნაკლებშედწევადი ზედაპირული გრუნტის შრეს ჰქონდეს სისქე არა ნაკლებ 8–10 მ, წყალში ხსნადი მთის ქანი მცირე დაბზარულობისას იყოს მცირე სისქის, გრუნტის წყლები იყოს ნაკლებაგრესიული, ხოლო ხარჯი მცირე.

მიწისქვეშა სიდრეებთან საშიში ზონის საზღვრები შეიძლება პირველი მიახლოებით განისაზღვროს გეოლოგიურ კვეთზე გრაფიკული აგებით. ამასთან, კარსტული სიდრის განივად, მისი სახურავის საზღვრებთან ზომავენ ჩამონგრევისა და დაჯდომის კუთხეებს, მოყვანილს ცხრ. 4.6 (ნახ. 4.56).

ცხრილი 4.6

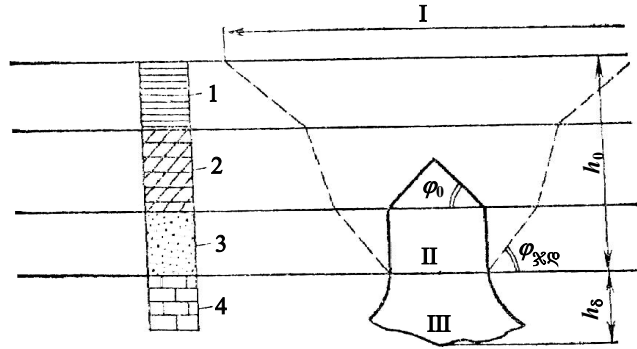
ქანები	საანგარიშო კუთხეები, გრად		ქანები	საანგარიშო კუთხეები, გრად	
	ჯდომის	ნგრევის		ჯდომის	ნგრევის
	$\varphi_{\text{ჯ}}$	$\varphi_{\text{გრ}}$		$\varphi_{\text{ჯ}}$	$\varphi_{\text{გრ}}$
კლდოვანი გამოუფიტავ	70	50	ქვიშოვანი, სველი, სუსტად შეცემენტებული	50	90
კლდოვანი გამოფიტული	50	60	ქვიშოვანი, მშრალი, სუსტად შეცემენტებული	40	140
თიხნარი მკვრივი	40	70	ქვიშოვანი ფხვიერი	40	140
თიხნარი პლასტიური	30	80		30	150

კარსტული სიდრეების განლაგების უსაფრთხო სიდრემს საინჟინრო ნაგებობების ფუძიდან განსაზღვრავენ ემპირიული ფორმულის საშუალებით

$$K_{\text{ყ}} = K_{\text{ყ}} \cdot \delta ,$$

სადაც h – კარსტული სიდრის სიმაღლეა; $K_{\text{ყ}}$ – უსაფრთხოების კოეფიციენტი.

უსაფრთხოების კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია გეოლოგიურ პირობებზე და ნაგებობის კატეგორიაზე საავტომობილო გზებისათვის და დაკარსტული კირქვებისათვის $K_{\text{ყ}}$ შეადგენს 100–150.



ნახ. 4.56. ქანების ნგრევისა და ჯდენის ზონათა დადგენის სქემა კარსტული და არაკარსტული ქანების ფენებად განლაგებისას: I – ჩაჯდომის ზონა; II – ჩამონგრევის ზონა; III – კარსტული სიცარიელე; 1 – მკვრივი თიხა; 2 – მტკიცე კლდე; 3 – სუსტად შეცემენტებული ქვიშა; 4 – კარბონატული ქანები.

4.17. ტრასირება კარსტულ რაიონებში

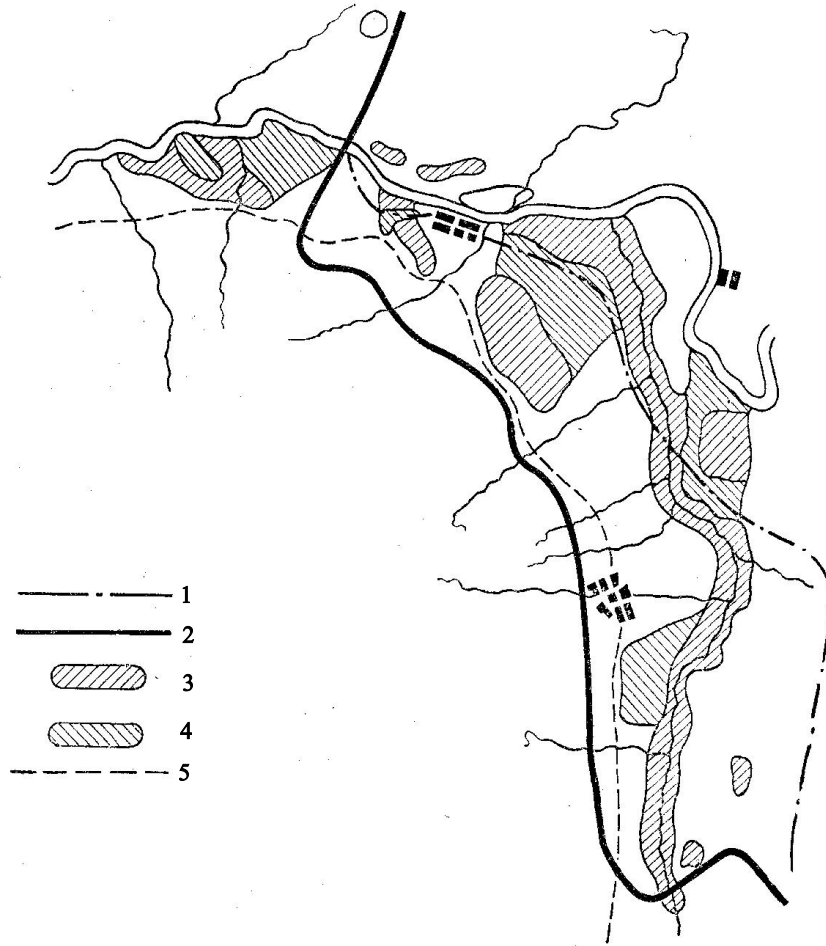
გზების კვლევა ძიებისას კარსტული ძაბრები კარგად ჩანს სატელიტურ სურათებზე, რაც აადვილებს ტრასის საუკეთესო ვარიანტის შერჩევას.

რიგ შემთხვევებში ტრასის შედარებით უმნიშვნელო გადაადგილებით შეიძლება არსებითად შემცირდეს კარსტული პროცესებით გზის დაზიანების საშიშროება (ნახ. 4.57). თუ კარსტული უბნის ჩამოვლა შეუძლებელია, მიზანშეწონილია ტრასის გაყვანა წყალგამყოფებზე ან მაღალ სამდინარო ტერასებზე.

რელიეფის ასეთ ამალღებულ უბნებზე კარსტული პროცესები ვლინდება ნაკლებად ვიდრე ფერდობების ქვედა ნაწილში, სადაც მთის ქანები იხსნება აუზის დიდი ფართობიდან მოდენილ წყალში.

გზის გაყვანის რაიონში თუ მრავალი წლის განმავლობაში ახალი ძაბრები არ გაჩენილა ეს მეტყველებს, რომ კარსტული პროცესები ჩაქრა და დაბალი კატეგორიის გზების აგება შესაძლებელია კარსტული პროცესების გათვალისწინების გარეშე. მაღალი კატეგორიის გზების გაყვანა კი შეიძლება მცირე სიმაღლის ყრილებით, ძაბრების თავმოყრის უბნების შემოვლით იმ პირობით, რომ გზისპირა ზოლის ფარგლებში შესრულდება სამუშაოები, მიწისქვეშა ნაპრალებში წყლის შეღწევის შესამცირებლად, განსაკუთრებით ხსნადი ქანების სისქეში. ამ მიზნით ითვალისწინებენ შემდეგ ღონისძიებებს: გზისპირა ზოლის მოშანდაკება და რელიეფის დადაბლებულ ადგილებში შეგუბებული წყლის აცილება. არ უნდა იქნას გამოყენებული დაწნევითი რეჟიმის მიღები და ხიდები, რომლებიც

განგარიშებულია ნაგებობის წინ წყლის აკუმულაციაზე; წყალდენებისა და სამთო არხების კალაპოტების გამაგრება; კარსტული ძაბრების ამოვსება წყალშეუღწევადი გრუნტით მისი შრედაშრე შემჭიდროებით; ყრილის ზედა მხრიდან ღრმა რეზერვების მოწყობის და გრუნტის კარიერების გახსნის აკრძალვა.



ნახ. 4.57. გზის ტრასის დაზუსტება კარსტულ რაიონში გეოლოგიური გამოკვლევების მონაცემებით:
 1 – ტრასის თავდაპირველი ვარიანტი; 2 – საბოლოო ვარიანტი; 3 – აშკარა კარსტების მონაკვეთები; 4 – ფარული კარსტების მონაკვეთები; 5 – კორქების კონტაქტის ხაზი მეტამორფულ და ამოფრქვეულ ქანებთან

ჭაბურღილების საშუალებით გზასთან ახლოს განლაგებული კარსტული სიღრუებისა და ნაპრალების ამოვსება (ტამპონაჟი), ქვიშა-თიხის, ბიტუმისა და ცემენტის ხსნარებით. ხსნადი მთის ქანების წყალშეუღწევადობის შემცირების მიზნით მიზანშეწონილია ხელოვნურ ნაგებობებთან ღრუების არამდგრადი ჭერის ჩამონგრევა აფეთქებით; ღრმა ღრენაჟის მოწყობა გრუნტის წყლის მიწის ვაკისისაკენ დინების შესაწყვეტად, რაც კარსტული პროცესების წარმოშობის მიზეზს წარმოადგენს; მიწის ვაკისთან ახლოს ღრუებისა და ღრმა ნაპრალების ამოვსება ქვიშით ან ქვაცილით, თუ მათი შემოვლა არ შეიძლება; კარსტული

ღრუების უბნების გადაკვეთა ესტოკადებით, რომლების საყრდენები ჩაშვებულია კარსტული პროცესებისადმი მიდრეკილი ფენების ქვევით.

გზების დაპროექტების პირობების მიხედვით ძალიან ბევრი საერთოა კარსტულ რაიონებსა და მიწისქვეშა სამთო გამონამუშევრებს ზემოთ განლაგებულ უბნებთან. ღრმა გამონამუშევრებისაგან წარმოქმნილი ჯდომა არ არის დიდი, მიმდინარეობს ნელა და არ ახდენს გავლენას გზის მუშაობაზე. ჯდომის გამოწვეული საფარის სისწორის დარღვევა შეიძლება აღდგენილი იქნას სარემონტო სამუშაოების ჩატარებისას.

ჯდომის მიმდინარეობა უნდა გავითვალისწინოთ მხოლოდ ხიდების კონსტრუქციაში, რომლებიც უნდა ითვალისწინებდეს არათანაბარი ჯდომის შესაძლებლობას და მის კომპენსაციას.

ზედაპირთან ახლოს მდებარე გამონამუშევრები, აუცილებლად უნდა ამოივსოს გზისპირა ზოლის ფარგლებში. ძველ შახტებში 30 მ-ზე ნაკლებ სიღრმეში სიცარიელებს ავსებენ ქვიშიან თიხიანი ხსნარით. 6 მ და ნაკლები სიღრმის გამონამუშევრების ჭერს ხსნიან ექსკავატორებით, რის შემდეგ ქვაბულს ავსებენ გრუნტით, მისი მისი ფენაფენად შემჭიდროებით. საქართველოში განსაკუთრებით კარგადაა ათვისებული კარსტული სიცარიელების ამოვსება ცემენტის ხსნარის ჩაჭირხვნიტ, რის შედეგად მიიღება მიწისქვეშა წყლებისაგან შეუღწევადი ბარიერი. ეს მეთოდი ფართოდ იქნა გამოყენებული ენგურის თაღოვანი კაშხლის მშენებლობისა და შემდგომი ექსპლუატაციის პროცესში. ხსნადი ქანებისაგან ზედაპირული წყლების ეფექტურად მოცილება შესაძლებელია მრავალი სხვა მეთოდით, მაგ. ჭაბურღილებიდან წყლის ამოტუმბვით და ა.შ., მაგრამ კარსტულ პროცესებთან ბრძოლის ღონისძიებანი საჭიროებს მნიშვნელოვან ხარჯებს, შრომატევადია და არასაკმაოდ ეფექტური. განსაკუთრებით საავტომობილო გზების მშენებლობისას ვინაიდან საჭიროა მათი განხორციელება დიდ სიგრძეზე. ამიტომ, უბნებს, სადაც კარსტული პროცესები აქტიურად ვითარდება საჭიროა შექმნისდაგვარად თავი ავარიდოთ.

ლიტერატურა

1. ა. კონიაშვილი, კ. მჭედლიშვილი. საავტომობილო გზების დაპროექტების თავისებურებანი მთიან პირობებში. თბილისი, 1985. 133 გვ.
2. კ. მჭედლიშვილი, ა. ბურდუღაძე და სხვ. საავტომობილო გზები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2009. 164 გვ.
3. კ. მჭედლიშვილი, ა. ბურდუღაძე. საავტომობილო გზების დაპროექტების საფუძვლები. თბილისი, 2016. 251 გვ.
4. Hans Lorens. Trassierung und Gestaltung. München, 1995. s. 435.
5. Coquand R., Routes. Circulation-Trace-Construction. Livres I et II EYROLLES. Paris. 1995. p.578.
6. Highway engineering handbook. Roger L. Brockenbrough. 2009. p. 885.
7. Бабков В., Андреев О. Проектирование автомобильных дорог. ч. I, 367 с. ч. II. 413 с. Москва, Транспорт, 1987.

შინაარსი

თავი 1. მიწის ვაკისის დაპროექტება	3
1.1. მოთხოვნები მიწის ვაკისის მდგრადობისადმი	3
1.2. გრუნტების განლაგება მიწის ვაკისში	10
1.3. მოთხოვნები მიწის ვაკისის გრუნტების შემჭიდროებისადმი	13
1.4. მიწის ვაკისის მდგრადობა ფერდობაზე	17
1.5. მიწის ვაკისის მდგრადობა სუსტ ფუძეებზე	19
1.6. მიწის ვაკისის ფერდობების მდგრადობა	25
თავი 2. საზღაო სამოსების კონსტრუქცია	35
2.1. საზღაო სამოსის კონსტრუქციული შრეები	35
2.2. საზღაო სამოსების ძირითადი ტიპები	37
2.3. საზღაო სამოსების კონსტრუქციის საერთო პრინციპები	47
2.4. საზღაო სამოსების კონსტრუქციული ფენების სიმტკიცის მახასიათებლები	54
თავი 3. ხიდებთან მისასვლელებისა და სარემზულაციო ნაგებობების დაპროექტება	59
3.1. ნოღური ყრილების მუშაობის პირობები	59
3.2. ყრილების დაპროექტება მდინარის ნოღაში	63
3.3. ხიდთან მდინარის რეგულირების ამოცანები და პრინციპები	71
3.4. სარეგულაციო ნაგებობების კონსტრუქციები	76
თავი 4. გზების დაპროექტება მთიან რაიონებში	80
4.1. მთიანი რაიონები მსოფლიოს სხვადასხვა კუთხეში	80
4.2. მთის ფერდობების მდგრადობა	88
4.3. გზის გაყვანა მთის მდინარეთა ხეობებში	92
4.4. ტრასის განვითარება ფერდობებზე და საუღელტეხილო გზები	96
4.5. სერპანტინების დაპროექტება	102
4.6. გვირაბები	108
4.7. გზების გრძივი პროფილი მთებში	110
4.8. გზების განივი პროფილები მთებში	114
4.9. გზის გაყვანა ქვათაცვენისა და შვავების უბნებში	123
4.10. ღვარცოფის ნარიყების გადაკვეთა	127
4.11. გზებით მეწყერიანი უბნების გადაკვეთა	134

4.12. მაგალითები უცხოელ და ქართველ სპეციალისტთა საინჟინრო პრაქტიკიდან	142
4.13. გზების დაცვა ზვავისაგან	149
4.14. სეისმურ რაიონებში საავტომობილო გზების დაპროექტების თავისებურებანი	157
4.15. მცირე ხელოვნური ნაგებობების დაპროექტების თავისებურებანი მთებში	159
4.16. გზების დაპროექტება კარსტულ რაიონებში	161
4.17. ტრასირება კარსტულ რაიონებში	165
ლიტერატურა	168