

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ბაშარ მ.ამეენ აბდულლაჰ ალ-იმამ

საყრდენი კედლის გაძლიერება ჰორიზონტალური ინექციური ხიმინჯებით

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

შიფრი 0732.1.1.

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2021 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
სამშენებლო ფაკულტეტი  
სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი გ. ჭოხონელიძე

პროფესორი 

ო. მხეიძე
-----------

რეცენზენტები : პროფესორი შახი ბაქანიძე

პროფესორი ზურაბ ორაგველიძე

დაცვა შედგება 2021 წლის „-----“ ივლისი, ----- საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „მშენებლობის“  
საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი I,  
აუდიტორია 508. მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68<sup>ბ</sup>.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი პროფესორი დ. ტაბატაძე

## შესავალი

თემის აქტუალობა- საკითხი ეხება მშენებლობის მეტად აქტუალურ საკითხს: საყრდენი კედლების გამაგრებას ჰორიზონტალური ბეტონის ხიმინჯების გამოყენებით. საყრდენი კედლები ფერდობების გამაგრების მეტად გავრცელებულ მეთოდს წარმოადგენს. მათ კაცობრიობა დიდი ხანია იყენებს ფერდობების გასამაგრებლად. ადრე ფერდობებს ყორე ქვით ამაგრებდნენ, შემდეგში კი როდესაც გამოგონებული იქნა ცემენტი, როგორც წესი საყრდენი კედლების მშენებლობა ძირითადად ხდებოდა მხოლოდ ბეტონის გამოყენებით. დღეისთვისაც საყრდენი კედლების მასალად გამოყენებულია ბეტონი.

დისერტაციის მიზანია მეწყრული ფერდობების გამაგრება ბეტონის საყრდენი კედლის ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით, როდესაც ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი 1-ზე ნაკლებია, ჩვენ გამოვიყენეთ ექვსი სხვადასხვა მოდელი ჰორიზონტალური (კონტრფორსულის) ხიმინჯების საყრდენი კედლისა, ზოგი ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი და ზოგი კი საყრდენი კედლის ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით. ჩვენ გამოვთვალეთ მისი მდგრადობა, როგორც მოცურებისა ისე გადაყირავების შემთხვევაში, და ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი. მათი შედეგი განსხვავებულია, რომელიც დამოკიდებულია საყრდენი კედლის განზომილებაზე .

დისერტაციის არსი - მდგომარეობს მასში, რომ უფრო საიმედო გავხადოთ საყრდენი კედლის მდგრადობა ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენების შემთხვევაში.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე - მეწყრული ფერდობების გამაგრება საყრდენი კედელი ჰორიზონტალურის (კონტრფორსულის) ხიმინჯების გამოყენებით.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება - ახალი ტიპის ჰორიზონტალურის ხიმინჯები, რომლებიც წინასწარ ქარხნული წესით ან

ადგილზეა დამზადებული, იგი გაცილებით იაფი ჯდება მეწყრის საყრდენი კედლის გამაგრების არსებულ მეთოდთან.

### ნაშრომის შინაარსი

პირველ თავში - განხილულია ქ. თბილისის ტერიტორიის ბუნებრივი პირობები. მის პირველ ქვეთავში განხილულია თბილისის გეომორფოლოგია და ჰიდროგრაფია.

საკვლევი ტერიტორია ქ. თბილისი და მისი შემოგარენი გეოლოგიურად წარმოადგენს დანაწევრებულ ტერიტორიას, რომელიც მდ. მტკვრის შუა დინებაშია განთავსებული.

მდინარე მტკვარი, ქალაქს თითქმის მერიდიანული მიმართულებით ჰკვეთს, და ორ ნაწილად ყოფს: უფრო ამაღლებული-მარჯვენა სანაპიროდ და მნიშვნელოვნად დადაბლებული - მარცხენა სანაპიროდ.

მდინარე მტკვარი განსახილველ რაიონში ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ მიედინება. მდინარის 100-200 მეტრი სიგანის კალაპოტი მეტეხის ციხესთან 35-40 მეტრამდე ვიწროვდება. მდინარე მტკვრის სიღრმე ქალაქის ფარგლებში 0.3-2.2-ს შეადგენს. წყლის დინების სიჩქარეა 0.4-2.7 მ/წმ. კვების მიხედვით მდინარე მტკვარი შერეული ტიპისაა და თოვლით, წვიმებით კვების ტიპს მიეკუთვნება.

მარჯვენა სანაპირო ხასიათდება უმთავრესად განედური მიმართულების ამაღლებებისა და დეპრესიების მონაცვლეობით. ქედებს შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია: სეიდ-აბადის ამაღლება, თელეთის ქედი, სოლოლაკის ქედი, მამადავითის მთა და ა.შ. მარცხენა სანაპირო მორფოლოგიით მკვეთრად განსხვავდება მარჯვენა სანაპიროსგან. ხასიათდება რელიეფის უფრო რბილი, მომრგვალებული ფორმებით.

ქალაქის ფარგლებში მდინარე მტკვრის მნიშვნელოვანი მარცხენა შენაკადებიდან უნდა აღინიშნოს მდ. ხევძმარი და მდ. გლდანი, გარდა იმისა თბილისის ზღვას, კუს ტბას და ლისის ტბას.

თბილისის ზღვას, მას უჭირავს ფართო ჩაკეტილი დეპრესია, რომელიც ქალაქის ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან შემოსაზღვრულია

მაღლობებით. წყალსაცავი ვრცელდება ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისკენ; მისი წყალშემკრები აუზის ფართობი (32) კმ<sup>2</sup>, მაქსიმალური სიღრმე (40)მ. და სიგრძე (8.5-9.0)კმ-ია. კუს ტბას უჭირავს ტექტონიკური ღრმული მამადავითის მთის ჩრდილოეთ ფერდობზე. წყლის სარკის ფართობი (0.02)კმ<sup>2</sup>, ტბის სიგრძე (200)მ-ია, სიგანე (100)მ, მისი მაქსიმალური სიღრმე (2)მ-ია. ლისის ტბას უჭირავს არაღრმა დეპრესია ლისის მასივის თხემზე. წყალშემკრები აუზის ფართობი (16)კმ<sup>2</sup>, დეპრესიის სიგრძე (0.96)კმ-ია, სიგანე (0.75)კმ. წყლის სარკის ფართობი (0.47)კმ<sup>2</sup>-ია, მაქსიმალური სიღრმე (2)მ.

პირველი თავის მეორე ქვეთავი - განხილულია ქ. თბილისის გეოლოგიური პირობები.

თბილისის რაიონი და მისი შემოგარენი მნიშვნელოვანი სიმძლავრის დანალექ-ფლიშური და ვულკანოგენური ნალექებითაა წარმოდგენილი. ქალაქის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე აღნიშნული ნალექები გადაფარულია მეოთხეული ასაკის მძლავრი წარმონაქმნებით. ჩვენ მოკლედ შევხებით მათ დახასიათებას.

ქვედა ეოცენი, მიეკუთვნება აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის ზედა ფლიშური წყებების ნალექებს.

ძირითადი ქანები ქალაქის ფარგლებში გახსნილია ძირითადად შურფებისა და ჭაბურღილების საშუალებით.

ქანები ძირითადად წარმოდგენილია უხეშშრეებრივი, მსხვილმარცვლოვანი ქვიშაქვების დასტებით, რომლებშიც კონგლომერატების ლინზები და თხელშრეებრივი წვრილმარცვლოვანი ქვიშაქვების, ალევროლითების და მერგელების შუაშრეები გვხვდება.

მათი ნაწილი ძირითადად თხელშრეებრივი ალევროლითებით და მსხვილმარცვლოვანი ქვიშაქვებით არის აგებული, ფიქლისმაგვარი თიხებისა და ალევროლითების შუაშრეებით.

შუა ეოცენი. შუა ეოცენური ნალექები თბილისის ტერიტორიის სამხრეთ ნაწილში თელეთისა და სეიდ-აბადის ქედების აგებულებაში მონაწილეობენ. შუა ეოცენური ნალექები ორ წყებად იყოფა.

1. „დაბახანის“ წყება, წარმოდგენილია თიხიანი ფიქლებით, მერგელოვანი თიხების და წვრილმარცვლოვანი, შრეებრივი, ტუფოგენური ქვიშაქვების მორიგეობით.

2. აღსანიშნავია, რომ „ხლართულშრეებრივი ბრექჩიების“ ჰორიზონტი, რომელიც თანხმობით აგრძელებს დაბახანის წყებას, მეტად თავისებური აგებულებისაა. ჩანართები წარმოდგენილია ზედა ცარცის და პალეოგენის კირქვებით, აგრეთვე მერგელებით, კირქვიანი შრეებრივი ქვიშაქვებით, მუქი ნაცრისფერი ფიქლებით, ტუფოქვიშაქვებით და ეფუზიური ქანებით.

ზედა ეოცენი - ზედა ეოცენური ნალექები საკვლევ რაიონის დიდ ფართობს მოიცავს.

ზედა ეოცენური ნალექები ქვედა ნაწილებში წარმოდგენილია ფიქლებრივი თიხებით, რომლებშიც შერეულია წვრილმარცვლოვანი ქვიშაქვები, მერგელები და მომწვანო ფერის ტუფოგენური ქვიშაქვები.

საკვლევ რაიონში გავრცელებული ზედა ეოცენური ნალექები ორ წყებად იყოფა: ნავთლულის ბითუმის შემცველი წყება ანუ ქვედა თევზებიანი ჰორიზონტი და ნუმულიტიანი, ან თბილისის წყება. (წყება: ადგილობრივი სტრატეგრაფიული ქვედანაყოფების ძირითად ერთეული).

ნავთლულის ბითუმის შემცველი წყება ანუ ქვედა თევზებიანი ჰორიზონტი წყება ხასიათდება თხელშრეებრივი ალევროლითების, წვრილმარცვლოვანი ქვიშაქვების, ფიქლებრივი ქვიშიანი თიხების და შედარებით სქელ შრეებრივი ქვიშაქვების მორიგეობით. ნავთლულის წყების საერთო სიმძლავრე ზემოაღნიშნულ წყებაში 400მ-ს აღწევს. უფრო ჩრდილოეთით კი მისი სისქე თანდათანობით კლებულობს.

ნუმულიტიან წყება წარმოადგინილია ქვიშაქვიან-ალევრითულ-თიხიანი ნალექებით, ჰარბობს ქვიშაქვები. წყება თაბაშირიანია, შეიცავს

ნუმულიტებს, რომელიც განსაკუთრებით ჭარბობს წყების ზედა ჰორიზონტში.

ზოგიერთ ადგილებში ზედა ეოცენურ ნალექებში შეიმჩნევა მსხვილი ქვარგვალეებისგან შედგენილი კონგლომერატის შრეები, რომელიც ვულკანურ მასალას შეიცავს. ასეთი სურათი კარგად ჩანს სოფელ კიკეთში მიმავალი გზის ჭრილში.

მაიკოპური წყება, რომელიც დღეისათვის ფაუნისტურად დათარიღებულია, ზედა ოეცენსა და თარხნულ ჰორიზონტს შორის არის მოქცეული. იგი ნაწილდება ცალკეულ სართულებად, არსებული პალეონტოლოგიური მასალის სიმცირის გამო.

მაიკოპური ნალექების სისქე საკვლევი რაიონის ჩრდილო ნაწილში ისევე, როგორც სამხრეთში, დაახლოებით (1500-2000)მ-ია. საკვლევი რაიონის ცენტრალურ ნაწილში მაიკოპური ნალექები გადარეცხილია.

გარდა იმისა თარხნული ჰორიზონტი, ჩოკრაკული ჰორიზონტი, კარაგანდული ჰორიზონტი, კონკური ჰორიზონტი, ქვედა სარმატი, ზედა სარმატი და ა.შ.

ზემო აღნიშნულიდან შეიძლება დავასკვნათ რომ ქ. თბილისი ეკუთვნის მთაგორიან სისტემას და, ბუნებრივია, რომ მეწყრული პროცესების განვითარების ყოველგვარი წინაპირობებია.

პირველი თავის მესამე ქვეთავი - კლიმატი და სეისმიკა . საკვლევი ტერიტორია ხასიათდება კონტინენტური, ზომიერად თბილი კლიმატით ; ჰაერის წლის საშუალო ტემპერატურა დიღმისა და დიდი დიღმის სადგურების მიხედვით შესაბამისად 12.3°C და 12.6°C, აბსოლიტური მინიმუმი- 23.0°C და 24.0°C, აბსოლიტური მაქსიმუმი 40.0°C; ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა ორივე სადგურის მიხედვით - წლის საშუალო 66%, ყველაზე ცივი თვისთვის 60%, ყველაზე ცხელი თვისთვის 30%; ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა წელიწადში 560 მმ, ხოლო დღეღამური მაქსიმუმი შეადგენს 146 მმ და ა.შ..

საკვლევი ტერიტორია (სამშენებლო მოედანი) მდებარეობს ასპინძა-თბილისის მორფოსტრუქტურული ერთეულის ზონაში. ზონა განლაგებულია მაღალი სეისმური რისკის არეალში. საქართველოს მაკრო-სეისმური დარაიონების სქემის მიხედვით ქ. თბილისი განლაგებულია 8-ბალიანი ინტენსივობის მიწისძვრების გავრცელების ზონაში, ბრძანება №1-1/2284, 2009 წლის 7 ოქტომბერი, საქართველოს ეკონომიკური განვითარების მინისტრის, ქ. თბილისი. სამშენებლო ნორმების და წესების-„სეისმომედეგი მშენებლობა“(პნ 01.01-09)-დამტკიცების შესახებ.

მეორე თავი - ქ. თბილისში დიდ დიღმში განვითარებული მეწყერი (მუხათგვერდის მეწყერი) და მისი გამომწვევი მიზეზები. მეორე თავის პირველი ქვეთავი - მოცემულია მუხათგვერდის მეწყერის გეოლოგიური პირობები.

მუხათგვერდის მეწყერი განვითარდა მუხათგვერდის სასაფლაოსკენ მიმავალ გზაზე, დიდი დიღმის დეპრესიას, აღმოსავლეთის მხრიდან ფრაგმენტულადაა გავრცელებული მდინარე მტკვრის მარჯვენა ნაწილზე ჭალიზედა პირველი ტერასა.

ძირითადი ქანები, რომლისგანაც წარმოდგენილია საკვლევი ტერიტორიის ფერდობები, შედგება მესამეული ასაკის თიხაფიქლებისა და ქვიშაქვების მორიგეობისგან.

ტექტონიკურად საკვლევი ტერიტორია მოქცეულია დიღმის სინკლინის ჩრდილო ფერდის ფარგლებში. ქანების ვარდნის აზიმუტია (170)°, ხოლო ვარდნის კუთხე (20-30)°-ს შეადგენს.

გეომორფოლოგიურად დიდი დიღმის დეპრესია განთავსებულია, როგორც აღვნიშნეთ, ქ. თბილისის უკიდურეს დასავლეთ ნაწილში მდინარე მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე. აღსანიშნავია, რომ დიღმის ველი სამი მხრიდან ამალღებებითაა გარშემორტყმული. ჩრდილო-დასავლეთიდან არმაზის ქედის სამხრეთ კალთებითაა შემოსაზღვრული, სამხრეთიდან ლისის ქედის ჩრდილო კალთები ესაზღვრება, ხოლო დასავლეთიდან დიდგორის ამალღების კალთები ჩამოედინება. ამრიგად, დეპრესია



გაშლილია მხოლოდ აღმოსავლეთის მიმართულებით. ცალკეული ამალღებების აბსოლუტური ნიშნულები (1270-1275)მ-ს შეადგენს. ამრიგად, ქვაბულიდან ფერდობები მალღდება (160-180) მეტრზე. ეს ამალღება თვითონ დეპრესიის ფარღლებში (6-100) მატულობს, ხოლო შემდეგ იქმნება ფერდობები, რომელთა დახრაც (28-320) შეადგენს. მთელი ფერდობები დასერილია ეროზიული ხევებით. რელიეფის დანაწევრების სიხშირე „K“ დამოკიდებულია ქანების სიმტკიცეზე და ფერდობების ექსპოზიციაზე და იცვლება (0.01-0.8) ფარღლებში.

მეორე თავის მეორე ქვეთავი - მოცემულია მეწყრული სხეულის გრუნტები. ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ვინაიდან მეწყრული სხეული ძირითადად თიხაფიქლებისგან არის წარმოდგენილი. მათი პლასტიკურობის რიცხვი 18-ზე მეტია, რაც სახსტანდარტის ნორმებით თიხებს მიეკუთვნება. თიხური ფრაქცია ჰიდროქარსებითა და მონტმორილონიტით არის წარმოდგენილი. ბუნებრივ პირობებში, როგორც ცხრილიდან ჩანს, ზედა ზოღში თიხაფიქლების გრუნტის სიმტკიცის მაჩვენებლები-შიგახახუნის კუთხე ( $\varphi$ ) იცვლება (17-18)<sup>0</sup> ფარღლებში, ხოლო კუთრი შეჭიდუღობა (C) შეადგენს (0.26-0.30) კგ/სმ<sup>2</sup>. ქვედა ზოღში კი აღნიშნული მაჩვენებლები ასეთია:  $\varphi=(5-12)^0$ ,  $C=(0.10-0.25)$  კგ/სმ<sup>2</sup>. თიხაფიქლები ხასიათდება მაღალი კუმშვადობის კოეფიციენტით და დეფორმაციის მოდულის დაბალი მნიშვნეღობით. ეს მონაცემები ნათღად მიუთითებს, რომ სველი თიხაფიქლები საერთოდ თავისი თვისებებით მიეკუთვნება სუსტ გრუნტებს.

მეორე თავის მესამე ქვეთავი - მეწყერის გამომწვევი მიზეზები. მეწყერის წარმოშობა ყოვეღთვის დაკავშირებულია წყლის მოქმედებასთან. ჩვენ შემთხვევაშიც მეწყერის წარმოქმნა ძირითადად დაკავშირებულია ზედაპირული წყლების მოქმედებასთან. ცნობიღია რომ მეწყერი წარმოიშობა ქანებში, რომლებიც შედგება თიხური მასაღისგან. ჩვენ შემთხვევაში საქმე გვაქვს მეწყერთან რომელიც გვხვდება თიხოვან გრუნტებში. მეწყერის განვითარება მჭიდროდ არის დამოკიდებული

ფერდობის დაქანებასთან. ხშირია შემთხვევები, რომ ფერდობის დაქანება ხელოვნურად იცვლება ადამიანის ზემოქმედების შედეგად. მაგალითად სამშენებლო სამუშაოებთან დაკავშირებით ფერდობებს გაჭრიან და მას სტოვებენ ვერტიკალურ მდგომარეობაში. ნაწილობრივ ჩვენ შემთხვევაში ასეთ მოქმედებას ჰქონდა ადგილი. ფერდობის ძირში გაიყვანეს გზა, რომელმაც გააუარესა ფერდობის მდგრადობა. ამას დაემატა კიდევ ზედაპირული წყლების გააქტიურება. ფერდობებზე გზების გაყვანამ საკმაოდ შეცვალა ზედაპირული (ატმოსფერული) წყლების მიმართულება. ჩვენ შემთხვევაში, როდესაც დათვალიერებული იქნა ფერდობი აშკარად შეიმჩნეოდა ზედაპირული წყლების გაზრდილი მოდინება. ამრიგად ფერდობის ქანობის გაზრდამ და ზედაპირული წყლების გააქტიურებამ გამოიწვია მუხათგვერდის მეწყრის წარმოქმნა.

მესამე თავის პირველი ქვეთავი - საყრდენი კედლები და მათი გამოყენების არე. საინჟინრო საქმეში საყრდენ კედლებს საკმაოდ დიდი და განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს. მდინარეები, სანაპიროების კედლები, ხიდის ბურჯები, მიწის ვაკისის დამჭერი კედლები და სხვა ეკუთვნის საყრდენ კედლებს. საყრდენი კედლები ფართოდ გამოიყენება, როგორც სატრანსპორტო, ისე სამოქალაქო, სამრეწველო და ენერგეტიკულ მშენებლობაში.

საყრდენი კედლების დიდი რაოდენობით აგება ხდება მთაგორიან პირობებში გზებზე. მდინარის წარეცხვისაგან დასაცავად. ასევე ღვარცოფების, თოვლის ზვავების, ფერდობებიდან ჩამონაცარი ქვების და მეწყრული მასის შესაკავებლად. საყრდენი კედლების ასაგებად გამოიყენება ფლეთილი ქვა როგორც მშრალი წყობით ისე შემკვრელი ხსნარით (კირი, ცემენტი) აგებული წყობა, ყორებეტონი, ბეტონი და რკინაბეტონი.

მესამე თავის მეორე ქვეთავი - საყრდენი კედლები და მათი კლასიფიკაცია საყრდენი კედლები ექსპლუატაციაში ყოფნისას განიცდიან გარე ძალების მოქმედებას. კედელზე მოქმედ გარე ძალებს შეადგენს : მიწის აქტიური დაწოლა კედელზე -  $E_a$ ; მიწის პასიური დაწოლა (მიწის

წინააღმდეგობა)  $E_s$ ; კედლის საკუთარი წონა  $G$ ; მიწის მასივის დაწოლის განსაზღვრა რთული ამოცანაა, რადგან დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, უმთავრესად კი ყრილის ფიზიკურ თვისებებზე. მუშაობის პრინციპის მიხედვით გარე ძალების მოქმედების მიმართ წინააღმდეგობის ხასიათიდან გამომდინარე, განასხვავებენ კედლების შემდეგ სახეებს:

მასიური საყრდენი კედელი. მასიურ საყრდენ კედლებში (ნახ. 3.1) სიმტკიცისა და მდგრადობის პირობები დაცულია თვით კედლის საკუთარი წონის მეშვეობით. მთიან პირობებში მასიურ (გრავიტაციულ) საყრდენ კედლებს აგებენ, ფერდობის სიმაღლის, დახრილობის და ქანების თვისებების გათვალისწინებით. მასიურ საყრდენი კედლების მშენებლობისას, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება (ისევე როგორც სხვა სახის კედლების აგებისას) კედლების ფორმის შერჩევას, რადგან სწორედ ფორმა განსაზღვრავს კედლის მუშაობის ხასიათს. ამის გამო მასიურ საყრდენ კედლებს აძლევენ ისეთ ფორმას, რომ კედლის არაცენტრალურ კუმშვაზე მუშაობისას, კვეთებში წარმოიშვას მხოლოდ მკუმშავი ძაბვები. ეს საშუალებას იძლევა მასიური საყრდენი კედლები აგებული იქნას, როგორც ბეტონისგან, ისე ქვისგან მშრალ ან ხსნარზე წყობით.

ნახევრადმასიური საყრდენი კედლების, (ნახ. 3.1) სიმტკიცე და მდგრადობა განისაზღვრება, როგორც კედლის საკუთარი წონით, ისე გრუნტის წონით, რომელიც მოთავსებულია საძირკვლის ფილაზე. ასეთი საყრდენი კედლები მზადდება რკინაბეტონისგან, რადგან გამჭიმვი ძალების ათვისებას ახდენს ლითონის არმატურა.

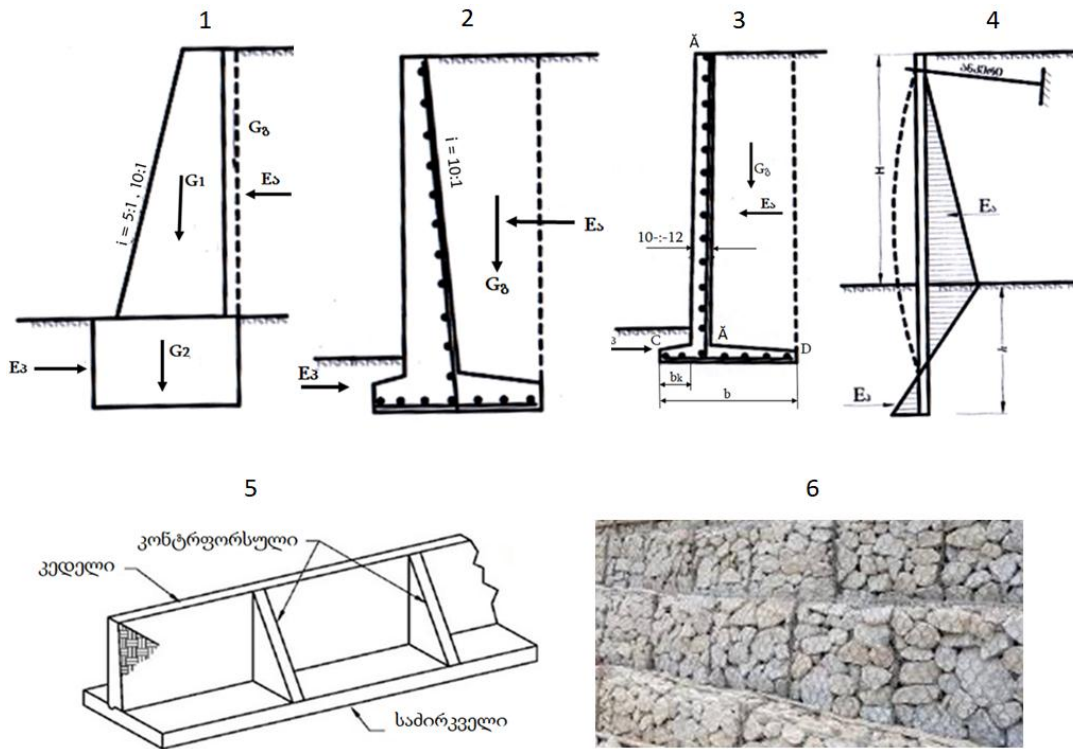
თხელკედლიანი საყრდენი კედლებიდან უპირატესად გავრცელებულია, თხელკედლიანი კონსოლური საყრდენი კედლები (ნახ. 3.1). ასეთი ტიპის კედლები შედგება ვერტიკალური რკინაბეტონის ფილისაგან, რომელიც ღებულობს გრუნტის აქტიურ დაწნევას და საძირკვლის რკინაბეტონის ფილისგან, რომელზეც უშუალოდ ხდება

გრუნტის წონისგან გამოწვეული დატვირთვის გადაცემა. კედლის რკინაბეტონის ფილები ერთმანეთთან ხისტად არიან დაკავშირებული.

კონტრფორსული საყრდენი კედლები მსგავსია კონსოლურის საყრდენი კედლებისა, აქვთ თხელი ვერტიკალური ბეტონის (კონტრფორსული) რეგულარული ინტერვალები კედლის უკანა მხარეს. მათი მიზანია შეამციროს ძვრის ძალები. მეორადი ეფექტი არის კედლის წონის გაზრდა დამატებითი ბეტონისგან. კონტრფორსული საყრდენი კედლები უფრო ეკონომიურია ვიდრე კონსოლურის კედლები სიმაღლეებისთვის 8 მეტრზე მეტი, (ნახ. 3.1) .

გაბიონი როგორც საყრდენი კედელი, სამშენებლო სექტორის სწრაფი ზრდის გამო, სხვადასხვა სამშენებლო მასალები უნივერსალურად გამოიყენება. საყრდენი კედლები გადამწყვეტ როლს თამაშობენ გეოტექნიკური ინჟინერიაში, სადაც გაბიონის საყრდენი კედლები დიდ გამოყენებას პოულობს. გაბიონის საყრდენი კედლები ძალზე სასარგებლოა, როდესაც საქმე ეხება ეკონომიკას, სტრუქტურულ სტაბილურობას და ესთეტიკურ სახეს. სხვებთან შედარებით მათ აქვთ მრავალი ფუნქცია და ძალზე ეფექტურია (ნახ. 3.1).

თხელკედლიანი საყრდენი კედელი ანკერული ჩამაგრებით. გრუნტის ანკერი წარმოადგენს გრუნტში ან ძირითად ქანში მოთავსებულ კონსტრუქციულ ელემენტს, რომელიც მასზე მოდებულ ჭიმვად დატვირთვას გრუნტში გადასცემს. გრუნტის ანკერები თავდაპირველად იქნა გამოყენებული ქვაბულების და თხრილების დროებითად დამაგრების მიზნით(ნახ. 3.1). ანკერული სისტემების უპირატესობაა შეუზღუდავი სივრცე მიწის სამუშაოების ჩასატარებლად, კედელზე მოქმედი შედარებით დიდი ჰორიზონტალური დაწნევის ატანის უნარი, კედლის განივკვეთის მნიშვნელოვანი გაზრდა საჭიროების გარეშე, ქვაბულებისა და თხრილებისათვის დროებითი დამაგრების მოწყობის, ღრმა საძირკვლების დამაგრების საჭიროების აღმოფხვრა მშენებლობისობისათვის და საჭირო დროის შემცირება.



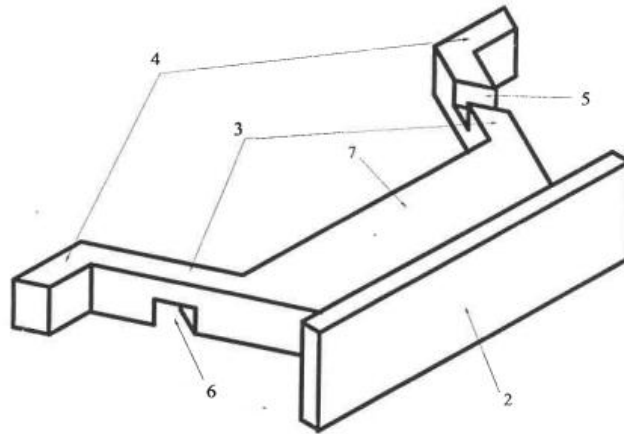
ნახ. 3.1 საყრდენი კედლები და მათი კლასიფიკაცია : 1. მასიური საყრდენი კედელი; 2. ნახევრადმასიური საყრდენი კედელი; 3. თხელკედლიანი კონსოლური საყრდენი კედელი; 4. თხელკედლიანი საყრდენი კედელი ანკერული ჩამაგრებით; 5. კონტრფორსული საყრდენი კედლები; 6. გაბიონის საყრდენი კედლები.

მესამე თავის მესამე ქვეთავი - ახალი ტიპის საყრდენი კედელი კედლის რაციონალური ფორმის დადგენა მნიშვნელოვანი საქმეა. ამ მიმართულებით მრავალი ექსპერიმენტი და კვლევაა ჩატარებული. კედელს ისეთი ფორმა უნდა მიეცეთ, რომ მისი მოცულობა იყოს მინიმალური. თუ ყრილზე დროებითი ტვირთი არ მოქმედებს და კედლის უკანა მხარეს სწორხაზოვანია, მაშინ რადგან კულონის მიხედვით დაწოლის ინტენსიურობის ეპიურა სამკუთხედიანია, კედლის რაციონალურ ფორმად სამკუთხედი უნდა ჩაითვალოს. სამკუთხე კედლების განხორციელება დაკავშირებულია კონსტრუქციულ სიძნელებებთან და პრაქტიკაში არ აკეთებენ. კედლის რაციონალურობა შეიძლება შეფასდეს ე.წ. ეკონომიურობის კოეფიციენტით, რომელიც წარმოადგენს განსახილავი

პროფილის ფართობის ფარდობას ერთეულად მიღებულ პროფილის ფართობთან.

როგორც ზემოთ აღნიშნეთ, უკანასკნელ ხანებში საკმარისად დიდი გამოყენება ჰპოვა რკინაბეტონის კედლებმა, რომლებიც უმთავრესად ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ფილებისაგან შედგება. ჰორიზონტალური ფილა წარმოადგენს კედლის საძირკველს. კედლის მდგრადობა აქ უზრუნველყოფილია ჰორიზონტალურ ფილაზე მოთავსებულ მიწის სვეტის წონით.

ზემოთ განხილული მოსაზრებებიდან გამომდინარე, პროფ. ზ. ორაგველიძეს მიერ დამუშავებული იქნა ახალი ტიპის რკინაბეტონის თხელკედლიანი ასაწყობი საყრდენი კედლები (ნახ. 3.2), სადაც გრუნტის აქტიური მოქმედების ფაქტორი მაქსიმალურადაა გამოყენებული. ასეთი ტიპის კედლების გამოყენება შესაძლებელია როგორც ზედა, ისე ქვედამხრის საყრდენ კედლებად. კუთხოვანი პროფილის ზედადამხრის ასაწყობი რკინაბეტონის საყრდენი კედელი შედგება ბლოკებისგან : 1, 2, რომელიც შეიცავს ფილას და კონტრფორსებს 3, რომლებსაც ურთიერთ საწინააღმდეგო მიმართულებით აქვს გამონაშვრები; 4. კონტრფორსებზე ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით შესრულებულია ამონაჭრები; 5, 6, კონტრფორსები შეერთებულია რკინაბეტონის ფილით; 7, რომელიც შეთავსებულია კედლის ფასადის ფილასთან  $90^{\circ}$ -იანი კუთხით. კონტრფორსებზე შესრულებული ამონაჭრებით ხდება მომიჯნავე ბლოკების ერთმანეთთან გადაბმა და ამით იქმნება ჯაჭვი, რომლებიც უზრუნველყოფს კედლის მდგრადობას დაცურებაზე, ხოლო კონტრფორსების შემაერთებელი ფილის (თაროს) შეთავსება ფასადის ფილასთან ხელს უშლის კედლის ამოყირავებას თაროზე დაყრილი გრუნტის მასივის ხარჯზე. ასეთი კედლის ბლოკის რკინაბეტონის მოცულობა აღწევს  $1\text{მ}^3$ -მდე. აღნიშნული კედლის დახასიათებაზე დეტალურად შევჩერდით იმიტომ, რომ იგი, როგორც მეორე ვარიანტი შეიძლება გამოყენებული იქნას მუხათგვედის მეწყრის გასამაგრებლად.



ნახ. 3.2 კუთხოვანი პროფილის ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი

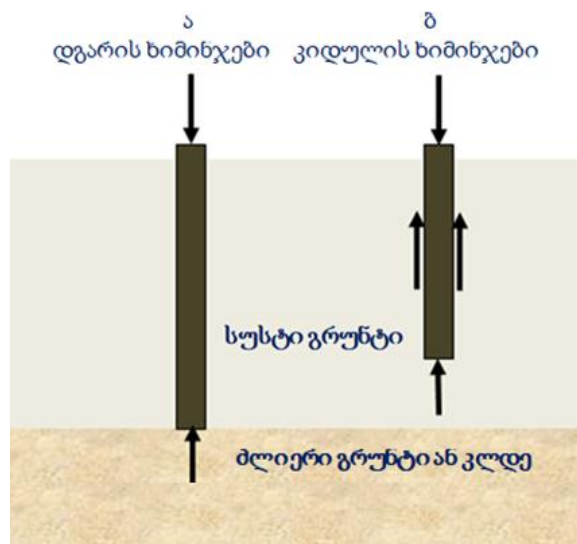
მესამე თავის მეოთხე ქვეთავი - ხიმინჯები და მათი გამოყენება მშენებლობაში-განხილვა.

ხიმინჯები წარმოადგენს ხის, ბეტონის და ფოლადის მოთავსებულ კონსტრუქციულ ელემენტს, რომელიც დატვირთვებს შენობიდან გრუნტში გადასცემს. ზოგჯერ ხიმინჯები გამოიყენება გრუნტის გადაადგილების შესაჩერებლად, მაგალითად მეწყერის შემთხვევაში. შეიძლება საყრდენი კედლის გაკეთება ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით და იგი იმუშავებს როგორც კონტრფორსული კედელი. ამრიგად კონტრფორსი იცვლება ხიმინჯით.

ხიმინჯოვანი საძირკვლების დაპროექტება იწყება მათი სახეობის შერჩევით, რომელიც დამოკიდებულია ნაგებობის დანიშნულებაზე, ადგილის გეოლოგიურ პირობებზე, საწარმოს ტექნიკურ შესაძლებლობაზე, როდესაც: სუსტი გრუნტია; მიწისქვეშა წყლის დონე აწეულია; დატვირთვები შენობიდან დიდია და არარეგულარული; როდესაც გრუნტი ხასიათდება მაღალი კუმშვადობის კოეფიციენტით; როდესაც შენობის მახლობლად არსებობს არხი ან ღრმა სადრენაჟე სისტემა.

ხიმინჯოვანი საძირკველის კლასიფიკაცია. ხიმინჯების კლასიფიკაცია - მუშაობის ხასიათის მიხედვით ხიმინჯი შეიძლება იყოს დგარი ან კიდული; არმირების მიხედვით - ჩვეულებრივი ან წინასწარ დამაბული.

ხიმინჯების კლასიფიკაცია შესაბამისად მუშაობის ხასიათის მიხედვით - დგარი ან კიდული. მუშაობის ხასიათის მიხედვით ხიმინჯი შეიძლება იყოს დგარი ან კიდული. ხიმინჯი დგარია თუ იგი წვერით ეყრდნობა პრაქტიკულად კუმშვად ფენას (კლდე, თიხოვანი, გრუნტი მყარ მდგომარეობაში, მკვრივი ხრეში და სხვა.). ამ შემთხვევაში ხახუნის ძალები ხიმინჯის გვერდით პირეულზე მხედველობაში არ მიიღება ნახ.(3.3.ა). ხიმინჯი კიდულია, თუ იგი ეყრდნობა წვერით კუმშვად ფენას. ასეთი ხიმინჯი მასზე მოსულ დატვიტვას ეწინააღმდეგება. როგორც ხიმინჯის წვერზე აღძრული რეაქციის ძალით, ასევე მის გვერდით პირეულზე წარმოქმნილი ხახუნის ძალებითაც (ხახუნის ხიმინჯები, ნახ.(3.3.ბ).



ნახ. (3.3). ხიმინჯები მუშაობის ხასიათის მიხედვით - დგარი ან კიდული

მეოთხე თავი - მეწყრული ფერდობის მდგრადობის უზრუნველყოფა ჰორიზონტალური ბეტონის ხიმინჯების გამოყენებით. მეოთხე თავის პირველი ქვეთავი - მუხათგვერდის მეწყრული ფერდობის მდგრადობის ანგარიში.

ჰორიზონტალური ძალების მეთოდი. დიდი პრაქტიკული გამოყენებით სარგებლობს „ჰორიზონტალური ძალების მეთოდი“, რომელიც სამეცნიერო ლიტერატურაში ცნობილია როგორც მასლოვ-ბერერის მეთოდი.



ბერერმა შანხაის პორტის სანაპიროს მეწყრული ფერდობების მდგრადობის გაანგარიშების მაგალითზე დაამუშავა გრაფიკული მეთოდი, ხოლო პროფ. ნ. მასლოვმა მოახდინა ამ მეთოდის ანალიზური გადამუშავება.

მეთოდის გამოყენების პრინციპი მკაფიოდ იკითხება მისი საანგარიშო სქემიდან, რომელიც წარმოდგენილია ნახ. 4.1-ზე. ბუნებრივია რომ:

$$H = gtga \quad (4.1)$$

$$T = H - E = g[tga - tg(\alpha - \psi)] \quad (4.2)$$

(4.1) და (4.2) გამოსახულებანი საშუალებას იძლევა, დადგენილი იქნეს ნახ. 4.2-ზე გამოყოფილი ნაკვეთურების მდგრადობის ხარისხი, ე.ი. დადგენილი იქნეს ფერდობის ნაკვეთურების მდგრადობა მარაგის კოეფიციენტი (K):

$$K = \frac{\sum T_i}{\sum (\pm H_i)} \quad (4.3)$$

ზემოაღნიშნულ ფორმულებში:

$\sum T$ - არის ხახუნისა და შეჭიდულობის ძალების მნიშვნელობა ყოველი ბლოკისათვის (ყოველი ნაკვეთურისათვის) გადაადგილების (სრიალის) ზედაპირზე.

H- არის განბრჯენი, რომელიც გამოითვლება ყოველი ბლოკისათვის.

E - არის განბრჯენის მდგენელი.

K- მდგრადობის კოეფიციენტია.

g - ბლოკის წონაა ტონებში.

$\alpha$ - ფერდობის ნაკვეთურის ძირის (ფუძის) დახრა ჰორიზონტთან.

$\Psi$ - ხახუნის კუთხე,

$\Psi_p = \arctan F_p$ .

რაც შეეხება დამჭერ ძალას იგი იანგარიშება ფორმულით:

$$F_p = \tan \varphi + \frac{C}{P} \quad (4.4)$$

სადაც:

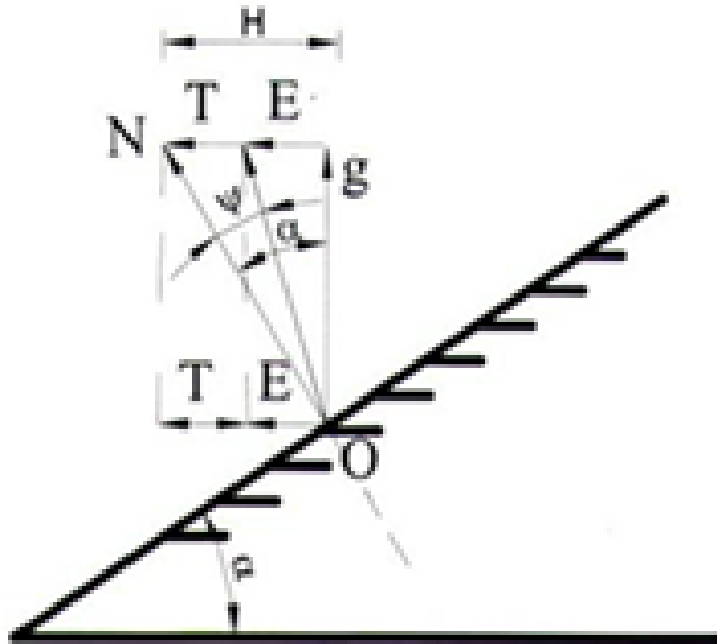
P - ბლოკზე მოქმედი ნორმალური ძალაა - ტონა.

$\varphi$  - გრუნტის შიგა ხახუნის კუთხეა - გრადუსებში.

$C$  - გრუნტის კუთრი შეჭიდულობაა.

$I_i$  - ნაკვეთურის ძირის (ფუძის) სიგრძე.

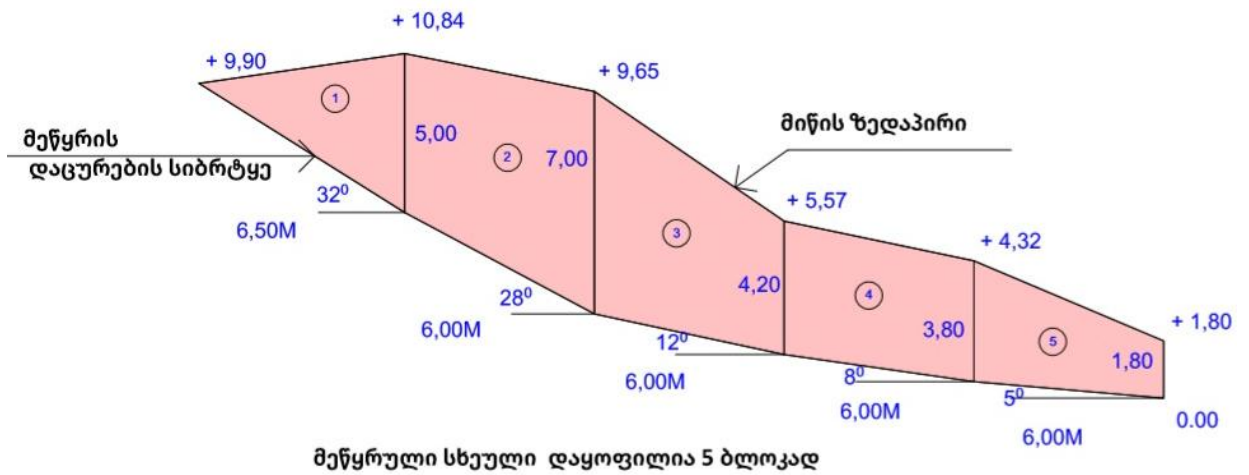
$N$  - სრიალის (ცოცვის) ზედაპირზე მოდებული ნორმალური მდგენელი.



ნახ. 4.1 ჰორიზონტალური ძალების მეთოდი (საანგარიში სქემა)

მეწყრული მასა დაყოფილია ცალკეულ ხუთი ნაკვეთურად, განვიხილოთ თითოეული ნაკვეთურის ზღვრული წონასწორობის პირობა. როგორ ჩანს ნახ. (4.2).

მეწყრული ფერდობის ანგარიში ცხრ. (4-2)-ში. როგორც ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი ( $K$ ) =  $0.77 < 1.0$  (1-ზე ნაკლებია) არ არის უსაფრთხო (არამდგრადია). ჩვენ გამოვიყენეთ ექვსი სხვადასხვა მოდელი ჰორიზონტალური (კონტრფორსულის) ხიმინჯების საყრდენი კედლის, მათგან ზოგი ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი და ზოგიც საყრდენი კედლის ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით.



ნახ. 4.2 მეწყრული სხეულის საანგარიშო სქემა

ცხრილი No. 4.1

მუხათგვერდის მეწყრის საანგარიშო ცხრილი.

(სიმკვრივე, შიგა ხახუნის კუთხე და კუთრი შეჭიდულობა)

$$\gamma = 1.8 \text{ ტ/მ}^3 - \varphi = 6^\circ - C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$$

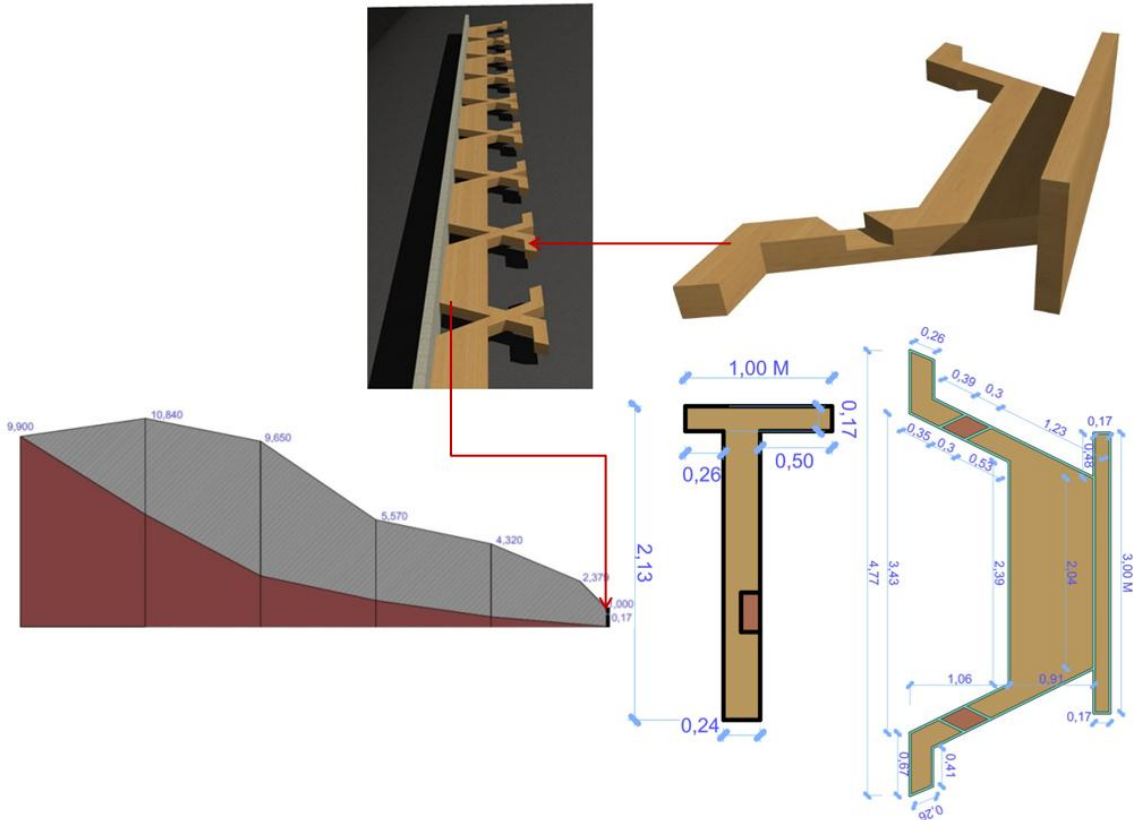
ბლოკის No.	ბლოკის ზომები მ	ბლოკის მოცულობა მ <sup>3</sup>	ბლოკის წონა ტ=გ	ბლოკის დახრა α	tan α	H = g tan α	C/P	Fp = tanφ + C/P	Ψp = arctan Fp	α - Ψp	tan (α - Ψp)	E = g tan (α - Ψp)
1	(6.5×5)/2	16.25	29.25	32	0.62	18.14	0.06	0.17	9.65	22.35	0.410	11.99
2	((5+7)/2)×6	36.00	64.80	28	0.53	34.34	0.08	0.19	11.76	16.24	0.290	18.79
3	((7+4.2)/2)×6	33.60	60.48	12	0.21	12.70	0.11	0.22	12.41	-0.41	-0.007	-0.42
4	((4.2+3.8)/2)×6	24.00	43.20	8	0.14	6.05	0.17	0.28	15.64	-7.64	-0.130	-5.62
5	((3.8+1.8)/2)×6	16.80	30.24	5	0.09	2.72	0.23	0.34	18.78	-13.78	-0.250	-7.56
						73.95						17.18

$K = (H-E)/H = (73.95 - 17.18) / 73.95 = 0.77 < 1.0$  არ არის უსაფრთხო

მეთხე თავის მეორე ქვეთავი - მუხათგვერდის მეწყრული ფერდობის ანგარიში კონტრფორსული ხიმინჯების გამოყენებით. როგორც ანგარიშმა აჩვენა მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი 1-ზე ნაკლებია (არ არის უსაფრთხო), ნახ. (4.2) მეწყრის საანგარიშო სქემა და ცხრილი (4.1). შემდეგ 6 მოდელი გამოვიყენეთ. ჩვენ გამოვიყენეთ (გრუნტის სიმკვრივე,  $\gamma = 1.8 \text{ ტ/მ}^3$ ; შიგა ხახუნის კუთხე,  $\varphi = 6^\circ$ ; და კუთრი შეჭიდულობა,  $C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$ ). როგორც ქვემოთ მოცემულია:

პირველი მოდელი - პირველ მოდელში გამოვიყენეთ ქვედამხრის ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი. მისი გამაგრების მიზნით, მეწყრის სხეულის ქვედში ერთი ხაზი გამოვიყენეთ იმ განზომილების მიხედვით,

რომელიც ნაჩვენებია ნახაზში ნახ. (4.3). ჩვენ გამოვთვალეთ მისი მდგრადობისთვის ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკის, როგორც დაცურებისათვის საწინააღმდეგო წონის ძალით და გადატრიალების მომენტში, ჩვენ დავადგინეთ, რომ დაცურების მდგრადობის კოეფიციენტი შეადგენს 5.76 და ეს არის უსაფრთხო.



ნახ. 4.3 ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი , პირველი მოდელი

მეორე მოდელი - მეორე მოდელში. ჩვენ დავამატეთ მეორე ხაზი ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი როგორც ეს მოცემულია ნახაზში ნახ. (4.4). ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი გაიზარდა და გახდა (1.11) მეტი, ვიდრე (1.0), რაც ნიშნავს, რომ ფერდობის მდგრადობა უსაფრთხოა ახლა, ცხრილი (4.1) და ცხრილი (4.2). ჩვენ დავადგინეთ, რომ მარაგის კოეფიციენტი შეადგენს 2.49 არის უსაფრთხო, ხოლო გადატრიალების მდგრადობის ფაქტორი 2.63 და ასევე უსაფრთხოა. მეწყრული ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი იქნება კრიტიკული, ამიტომ უნდა გამოიყენოთ მესამე ხაზი (ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი).

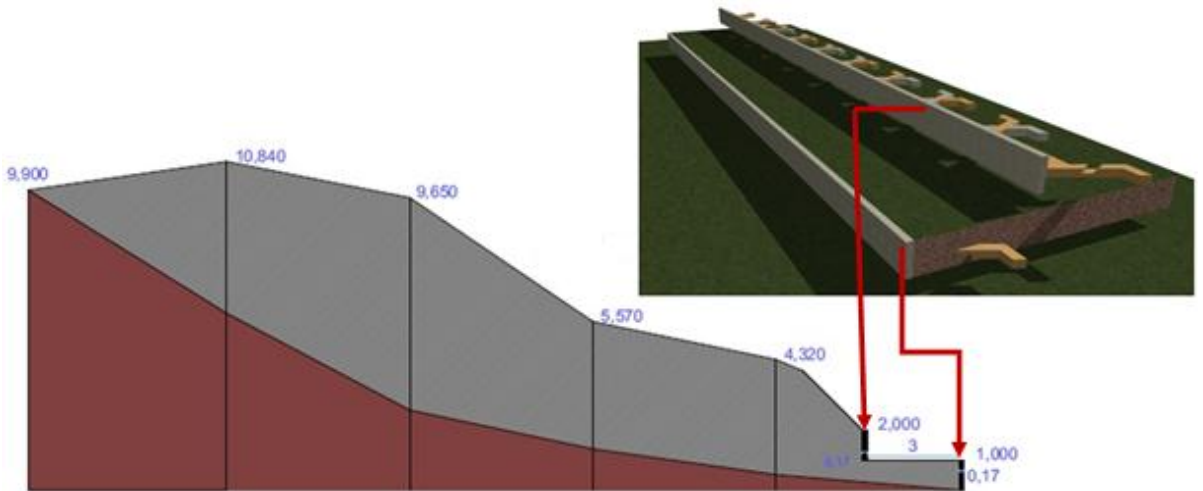
ცხრილი No. 4.2

მუხათგვერდის მეწყრის საანგარიშო ცხრილი. ასაწყობი საყრდენი

კედლის ბლოკის (ორი ხაზი) სიმაღლე = 2.0 მ;  $\gamma = 1,8 \text{ ტ/მ}^3$  -  $\phi = 6^\circ$  -  $C = 0.1$

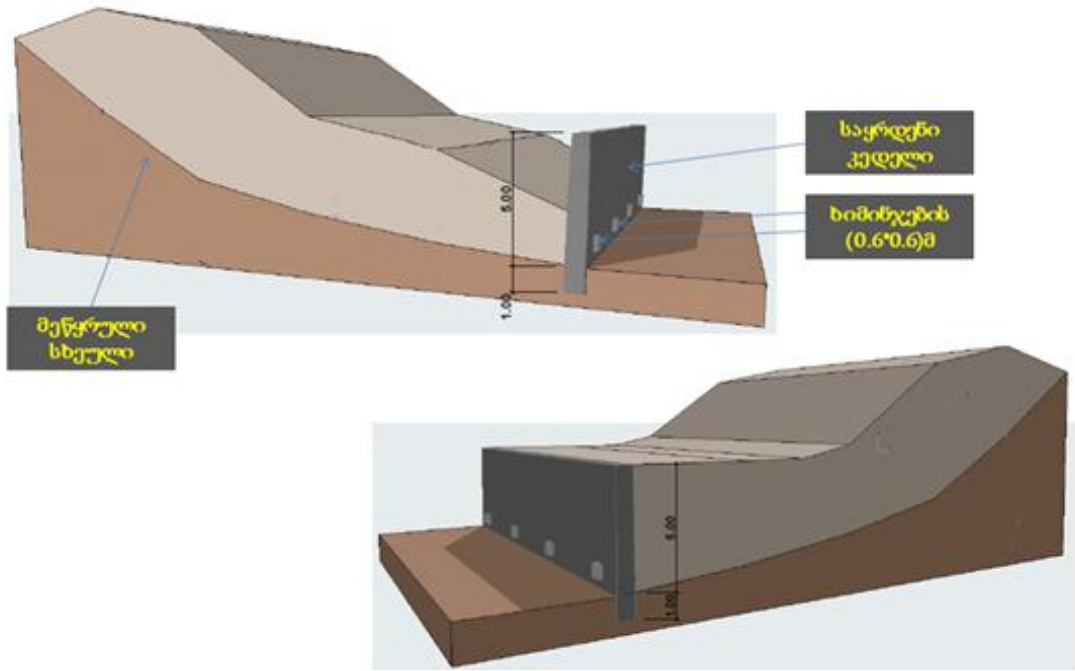
კგ/სმ<sup>2</sup>

ბლოკის No.	ბლოკის ზომები მ	ბლოკის მოცულობა მ <sup>3</sup>	ბლოკის წონა ტ=გ	ბლოკის დახრა $\alpha$	$\tan \alpha$	$H = g \tan \alpha$	C/P	$F_p = \tan \phi + C/P$	$\Psi_p = \arctan F_p$	$\alpha - \Psi_p$	$\tan(\alpha - \Psi_p)$	$E = g \tan(\alpha - \Psi_p)$
1	(6.5×5)/2	16.25	29.25	32	0.62	18.14	0.09	0.20	11.31	20.69	0.38	11.12
2	((5+7)/2)×6	36.00	64.80	28	0.53	34.34	0.12	0.23	12.95	15.05	0.27	17.50
3	((2.07×3.5)/2)+4.93×3.05+((0.65×3.05)/2)	19.19	34.54	12	0.21	7.25	0.19	0.30	16.7	-4.70	-0.08	-2.76
4	((2.95×2.01)/2)+3.57×2.95	13.49	24.28	0	0	0	0.25	0.36	19.80	-19.8	-0.36	-8.93
5	((1.25×6.00)/2)+2.32×6.00	17.67	31.81	0	0	0	0.37	0.48	25.64	-25.64	-0.48	-15.27
6	((1.26×3.00)/2)+1.06×3.00	5.07	9.13	0	0	0	0.79	0.90	42.00	-42.00	-0.900	-8.22
						59.73						-6.56
$K = (H-E)/H = (59.73 - (-6.56))/59.73 = 1.11 > 1.0$ ის არის უსაფრთხო												



ნახ. 4.4 ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი მეორე მოდელი  
მესამე მოდელი - საყრდენი კედელი ჰორიზონტალური ხიმინჯების

გამოყენებით. საყრდენი კედლის ზომა, +5.0 მ სიმაღლე, საყრდენი კედლის სიგანე ზემოდან არის 0.7 მ და ქვემოდან 0.8 მ, ხიმინჯების სიგრძე (5.0) მ, კვადრატი ხიმინჯების (0.6×0.6) მ, მანძილი ხიმინჯებს შორის 5.0, ნახ. (4.5). ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის გაიზარდა (0.77)-დან (1.60-მდე) და ეს უფრო მეტია (1.0), ეს ნიშნავს, რომ ფერდობის მდგრადობა ამ შემთხვევაში უსაფრთხოა, ცხრილი (4.1) და ცხრილი (4.3).



ნახ. 4.5 საყრდენი კედლის მესამე მოდელი

ცხრილი No. 4.3

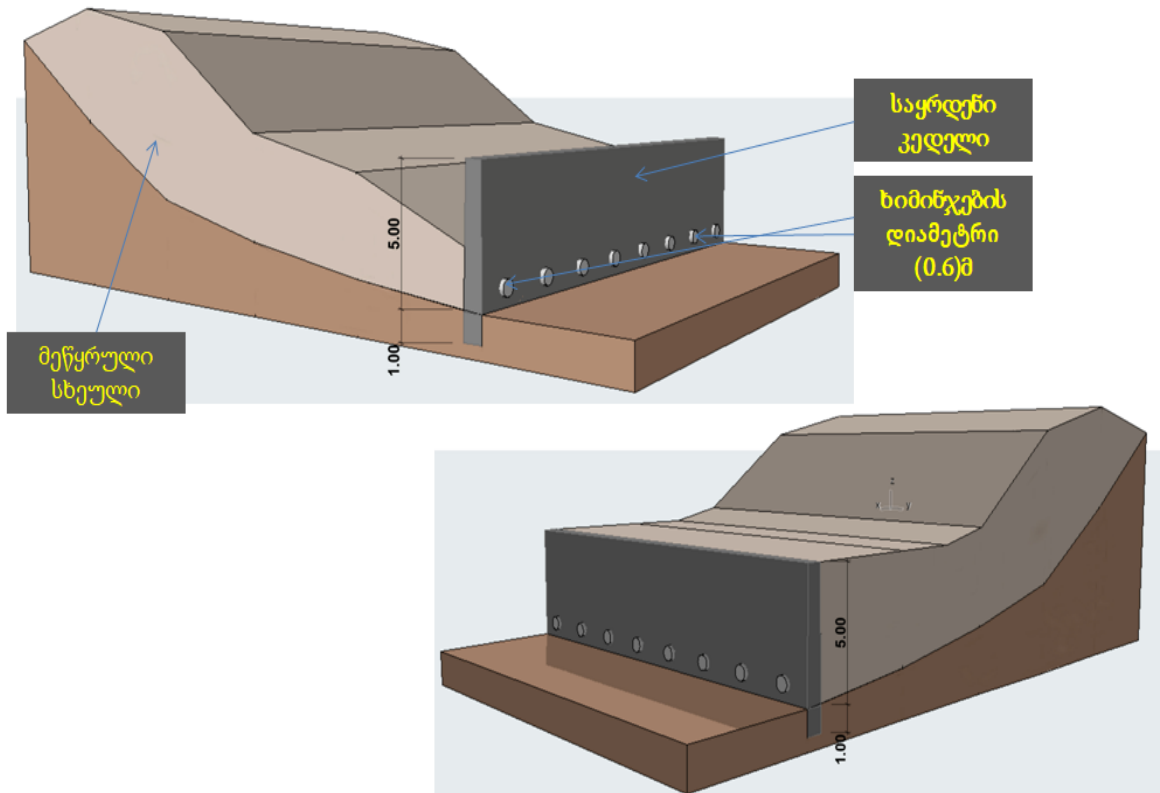
მუხათგვერდის მეწვრის საანგარიშო ცხრილი.

საყრდენი კედლის სიმაღლე = 5.0 მ;  $\gamma = 1,8 \text{ ტ/მ}^3$  -  $\phi = 6^\circ$  -  $C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$

Component No.	Component dimension M	Component volume $M^3$	Weight of Component $T = g$	angle of Component $\alpha$	$\tan \alpha$	$H = g \tan \alpha$	C/P	$F_p = \tan \alpha + C/P$	$\Psi_p = \arctan F_p$	$\alpha - \Psi_p$	$\tan (\alpha - \Psi_p)$	$E = g \tan (\alpha - \Psi_p)$
1	$(6.5 \times 5) / 2$	16.25	29.25	32	0.62	18.14	0.15	0.26	14.57	17.43	0.31	9.07
2	$((5.53 + 5.00) / 2) \times 1.58$	8.32	14.98	28	0.53	7.94	0.19	0.30	16.70	11.30	0.20	3.00
3	$((5.09 + 5.53) / 2) \times 4.42$	23.47	42.25	0	0	0	0.22	0.33	18.26	-18.26	-0.33	-13.94
4	$((4.65 + 0.57) / 2) \times 6$	15.66	28.19	0	0	0	0.35	0.46	24.70	-24.70	-0.46	-12.97
5	$(2.74 \times 0.57) / 2$	0.78	1.40	0	0	0	2.92	3.03	71.74	-71.74	-0.57	-0.80
						26.08						-15.64
$K = (H-E)/H = (26.08 - (-15.64)) / 26.08 = 1.60 > 1.0$ safe												

მეოთხე მოდელი - საყრდენი კედელი ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით, საყრდენი კედლის ზომა, +5.0 მ სიმაღლე, საყრდენი კედლის სიგანე ზემოდან არის 0.7 მ და ქვემოდან 0.8 მ, ხიმინჯების სიგრძე (5.0) მ, წრიული ხიმინჯების დიამეტრი (0.6მ), მანძილი ხიმინჯებს შორის 2.5, (ბეტონის კედლის ტიპის, (სიმკვრივე)  $\gamma = 1.8 \text{ ტ/მ}^3$ ,  $\phi = 6^\circ$ ,  $C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$ ,  $\delta = 0.75\phi$  ( $\delta$  - ხახუნის კუთხე ხიმინჯებსა და გრუნტს შორის). ნახ. (4.6). ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის გაიზარდა (0.77)-დან (1.60-მდე) და

ეს უფრო მეტია (1.0), ეს ნიშნავს, რომ ფერდობის მდგრადობა ამ შემთხვევაში უსაფრთხოა, ცხრილი (4.1) და ცხრილი (4.3).



ნახ. 4.6 საყრდენი კედლის მეოთხე მოდელი

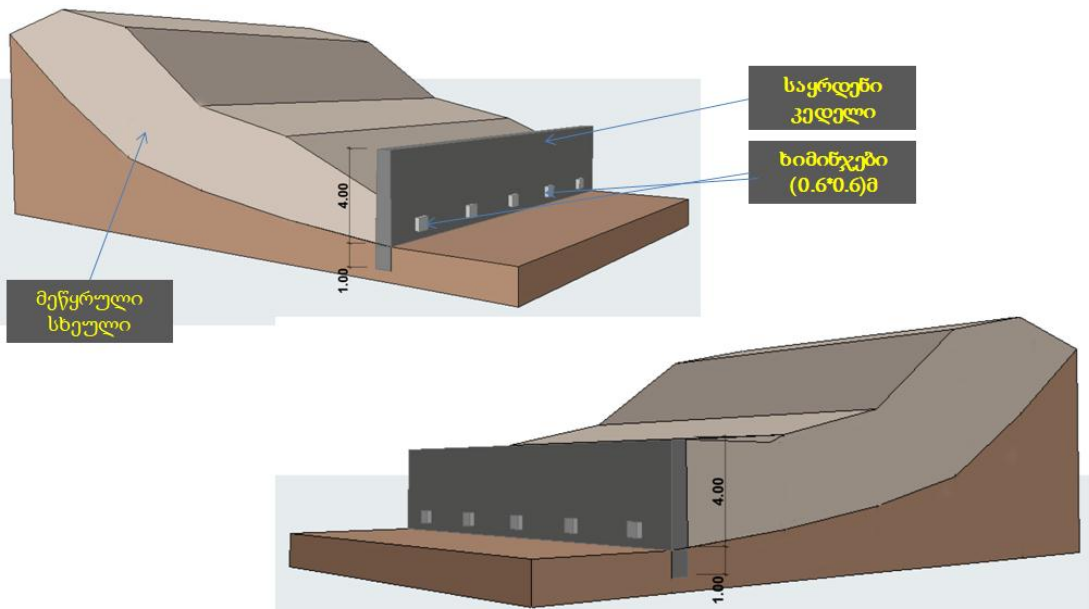
მეხუთე მოდელი - საყრდენი კედელი ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით, საყრდენი კედლის ზომა, +4.0 მ სიმაღლე, საყრდენი კედლის სიგანე ზემოდან არის 0.7 მ და ქვემოდან 0.8 მ, ხიმინჯების სიგრძე (5.0) მ, კვადრატი ხიმინჯების (0.6\*0.6) მ, მანძილი ხიმინჯებს შორის 4.0 მ, (სიმკვრივე) $\gamma = 1.8$  ტ/მ<sup>3</sup>,  $\varphi = 6^\circ$ ,  $C = 0.1$  კგ/სმ<sup>2</sup>,  $\delta = 0.75\varphi$  ( $\delta$  - ხახუნის კუთხე ხიმინჯებსა და გრუნტს შორის). ( ბეტონის კედლის ტიპი ) ნახ. (4.7). ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის გაიზარდა 0.77 დან 1.45-მდე და ეს უფრო მეტია 1.0, ეს ნიშნავს, რომ ფერდობის მდგრადობა ამ შემთხვევაში უსაფრთხოა, ცხრილი (4.1) და ცხრილი (4.4).

მუხათგვერდის მეწყრის საანგარიშო ცხრილი.

საყრდენი კედლის სიმაღლე = 4.0 მ;  $\gamma = 1,8 \text{ ტ/მ}^3$  -  $\phi = 6^\circ$  -  $C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$

Component No.	Component dimension M	Component volume M <sup>3</sup>	Weight of Component T = g	angle of Component $\alpha$	$\tan \alpha$	$H = g \tan \alpha$	C/P	$F_p = \tan \phi + C/P$	$\Psi_p = \arctan F_p$	$\alpha - \Psi_p$	$\tan (\alpha - \Psi_p)$	$E = g \tan (\alpha - \Psi_p)$
1	(6.5×5)/2	16.25	29.25	32	0.62	18.14	0.12	0.23	12.95	19.05	0.35	10.24
2	((6.16+5.00)/2)×3.45	19.25	34.65	28	0.53	18.36	0.13	0.24	13.50	14.50	0.26	9.01
3	((5.65+6.16)/2)×2.55	15.06	27.11	0	0	0	0.18	0.29	16.17	-16.17	-0.29	-7.86
4	((5.65+1.57)/2)×6	21.66	38.99	0	0	0	0.28	0.39	21.31	-21.31	-0.39	-15.21
5	((1.57+0.32)/2)×6	5.67	10.21	0	0	0	1.03	1.14	48.70	-48.70	-1.14	-11.64
6	(0.32×0.75)/2	0.12	0.22	0	0	0	5.05	5.16	79.0	-79.00	-5.14	-1.13
						36.50						-16.59

$K = (H-E)/H = (36.50 - (-16.59))/36.50 = 1.45 > 1.0$  Safe



ნახ. 4.7 საყრდენი კედლის მეხუთე მოდელი

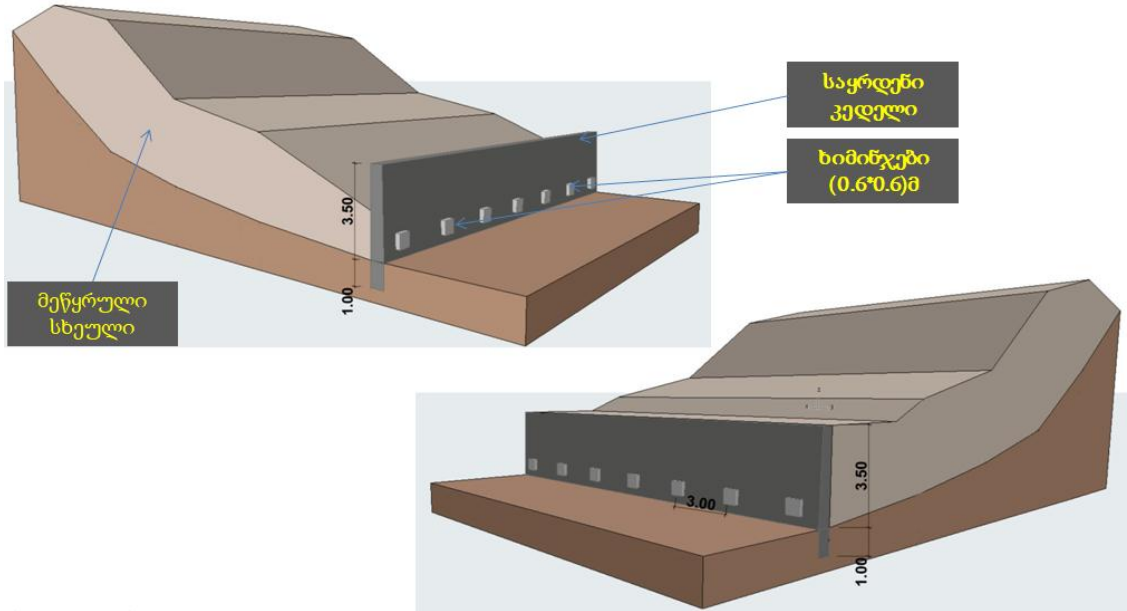
მეექვსე მოდელი - საყრდენი კედელი ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით. საყრდენი კედლის ზომა, +3.5 მ სიმაღლე, საყრდენი კედლის სიგანე ზემოდან არის 0.5 მ და ქვემოდან 0.6 მ, ხიმინჯების სიგრძე (5.0) მ, კვადრატი ხიმინჯების (0.6\*0.6)მ, მანძილი ხიმინჯებს შორის 3.0 მ (სიმკვრივე)  $\gamma = 1.8 \text{ ტ/მ}^3$ ,  $\phi = 6^\circ$ ,  $C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$ ,  $\delta = 0.75 \phi$ , ( $\delta$  - ხახუნის კუთხე ხიმინჯებსა და გრუნტს შორის), (ბეტონის კედლის ტიპი) ნახ. (4.8).

გამოვთვალეთ მდგრადობა, საყრდენი კედლის როგორც დაცურების მდგრადობა და გადატრიალების მდგრადობა დავადგინეთ, რომ მოცურების მდგრადობის უსაფრთხოების ფაქტორი  $1.38$  ( $1.25 \leq 1.38 \leq 2.00$ ) ის არის



უსაფრთხო, ხოლო გადატრიალების მომენტის ფაქტორი 1.63 ( $1.63 \geq 1.5$ ) და არის უსაფრთხო. ნახ. (4.9) და ნახ. (4.10).

ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტი გაიზარდა (0.77)-დან (1.32-მდე) და ეს უფრო მეტია (1.0), ეს ნიშნავს, რომ ფერდობის მდგრადობა ამ შემთხვევაში უსაფრთხოა, ცხრილი (4.1) და ცხრილი (4.5).



ნახ. 4.8 მეექვსე მოდელი

ცხრილი No. 4.5

მუხათგვერდის მეწყრის საანგარიშო ცხრილი.

საყრდენი კედლის სიმაღლე = 3.5 მ;  $\gamma = 1,8 \text{ ტ/მ}^3$  -  $\varphi = 6^\circ$  -  $C = 0.1 \text{ კგ/სმ}^2$

ბლოკის No.	ბლოკის ზომები მ	ბლოკის მოცულობა მ <sup>3</sup>	ბლოკის წონა ტ=გ	ბლოკის დახრა $\alpha$	$\tan \alpha$	$H = g \tan \alpha$	$C/P$	$F_p = \tan \varphi + C/P$	$\Psi_p = \arctan F_p$	$\alpha - \Psi_p$	$\tan(\alpha - \Psi_p)$	$E = g \tan(\alpha - \Psi_p)$
1	$(6.5 \times 5) / 2$	16.25	29.25	32	0.62	18.14	0.11	0.22	12.41	19.56	0.36	10.53
2	$((5.00 + 6.66) / 2) \times 4.4$	25.65	46.17	28	0.53	24.47	0.11	0.22	12.41	15.59	0.28	12.93
3	$((6.66 + 6.15) / 2) \times 1.6$	10.25	18.45	0	0	0	0.17	0.28	15.64	-15.64	-0.28	-5.17
4	$((6.15 + 2.07) / 2) \times 6$	24.66	44.39	0	0	0	0.25	0.36	19.80	-19.80	-0.36	-15.98
5	$((2.07 + 0.82) / 2) \times 6$	8.67	15.61	0	0	0	0.72	0.83	39.69	-39.69	-0.83	-12.96
6	$(0.82 \times 1.95) / 2$	0.80	1.44	0	0	0	2.06	2.17	65.26	-65.26	-2.17	-3.12
						42.61						-13.77

$K = (H-E)/H = (42.61 - (-13.77)) / 42.61 = 1.32 > 1.0$  ის არის უსაფრთხო

ჩვენ შეგვიძლია შევამჩნიოთ ჰორიზონტალური ხიმინჯების ეფექტი, გაანგარიშებისას დაცურების შემთხვევაში ინარჩუნებს კედლის მდგრადობას და ასევე გადატრიალების კედლის მდგრადობას. დაცურების

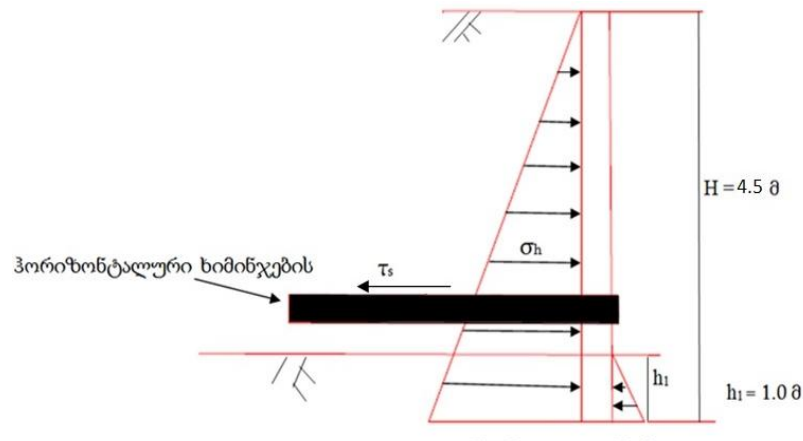
მდგრადობის დამაგრებული კედლის გაანგარიშებისთვის, ჰორიზონტალური ხიმინჯები დაამატა 4.32 ტ, როგორც წონა და 15.46 ტ, როგორც (ხიმინჯებს და გრუნტს შორის ხახუნი), ეს ნიშნავს, რომ გაიზრდება საყრდენი კედლის გამაგრების 44.7% (წინააღმდეგობის მთლიანი ძალებიდან), და საყრდენი კედლის გადამბრუნებელი ძალების გაანგარიშებისთვის, ჰორიზონტალური ხიმინჯებს დაემატა წინააღმდეგობის მომენტი საყრდენი კედლის გადატრიალების მდგრადობის 16.25 ტ.მ (ხიმინჯს და გრუნტს შორის ხახუნი) და 4.46 ტ.მ (ხიმინჯების საკუთარი წონა) და 2.79 ტ.მ (გრუნტის გადატვირთვა ხიმინჯებზე).

საყრდენი კედლის გაანგარიშება დეტალურად:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ha} &= \frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi} \gamma h - 2C \sqrt{\frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi}} && \text{(მიწის აქტიური დაწოლა კედელზე)} \\ \sigma_{hp} &= \frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi} \gamma h + 2C \sqrt{\frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi}} && \text{(მიწის პასიური დაწოლა)} \end{aligned} \right\}$$

$$K_a = \frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi} \quad \text{(მიწის წნევის აქტიური კოეფიციენტი)}$$

$$K_p = \frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi} \quad \text{(მიწის წნევის პასიური კოეფიციენტი)}$$



ნახ. 4.9 გაანგარიშება საყრდენი კედელი მოცურების მდგრადობა

$$K_a = \frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi} = 0.81$$

$$\sigma_{ha} = \frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi} \gamma h - 2C \sqrt{\frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi}}$$

$$\sigma_{ha} = 4.76 \times 2.25 = 10.71 \text{ ტ/მ}^2$$

$$3 \text{ მ სიგრძე კედელითვის } \sigma_h = 32.13 \text{ ტ/3 მ}$$

$$Kp = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = 1.23$$

$$\sigma_{hp} = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} \gamma h + 2C \sqrt{\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}}$$

$$\sigma_{hp1} = ((1.23 \times 1 \times 1.8) + 2.22) \times 0.5 \times 3 = 6.7 \text{ ტ/მ} \quad (\text{მიწის წინააღმდეგობა})$$

$$\sigma_{hp2} = 5 \times 2.4 \times 0.6 \times 0.6 = 4.32 \text{ ტ} \quad (\text{ხიმინჯის საკუთარი წონა})$$

$$\sigma_{hp3} = 2.4 \times 0.55 \times 4.5 \times 3 = 17.82 \text{ ტ} \quad (\text{კედლის საკუთარი წონა})$$

$$\sigma_{hp4} = \tau_s = (K\sigma_v \tan\delta + C) A_c \times L \quad (\text{ხიმინჯებს და გრუნტს შორის ხახუნი})$$

$$= [(0.81 \times 2.5 \times 1.8 \times 0.079) + 1] \times 2.4 \times 5 = 15.46 \text{ ტ/მ}$$

$$F.S. = \frac{6.70 + 4.32 + 17.82 + 15.46}{32.13} = 1.38 \quad (1.25 \leq 1.38 \leq 2.00) \text{ ის არის უსაფრთხო}$$

განგარიშება საყრდენი კედელი გადამბრუნებელის მდგრადობა ნახ. (4.10) .

$$M_o = \sigma_{ha} \times \text{მკლავი}$$

$$M_o = 10.71 \times 1.5 = 16.07 \text{ ტ.მ}$$

$$M_{P1} = ((1.23 \times 1 \times 1.8) + 2.22) \times 0.5 \times 0.33 = 0.73 \text{ ტ.მ} \quad (\text{მიწის წინააღმდეგობა})$$

$$M_{P2} = (K\sigma_v \tan\delta + C) A_c \times L \times \text{მკლავი} \quad (\text{ხიმინჯებს და გრუნტს შორის ხახუნი})$$

$$M_{P2} = [(0.81 \times 2.7 \times 1.8 \times 0.079) + 1] \times 2.4 \times 5 \times 3.1/3 = 16.25 \text{ ტ.მ}$$

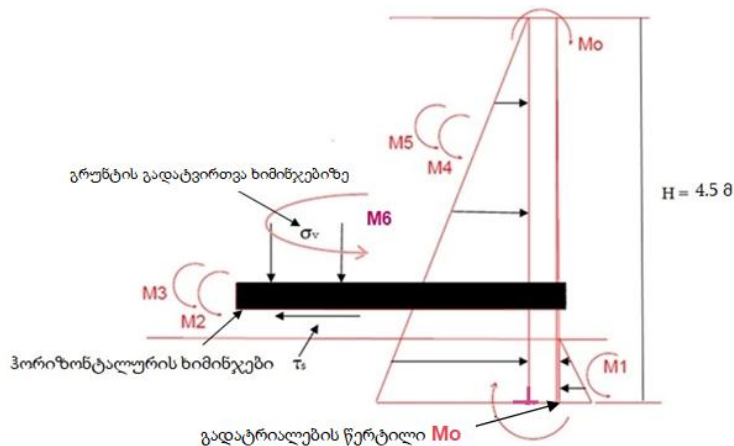
$$M_{P3} = 5 \times 0.6 \times 0.6 \times 2.4 \times 3.1/3 = 4.46 \text{ ტ.მ} \quad (\text{ხიმინჯის საკუთარი წონა})$$

$$M_{P4} = (4.5 \times 0.1 \div 2) \times 2.4 \times 0.03 = 0.02 \text{ ტ.მ} \quad (\text{კედლის საკუთარი წონა})$$

$$M_{P5} = 4.5 \times 0.5 \times 2.4 \times 0.35 = 1.89 \text{ ტ.მ} \quad (\text{კედლის საკუთარი წონა})$$

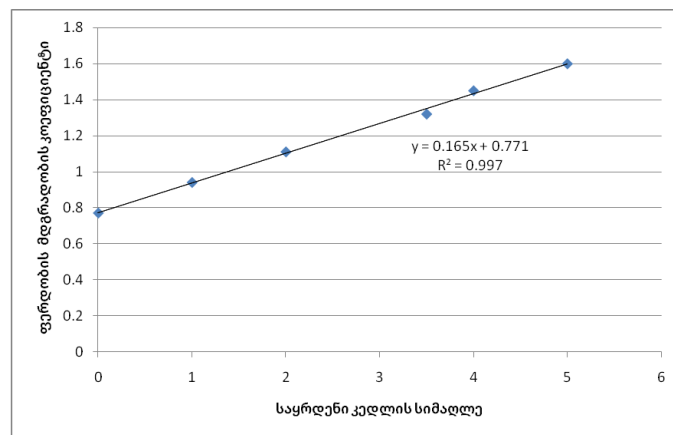
$$M_{P6} = 1.8 \times 2.5 \times 0.6 \times 3.1/3 = 2.79 \text{ ტ.მ} \quad (\text{გრუნტის გადატვირთვა ხიმინჯებიზე})$$

$$F.S. = \frac{0.73 + 16.25 + 4.46 + 0.02 + 1.89 + 2.79}{16.07} = 1.63 \geq 1.50 \quad \text{ის არის უსაფრთხო.}$$

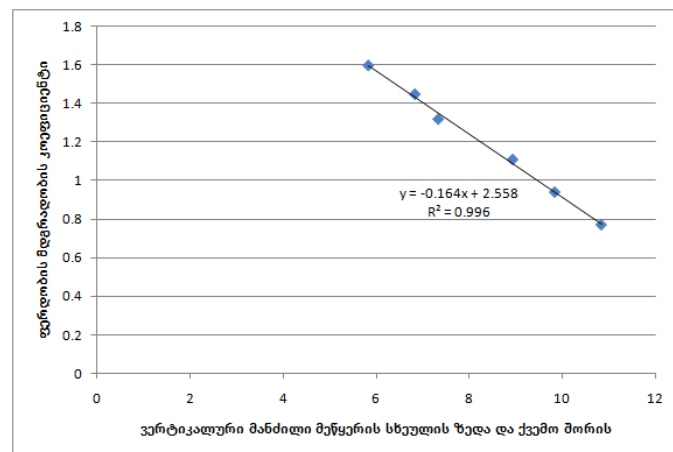


ნახ. 4.10 განგარიშება საყრდენი კედლის გადატრიალების მდგრადობა

ურთიერთობის სტატისტიკა - ექვსი მოდელის გაანგარიშების შედეგად შეგვიძლია ვიპოვოთ ურთიერთობა, სტატისტიკის ექსელის პროგრამის გამოყენებით მეწყრული მდგრადობის კოეფიციენტსა და საყრდენი კედლის სიმაღლეს შორის . ურთიერთობა არის ხაზოვანი და კვადრატული ფესვი იყო  $R^2 = 0.997$ , მეწყრული მდგრადობის კოეფიციენტსა და მეწყრული სხეულის სიმაღლეს შორის ურთიერთობა არის ხაზობრივი, ხოლო კვადრატული ფესვი  $R^2 = 0.996$ , გრაფიკი (4.1) და გრაფიკი (4.2).



გრაფიკი 4.1 მეწყრული მდგრადობის კოეფიციენტს და საყრდენი კედლის სიმაღლეს შორის



გრაფიკი 4.2 მეწყრული მდგრადობის კოეფიციენტს და მეწყრული სხეულის სიმაღლეს შორის ურთიერთობა

მეოთხე თავის მესამე ქვეთავი - დასკვნები და რეკომენდაციები ჩატარებული სამუშაოების მიხედვით, მუხათგვერდის მეწყრული პროცესების წარმოშობა და მეწყრული ფერდობების გამაგრება საყრდენი კედლის ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით, შეიძლება შემდეგი დასკვნების გაკეთება:

1. გეომორფოლოგიურად, ქ. თბილისი წარმოადგენს მთაგორიან ქვეყანას, სადაც მეწყრული პროცესები საკმაოდ განვითარებულია.
2. ძირითადი ფაქტორებიდან, რომელიც იწვევენ მეწყერებს, წყლებია. ამიტომ მეწყრულ ზონებში მკაცრად უნდა იქნეს დაცული ტერიტორიები როგორც ზედაპირული ისე გრუნტის წყლებისგან.
3. ამრიგად ფერდობის ქანობის გაზრდამ და ზედაპირული წყლების გააქტიურებამ გამოიწვია მუხათგვერდის მეწყრის წარმოქმნა.
4. ჩვენ გამოვიყენეთ ჰორიზონტალური (კონტრფორსულის) ხიმინჯების საყრდენი კედლის ექვსი სხვადასხვა მოდელი, ზოგი ასაწყობი საყრდენი კედლის ბლოკი, ზოგიც საყრდენი კედლის ჰორიზონტალური ხიმინჯების გამოყენებით. მეწყერის მდგრადობის კოეფიციენტი გაზრდილია 0.77-დან (1.60, 1.45, 1.32, 1.09)-მდე და გახდა უსაფრთხო.
5. საყრდენი კედლის მოწყობისთვის, თუ ტერიტორია შეზღუდულია, შეგვიძლია გამოვიყენოთ თხელკედლიანი ანკერული საყრდენი კედელი.
6. ეკონომიკური ფაქტორები მნიშვნელოვანია საყრდენი კედლის ტიპის ასარჩევად.
7. ზოგჯერ მეწყერის მდგრადობა და გადატრიალების მომენტის მდგრადობა არ არის უსაფრთხო, ამ შემთხვევაში საჭიროა ხიმინჯების რაოდენობის გაზრდა ან საყრდენი კედლების ზომების შეცვლა.

დისერტაციის ძირითად შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში

1. გ. ჭოხონელიძე, ი. მშვიდლობაძე, ბასარ მ. ამენ აბდულლაჰ ალ-იმამ, ო. მხეიძე, „ბეტონის საყრდენი კედლების კონტფორსების მოწყობა

ჰორიზონტალურად განლაგებული ხიმინჯების საშუალებით“, საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი, საქპატენტი, „სამეცნიერო ნაშრომი“, N. 6613, 08.07.2016 წ.

2. BASHAR AL-IMAM; GUGA CHOKHONELIDZE; OMAR MKHEIDZE; "RETAINING WALLS ANCHOR SYSTEMS", Paper ID: IRES-ICENSKIEV-17067-3879, 209th International conferences on Engineering and Natural Science (ICENS) Kiev, Ukraine 17th-18th June, 2017 (EVENT ACCEPTANCE LETTER).

3. სტუ-ს სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო კონფერენცია. „მეწყერის პრობლემები ქალაქ თბილისში“ 2017.

4. სტუ-ს, აწსუ-ს, მერვე საერთაშორისო ეკონომიკური კონფერენცია - IEC 2020, „ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები, გუმინ, დღეს, ხვალ“, ბაშარ მ.ამეენ აბდულლაჰ ალიმამ, „საყრდენი კედლების ტიპის შერჩევა საინჟინრო ეკონომიკის შესაბამისად“, ქალაქ თბილისში, 2020.

5. მხეიძე ო.რ., ჭოხონელიძე გ.ი., ბაშარ მ.ამეენ აბდულლაჰ ალ-იმამ.

მეწყერული ფერდობების გამაგრება ახალი ტიპის საყრდენი კედლის გამოყენებით „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, სსს, ISSN 1512-0287, No.1, Vol. 90, 2020 .

6. ბაშარ მ.ამეენ აბდულლაჰ ალ-იმამ. საყრდენი კედლების ტიპის შერჩევა საინჟინრო ეკონომიკის შესაბამისად ჟურნალი „ბიზნეს-ინჟინერინგი“, ISSN 1512-0538, No.3, 2020.

7. BASHAR M.AMEEN ABDULLAH AL-IMAM. New type of retaining Wall სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", No.2(55), 2020;

8. ბაშარ მ.ამეენ აბდულლაჰ ალ-იმამ; ო. მხეიძე ; გ.ი. ჭოხონელიძე. გრუნტის თვისებების გავლენა მეწყერზე სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი "მშენებლობა", No.2(55), 2020;

9. ბაშარ მ.ამეენ აბდულლაჰ ალ-იმამ. ხიმინჯები და მათი გამოყენება მშენებლობაში „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“, სსს, ISSN 1512-0287, N2, Vol. 91, 2020.

## Abstract

Many studies have been conducted to assess landslide process in Georgia.

Georgia is a country with a difficult geomorphological and belongs to the mountainous system, with difficult relief, where the development of new lands, such as operation of industrial, construction of new highways, construction of residential complexes, communications, during the operations and so on. Natural landslides often occur on the slopes as a result of soil or rocks movements. Therefore, to ensure their sustainability, it is necessary to use different types of restraint, one of them using retaining wall and the arrangement of protective construction systems.

The term "Landslide" is used to describe a wide variety of processes that result in the movement of soils and rocks, when the shear stress exceeds the shear strength of the soils and rocks.

The landslide of our study located in The Mukhatgverdi which developed in the Didi Dighomi district, the landslide body of our study is mainly represented by clay, and the plasticity recorded more than 18, which belongs to the clays according to the standard of clay. The clay fraction is represented by montmorillonite and hydrocarbons. Under natural conditions, the properties of the soil in the upper part were the angle of internal friction ( $\varphi$ ) results was between  $(17-18)^\circ$  and cohesive stress (C) results was  $(0.26-0.30)$  kg/cm<sup>2</sup>, and the properties of the soil in the lower part were the angle of internal friction ( $\varphi$ ) results was between  $(5-12)^\circ$  and Cohesive stress (C) results was  $(0.10-0.25)$  kg/cm<sup>2</sup>. The clay is characterized by a low value of the deformation modulus with a high coefficient of compression and from all of this data generally the clay belongs to the weak soils according to these properties.

There are main factors which control the type of landslide that occurs on the Earth's surface, the slope gradient, the consolidation of slopes, water, the height, the composition of landslide material, the direction of sliding, and so on.

Landslides are always related to the effect of water. In our case, landslides are mainly caused by the action of water. It is often the slope is changed artificially by human impact. In our case, increased flow of surface water was clearly observed. Thus, the increase of slope and the activation of surface waters led to the landslide of Mukhatgverdi.

A large number of retaining walls are built on mountainous roads to protect regulatory structures, landslides, river floods, as well as mudslides, snow avalanches, and fall rocks.

New type of retaining wall. Reinforced concrete thin-walled retaining walls where the active earth pressure factor of the soil is used to the maximum. A step-by-step arrangement of a prefabricated retaining wall on such an angular profile as a second option can be used to reinforce a landslide.

Piles are structural elements of wood, concrete and steel that transfer loads from the building to the ground. Sometimes piles are used to stop ground movement, for example a landslide. A retaining wall can be made using horizontal piles and it will act as a counterfort retaining wall.

We used the Horizontal Force Method ( $F_p$ ) and divided The expected landslide into 5 blocks, We calculated the landslide slope stability coefficient and the result was 0.77 less than 1.00, that means the landslide is unstable, and it requires landslide support to improve the mass properties.

We used six models of different types and sizes of horizontal (counterfort) pile retaining wall some of them precast retaining wall block model and another retaining wall with horizontal piles. The result of the calculation the factor of safety for sliding stability retaining wall, overturning stability retaining wall and the coefficient of landslide slope stability, different results depending on the the dimensions of the retaining walls. The precast retaining wall block model and the retaining wall with horizontal piles to protect the landslide slope stability, length of retaining wall 20 M, height of the retaining walls (1.0, 2.0, 3.5, 4.0 and 5.0) M from the ground level, the width of the models (0.17)M for precast retaining wall and (0.5-0.7) M for the upper side, and (0.6-0.8) M for the lower side of the retaining walls. We used square and circle horizontal piles length 5.0 M, width or diameter 0.6 M, distance between piles 5.0 M, 4.0 M, 3 M, 2.5 M center to center. The landslide coefficient of stability increased from 0.77 to the 1.11, 1.32, 1.45, and 1.60 that mean the body of landslide section became more stability.