



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

გიორგი ნოსელიძე

ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან
შეუღლების ჰიდრაულიკური გაანგარიშება

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

2022წ

საავტორო უფლება © 2022 წელი გიორგი ნოსელიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი ნოსელიძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით:

„ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრაულიკური გაანგარიშება“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი იური ქადარია

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი:-----

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022წ

ავტორი: გიორგი ნოსელიძე

დასახელება : „ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკური გაანგარიშება“.

სადოქტორო პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა _____

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

თანამედროვე ცივილიზაციის არსებობისათვის აუცილებელია წყლის ობიექტების ინტენსიური გამოყენება, რისთვისაც განუზომლად იზრდება ჰიდრავლიკურ ობიექტებზე ანთროპოგენული ზეგავლენის ფორმები და მასშტაბები. გლობალური დათბობის პირობებში, მდინარეებში წყლის ნაკადის რეგულირება დამოკიდებულია ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე.

- დისერტაციაში განხილულია წყალსაცავში ნამატი მაქსიმალური საანგარიშო კატასტროფული ხარჯის ქვემო ბიეფში გასატარებლად თვით კაშხალზე დაგეგმარებული პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის ჩანაცვლება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით საინვესტიციო, საპროექტო თუ საექსპლუატაციო ნაგებობებზე. განხილული მაგალითების ანალიზით ნაჩვენებია პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის ჩანაცვლება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით, რომელიც გაზრდის ნაგებობის საიმედოებასა და ეკონომიურობას. გათვალისწინებულია ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის ოპტიმალური შეუღლების ჰიდრავლიკური გაანგარიშება სწრაფდენთან.
- წინასწარი კვლევით დადგენილია შემაუღლებელი ნაგებობის სავარაუდო ზომები და ჩატარებულია მისი ჰიდრავლიკური გაანგარიშება. ავტორის მიერ შემუშავებული მოდელის გამოცდა ექსპერიმენტულად ჩატარდა აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, რის შედეგადაც შესწავლილ და დაზუსტებულ იქნა გამოსაკვლევად შერჩეული ვარიანტის უპირატესობა არსებულ პრაქტიკული პროფილის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შედარებით და შერჩეულ იქნა ახალი ტიპის წყალსაგდები ნაგებობის ოპტიმალური ზომები. ჩატარებული ცდის შედეგად მიღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით შესაძლებელ იქნა ნატურაში განსაზღვრულიყო ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიდან გადადინებული წყლის თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულები არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელ ნაგებობაში.
- ნაშრომში განხილულია ისეთი საკითხები, როგორცაა წყალსაგდები ნაგებობები სხვადასხვა გეომეტრიული მოხაზულობით, წყლის ნაკდების სიღრმეები გაანგარიშებულია თეორიული და ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე. აგებულია ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მრუდები.
- აღნიშნული საკითხების კვლევა მიმდინარეობდა ეკოლოგიური პრობლემების გათვალისწინებით შემოთავაზებულია ახალი ტიპის წყალსაგდები ნაგებობისათვის კონსტრუქციული ზომები და ჩატარებულია ოპტიმალური ვარიანტის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება.

Abstract

The existence of modern civilization necessitates the intensive use of water objects, for the purpose of which the forms and scales of anthropogenic impact on hydraulic objects are immeasurably increasing. In the context of global warming, the regulation of river flow depends on the environmental situation.

- The replacement of a practical profile spillway planned on the dam itself with a broad crested spillway on investment, project or exploitation facilitates to bear the maximum estimated catastrophic spending downstream of the bief are discussed in the dissertation. The analysis of the considered examples shows the replacement of a practical profile spillway with a broad crested spillway, which will increase the reliability and efficiency of the structure. A hydraulic calculation of the optimal connection of a broad crested spillway with the flume is given.
- Approximate dimensions of the connection structure are determined through preliminary research and its hydraulic calculation has been carried out. The test of the model developed by the author was carried out experimentally in the laboratory of Tsotne Mirtskhulava Water Management Institute, as a result of which the advantages of the chosen option were studied and clarified in comparison with the existing practical profile spillway structure and optimum dimensions of new type spillway structure have been selected. According to the data obtained as a result of the experiment, it was possible to determine the signs of a free surface of water flown from a broad crested spillway into a non-prismatic non-cylindrical connection structure in reality.
- The paper considers such issues as spillway structures with different geometric shapes, the depth of water flow is calculated on the grounds of theoretical and laboratory studies. Graphs of free surface of the flow are built.
- The investigation of mentioned issues was carried out considering environmental problems, design measures for a new type of spillway structure offered, and a hydraulic calculation of the optimal variant was carried out.

შინაარსი

შესავალი	15
ლიტერატურის მიმოხილვა	20
თავი1. წყალსაცავის წყალსაგდები ნაგებობის მუშაობის რაციონალური რეჟიმების განმსაზღვრელი მეთოდები.....	20
1.1. მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ზოგადი მიმოხილვა.....	20
1.2. წყალსაგდები ნაგებობების ტიპების და მახასიათებელი ფაქტორები.....	22
1.3. არხაშენის პროექტით გათვალისწინებული წყალსაგდები ნაგებობის ანალიზი.....	27
კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა.....	27
თავი. 2 ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების გაანგარიშება	31
2.1. ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ნაკადის სიღრმის განსაზღვრა	31
2.2 არხაშენის წყალსაცავის მონაცემებით ფართოზღურბლიანი წყალსაშვზე გადადინებული ნაკადის სიღრმის განსაზღვრა.....	35
2.3 თავისუფალი ზედაპირის მრუდის აგება ბერნულის განტოლებით (ჩარნომსკი-ხესტადეს მეთოდი).....	37
2.4. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების თეორიული კვლევის შედეგები არხაშენის წყალსაცავის მონაცემებით	42
2.5. არაპრიზმული არხის გავლენა სწრაფმდენში წყლის ნაკადის ზედაპირის ნიშნულებზე	61
2.6. სწრაფდენის ბოლო კვეთში ნაკადის ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობის გაანგარიშება.....	65
თავი 3. არაცილინდრული, არაპრიზმული შემაუღლებელ ნაგებობაში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის აგების ექსპერიმენტალური კვლევა	70
3.1. წყალსაგდები ნაგებობის მოდელირების თეორიის განხილვა ექსპერიმენტული მოდელის პარამეტრების დადგენისათვის.....	70
3.2. საკვლევი თემატიკის წყალსაშვები ნაგებობის სწრაფდენტან შეუღლების ექსპერიმენტული კვლევის ლაბორატორიის აღწერა.....	80

3.3. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ექსპერიმენტული კვლევა.....	84
3.4 არაპრიზმული არხის შემაუღლებელი დარქიმიანი ნაგებობის მოდელი.....	94
თავი 4. პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვი.....	99
4.1. პრაქტიკული პროფილის წყალსაგდების ანგარიში.....	99
4.2 პროექტით არსებული, თეორიული გაანგარიშებით მიღებული სიდიდეებისა და ექსპერიმენტის შედეგების შედარება.....	108
4.3. წყალსაგდები ნაგებობების შედარებითი ანალიზი ეკონომიკური ეფექტურობის გათვალისწინებით.....	110
დასკვნები.....	113
გამოყენებული ლიტერატურა.....	115

ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. საპროექტო კოორდინატების დამოკიდებულება სარკისებრ ზედაპირზე და წყალსაცავის მოცულობაზე	27
ცხრილი 2. სხვადასხვა საანგარიშო მაქსიმალური წყლის ხარჯის უზრუნველყოფა	36
ცხრილი 3. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულები.....	47
ცხრილი 4. არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის $i = 0.1875$ სხვადასხვა კვეთში წყლის სიღრმეები, ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს.....	56
ცხრილი 5. არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის $i = 0.1875$ სხვადასხვა კვეთში წყლის სიჩქარეები და ფრუდის რიცხვის მნიშვნელობები წყლის ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს.	58
ცხრილი 6. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის სიღრმეები	59
ცხრილი 7. არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელი ნაგებობის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი	60
ცხრილი 8. სწრაფდენი არხის გაანგარიშება ბ. ა. ბახმეტევის მეთოდის გამოყენებით	64
ცხრილი 9. სამკუთხა წყალსაშვის ხარჯის სიდიდეები (კუთხე $a = 90^{\circ}$) ფორმულით $Q = 1.4H^2\sqrt{H}$	85
ცხრილი 10. სამკუთხა წყალსაშვის ხარჯის სიდიდეები (კუთხე $a = 90^{\circ}$) ფორმულით $Q = 1.343H^{2.47}$	86
ცხრილი 11. $N = H^{2.5}$ დამოკიდებულება.....	87
ცხრილი 12. ნაკადის შრის სიღრმე სამკუთხა წყალსაშვზე.....	89
ცხრილი 13. ლაბორატორიული ცდის შედეგები.....	92
ცხრილი 14.	101

ცხრილი 15.	103
ცხრილი 16.	105
ცხრილი 17.	106
ცხრილი 18.	107
ცხრილი 19.	111

ნახაზების ნუსხა

ნახ.1. პროექტში არსებული პრაქტიკული და შემოთავაზებული ფართოზღურბლიანი წყალსაშვ ნაგებობათა შეთავსების სქემა.....	28
ნახ.2. არხაშენის წყალსაცავის ჰიდროკვანძის გეგმა.....	29
ნახ.3. დაუძირავი ფართოზღურბლიანი წყალსაშვი	33
ნახ. 4. ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ნაკადი $Q = 135$ მ ³ /წმ	36
ნახ. 5. არაპრიზმული, არაცილინდრული კალაპოტი	38
ნახ. 6. არაპრიზმული, არაცილინდრული კალაპოტის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის საანგარიშო სქემა	43
ნახ. 7. ენერგიის მრუდი 135 მ ³ /წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+1} კვეთში	45
ნახ. 8. ენერგიის მრუდი 135 მ ³ /წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+2} კვეთში	45
ნახ. 9. ენერგიის მრუდი 135 მ ³ /წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+3} კვეთში	45
ნახ. 10. ენერგიის მრუდი 135 მ ³ /წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+4} კვეთში	46
ნახ. 11. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არაცილინდრული არხის $i = 0.1250$ ქანობის დროს	48
ნახ. 12. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.13125$	48
ნახ. 13. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.13750$	49
ნახ. 14. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.14375$	49
ნახ. 15. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1562$	50
ნახ. 16. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.150$	50
ნახ. 17. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1625$	51
ნახ. 18. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1688$	51

ნახ. 19. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1750$	52
ნახ. 20. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1750$	52
ნახ. 21. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.18750$	53
ნახ.22. არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის $i = 0.1875$ ქანობისთვის სხვადასხვა კვეთში წყლის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირები და ნიშნულების ნაკადის ხვადასხვა ხარჯის დროს.....	57
ნახ. 23. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელი ნაგებობა $L = 50; i = 0.1875$	59
ნახ. 24. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელი ნაგებობა $L = 60; i = 0.1875$	60
ნახ. 25. ნაკადის სიღრმე სწრაფდენში.....	65
ნახ. 26. ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობა სწრაფდენის ბოლო კვეთში.....	66
ნახ. 27. h_x^2 და მნიშვნელობა, $Q(h)$ დამოკიდებულების მრუდი.....	68
ნახ 28. თხელკედლიანი სამკუთხა ტიპის წყალსაშვი	85
ნახ. 29. განსაზღვრულია სამკუთხა წყალსაშვიდან გადმოდინებული წყლის ხარჯის სიდიდე როცა $\alpha = 90^0$	85
ნახ. 30. არაპრიზმული, არაცილინდრული შემაუღლებელი ნაგებობის მოდელზე მიღებული ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირები სხვადასხვა ქანობის დროს არაცილინდრული ფორმის შემაურლებელი არხის პროექტით გათვალისწინებული სწრაფდენტან შეურლების კვეთში 8.5 მეტრის ნაცვლად 6.5 მეტრის შესაბამისი მოდელი.....	91
ნახ. 31. არაპრიზმული, არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენტან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის გეგმა (პროფესორ ი. ქადარიას წინადადებით).....	96
ნახ. 32. არაპრიზმული, არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენტან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის ჭრილი	97
ნახ. 33. არაპრიზმული, არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენტან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის აქსონომეტრული ნახაზი	98
ნახ. 34. წყალსაგდები ნაგებობის საანგარიშო სქემა.....	99

ნახ.35. დინების სიჩქარე, რომლის დროსაც ხდება გადასვლა მძაფრი ნაკადის წყნარ ნაკადში102

ნახ.36. პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადადინებული კატასტროფული წყლის ნაკადის სირრმე შემაურლებელ ნაგებობაში, როცა სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში არაპრიზმული სწორკუთხა შემაულლებელი ნაგებობის ფუძის სიგანე ყდრის 6.5 მეტრს.....108

სურათების ნუსხა

სურ. 1. წყალთამეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე ჰიდრავლიკურ ლაბორატორიაში არსებული ჰიდრავლიკური ღარი.....	81
სურ. 2. ჰიდრავლიკური ღარის სადაწნეო რეზერვუარი	82
სურ. 3. წყალთამეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე ჰიდრავლიკურ ლაბორატორიაში არსებული ჰიდრავლიკური ღარის მზომი ტესტერი.....	82
სურ. 4. ჰიდრავლიკური ღარი წყლის ნაკადის გადაადგილების პროცესში.....	83
სურ. 5. წყალთამეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე არსებულ ჰიდრავლიკურ ღარში განთავსებული თხელკედლიანი სამკუთხა ტიპის წყალსაშვი.	90
სურ. 6. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკური მოდელი.....	92
სურ. 7. არაპრიზმულ, არაცილინდრულ შემაუღლებელ ნაგებობაზე ნაკადის აზვირთება	95
სურ. 8. არაპრიზმულ, არაცილინდრულ შემაუღლებელ ნაგებობაზე ნაკადის აზვირთების პროცესის დაკვირვება პროფესორ ი. ქადარიას მიერ ექსპერიმენტული ცდის მსვლელობის პროცესში.....	96
სურ. 9. არაპრიზმული არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენთან შემაუღლებელი ღარქიმისანი ნაგებობის მოდელის (პროფესორ ი. ქადარიას წინადადებით).....	97

მადლიერების გვერდი

მადლობას ვუხდით ჩემს სამეცნიერო ხელმძღვანელს, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის დეკანის მოადგილეს ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორს იური ქადარიას უდიდესი დახმარებისთვის ამ სადისერტაციო ნაშრომის წარმატებით დასრულების საქმეში, თითქმის ყოველდღიური პრაქტიკულ-თეორიული კომუნიკაციისთვის და სამუშაოების ეფექტური ორგანიზებისთვის;

მადლობას ვუხდით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის დეკანს პროფესორ ზურაბ გვიშიანს ჩემი, როგორც სტუდენტი-დოქტორანტისათვის გაწეული სამუშაოსა და ხელსეწყობისათვის;

მადლობას ვუხდით დახმარებისათვის აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის დირექტორს პროფესორ გივი გავარდაშვილს ჩემი, როგორც სტუდენტი-დოქტორანტისათვის გაწეული ლაბორატორიული სამუშაოების ორგანიზებისა და ხელსეწყობისათვის;

მადლობას ვუხდით სტუ-ს პროფესურას, რომელთაც სასარგებლო კრიტიკული შენიშვნები მომცეს კოლოკვიუმების და თემატური სემინარების ჩატარებისას

მადლობას ვუხდით სტუ-ს სადისერტაციო საბჭოს წევრებს, რეცენზენტებს, რომლებმაც განიხილეს მოცემული სადისერტაციო ნაშრომი;

მადლობას ვუხდით ოჯახის წევრებს განუსაზღვრელი დახმარებისა და მორალური მხარდაჭერისთვის.

შესავალი

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების პროექტირება და მშენებლობა კორექტირებულ მიდგომას მოითხოვს გლობალური დათბობის პირობებში. გადახედვას საჭიროებს დღემდე არსებული კატასტროფული ხარჯების გაანგარიშების მეთოდოლოგია. იზრდება მოთხოვნები მაღალი კლასის ნაგებობების დასაფინანსებლად. შესაბამისი საფინანსო ორგანიზაციები მოითხოვენ წყალსაგდები და წყალსაშვები ნაგებობების წყლის გამტარუნარიობის გაზრდას, რომელიც შესაბამისად აყენებს საკითხს ნაგებობის ახლებურად კონსტრუირებისა და გაანგარიშების შესახებ, ხოლო საბაზრო ეკონომიკის პირობებში დიდი ყურადღება ექცევა ნაგებობის ხანმედეგობისა და ექსპლუატაციის გაზრდის პირობებს. ზემოთ მოყვანილი პირობების გათვალისწინებით განხილულია საინვესტიციო პროექტით წარმოდგენილ კაშხალზე წყალსაშვები და წყალსაგდები ნაგებობები მდინარე არხაშენი-ხევის მონაცემებით.

გარდაბნის მუნიციპალიტეტში, არხაშენი-ხევის კალაპოტში პროექტითაა გათვალისწინებული კაშხლის მშენებლობა, რომლის სიმაღლეა 35.2 მ. კაშხალი უნდა აშენდეს ადგილობრივი მასალისაგან. პროექტი შესრულებულია საპროექტო ინსტიტუტის მიერ 2014 წელს, ბელარუსიის რესპუბლიკაში (ინსტიტუტის მთავარი ინჟინერი И. И. Копустинский). პროექტი ითვალისწინებს 5000 ჰა. ფართობის სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის მორწყვას.

კატასტროფული ხარჯის ქვემო ბიეფში გასატარებლად კაშხლის უკიდურეს მარცხენა ნაწილში თვით კაშხალზე დაპროექტებულია ნორმალური შეტბორილი ჰორიზონტთან შეთავსებული 3 მეტრი სიმაღლის პრაქტიკული პროფილის ბეტონის წყალსაშვიანი კაშხალი სიგრძით 40 მეტრი. შესასვლელი უბანი ჰიდრაულიკური გაანგარიშებით შეუღლებულია 8.5 მ სიგანის სწრაფდენთან, რომლის საერთო სიგრძეა 463.5 მ.

პროექტის აქტუალობა. საკითხის კვლევისათვის საჭიროა შესწავლილ და გაანგარიშებულ იქნეს ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან, სწრაფდენთან, შეუღლების ჰიდრავლიკური პროცესი და მისი ოპტიმალური შეერთების კონსტრუირება და ჰიდრავლიკური გაანგარიშება, რომელიც გაზრდის მთლიანობაში ნაგებობის საიმედოებასა და ეკონომიურობას. განხილული საპროექტო თუ საექსპლუატაციო ობიექტების მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ წარმოდგენილი თემა აქტუალურია როგორც მიმდინარე გლობალური დათბობის პირობებში, ასევე ეკონომიკური და მდგრადობის თვალსაზრისით.

გადახედვას მოითხოვს დღეს არსებული წყლის კატასტროფული ხარჯების გაანგარიშების მიდგომები, რომელიც გამოწვეულია როგორც გლობალური დათბობით, ასევე საფინანსო ორგანიზაციების მოთხოვნებით, ეს უკანასკნელი გულისხმობს კატასტროფული ხარჯების გაზრდას მაღალი კლასის ობიექტების გაანგარიშებისას.

შემოთავაზებული ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის ნაგებობის სწრაფდენთან შეუღლების ჰიდრავლიკური გაანგარიშება წარმოადგენს დასმული საკითხის ერთ-ერთ გადაწყვეტას, რომელიც გააუმჯობესებს ნაგებობის მდგრადობას და საიმედოებას.

კვლევის მიზანი. სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის მიზანს წარმოადგენს განისაზღვროს ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკური კვლევა თეორიულ გაანგარიშებასა და ლაბორატორიულ კვლევებზე დაყრდნობით, არხაშენი-ხევის პროექტით არსებული წყალსაცავის კატასტროფული ხარჯის მონაცემით. დადგინდეს წყალსაგდები ნაგებობის კომპლექსში პრაქტიკული პროფილის (3მ სიმაღლის) კაშხლის ჩანაცვლების უპირატესობა ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით, მისი ეკონომიკურობისა და მდგრადობის გათვალისწინებით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების

ჰიდრავლიკური პროცესები, კერძოდ ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული ნაკადის სიღრმის განსაზღვრა, არაპრიზმული არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენთან შემაუღლებელ ნაგებობაში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის აგება, სწრაფდენში ნაკადის სიღრმის განსაზღვრა და სწრაფდენის ბოლო კვეთში ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობის გაანგარიშება. კვლევის მეთოდს წარმოადგენს თეორიული და ექსპერიმენტული გაანგარიშება წყალსაგდები ნაგებობის თითოეული შემადგენელი კვანძის. მიღებული შედეგების შედარება პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადადინებული წყლის ნაკადის ჰიდრავლიკურ მახასიათებლებთან არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენთან შემაუღლებელ ნაგებობაში.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. ნაშრომის ძირითად შედეგს წარმოადგენს წყალსაგდები ნაგებობის ჰიდრავლიკური გაანგარიშებით მიღებული ჰიდრავლიკური მახასიათებლები. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიდან გადადინებული ნაკადის ჰიდრავლიკური გაანგარიშებით მიღებული მახასიათებლების შედარება პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადადინებული წყლის ნაკადის ჰიდრავლიკური მახასიათებლებთან. მიღებული შედეგები ცხადყოფს ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიზე გადადინებული წყლის ნაკადის არაპრიზმულ კალაპოტში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის სიღრმე ნაკლებია პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადადინებული ნაკადის სიღრმეზე არაპრიზმულ, არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენთან შემაუღლებელ ნაგებობაში. შემუშავებულია არაპრიზმული, არაცილინდრული ნაგებობაში ნაკადის რადიალური მოძრაობის ჩამხშობი ახალი ტიპის არაპრიამული ფორმის სწორკუთხა სწრაფდენთან შემაუღლებელი ნაგებობა, რომელის გამოყენებით ჩატარებულია კვლევა წყალთამყურნეობის ისნტიტუტის ბაზაზე არსებულ ჰიდრავლიკის ლაბორატორიაში.

პრაქტიკული მნიშვნელობა და შედეგების გამოყენების სფერო.

წყალსაგდები ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი და საპასუხისმგებლო ნაგებობაა ჰიდროკვანძის შემადგენლობაში. მის გამართული ფუნქციონირება განაპირობებს კატასტროფული ხარჯის უსაფრთხო გატარებას ზემო ბიეფიდან ქვემო ბიეფში, ხოლო ეკონომიკური და მდგრადობის მაჩვენებლების ხარისხობრივი გაუმჯობესება უნდა გახდეს დანერგვის წინაპირობა.

არხაშენის წყალსაცავის პროექტით არსებული წყალსაგდები ნაგებობის მონაცემების კვლევა და ახალი ტიპის წყალსაგდები ნაგებობების სწრაფდენთან შეუღლების მეთოდის დამუშავება, თეორიული გაანგარიშება, წყალსაგდები ნაგებობის სხვადასხვა კონსტრუქციული ზომების მოდელის კვლევა ლაბორატორიულ პირობებში საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ წყალსაგდები ნაგებობის ოპტიმალური ზომები. არსებულ საინვესტიციო პროექტში მიღებული შედეგების დანერგვა მოგვცემს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

დისერტაციის პირველ თავში აღმოცემულია მდინარეების ჰიდროლოგიური პროცესები, წყალსაგდები ნაგებობების კონსტრუქციული სახეები და მათი მუშაობის პირობები, ჰიდრაულიკური თვალსაზრისით.

ნაშრომის მეორე თავში წარმოდგენილია წყალსაშვები ნაგებობების ჰიდრაულიკური გაანგარიშება, წყლის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის აგება არაპრიზმულ არხში და მისი შეუღლება სწრაფდენთან.

კვლევის მესამე თავში განხილულია ჰიდრაულიკური გაანგარიშების მოდელირების თეორია, კვლევითი ჰიდრაულიკური ლაბორატორიის არწერა, ცდის მიმდინარეობის პროცესი და შედეგები.

მეოთხე თავში წარმოდგენილია ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრაულიკური გაანგარიშების კვლევის შედეგები.

ავტორი დიდი პატივისცემითა და მადლიერებით მოიხსენიებს პროფესორ იური ქადარიას, რომლის მოწოდებამ და პროფესიულმა რჩევებმა

განაპირობა წინამდებარე ნაშრომის შექმნა. დისერტანტი მაღლობას მოახსენებს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აკადემიურ პერსონალს თანადგომისა და დახმარებისთვის. ასევე დიდი პატივისცემითა და მაღლიერებით მოიხსენიებს აკადემიკოს ც. მირცხულავას სახელობის წყალსთამბურნეობის ინსტიტუტის აკადემიურ პერსონალს, მეცნიერ თანამშრომლებს და ინსტიტუტის დირექტორს პროფესორ გივი გავარდაშვილს.

დისერტაციის თემის მიხედვით გამოქვეყნებულია 5 ნაბეჭდი სტატია, მათ შორის საკვლევ თემასთან დაკავშირებული 3 სტატია.

დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, 4 თავისაგან და დასკვნებისაგან. მუშაობის ძირითადი ნაწილი მოიცავს A4 ფორმატის ერთ გვერდზე 121 ნაბეჭდ გვერდს, რომელშიდაც შედის 36 ნახაზი და 19 ცხრილი, ლიტერატურის სია მოიცავს 115 სამამულო და უცხოელ ავტორების ნაშრომებს.

ლიტერატურის მიმოხილვა

თავი1. წყალსაცავის წყალსაგდები ნაგებობის მუშაობის რაციონალური რეჟიმების განმსაზღვრელი ეთოდები.

1.1. მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ზოგადი მიმოხილვა

ნალექების სახით მოსული წყალი, დედამიწის გეოიდური ფორმიდან გამომდინარე, რელიეფური პირობების გათვალისწინებით თავს იყრის, გროვდება დადაბლებულ ადგილებში, იწყებს დინებას ბუნებრივი ქანობის გასწვრივ პატარ-პატარა ჭავლებად, გარკვეული მანძილის გავლის შემდგომ ერთვიან ერთმანეთს და წარმოქმნიან მდინარეს. მდინარის სიჩქარე სხვადასხვა კვეთში გეგმაში მდინარის კალაპოტის მოხაზულობის, ქანობის, კალაპოტის ფსკერის, ნაპირის ხორკლიანობის გათვალისწინებით სხვადასხვაა. მდინარეები ხასიათდებიან დონის ცვალებადობით, რასაც განაპირობებს ბუნებრივი ჩამონადენის ზრდა და კლება. მდინარეთა რეჟიმების ცვალებადობაზე დიდ გავლენას ახდენს მათი მკვებავი წყაროები. მდინარეები მკვებავი წყაროების მიხედვით იყოფიან სამ ძირითად ჯგუფად:

I.მდინარეები რომლებიც მხოლოდ წვიმის წყლით იკვებებიან.

II.მდინარეები რომელთა კვების წყარო გამდნარი თოვლისა და მყინვარების წყალია.

III. მდინარეები რომლებიც გამდნარი თოვლისა და ყინულის ასევე წვიმის წყლით იკვებებიან. ამის გათვალისწინებით მდინარეთა კვების პირობების ცვალებადობის მიხედვით ჩამონადენის რეჟიმში გამოყოფენ დამახასიათებელ პერიოდებს ანუ ფაზებს: გაზაფხულის წყალდიდობა, წყალმოვარდნა და წყალმცირობა [1,2,3,].

ზამთრის პერიოდში მდინარის წყალშემკრებ აუზში დაგროვილი თოვლის დნობის შედეგად წარმოიქმნება წყლის უხვი ნაკადი, რომელსაც გაზაფხულის წყალდიდობა ეწოდება. მისი მახასიათებელი ელემენტებია:

წყალდიდობის დაწყებისა და დამთავრების დრო, ხანგრძლიობა, მაქსიმალური ხარჯი, მდინარის კალაპოტში დონეების ცვალებადობის პერიოდი, წყალდიდობის პერიოდში ჩამონადენის საერთო მოცულობა და დროის ერთეულში მდინარის მართობულ კვეთში გასული წყლის მაქსიმალური ხარჯი [4,5,6].

მდინარის ჩამონადენის რეჟიმზე დიდ გავლენას ახდენს წყალმოვარდნის პერიოდი, რომელიც ხასიათდება მდინარის კალაპოტში დონეების სწრაფი და შედარებით ხანმოკლე აწევით, რაც განპირობებულია ძლიერი ან ხანგრძლივი წვიმებით. წყალმოვარდნა შესაძლებელია წლის ნებისმიერ პერიოდში განსხვავებით, წყალდიდობისგან. მდინარეში წყლის დაბალი დონეებისა და მცირე ხარჯების პერიოდს, რომელიც განპირობებულია ზედაპირული ჩამონადენის მკვეთრი შემცირების ან საერთოდ შეწყვეტით წყალმცირობის პერიოდი ეწოდება [7,8].

გლობალური დათბობის პირობებში და თანამედროვე სამყაროს განვითარების ტემპის გათვალისწინებით დღითი-დღე მატულობს მოთხოვნა ელექტროენერგიაზე, რაც წარმოადგენს სამყაროსა და კაცობრიობის განვითარების ერთ-ერთ შეუცვლელ კომპონენტს. თუ გადავხედავთ მსოფლიოს უახლეს წარსულს და სხვადასხვა მეცნიერების მოსაზრებებს ცხადია ელექტროენერგიის წარმოებაში მთავარი და წამყვანი როლი უჭირავს ჰიდროელექტროსადგურებს. რომელთა მიერ გამოიმუშავებული ელექტრო ენერგია წარმოადგენს ყველაზე უსაფრთხო ენერგიას. სისტემის დატვირთვის გრაფიკი ცხადჰყოფს თუ რაოდენ დიდი და მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს წყალსაცავიანი ჰიდროელექტროსადგურის მიერ მიღებულ ელექტროენერგიას. ზემოთხსენებული მდინარის მახასიათებლების გათვალისწინებით მდინარის ჰიდროგრაფიული ქსელის, მდინარის მახასიათებელი ძირითადი ელემენტების მორფოლოგიური, გეოლოგიური და სხვა მრავალი ფაქტორის გათვალისწინებით ხეობაში სხვადასხვა კვეთი შეირჩევა, თაღოვანი,

გრავიტაციული, გრუნტისა და კონტფორსული კაშხლების მშენებლობისთვის [9, 10, 11,12,13,14,15].

თითოეული კაშხალი ერთმანეთისგან განსხვავდება, კონსტრუქციული თვალსაზრისით, მასალის ტიპითა და აგების წესით. კასხლის ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია მის დანიშნულებაზე, მდინარის ჰიდროგრაფიულ რეჟიმზე, ჩამონადენის სიდიდეზე და მის განაწილებაზე წლის სხვადასხვა პერიოდში, ნატანის მოძრაობის ხასიათზე, მდინარის ყინულოვან რეჟიმზე, ასაშენებელი კაშხლის მდინარის ხეობის კვეთსა და მშენებლობის რაიონის გეოლოგიური, ტოპოგრაფიული, და კლიმატურ პირობებზე. თითოეული კაშხალი წარმოადგენს ხელოვნურ ნაგებობას, რომლის მიზანია მდინარის კალაპოტში წყლის დონის აწევა რაიმე განსაზღვრულ სიმაღლემდე, ტევადი წყალსაცავის შექმნა წყლის დროებითი აკუმულირების, დაგროვებისა და მოთხოვნილების შესაბამისად მისი შემდგომი ხარჯვის მიზნით. მდინარის კალაპოტში აღმართული კაშხალი, ახდენს წყლის შეტბორვას წარმოქმნის წყალსაცავს და წყლის შეტბორილ დონეს ეწოდება ზემო ბიეფი შემოკლებით ზ.ბ., შესაბამისად წარმოქმნილ დონეთა სხვაობას კაშხლის მიერ შექმნილი დაწნევა – შეტბოვის სიმაღლე ეწოდება, ხოლო კაშხლის ქვემოთ ტერიტორიას ქვემო ბიეფი – ქ. ბ. [16,17,18,19,20,21,22,23].

1.2. წყალსაგდები ნაგებობების ტიპების და მახასიათებელი ფაქტორები

ჰიდროკვანძის შემადგენელ ნაგებობათა შორის კაშხალი ყველაზე მნიშვნელოვანი და რთული ნაგებობაა. ზემოთ თქმულიდან გამომდინარე ცხადია, რომ ჰიდროკვანძის ნორმალური და უსაფრთხო ფუნქციონირებიდან გამომდინარე საჭიროა კაშხლის გეგმარებისას გათვალისწინებულ იქნას წყლის უსაფრთხო გატარება ზემო ბიეფიდან ქვემო ბიეფში. მდინარის მახასიათებლების გათვალისწინებით ჰიდროკვანძის პროექტირებისას დიდი ყურადღება ექცევა მდინარის ჩამონადეს და მის

განაწილებას წელიწადში, მაქსიმალურ და მინიმალურ ხარჯს კაშხლის საპროექტო კვეთში. კაშხლის კონსტრუქციული თავისებურებებიდან გამომდინარე ასაგები მასალის ტიპის გათვალისწინებით, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წყალსაგდები ნაგებობის ტიპზე. შესაბამისად წარმოებს წყალსაგდები ნაგებობის ტიპის შერჩევა. თუ გათვალისწინებულია ადგილობრივი მასალის მაღალდაწნევიანი კაშხლის მშენებლობა, რომელიც გაატარებს წყალს ზემო ბიეფიდან ქვემო ბიეფში, საჭიროა მოეწყოს სპეციალური წყალსაგდები ნაგებობები. ასევე შესაძლებელია კაშხალში გათვალისწინებულ იქნას ბეტონის წყალსაშვები ნაწილი თხემზე მოთავსებული საკეტებით ან უსაკეტოდ. ზემო ბიეფიდან ქვემო ბიეფში წყლის გატარების თვალსაზრისით კაშხლები არის სამი ტიპის ყრუ, წყალსაშვებიანი და წყალჩასაშვები ხვრეტებით. კაშხლის ნაწილს, სადაც ზედაპირული წყალსაშვები ხვრეტებია მოწყობილი წყალსაშვები ეწოდება. ასევე წყალსაგდებ ნაგებობებს განეკუთნება წყალჩასაშვები ხვრეტები, რომლებიც განთავსებულია რაიმე სიღრმეზე, რომელთა ზღურბლის ნიშნულები განსაზღვრავენ წყალსაცავის შესაძლო დაცლის დონეებს და თუ ისინი განთავსებულია მდინარის კალაპოტის ფსკერთან მაშინ მას ფსკერული ხვრეტები ეწოდება [24,25,26].

წყალსაგდები ნაგებობის მთავარი დანიშნულებას წარმოადგენს ზემო ბიეფიდან გაზაფხულის წყალდიდობისა და წყალმოვარდნის პერიოდში, კოკისპირული წვიმებით, თოვლისა და მყინვარების დნობის დამთხვევით განპირობებული წყლის კატასტროფული ხარჯის უსაფრთხო გატარება ქვემო ბიეფში, რათა თავიდან აცილებულ იქნას წყალსაცავში წყლის დონის ზრდა. წყალსაცავის მოცულობისა და სარკობრივი ზედაპირის ფართობის ზრდა. რამაც შესაძლოა გამოიწვიოს მომიჯნავე ტერიტორიების დატბორვა და თვით კაშხლის კონსტრუქციული მდგომარეობას შეუქმნას საფრთხე. წყალსაგდები ნაგებობები შესაძლებელია განთავსებულ იქნას კაშხლის ტანში ან მდინარის რომელიმე ნაპირთან სანაპირო წყალსაგდების სახით.

საკითხის უფრო ღრმა შესწავლისთვის უპრიანი იქნება განვიხილოთ თითოეული ტიპის წყალსაგდები ნაგებობა უფრო ღრმა თვალსაწიერით, რათა სადისერტაციო თემის კვლევა-ძიების დროს უფრო თვალნათლივ წარმოჩნდეს. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების თემის ძირითადი არსი. პირველ რიგში განვიხილოთ მრუდწირული ფორმის, პრაქტიკული ტროფილის მქონე წყალსაშვი, რომლის სათავისი გეომეტრიული მოხაზულობის მხრივ იყოფა ორ ნაწილად ვაკუუმიანი და უვაკუუმო, გადმოდინებული წავლის ქვეშ ატმოსფეროზე ნაკლები წნევით. ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით უვაკუუმო პროფილის მქონე წყალსაშვზე გადადინება ხორციელდება მშვიდად ვიბრაციებისა და დარტყმების გარეშე, განსხვავებით ვაკუუმიანისაგან, სადაც ნაკადის გადადინებისას წყლის ჭავლის ქვეშ ჰაერის შეჭრით ან სათავისის არასწორი მოხაზულობით წარმოიქმნება დარტყმები და ვიბრაციები, მაგრამ ამ უკანასკნელის ხარჯის კოეფიციენტი, გამტარუნარიანობა 10 – 15 %-ით მეტია უვაკუუმო პროფილის მქონე წყალსაშვთან. წყალსაგდების მოსაწყობად სჭიროა შეირჩეს ისეთი ადგილმდებარეობა სადაც ყველაზე უფრო მტკიცე და წაურეცხავი გრუნტებია. პრაქტიკული პროფილის წყალსაგდების ნაგებობის მოწყობა ისე, რომ მან არ წარმოშვას კონტაქტური ფილტრაცია გრუნტში წყალსაშვის გასწვრივ შესაძლებელია მიწის, ადგილობრივი მასალის კაშხლის ტანში [27,28, 29].

სიფონური წყალსაგდები ნაგებობები ეწყობა უშუალოდ კაშხლის ტანში ან მის ზემოთ რკინაბეტონის ან მილის სახით. იგი ზედაპირული წყალსაგდების თავისებური სახეობაა. ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით წყალსაშვის გაფართოებული შესასვლელი თავი, რაც განპირობებულია ჰაერის სწრაფი შეჭრისა და შემდგომ ნაკადის წყვეტის თავიდან აცილების მიზნით, ზემო ბიეფიდან დაახლოებით 0.7 – 1.0 მეტრის სიმაღლეზეა ჩაშვებული. თუ ჰიდროკვანზის ადგილმდებარეობისა და მეტეოროლოგიური მონაცემების გაანალიზების საფუძველზე მოსალოდნელია ყინულის შეტანა. მაშინ აუცილებელია სიფონის კვეთი

ნორმალური შეტბორვის დონიდან უნდა განთავსდეს უფრო ღრმად არანაკლებ 2 – 3 მეტრის სიღრმეზე. სიფონური წყალსაგდების უარყოფით მხარეს წარმოადგენს მისი გაჭედვა ყინულით, თოვლით ან სხვა შეტივნარებული, ჩაძირული სხეულებით, რამაც შესაძლოა გამოიწვიოს სიფონის მილების შიგა ზედაპირის დაზიანება. ასევე ნაგებობის ვიბრაცია და კლიმატური პირობები ითვლება მის ერთ-ერთ უარყოფით მხარედ. სიფონური წყალსაგდები ზემო ბიეფში წყლის დონის მომატებისას ავტომატურად იწყებს მოქმედებას და ახდენს წყლის ნაკადის ტრანსპორტირებას ქვემო ბიეფში.

კაშხალთ მშენებლობაში გამოიყენება სიღრმული ტიპის წყალსაგდები ხვრეტები, წყალჩასაშვებები. ჩაკეტილი განიკვეთის მქონე წყალსატარი ნაგებობები, რომელთა შემსვლელი ხვრეტის ზედა ნაწიბური მოთავსებულია წყლის დონის ქვეშ და ამავდროულად ზემო ბიეფის მოლამვის დონეზე მაღლა. თუ მდინარეს არ მოაქვს მყარი ნატანი და კაშხლის წინ არ გვხვდება მყარი ნატანის ნალექი მაშინ რეკომენდირებულია კაშხლის ფუძეში მოეწყოს წყალსაცავის დაცლისა და მშენებლობის დროს წყლის ხარჯის გასატარებლად სიღრმული წყალსაგდები. ფსკერული წყალსაგდები სიღრმული წყალსაგდების კერძო შემთხვევას წარმოადგენს იგი ცალკეულ შემთხვევებში შესაძლოა 2 – 3 იარუსად განთავსდეს კაშხლის სიმაღლეზე, როგორც ეს განხორციელებულია 180 მ. სიმაღლის ბეტონის შახტის კაშხალზე.

მშიშვნელოვანი ყურადღება ექცევა წყალსაშვების შესასვლელი ნაწილის მდოვრე მოხაზულობის უზრუნველყოფას. საჭიროა თავიდან ავიცილოთ მკვეთრი გადასვლები მის სიგრძეზე და საკეტების განლაგების ზონაში, რათა არ წარმოიქმნას ვაკუუმი და კავიტაცია, რაც მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს მასალას. ნატანის შეკავების მიზნით სიღრმული წყალსაგდების შესასვლელი ხვრეტების წინ მოწყობილია გისოსი. სიღრმული წყალსაგდებები მოწყობის პირობის გათვალისწინებით განსხვავდება ერთმანეთისგან, სანაპირო ტიპის სიღრმულ წყალსაგდებ

ნაგებობებს აშენებენ გვირაბის სახით, ხოლო კალაპოტის ფარგლებში ბეტონის კაშხლის ტანში შეთავსებულს ჰიდროელექტროსადგურის შენობაში ან ადგილობრივი მასალის კაშხლის ფუძეში მოთავსებული მილების სახით [30,31].

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით კაშხლის ტიპი და მასალის სახეობა გარკვეულწილად განაპირობებს წყალსაგდები ნაგებობის სახეს. წყალსაგდები ნაგებობები კაშხლის ტანის გარეთ იყოფა სხვადასხვა სახის წყალსაგდებებად. განვიხილოთ სანაპირო წყალსაგდები არხები, რომლებიც ძირითადად ეწყობა ისეთი კაშხლების წყალსაცავებში, რომელთა შემტბორავი ნაგებობა, კაშხალი აშენებულია ადგილობრივი მასალით. ღია ტიპის წყალსაგდები ეწყობა უშუალოდ კაშხლის მიმდებარე ტერიტორიასთან ან მისგან მოშორებით.

კაშხლის ტანში მოწყობილი წყალსაგდებებისგან მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან სანაპირო წყალსაგდებები, გეგმაში მოხაზულობიდან გამომდინარე ღია წყალსაგდებები შესაძლოა იყოს სწორხაზოვანი, მრუდხაზოვანი და ჰქონდეს მუდმივი ან ცვალებადი სიგანე. სანაპირო ღია წყალსაგდების მოწყობისას მნიშვნელოვანი როლი უჭირავს ტრასის ტოპოგრაფიულ და გეოლოგიურ პირობებს. მათი მოწყობა შესაძლებელია შემდეგი ძირითადი სქემების მიხედვით, როდესაც წყალსაგდების შემადგენლობაში შედის არხი და მის ბოლო უბანში განთავსებული სწრაფდენი, მეორე სქემაში თავმოყრილია არხი და მრავალსაფეხურიანი ვარდნილი, ასევე შესაძლებელია მოეწყოს არხი და კონსოლური საგდები ან ღია ტიპის წყალსაგდები ნაგებობის შემადგენლობაში შედის არხი და ორი შემაუღლებელი ნაგებობა ვარდნილითა და სწრაფდენით, რომელთა განლაგება დამოკიდებულია ადგილმდებარეობის რელიეფზე. ასეთი ტიპის წყალსაგდები ნაგებობის მშენებლობისა და პროექტირების დროს აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას შემდეგი ფაქტორები: 1) თუ არხის ჭრილის გრუნტის გამოყენება შესაძლებელია გრუნტის კაშხლის ტანში ყრილისთვის მაშინ ყრილის მოცულობა თანაფარდობაში მოდიოდეს

ყრილის მოცულობასთან. თუ გრუნტი არ აკმაყოფილებს ყრილის მოწყობისათვის საჭირო პირობას მაშინ მიწისსამუშაოთა მოცულობა უნდა იქნეს მინიმალური. 2) კატასტროფული ხარჯის გატარების დროს ქვემო ბიეფშიგამოსასვლელი კვეთი კაშხლის ტანიდან იქნეს დაპროექტებული იმდენად შორს, რომ ქვემო ბიეფში კაშხლის ფერდო არ გამორეცხოს და მისი მდგრადობის პირობა არ დაარღვიოს. 3) გაურეცხაობის პირობის გათვალისწინებითწყლის სიჩქარე საგდებ არში უნდა იქნეს შესაბამისი რათა არ დაირღვეს პირობა და არ წაირეცხოს არხის ფსკერი და ფერდობები. 4) არხი უნდა მოეწყოს წრილში ან ნახევარ ჭრილ-ნახევარ ყრილში და მისი ფერდობები უნდა იქნეს მდგრადი [32,33,34,35].

1.3. არხაშენის პროექტით გათვალისწინებული

წყალსაგდები ნაგებობის ანალიზი

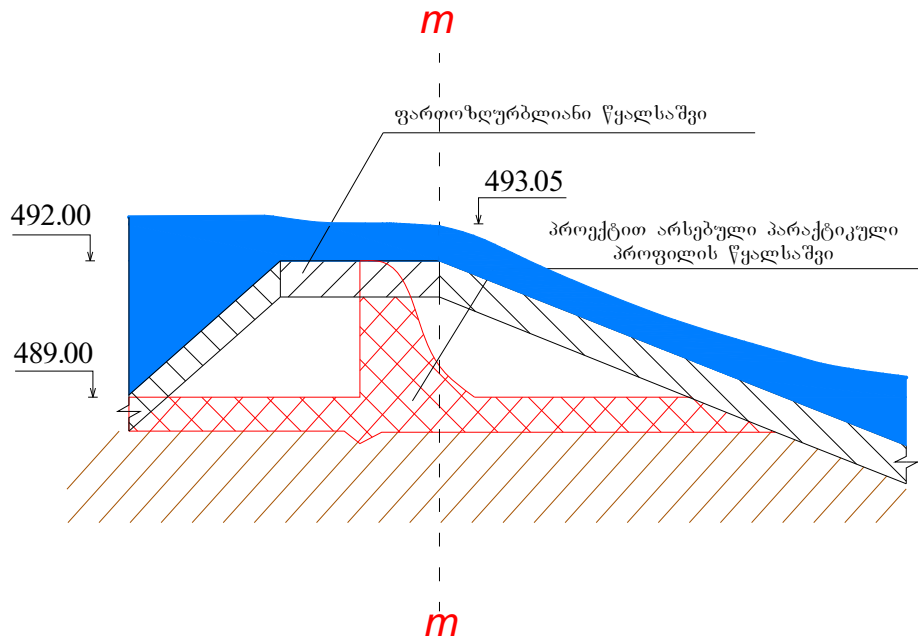
ნაშრომში საკვლევი თემატიკის შესწავლის მიზნით განვიხლოთ არხაშენის წყალსაცავის მახასიათებლები. მთლიანი მოცულობა წყალსაცავის ნიშნულზე ნ.შ.კ. 492.00 მ შეადგენს 7.97 მლნ. მ³, მკვდარი მოცულობა 2.05 მლნ. მ³, სასარგებლო მოცულობა 5.92 მლნ. მ³. მდინარე არხაშენი-ხევზე უნდა აშენდეს ადგილობრივი მასალის გამოყენებით გრუნტის კაშხალი, სადაც პროექტის მიხედვით მარცხენა სანაპირო ზოლთან ზღვის დონიდან 489.00 მ ნიშნულზე განთავსებულია პრაქტიკული პროფილის წყალსაგდები ნაგებობა.

ცხრილი1.

საპროექტო კოორდინატების დამოკიდებულება სარკისებრ ზედაპირზე და წყალსაცავის მოცულობაზე

წყალსაცავში წყლის დონის ნიშნულები მ	წყლის მოცულობა მლნ. მ ³	წყლის ზედაპირის ფართობები კმ ²
კ.შ.კ.	493,14	8,77
ნ.შ.კ.	492,00	7,97
მ.კ.კ.	481,00	2,05

კაშხლის სიგრძე 806 მ-ია, ხოლო კაშხლის სიგანე თხემის ნიშნულზე - 8 მ, კაშხლის მაქსიმალური სიმაღლე 35.2 მ-ია, თხემის ნიშნული-495.2 მ. პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის ქიმის ნიშნული მდებარეობს 492.00 მ-ის ნიშნულზე, რომელიც არხაშენის წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონის ტოლია.



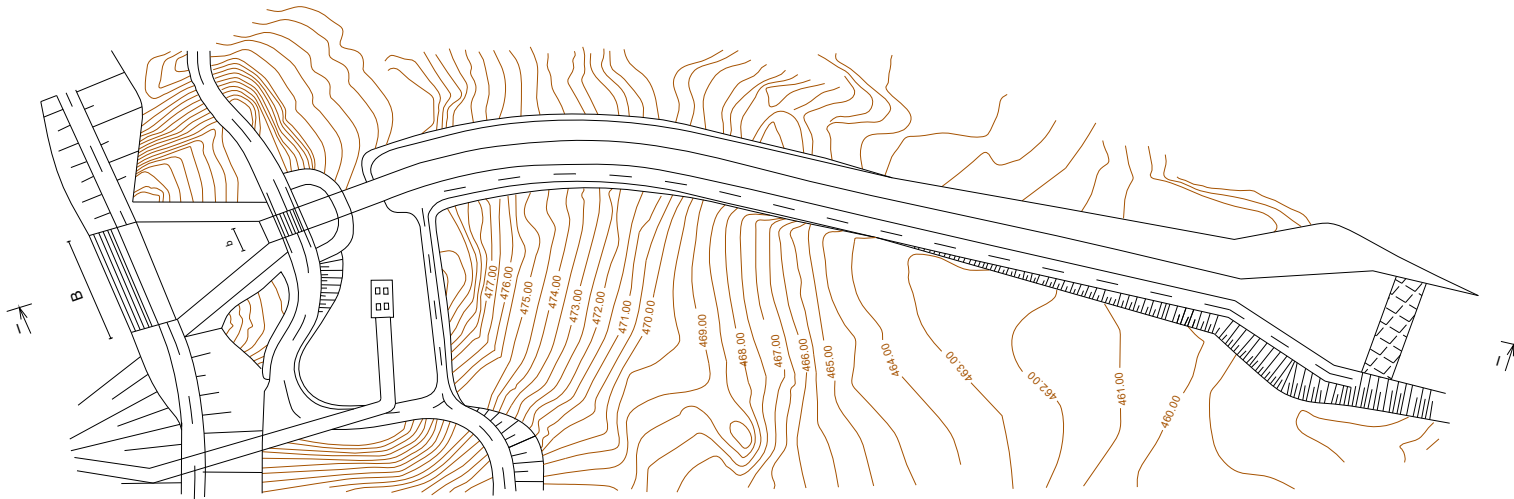
ნახ. 1. პროექტში არსებული პრაქტიკული და შემოთავაზებული ფართოზღურბლიანი წყალსაშვ ნაგებობათა შეთავსების სქემა

წყალსაგდები ნაგებობის სიგრძე ტხემის გასწვრივ 40 მ-ია, ხოლო შემაუღლებელი ნაგებობის სიგანე სწრაფდენამდე 40 მ-დან 8.5 მ-მდე იცვლება. სწრაფდენის მთლიანი სიგრძე შეადგენს 463.5 მ, ხოლო სიგანე 8.5 მ-ია. სწრაფდენის ბოლოში განთავსებულია 1 მეტრი სიღრმისა და 8.5 მ-დან 40 მ-მდე სიგანის ნაკადის ენერჯის ჩამქრობი ჭა.

საპროექტო ორგანიზაციის მიერ დაპროექტებულია პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვები ნაგებობა, რომელიც შემაუღლებელი ნაგებობით უკავშირდება სწრაფდენს. შემაუღლებელი ნაგებობები საკმაოდ გავრცელებულ ნაგებობათა რიცხვს მიეკუთვნება. მათ სახალხო მეურნეობების სხვადასხვა დარგში სხვადასხვა დანიშნულება აქვს.

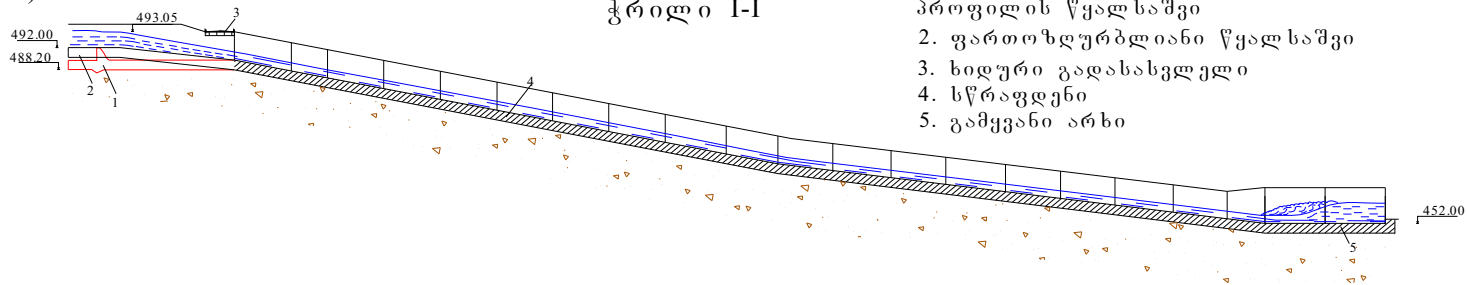
ა)

გეგმა



ბ)

ჭრილი I-I



ნახ. 2. არხაშენის წყალსაცავის ჰიდროკვანძის გეგმა

ასე, მაგალითად ჰიდროენერგეტიკასა და მელიორაციაში შემაუღლებელი ნაგებობის მიზანია სარწყავი არხის ტრასის გადაყვანა გადასაკვეთი ადგილის მაღალი ნიშნულიდან შედარებით დაბალ ნიშნულზე; შემაუღლებელი ნაგებობები გამოიყენება აგრეთვე წყალსაცავებიდან ზედმეტი წყლის გადასაგდებად. ასევე სამდინარო ნაგებობებში სადაც აქტიურად იყენებენ წყლის ენერგიას ხე ტყის დასაცურებლად. შემაუღლებელი ნაგებობა გამოიყენება, როგორც მოწყობილობა, რომელიც ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობაა რაბების შევსების და დაცლის დროს.

პროექტის მიხედვით პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ნაკადი ჩაედინება რკინა-ბეტონის სწორკუთხა, სიმეტრიული ფორმის არაპრიამულ, არცილინდრულ სწრაფდენთან შემაუღლებელ ნაგებობაში, რომელიც აერთებს წყლის ნაკადს სწრაფდენთან შეერთების კვეთში, სადაც სწორკუთხა არხის ფუძის სიგანე შეადგენს 8.5 მეტრს. ნახ.1. წარმოდგენილია ალტერნატიული სქემის მონახაზი, რომელიც მთლიანად ცვლის წყალსაშვები ნაგებობის ფორმას და ამცირებ სამუშაოთა წარმოების რაოდენობასა და ფულად დანახარჯებს მშენებლობის დროს [36, 37].

კვლევა, შედეგები და მათი განსჯა

თავი. 2 ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების გაანგარიშება

2.1. ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული წყლის ნაკადის სიღრმის განსაზღვრა

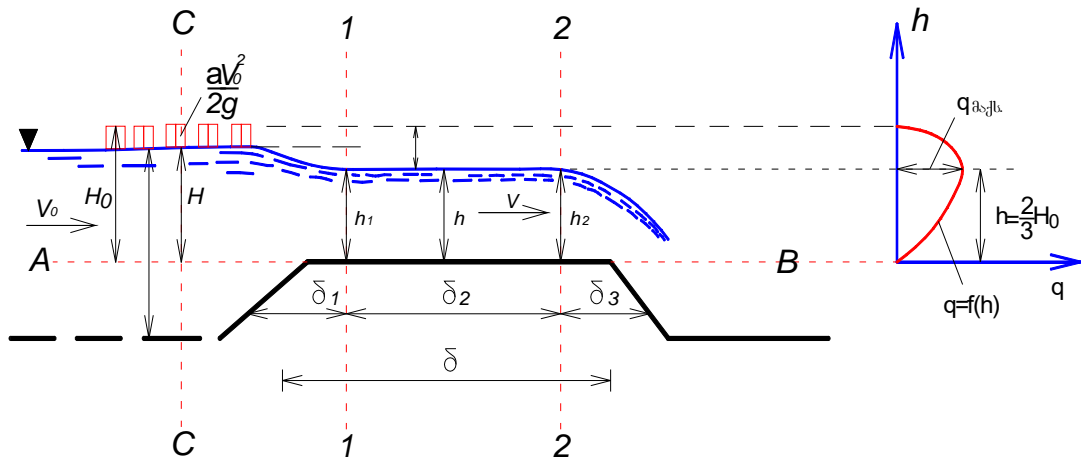
წყალსაგდები ნაგებობის გაანგარიშებისა და პროექტირების დროს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება წყალსაშვები, შემაუღლებელი და სწრაფდენი ნაგებობების გეომეტრიულ მოხაზულობას. რადგან მათი ფორმა განაპირობებს ნაკადის გადადინებას მთელ რიგ ჰიდრავლიკურ პროცესებს, რომელიც არსებით ზეგავლენას ახდენს ნაკადის ჰიდრავლიკურ მახასიათებლებზე. კვლევის მიზანია განისაზღვროს ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიდან გადადინებული წყლის ნაკადის ჰიდრავლიკური მახასიათებლები არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელ ნაგებობაში, აიგოს ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი. საჭიროა უპირველესყოვლისა განისაზღვროს უშუალოდ ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული ნაკადის ზედაპირის ნიშნულები. ჰიდრავლიკურ გაანგარიშებათა საფუძველზე დადგინდეს არაპრიზმული შემაუღლებელი ნაგებობის ფართოზღურბლიან წყალსაშვთან შეერთების კვეთში წყლის ნაკადის სიღრმე. რაც შემდგომში უფრო ხელსაყრელს გახდის ბერნულის განტოლების გამოყენების საფუძველზე სასრულსხვაობათა მეთოდით გავიანგარიშოთ და ავაგოთ ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი [38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45].

განვიხილოთ სხვადასხვა ფორმის ფართოზღურბლიანი წყალსაშვი ნაგებობები გეომეტრიული მოხაზულობის თვალსაზრისით, ხოლო შემდგომში კვლევისათვის მათგან ავარჩიოთ ყველაზე ხელსაყრელი ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით ფორმის ნაგებობა, რომელის ხარჯის კოეფიციენტი m და ხორკლიანობის კოეფიციენტის მიხედვით

საკვლევი თემატიკისათვის იქნება უფრო ხელსაყრელი და სამეცნიერო ნაშრომში წარმოდგენილ კვლევას გახდის ოპტიმალურს. სხვადასხვა გეომეტრიული მოხაზულობის მქონე წყალსაშვი ნაგებობების, გეომეტრიული მოხაზულობა განაპირობებს ხარჯის კოეფიციენტს. ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით ფართოზღურბლიანი წყალსაშვი არის ორი სახის დაუტბორავი ანუ დაუძირავი და დატბორილი ანუ დაძირული ტიპის.

რადგან სადისერტაციო კვლევის მიზანია გავიანგარიშოთ ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების პროცესები და მიღებული შედეგები შევადაროთ პარქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადმოდინებული წყლის ნაკადის ჰიდრავლიკურ მახასიათებლებს არაპრიზმულ, არაცილინდრული ფორმის შემაურლებელ ნაგებობაში, შესაბამისად ამ კვლევის საფუძველზე წარმოვადგინოთ მთელი რიგი, როგორც ჰიდრავლიკური ანგარიში და მის საფუძველზე ფინანსურ-ეკონომიკური უპირატესობები პროექტით არსებულ წყალსაგდებ ნაგებობასთან შედარებით. აქედან გამომდინარე პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვი შედარებით რთული მოხაზულობის მქონე ნაგებობაა ვიდრე ფართოზღურბლიანი წყალსაშვი. ამიტომ ამ პირობის გათვალისწინებით ვირჩევთ მახვილწიბოიანი მოხაზილობის წყალსაშვს. [46, 47]

დაუტბორავ ანუ დაუძირავ წყალსაშვის ზღურბლზე წყლის ნაკადი რომელიც ხასიათდება თავისუფალი ზედაპირის Z' და Z'' ზედაპირების ორი ვარდნილით. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის პირველი ვარდნა გამოწვეულია ცოცხალი კვეთის შემცირებით ნაკადის შესასვლელ ადგილას, რაც თავის მხრივ იწვევს ნაკადის სიჩქარის გაზრდას და კინეტიკური ენერგიის გაზრდას პოტენციური ენერგიის ხარჯზე. სწორედ ეს ფიზიკური პროცესი განაპირობებს ნაკადის უდაწნეო წყნარი დინებისას ცოცხალი კვეთის შევიწყობის ადგილებში სითხის დონის დაცემას. მეორე ვარდნა ნაკადის Z'' . არის ზღურბლის ქვემოთ გამოსასვლელ კვეთთან.



ნახ. 3. დაუძირავი ფართობურბლიანი წყალსაშვი

ფართობურბლიანი წყალსაშვის ზღურბლზე დაწნევის სიგრძეზე დანაკარგის უგულვებელყოფა ხდება თუ კმაყოფილდება შემდეგი პირობა $(2 \div 4) H < \delta < (8 \div 10) H$ და შესაბამისად წყალსაშვის ზღურბლის ფარგლებში ზედაპირი შესაძლოა მივიჩნიოთ ჰორიზონტალურად თუ სრულდება შემდეგი პირობა $h_1 = h_2 = h = const$. 1-1 და 2-2 კვეთებს შორის. წყალსაშვზე ნაკადის მოძრაობა მდოვრედ ცვალებადია. ამ კვეთების მდებარეობა განისაზღვრება ემპირიული დამოკიდებულებით $\delta_1 \approx 2H = 2.28$ მ; $\delta_3 = 0 \div H = 1.1$ მ; $\delta_2 = 6.42$ მ; $\delta = 9.8$ მ; სადაც δ_1 არის მდოვრედ ცვალებადი უბნის მოძრაობის დასაწყისი δ_3 – დასასრული.

ბელანჟეს პოსტულატი. საანგარიშო H დაწნევისათვის მყარდება h სიღრმის ისეთი სიდიდე, რა შემთხვევაშიც წყალსაშვზე მიედინება ნაკადის მაქსიმალური ხარჯი. ნახაზი 3 გვიჩვენებს, რომ $0 < h < H_0$ მართლაც, როცა $h = 0$ -ს გამოსახულებიდან $Q = 0$ -ს; $h = H_0$ -ს, $Q = 0$ -ს მაშასადამე,

$$Q = bh\varphi\sqrt{2g(H_0 - h)} = f(h) \quad (2.1.1)$$

ფუნქციას $0 < h < H_0$ შუალედში აქვს მაქსიმუმი. საძიებელ h სიღრმეს ვპოულობ განტოლებიდან

$$\frac{\partial Q}{\partial h} = 0 \quad (2.1.2)$$

ანუ

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial h} &= \frac{d}{dh}(\varphi b h \sqrt{2g(H_0 - h)}) = \varphi b \sqrt{2g} \frac{d}{dh}(h \sqrt{H_0 - h}) = \\ &= \varphi b \sqrt{2g} \left(\sqrt{H_0 - h} - \frac{h}{2\sqrt{H_0 - h}} \right) = 0\end{aligned}\quad (2.1.3)$$

საიდანაც

$$\sqrt{H_0 - h} = \frac{h}{2\sqrt{H_0 - h}} \quad (2.1.4)$$

და

$$h = \frac{2}{3}H_0 \quad (2.1.5)$$

თუ h -ის ამ მნიშვნელობას შევიტანთ გამოსახულება 2.1.1-ში, ნაკადის ხარჯის გამოსაანგარიშებელ გამოსახულებას, წყლის ნაკადი რომელიც გადაედინება ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გამოისახება განტოლებით [48].

$$Q = \varphi b \cdot \frac{2}{3}H_0 \sqrt{2g \left(H_0 - \frac{2}{3}H_0 \right)} = \varphi \frac{2}{3\sqrt{3}} b H_0 \sqrt{2gH_0} \quad (2.1.6)$$

ანუ

$$Q = m b \sqrt{2gH_0^{\frac{3}{2}}} \quad (2.1.7)$$

სადაც

$$m = \varphi \frac{2}{3\sqrt{3}} = 0.385 \quad (2.1.8)$$

აქვე ყურადსაღებია ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის შესასვლელი უბნის და უშუალოდ ზღურბლის ნიშნულებს შოერის არსებული P_b სიმაღლე, რაც არსებით გავლენას ახდენს ნაკადის გადადინებაზე და m კოეფიციენტების მნიშვნელობაზე. თუ წყალსაგდები ნაგებობის კელის სიმაღლე $P_b = 0$ მაშინ ხარჯის m კოეფიციენტი იღებს და უტოლდება 0.385.

$$k = \frac{h}{H_0} = \frac{2}{3} \quad (2.1.9)$$

2.1.9 ფორმულიდან ვიღებთ h/H_0 ფარდობა, ბელანჟეს მიხედვით, მუდმივია და ის 2/3-ის ტოლია.

2.2 არხაშენის წყალსაცავის მონაცემებით ფართოზღურბლიანი წყალსაშვზე გადადინებული ნაკადის სიღრმის განსაზღვრა

არხაშენის ხეობა, სადაც პროექტით გავალისწინებულია განთავსდეს ადგილობრივი მასალის ქვანაყარი კაშხალი ჰიდროლოგიური რეჟიმი არ არის შესწავლილი, წყლის ბუნებრივი ჩამონადენი და მისი შიდა წლიური განაწილება გაანგარიშებულია იზოტაპებიანი რუკის მეშვეობით. საანგარიშო მაქსიმალური წყლის ხარჯი, რომელიც უნდა გაატაროს წყალსაგდებმა ნაგებობამ გამონგარიშებულია გ. დ. როსტომოვის მეთოდით, რომელისც ითვალისწინებს კოკისპირული წვიმებისა და გეო-მორფოლოგიურ მახასიათებლებს მდინარე არხაშენი-ხევის აუზის. მაქსიმალური წყლის ნაკადი მდინარე არხაშენი-ხევის კაშხლის განთავსების კვეთში გაანგარიშებულია ფორმულით.

$$Q = 16.67 \cdot a \cdot \beta \cdot \sigma \cdot \Omega \cdot \frac{H}{T} \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (2.2.1)$$

სადაც: a – წყლის ხარჯის კოეფიციენტი.

β – კოეფიციენტი ნალექის არათანაბარი განაწილების დროს.

Q – მაქსიმალური წყლის ხარჯი სხვადასხვა უზრუნველყოფის დროს.

Ω – მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობი.

H – მოსული საშუალო ნალექის რაოდენობა მმ.

T – კოკისპირული წვიმების ხანგრძლივობა (წთ).

$$Q = 16.67 \cdot 0.39 \cdot 0.63 \cdot 80 \cdot 0.285 = 93.39 \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

შესაბამისად მაქსიმალური კატასტროფული წყლის ხარჯი არხაშენის

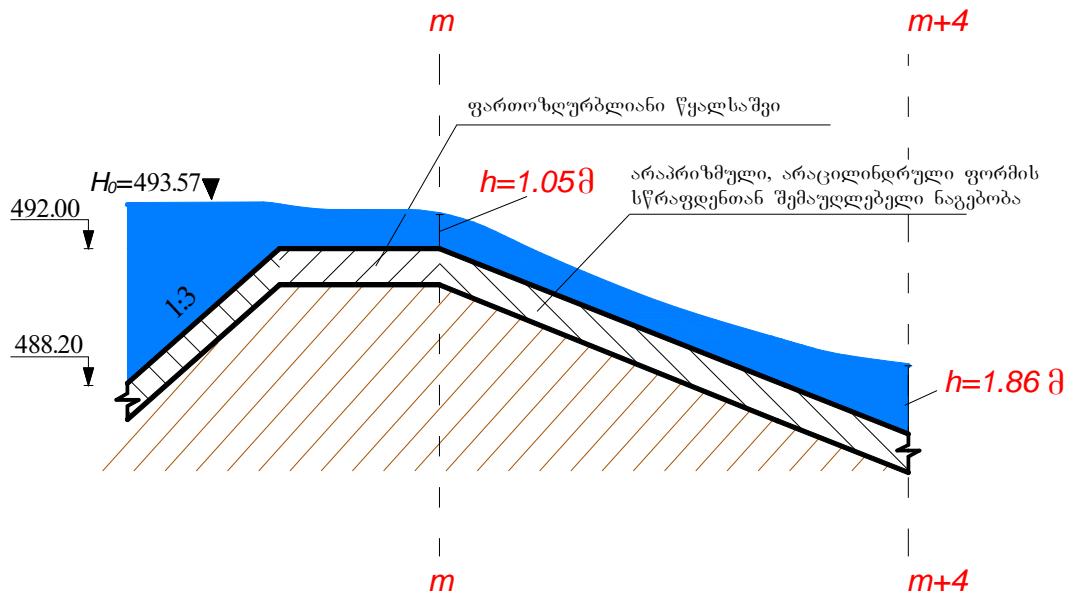
წყალსაცავისთვის შეადგენს მიახლოებით 95 მ³/წმ. ცხრილი 2. მოცემულია სხვადასხვა საანგარიშო მაქსიმალური წყლის ხარჯის უზრუნველყოფა.

ცხრილი 2.

სხვადასხვა საანგარიშო მაქსიმალური წყლის ხარჯის უზრუნველყოფა.

უზრუნველყოფა, %	0.5	1.0	3.0	5.0	10.0
წყლის საანგარიშო მაქსიმალური ხარჯი,	135.0	95.0	74.0	65.0	50.0

გლობლური დათბობის პირობების გათვალისწინებითა და მსოფლიო ბანკის რეკომენდაციის საფუძველზე საინვესტიციო პროექტის წყალსაგდებ ნაგებობას შეეცვალა კლასი, რამაც გამოიწვია უზრუნველყოფის გაზრდა და შესაბამისად წყლის კატასტროფული ხარჯის მნიშვნელობა გადაანგარიშებათა საფუძველზე გახდა ახარშენის წყალსაცავის კაშხლის განთავსების კვეთში 95 მ³/წმ-ის ნაცვლად გახდა 135 მ³/წმ.



ნახ. 4. ფართოზღურბლიან წყალსაშვიზე გადადინებული წყლის

ნაკადი $Q = 135$ მ³/წმ

რადგან ჩვენთვის ცნობილია ახარშენის წყალსაცავში წყალსაგდები ნაგებობის განთავსების კვეთში წყლის მაქსიმალური, კატასტროფული

ხარჯი, რომელიც უნდა გაატაროს წყალსაგდებმა ნაგებობამ, კვლევის მიზნით საჭიროა განვსაზღვროთ ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიდან გადადინებული წყლის სიმაღლე 135 მ³/წმ-ში კატასტროფული წყლის ხარჯის დროს თავი 2.1-ში მოცემული 2.1.5, 2.1.7, ფორმულების გამოყენებით

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{3/2}$$

$$135 = 0.385 \cdot 40\sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot H_0^{3/2}$$

$$H_0 = 1.57 \text{ მ}$$

$$h = \frac{2}{3}H_0$$

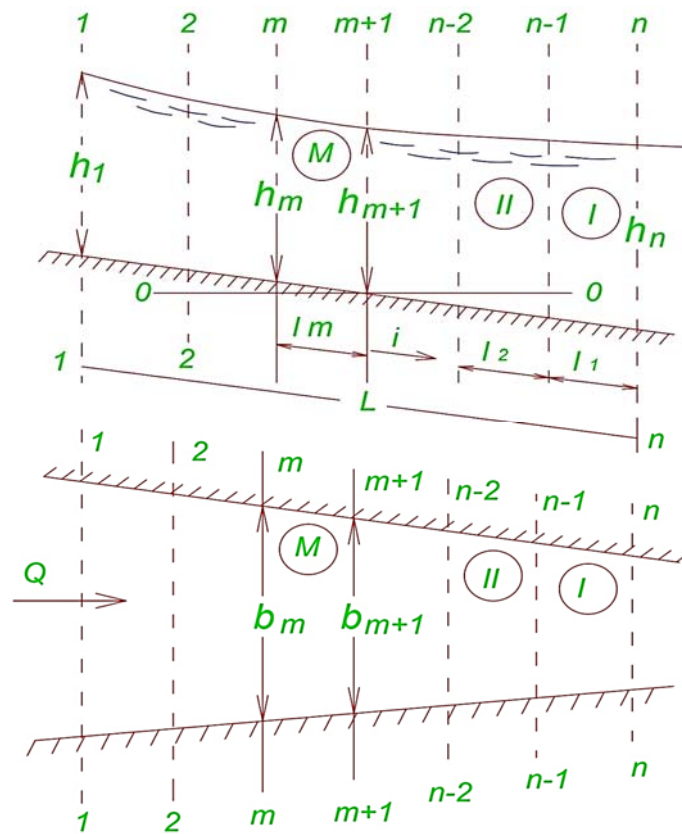
$$h = \frac{2}{3} \cdot 1.57 = 1.05 \text{ მ}$$

წყალსაშვის გეომეტრიული მოხაზულობის, საანგარიშო სქემისა და შესაბამისი ფორმულების გამოყენებით განისაზღვრა ფართოზღურბლიან წყალსაშვზე გადადინებული წყლი ნაკადის სიმაღლე $Q = 135$ მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის ფართოზღურბლიან წყალსაშვთან შეუღლების, შეერთების $m - m$ კვეთში, ნაკადის სიღრმე შეადგენს $h = 1.05$ მ.

2.3 თავისუფალი ზედაპირის მრუდის აგება ბერნულის განტოლებით (ჩარნომსკი-ხესტედეს მეთოდი).

ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკურ კვლევაში საჭიროა განვიხილოთ არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის ღია კალაპოტში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მრუდი აგების თეორია, რომელიც ეფუძნება ჩარნომსკის-ხესტედეს მეთოდს. განვიხილოთ არაპრიზმული, არაცილინდრული არხი, რომელიც სიგრძეზე ვიწროვდება ან ფართოვდება თანაბრად, შესაბამისად მისი განიკვეთის ფართობი ყველა კვეთში განიცდის ცვლილებას. ნახ.5.

მოცემულ შემთხვევაში არათანაბარი მოძრაობის მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლება, ვრცელდება მთლიანობაში არაცილინდრულ კალაპოტზე. ამ სახით, ეს განტოლება გვაძლევს შესაძლებლობას ნაკადის სიღრმე dh განისაზღვროს ელემენტარულ ds სიგრძეზე, მაგრამ დიფერენციალური განტოლება არათანაბარი მოძრაობის,



ნახ. 5. არაპრიზმული, არა ცილინდრული კალაპოტი

აისახება რთული დამოკიდებულებით და ასეთი დიფერენციალური განტოლება საერთო შემთხვევაში მიახლოებითაც არ ინტეგრირდება.

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} \left(1 - \frac{a C^2 R}{g \omega} \frac{\partial \omega}{\partial s} \right)}{1 - \frac{a Q^2 B}{g \omega^3}} \quad (2.3.1)$$

შესაბამისად ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მრუდის აგება არაცილინდრული, არაპრიზმული არხში დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან. წინასწარ არ არის ცნობილი თუ როგორი ფორმა შეიძლება ქონდეს ნაკადს არაპრიზმულ კალაპოტში.

ამ სიტუაციის გათვალისწინებით, ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის ასაგებად არაპრიზმული კალაპოტის შემთხვევაში გამოვიყენოთ ბერნულის განტოლება, დავყოთ მოცემული არაპრიზმული არხი მონაკვეთებად. გვექნება არხის კალაპოტი, წყლის ხარჯი Q და წყლის სიღრმე h_n , არხის ბოლო $n - n$ კვეთში. [49]

არაპრიზმულ არხში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის AB მრუდის ასაგებად არაცილინდრული არხის მთელიან სიგრძე იყოფა ინდივიდუალურ ნაწილებად, შედარებით მოკლე l სიგრძის მონაკვეთებად. მოცემული l სიგრძის მოკლე მონაკვეთები განვიხილოთ ცალ-ცალკე ყველა კვეთისათვის. პირველად ვანგარიშობთ არაპრიზმული არხის I უბანი, შემდგომ II და ასე შემდეგ საწყის კვეთამდე. ანგარიში ყველა გამოყოფილ არაპრიამული კალაპოტის უბანზე მაგალოთად M უბანზე მოიცავს სიღრმის განსაზღვრას ნაკადის h_m უბნის დასაწყისში (ცნობილი სიდიდეების l_m და h_{m+1}). გაანგარიშების ასეთი მსვლელობით, შეიძლება შემდგომი მიმდევრობით განისაზღვროს სიღრმე მოსაზღვრე კვეთებს შორის $(n - 1), (n - 2), \dots, \dots, (2), (1)$, და შემდეგ ამ სიღრმეების განივ კვეთში განვსაზღვროთ, შესაძლებელი იქნება აიგოს არაპრიამული, არაცილინდრული ფორმის არხში AB ნაკადის თავისუფალის ზედაპირის მრუდი.

განვიხილოთ ნახ. 5-ზე წარმოდგენილ არაპრიზმული არაცილინდრული ფორმის არხზე აღნიშნული M უბნის საანგარიშო სქემა, რომელიც შემოფარგლულია m და $(m + 1)$ კვეთებს შორის. გავატაროთ $O - O$ საფარდი სიბრტყე $(m + 1)$ კვეთის უმდაბლეს წერტილზე და ანგარიში წარვმართოთ ბერნულის განტოლების გამოყენებით.

$$h_m + il_m + \frac{av_m^2}{2g} = h_{m+1} + \frac{av_{m+1}^2}{2g} + h_{დაბ} \quad (2.3.2)$$

სადაც il_m – არაპრიზმული კალაპოტის ძირის ქანობი m კვეთიდან $m + 1$ კვეთამდე.

v_m და v_{m+1} – საშუალო სიჩქარეები შესაბამის კვეთებში;

$h_{დაბ}$ – განსახილველ კვეთებს შორის დაწნევის დანაკარგი;

აგრეთვე ცნობილია ხახუნის დანაკარგის კოეფიციენტი მნიშვნელობა

$$i_f = \frac{v^2}{C^2 R} \quad (2.3.3)$$

ამ სიდიდის გამოყენებით, დაწნევის დანაკარგი

$$\Delta h_l = i_f l_m \quad (2.3.4)$$

სადაც \bar{i}_f – ქანობის საშუალო მნიშვნელობა l_m სიგრძეზე.

2.3.3 დამოკიდებულების გამოყენებით ბერნულის განტოლება 2.3.2 მიიღებს ასეთ სახეს

$$l_m = \frac{\exists_{m+1} - \exists_m}{i - i_{ხახ.საშ.}} \quad (2.3.5)$$

გამოსახულება არის ძირითადი საანგარიშო განტოლება სადაც \exists_m და \exists_{m+1} არის კვეთის კუთრი ენერჯის მნიშვნელობები, შესაბამისად m და $m + 1$ კვეთებისათვის

$$\exists_m = h_m + \frac{a_m^2}{2g} \quad (2.3.6)$$

$$\exists_{m+1} = h_{m+1} + \frac{a_{m+1}^2}{2g} \quad (2.3.7)$$

სიდიდე \bar{i}_f , შედის 2.3.5 განტოლებაში, შეიძლება მდებარეობდეს ერთიანი შემდეგი ფორმულა

$$\bar{i}_f = \frac{1}{2} (i_{f_m} + i_{f_{m+1}}) \quad (2.3.8)$$

სადაც, i_{f_m} და $i_{f_{m+1}}$ – ხახუნის ქანობი, მოძებნილი კვეთი m და $m + 1$, რომელ ადგილებში სიღრმეა h_m და h_{m+1} ;

$$\bar{i}_f = \frac{\overline{v^2}}{C^2 \bar{R}} \quad (2.3.9)$$

\bar{v} , \bar{C} , \bar{R} – ცნობილი ჰიდრავლიკური ელემენტები, ნაპოვნია არაერთი (საშუალო) კვეთისთვის, განლაგებული კვეთებს შორის m და $m + 1$, და არაერთი საშუალო სიღრმისთვის, ტოლია მაგალითად

$$\bar{h} = \frac{1}{2}(h_m + h_{m+1}) \quad (2.3.10)$$

განტოლება 2.3.5 არის ძირითადი საანგარიშო განტოლება.

ჰორიზონტალური კალაპოტის შემთხვევაში განტოლება 2.3.5 იცვლება $i = 0$; უკუქანობის შემთხვევაში $i = -i'$; სადაც i' – ქანობის აბსოლუტური სიდიდე.

თუ კი იქნება ჩვენთვის ცნობილი h_1 სიღრმე არაცილინდრული კალაპოტის დასაწყისში ანგარიში იწარმოებს განტოლებით 2.3.5, ქვემო კვეთებისთვის. ამავდროულად ამ განტოლებით ვპოულობთ h_{m+1} , ვიცით სიღრმე h_m და განხილული უბნის l_m სიგრძე.

ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის ასაგებად არაცილინდრული არხის განტოლება 2.3.5 მაგალითია ამ ან სხვა განსახილველი ნაწილების ამოსახსნელად. ამისათვის წარმოვადგინოთ შემდეგი მიმოხილვა. გვანტერესებს მითითებულ განყოფილებაში m რიგის სიღრმეები: $h_{m_1}; h_{m_2}; h_{m_3}; \dots, h_{m_i}; \dots$ და ყველა ასეთი სიღრმე გამოიანგარიშება \exists_m და i_f სიდიდეებით. შედეგები მოძებნილი ამ სიდიდეების სიღრმეების h_m რომლებიც იქნება შესაბამისი საძიებელი კვეთების [50, 51, 52, 53].

ცილინდრული არხისთვის შეიძლება განვიხილოთ როგორც არაცილინდრულის შემთხვევა, ანგარიში შეიძლება შესრულდეს და აიგოს ნაკადის თავისუფალი ზედაპირი წირი ნებისმიერ ცილინდრულ კალაპოტში. ამ შემთხვევაში განტოლება 2.3.5 გადაწყდება შეჩვევის გარეშე.

გვანტერესებს h სიდიდის მნიშვნელობა (მიახლოებით $\Delta h = h_{m+1} - h_m = 0.1$ ან 0.2 მ) და ვიპოოთ შესაბამისი l სიგრძე.

ა) $\exists = f(h)$, რომელიც განსაზღვრავს \exists სიდიდის მნიშვნელობას სხვადასხვა სიღრმეზე.

ბ) $(i - \bar{i}_f) = f(\bar{h})$, რომლის დახმარებით, დადგენილი სიღრმის მიხედვით შეიძლება ვიპოვოთ \bar{h} სიღრმე $(i - \bar{i}_f)$.

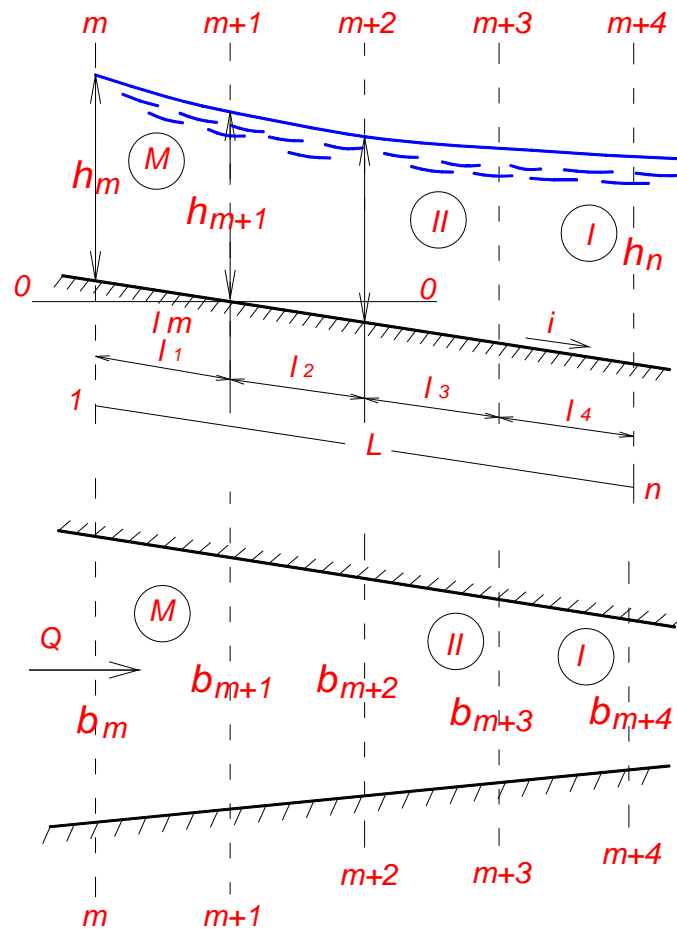
2.4. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების თეორიული კვლევის შედეგები არხაშენის წყალსაცავის მონაცემებით

წყალსაგდებ ნაგებობას მოეთხოვება უპრობლემოდ გაატაროს ზემო ბიეფიდან ქვემო ბიეფში წყალდიდობის პერიოდში მოსული კატასტროფული წყლის ხარჯი და პრობლემა არ შეუქმნას ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ნორმალურ ექსპლუატაციას. თუ პროექტით არსებული პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის ჩანაცვლება მოხდება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვები ნაგებობის გამოყენებით, მაშინ პროექტი განიცდის ეკონომიკური თვალსაზრისით საგრძნობ ცვლილებას, რაც აისახება დანახარჯების შემცირებაში, ასევე საჭიროა ჰიდრავლიკური კუთხით იქნეს პროექტი გაანგარიშებული, რისთვისაც ნაშრომში წარმოდგენილია წყალსაგდები ნაგებობის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება, რომელიც ემყარება სახელოვანი მეცნიერების კვლების საფუძველზე მიღებულ თეორიებსა და ფორმულებს.

ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის სწრაფდენთან შეუღლება შესაძლებელია სხვადასხვა ფორმისა და გეომეტრიული მოხაზულობის მქონე ნაგებობის გამოყენებით, მაგრამ მშენებლობაში აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს პროექტის ფიზიკურ-ეკონომიკური მახასიათებელი, რაც განაპირობებს ნაგებობის, როგორც კონსტრუქციულ, ასევე ფინანსურ გამართულობას [54].

გარდაბნის მუნიციპალიტეტში, არხაშენი-ხევის კალაპოტში პროექტითაა გათვალისწინებული კაშხლის მშენებლობა სიმაღლით 35.2 მ. კაშხალი უნდა აშენდეს ადგილობრივი მასალისაგან. პროექტი შესრულებულია საპროექტო ინსტიტუტის მიერ 2014 წელს, ბელარუსის რესპუბლიკაში (ინსტიტუტის მთავარი ინჟინერი И. И. Копуштинекий). პროექტში გათვალისწინებულია პრაქტიკულის პროფილის წყალსაშვის და მასთან ერთად არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის

სწრაფდენთან შემაუღლებელი ნაგებობის მშენებლობა. პროექტით პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვი უნდა განთავსდეს ზღვის დონიდან 489.00 ნიშნულზე, ხოლო წყალსაშვის ქიმის ნიშნულად განსაზღვრულია 492.00 ნიშნული. პრაქტიკული პროფილის რთული გეომეტრიული მოხაზულობისა და შესაბამისად მისი სიმაღლის გათვალისწინებით უპრიანი იქნება მოხდეს პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის ჩანაცვლება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით, რაც შეამცირებს ბეტონისა და მიწის სამუშაოებს, უფრო მარტივად მოხდება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის მშენებლობა, შესაბამისად საჭიროა თავიდან გაანგარიშდეს და გაანგარიშებათა საფუძველზე არაპრიზმულ, არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენთან შემაუღლებელი ნაგებობაში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირსი აგება.

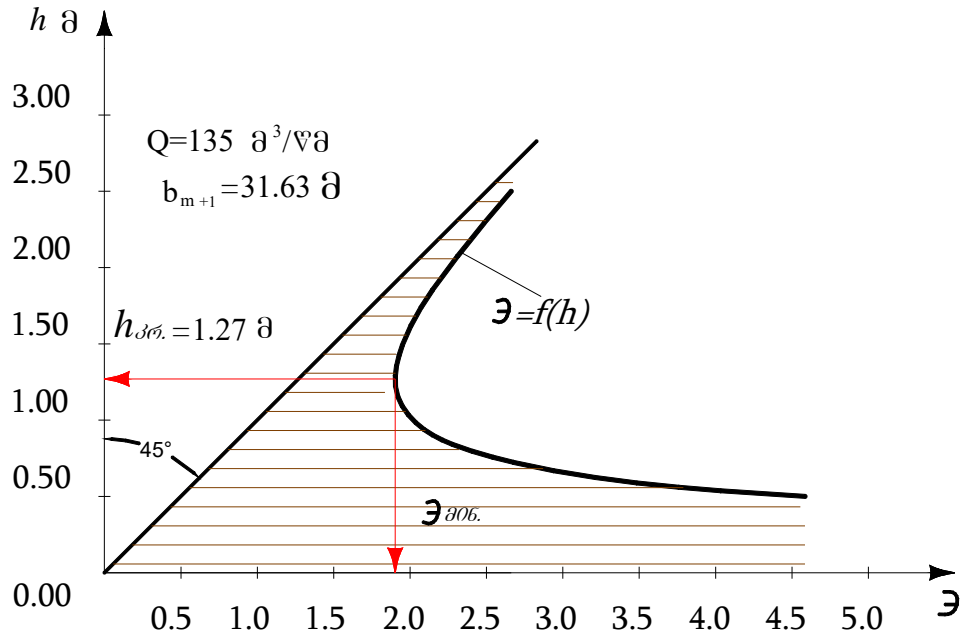


ნახ. 6. არაპრიზმული, არაცილინდრული კალაპოტის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის საანგარიშო სქემა

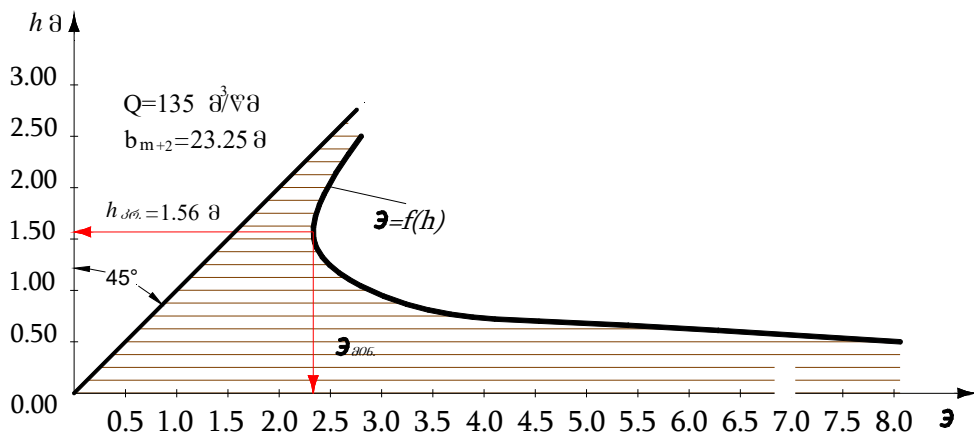
არაპრიზმული სწრაფდენტან შემაულლებელი ნაგებობის გეომეტრიული ზომების გათვალისწინებით შესაძლებელია გავიანგარიშოთ ჩარნომსკი-ხესტედეს მეთოდის გამოყენებით, რომელიც ეფუძნება ბერნულის განტოლებას ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულები სხვადასხვა არაპრიზმული არხის სხვადასხვა კვეთში ნახ. 6 განვიხილოთ l_m სიგრძის M უბანი, რომელიც მდებარეობს m და $m + 1$ კვეთებს შორის. გავიანგარიშოთ ცვლადი i ქანობის დროს l_m სიგრძისა და h_m მონაკვეთის გათვალისწინებით ნაკადის h_{m+1} სიღრმე. საჭიროა $m + 1$ კვეთში განსახილველი უბნის უმდაბლეს წერტილზე გავატაროთ $0 - 0$ შესაფარდებელი სიბრტყე. დავწეროთ ბერნულის განტოლება m და $m + 1$ კვეთებისათვის, რის საფუძველზეც შესაძლებელ იქნება არაპრიზმული სწრაფდენტან შემაულლებელი ნაგებობის სხვადასხვა კვეთში განვსაზღვროთ ნაკადის სიღრმე.

2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5. ფორმულებისა და ჩარნომსკი-ხესტედე მეთოდის გათვალისწინებით შესაძლებელია. არხაშენის წყალსაცავის მონაცემებით ჩარნომსკი-ხესტედეს მეთოდის გამოყენებით გავიანგარიშოთ არაპრიზმულ არხში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის ნიშნულები. არხაშენის წყალსაცავში კატასტროფული წყლის ხარჯი ტოლია $135 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ში. პროექტით გათვალისწინებული არაცილინდრული არხის სიგრძე შეადგენს 40 მეტრს, ხოლო მისი სიგანე საწყის კვეთში, სადაც ის უერთდება ფართოზღურბლიან წყალსაშვს შეადგენს 40 მ, სწრაფდენტან შერთების კვეთში სწორკუთხა არაპრიზმული არხის ფუძის სიგანე არის 6.5 მ

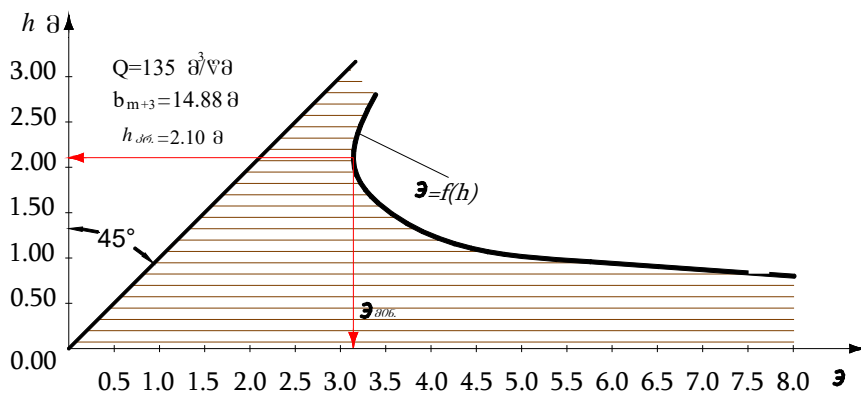
დასახული ამოცანის წარმატებით გადაჭრის და არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის სწრაფდენტან შემაულლებელ ნაგებობაში ავაგოთ ნაკადის კუთრი ენერჯის მრუდები $m + 1, m + 2, m + 3, m + 4$ კვეთებისათვის $135 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ წყლის ხარჯის დროს, როდესაც არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის სწორკუთხა სწრაფდენტან შემაულლებელი ნაგებობის ფუძის სიგანე სწრაფდენტან შეუღლების კვეთში ტოლია 6.5 მეტრის.



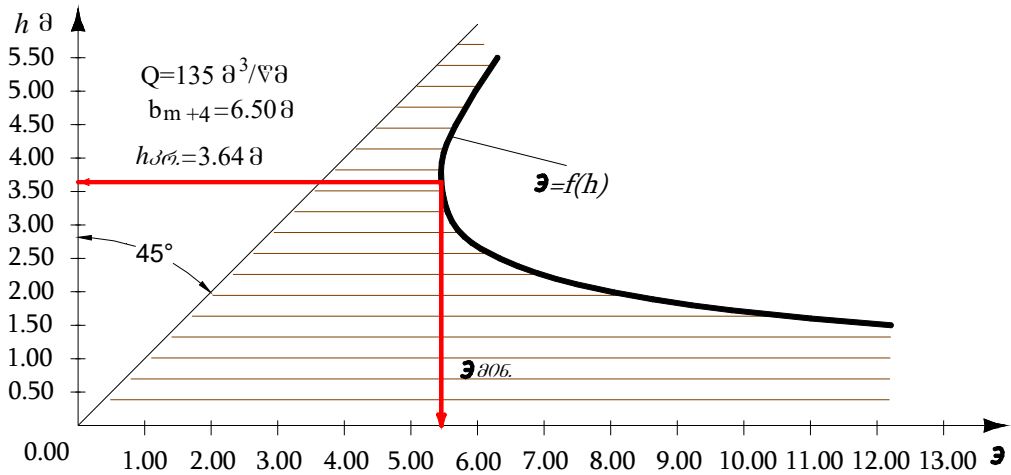
ნახ.7. ენერჯის მრუდი 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+1} კვეთში



ნახ. 8. ენერჯის მრუდი 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+2} კვეთში



ნახ. 9. ენერჯის მრუდი 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+3} კვეთში



ნახ. 10. ენერჯის მრუდი 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს b_{m+4} კვეთში

ანგარიში ვაწარმოოთ ჩარნომსკი-ხესტედეს მეთოდის გამოყენებით. განვსაზღვროთ 40 მეტრის სიგრძის არპრიზმული, სწორკუთხა არხის ყოველი $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 10$ მ სიგრძით დაშორებულ კვეთებში 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის შესაბამისი სიღრმეები და ავაგოთ ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი. მიღებული შედეგები წამოდგენილია ცხრილი 1-ში.

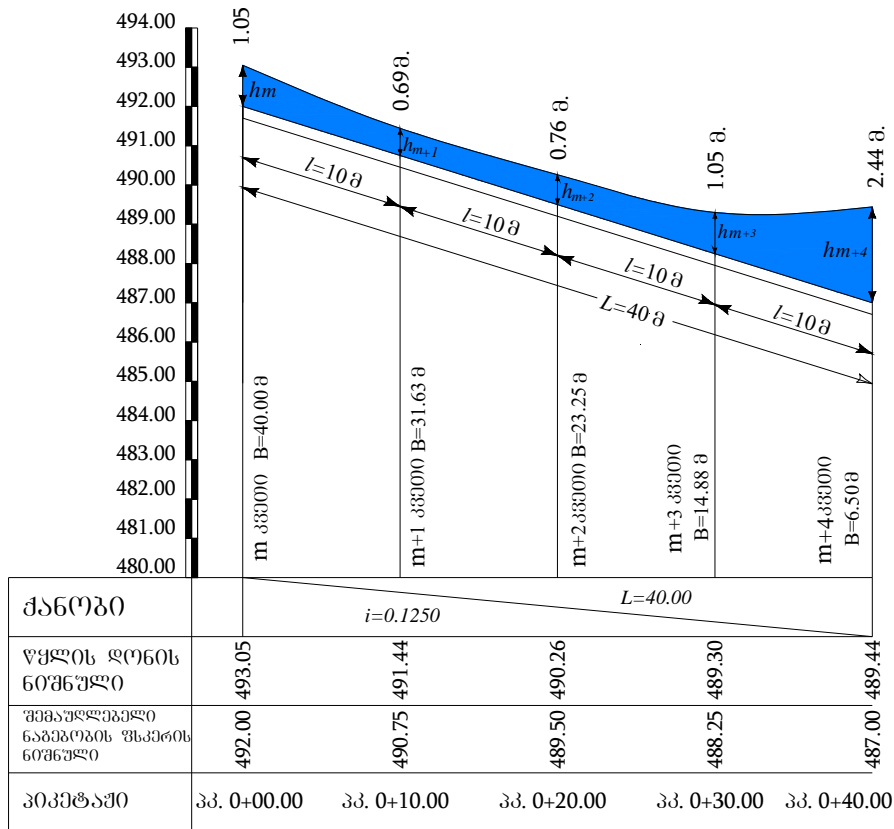
ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების თეორიული გაანგარიშების ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის აგება ბერნულის განტოლებით ჩარნომსკი-ხესტედეს მეთოდის გამოყენების შედეგად დადგინდა არაპრიზმული ღარის სხვადასხვა კვეთში ნაკადის შრის სიმაღლეები.

ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემების გამოყენებით შესაძლებელია აიგოს 40 მეტრის სიგრძის ზრპრიზმული, სწორკუთხა არხის ყოველი $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 10$ მ სიგრძით დაშორებულ კვეთებში 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის შესაბამისი სიღრმეები და ავაგოთ ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი.

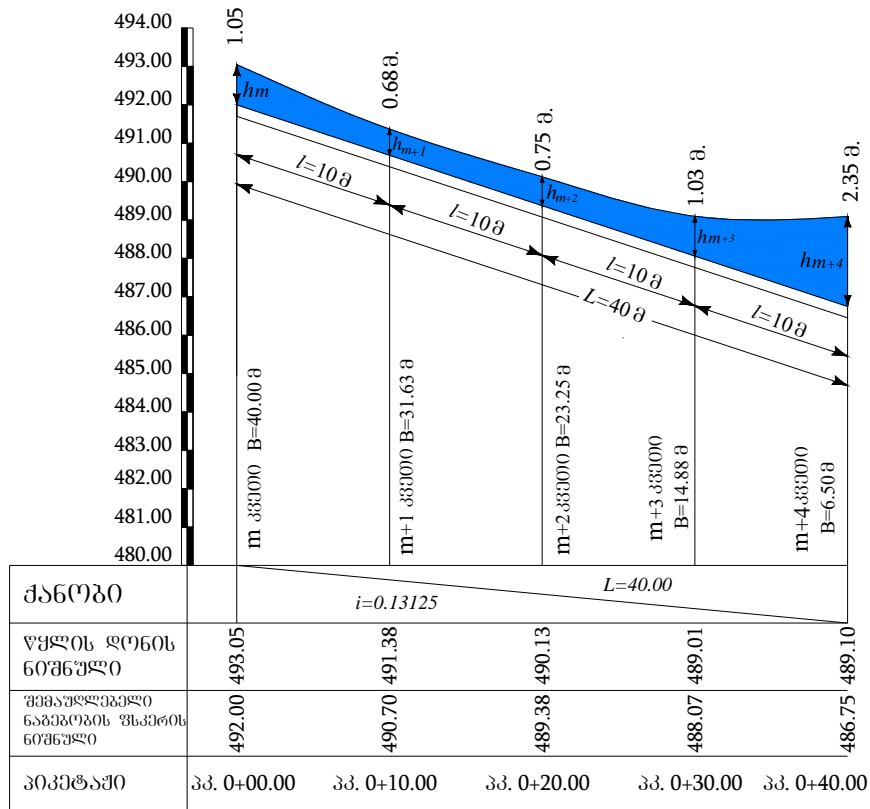
ნაგებობის სხვადასხვა ქანობის დროს და აიგო ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირების შესაბამისი გრაფიკები არაპრიზმული, არაცილინდრული, ფორმის შემაუღლებელ ნაგებობაში.

ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის ნიშნულები

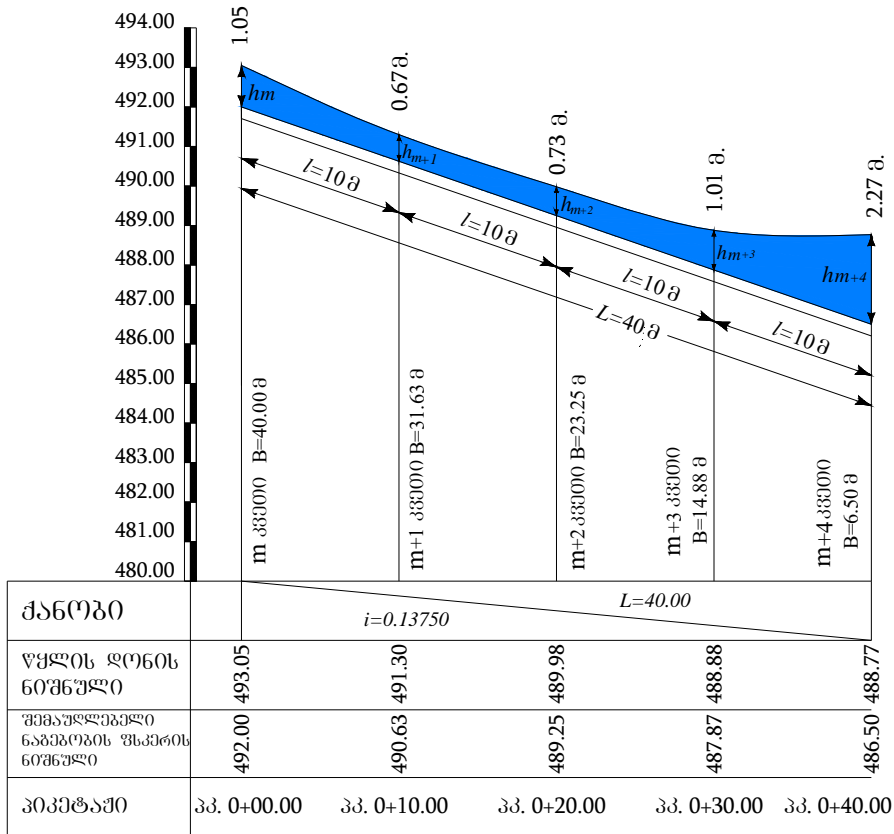
ნაკადის სიმაღლე კვეთში მ.	არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის კვეთი				
	m	$m+1$	$m + 2$	$m + 3$	$m + 4$
ქანობი	$i = 0.125$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.69	0.76	1.05	2.44
ქანობი	$i = 0.13125$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.679	0.748	1.029	2.35
ქანობი	$i = 0.1375$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.668	0.734	1.006	2.269
ქანობი	$i = 0.14375$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.658	0.721	0.986	2.198
ქანობი	$i = 0.150$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.649	0.708	0.965	2.135
ქანობი	$i = 0.1562$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.640	0.697	0.948	2.078
ქანობი	$i = 0.1625$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.63	0.685	0.930	2.027
ქანობი	$i = 0.1688$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.623	0.675	0.914	1.979
ქანობი	$i = 0.1750$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.615	0.664	0.898	1.94
ქანობი	$i = 0.18125$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.607	0.559	0.884	1.896
ქანობი	$i = 0.1875$				
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.6	0.646	0.87	1.86



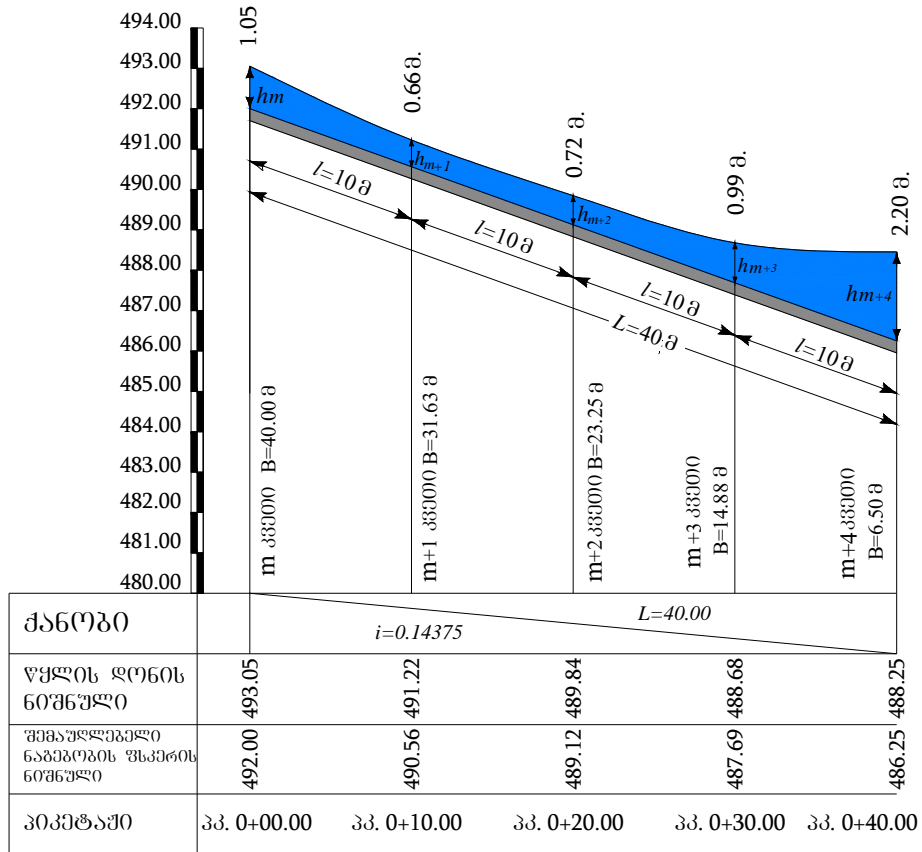
ნახ. 11. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არაცილინდრული არხის $i = 0.1250$ ქანობის დროს



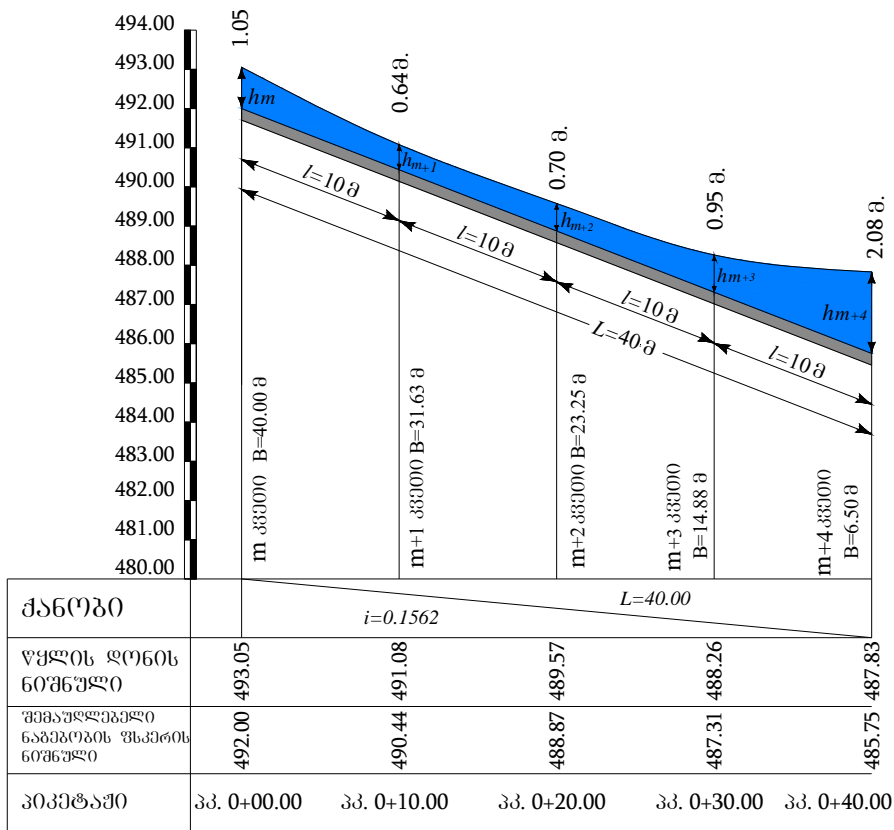
ნახ. 12. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.13125$



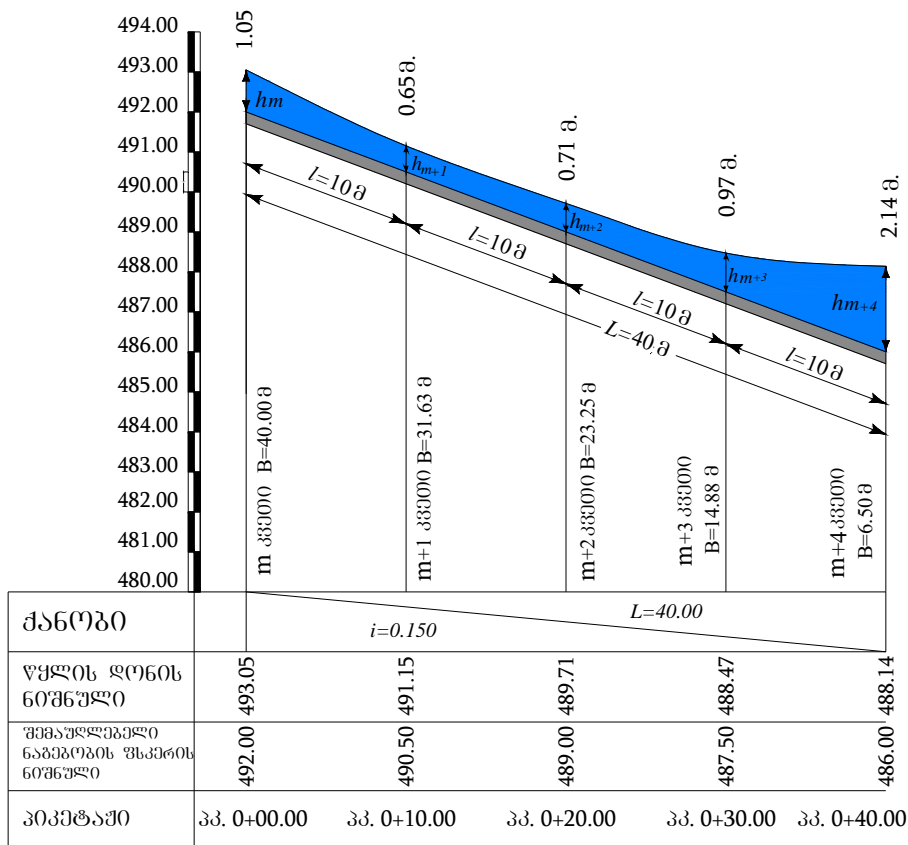
ნახ.13. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.13750$



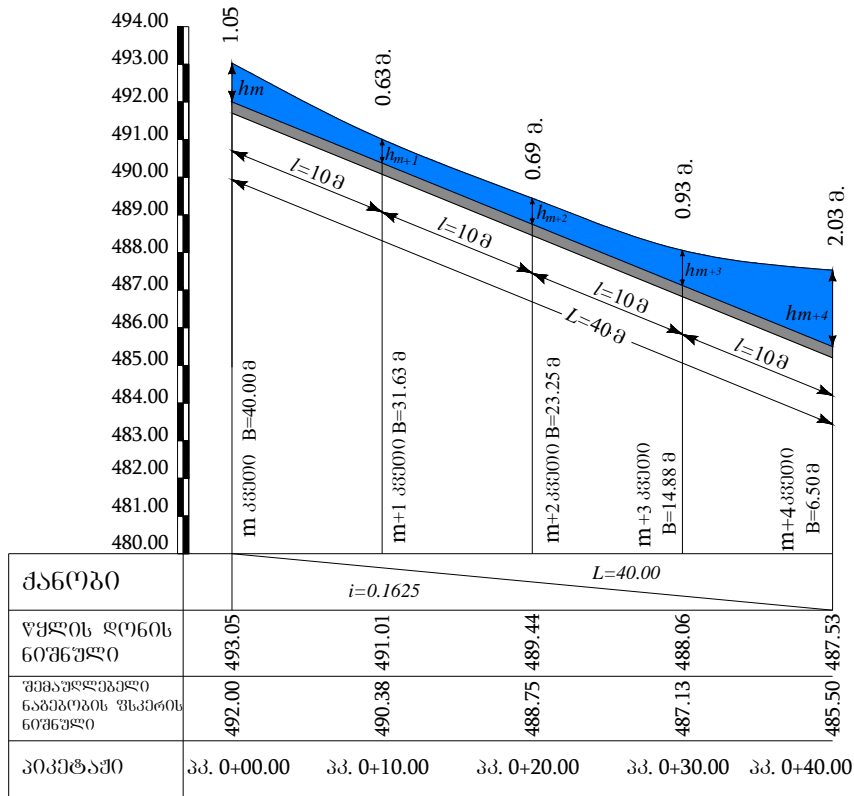
ნახ. 14. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.14375$



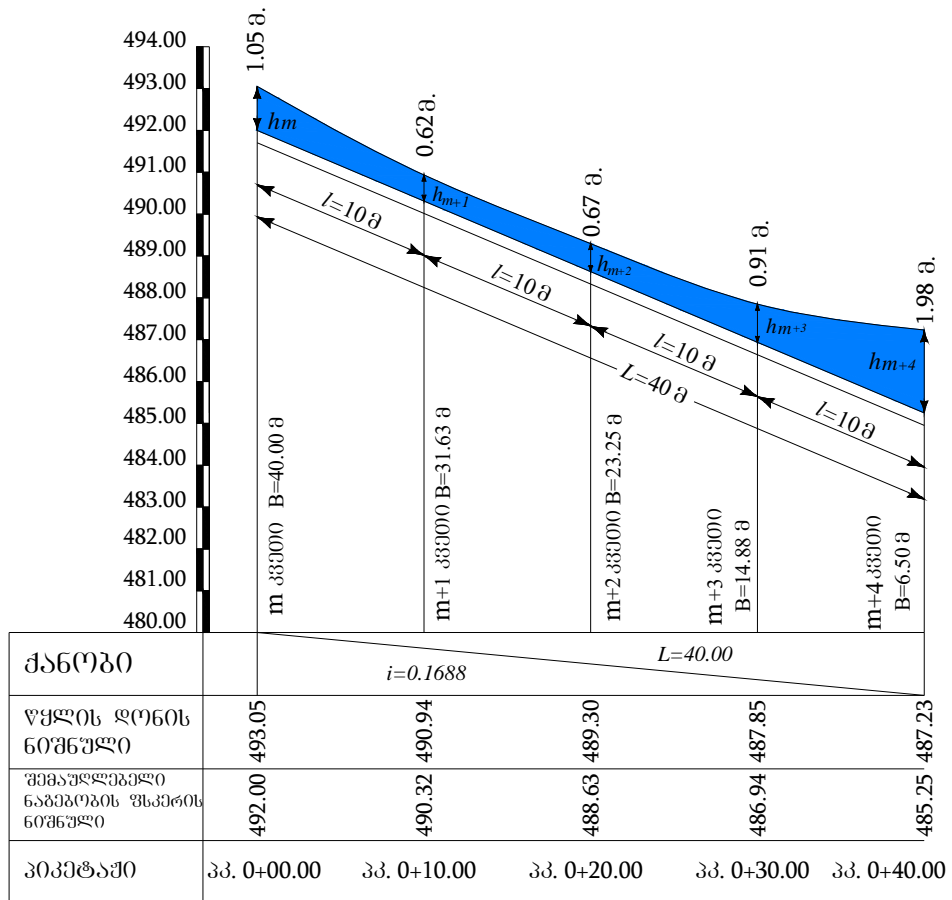
ნახ.15. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1562$



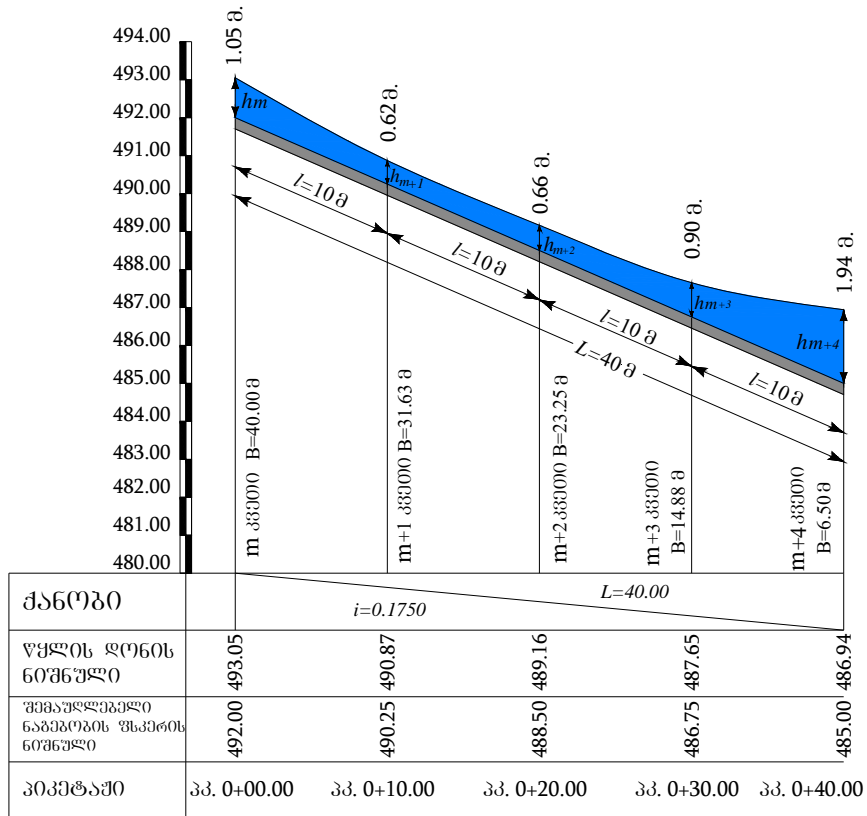
ნახ. 16. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.150$



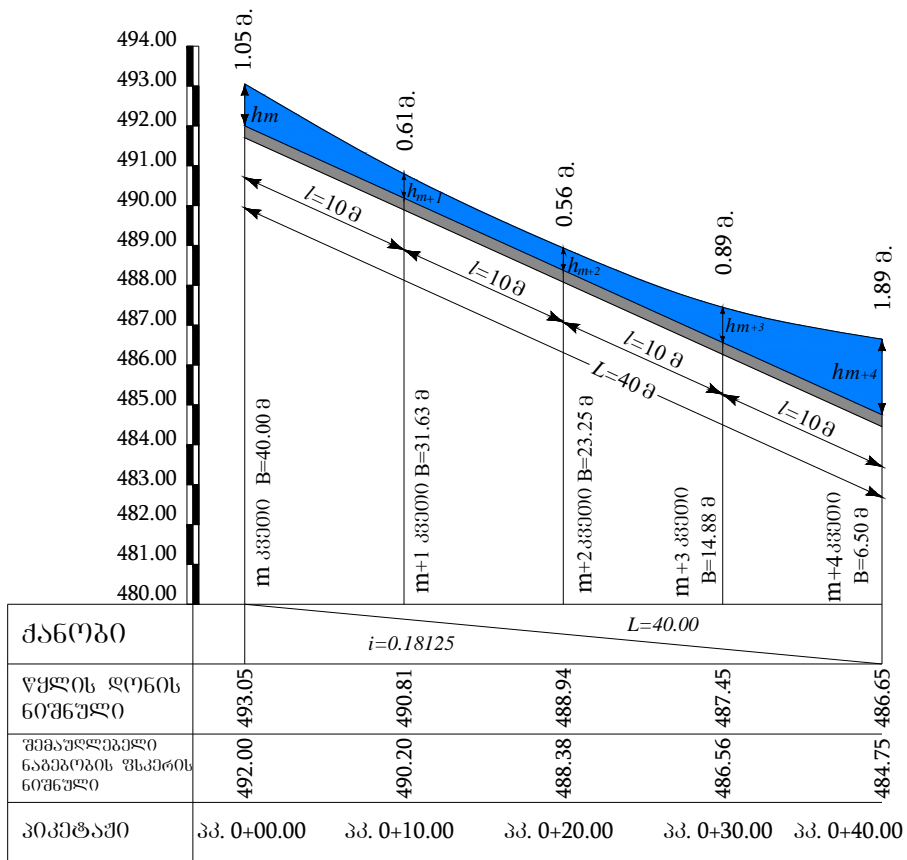
ნახ. 17. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1625$



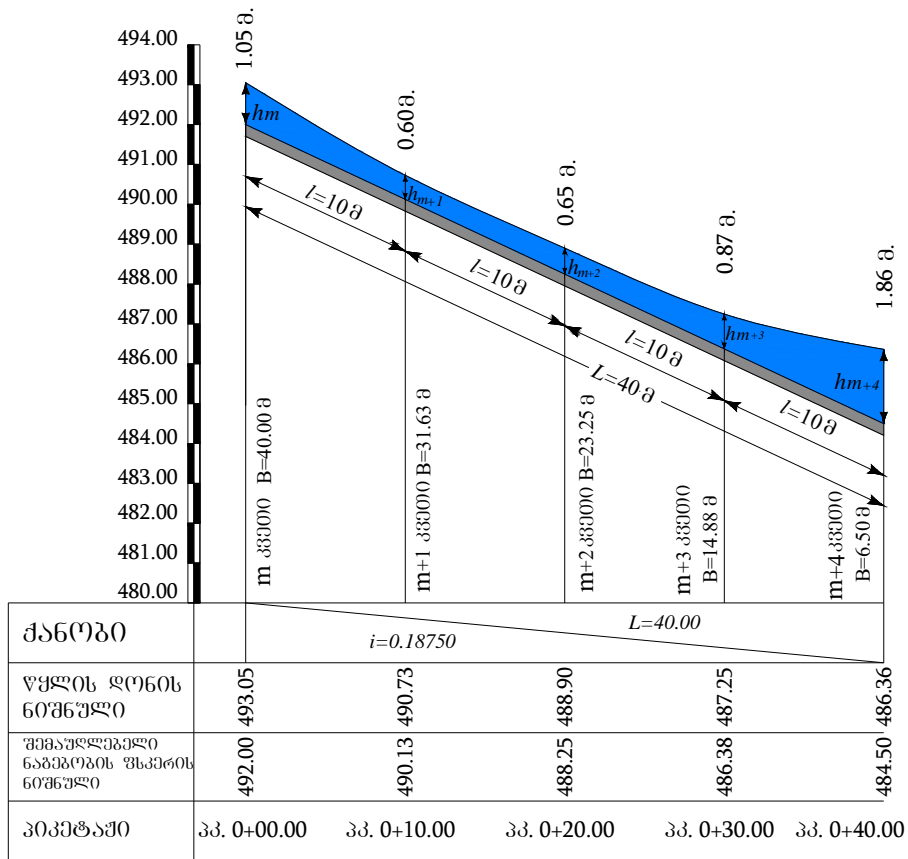
ნახ. 18. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1688$



ნახ. 19. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1750$



ნახ. 20. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1750$



ნახ. 21. თავისუფალი ზედაპირის წირი, არაპრიზმული არხი $i = 0.1875$

თეორიული კვლევის საფუძველზე ჩატარებული ანგარიში ცხადყოფს, რომ მნიშვნელოვანია ღარის i ქანობის გავლენა გასატარებელი ნაკადის წყლის ხარჯის თავისუფალი ზედაპირის წირის ნიშნულებზე. თეორიული კვლევა გვიჩვენებს გასატარებელი ნაკადის წყლის ხარჯის თავისუფალი ზედაპირის წირის ნიშნულებზე არაცილინდრული არხის გეომეტრიული ზომების გავლენას. მოცემილი კვლევიდან გამომდინარე მიღებული გაანგარიშება შესაძლებელია შევადაროთ პროექტით არსებულ წყალსაგდებ ნაგებობის ანგარიშთან და განისაზვროს ჰიდრაულიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიდან გადმოდინებული წყლის ხარჯის ჰიდრაულიკური მახასიათებლების უპირატესობა პროექტით არსებულ ნაგებობასთან [55, 56, 57].

კვლევის სიღრმისეული ანალიზისათვის დამატებით გაანგარიშება მოცემული $i = 0.1875$ ქანობისათვის ვაწარმოე, ჩერტოუსოვის მეთოდით [9].

$$Q = K'\sqrt{i} \quad (2.4.1)$$

სადაც Q – არის ნაკადის ხარჯი.

i – არაპრიზმული არხის ქანობი.

2.4.1 ფორმულის გამოყენებით დავწეროთ დამოკიდებულება 2.4.4 ფორმულის სახით.

$$i_f = i \frac{K'^2}{K^2} \quad (2.4.2)$$

სადაც K – არის ხარჯის მოდული მოცემულ კვეთში

გავითვალისწინოთ ნაკადის ფარდობითი სიჩქარის მოდული κ , განისაზღვრება დამოკიდებულება:

$$\kappa = \frac{K}{K'} \quad (2.4.3)$$

მაშინ 4.4.2 გამოსახულებას მივიღებთ შემდეგი სახით

$$i_f = \frac{i}{\kappa^2} \quad (2.4.3)$$

ამ დამოკიდებულების მხედველობაში მიღებით, ჩავწეროთ განტოლება $d\Theta/ds = i - i_f$ შემდეგი სახით

$$\frac{d\Theta}{ds} = i \frac{\kappa^2 - 1}{\kappa^2} \quad (2.4.4)$$

როგორც ხედავთ არაპრიზმული არხის შემთხვევაში მივიღებთ ასეთ განტოლებას, κ სიდიდე 2.4.4 განტოლებაში მიიღებს განსხვავებულ მნიშვნელობას.

მივიღოთ κ სიდიდე დამოუკიდებელი ცვლადისთვის და დავუშვათ, რომ წარმოებულის მნიშვნელობა $d\kappa/d\Theta$ მუდმივია ნაკადის განსახილველ კვეთში და უდრის მის საშუალო მნიშვნელობას

$$\frac{d\kappa}{d\Theta} = \frac{\kappa_2 - \kappa_1}{\Theta_2 - \Theta_1} = \bar{\kappa} = const, \quad (2.4.5)$$

სადაც ინდექსები "1" და "2" აღნიშნული სიდიდეები აღნიშნავს სასაზღვრო კვეთებს.

მაშინ განტოლება 2.4.4 შეიძლება წარმოდგინდეს შემდეგი სახით:

$$\bar{a}ids = dx + \frac{dx}{x^2 - 1} \quad (2.4.6)$$

ინტეგრირებით ეს განტოლება კვეთი 1 – 1-დან კვეთი 2 – 2-მდე, მათ შორის მანძილი ტოლია l სიდიდის, მივიღებთ:

$$\bar{a}il = \varphi(x_2) - \varphi(x_1) \quad (2.4.7)$$

$$\varphi(x) = x + \int \frac{dx}{x^2 - 1} \quad (2.4.8)$$

ინტეგრირებისას ათობით ლოგარითმზე გადასვლისას მივიღებთ:

$$\varphi(x) = x - 1.151lg \left| \frac{x + 1}{x - 1} \right| \quad (2.4.8)$$

მოცემული ფორმულების გამოყენებით ვაწარმოთ ანგარიში, განვსაზღვროთ არაპრიზმული არხის სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში ნაკადის სიღრმე [58].

$$K' = \frac{135}{\sqrt{0,1875}} = 311.77$$

$$x_1 = \frac{\omega_1 \cdot C_1 \cdot \sqrt{R_1}}{K'} = \frac{42 \cdot 90.87 \cdot \sqrt{0.998}}{311.77} = 12.23$$

$$x_2 = \frac{\omega_2 \cdot C_2 \cdot \sqrt{R_2}}{K'} = \frac{12.09 \cdot 93.49 \cdot \sqrt{1.183}}{311.77} = 3.94$$

$$\bar{a} = \frac{3.94 - 12.23}{8.85 - 1.63} = -1.147$$

$$\varphi(x_1) = 12.23 - 1.151lg \left| \frac{12.23 + 1}{12.23 - 1} \right| = 12.15$$

$$\varphi(x_2) = 3.94 - 1.151lg \left| \frac{3.94 + 1}{3.94 - 1} \right| = 3.60$$

$$l = \frac{3.60 - 12.15}{0.1875 \cdot 1.147} = |39.76| \text{ მ}$$

მოცემული ანგარიში ცხად ყოფს, რომ ზემოთ მოყვანილი თეორიების საფუძველზე ჩატარებული ანგარიშები თანხვედრაშია ერთმანეთთან, რაც

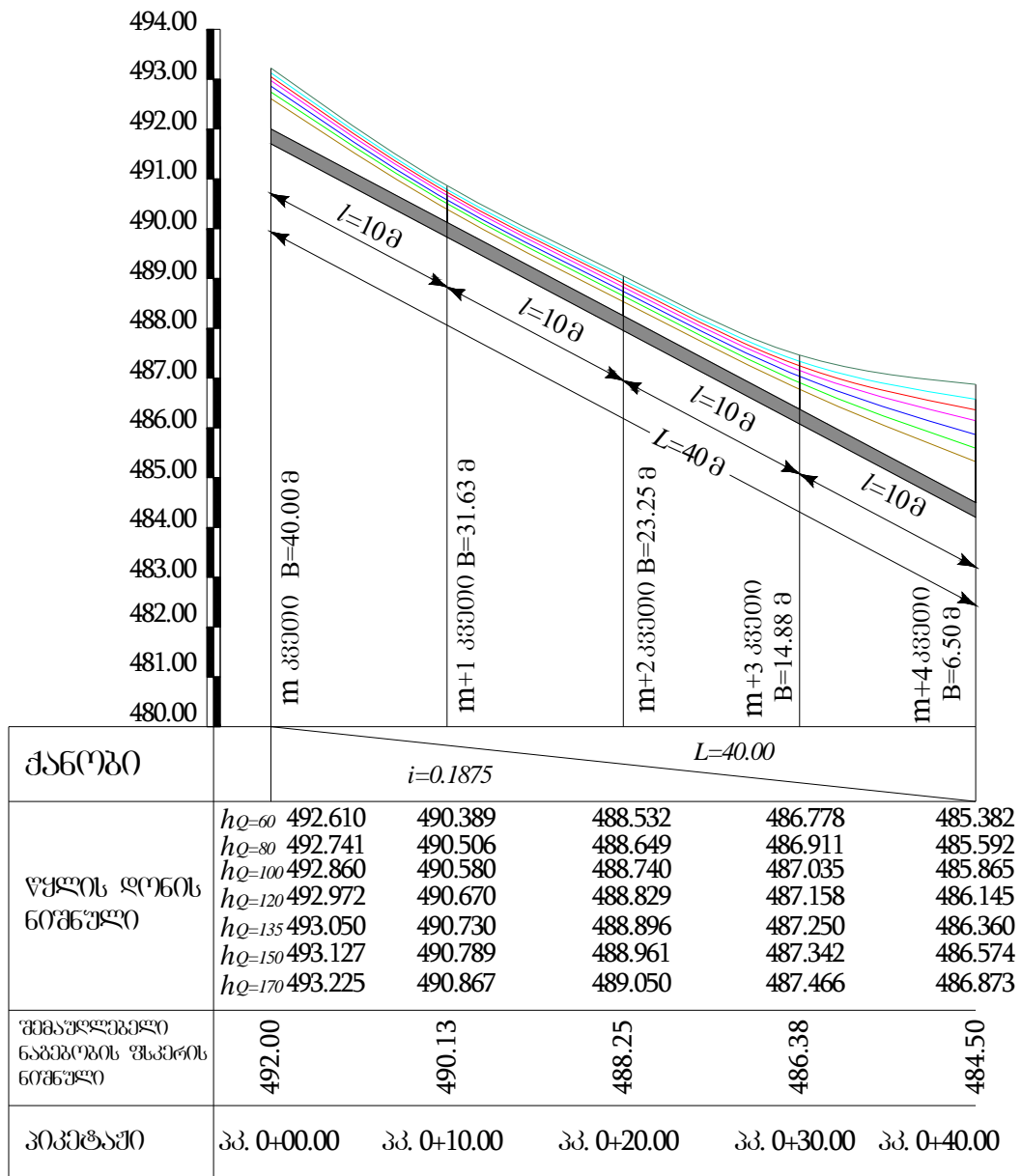
გვამღევს იმის თქმის საშუალებას რომ არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის არხში წყლის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის ნიშნულები სწორად არის განსაზღვრული [59, 60, 61, 62, 63, 64].

სამეცნიერო კვლევის მსვლელობისას გაანგარიშება ჩავატარე არაპრიზმული, არაცილინდრული ($i = 0.1875$ ქანობის, $B = 40$ მ და $b = 6.5$ მ.) სწრაფდენტა შემაუღლებელი ნაგებაში სხვადასხვა წყლის ხარჯისათვის და ავაგე ნაკადისთავისუფალი ზედაპირის ნახ. 22 მრუდები, ანგარიში წამოდგენილია ცხრილის სახით.

ცხრილი 4.

არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის $i = 0.1875$ სხვადასხვა კვეთში წყლის სიღრმეები, ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს.

ნაკადის სიმაღლე კვეთში მ.	არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის კვეთი					ქანობი
	m	$m+1$	$m+2$	$m+3$	$m+4$	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 60$ მ ³ /წმ					$i = 0.1875$
$h_{ნატურა}$ მ.	0.61	0.259	0.282	0.398	0.822	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 80$ მ ³ /წმ					
$h_{ნატურა}$ მ.	0.741	0.376	0.399	0.531	1.092	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 100$ მ ³ /წმ					
$h_{ნატურა}$ მ.	0.860	0.590	0.490	0.656	1.365	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 120$ მ ³ /წმ					
$h_{ნატურა}$ მ.	0.972	0.540	0.579	0.778	1.645	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 135$ მ ³ /წმ					
$h_{ნატურა}$ მ.	1.05	0.60	0.646	0.87	1.86	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 150$ მ ³ /წმ					
$h_{ნატურა}$ მ.	1.127	0.659	0.711	0.962	2.074	
წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	$Q = 170$ მ ³ /წმ					
$h_{ნატურა}$ მ.	1.225	0.737	0.80	1.086	2.373	



ნახ.22. არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის $i = 0.1875$ ქანობისთვის სხვადასხვა კვეთში წყლის ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირები და ნიშნულების ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს.

არაპრიზმულ, არაცილინდრულ სწორკუთხა სწრაფდენთან შემაუღლებელ ნაგებობის სხვადასხვა კვეთში არხის $i = 0.1875$ ქანობისას წყლის სიჩქარეები და ფრუდის რიცხვის მნიშვნელობები წყლის ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს წარმოდგენილია ცხრილი 5-ში.

მიღებული მონაცემები გვამღევს საშუალებას, მოვახდინოთ ნაკადის ჰიდრავლიკური მახასიათებლების შედარება, წყლის ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს ერთიდაიმავე კვეთში.

ცხრილი 5.

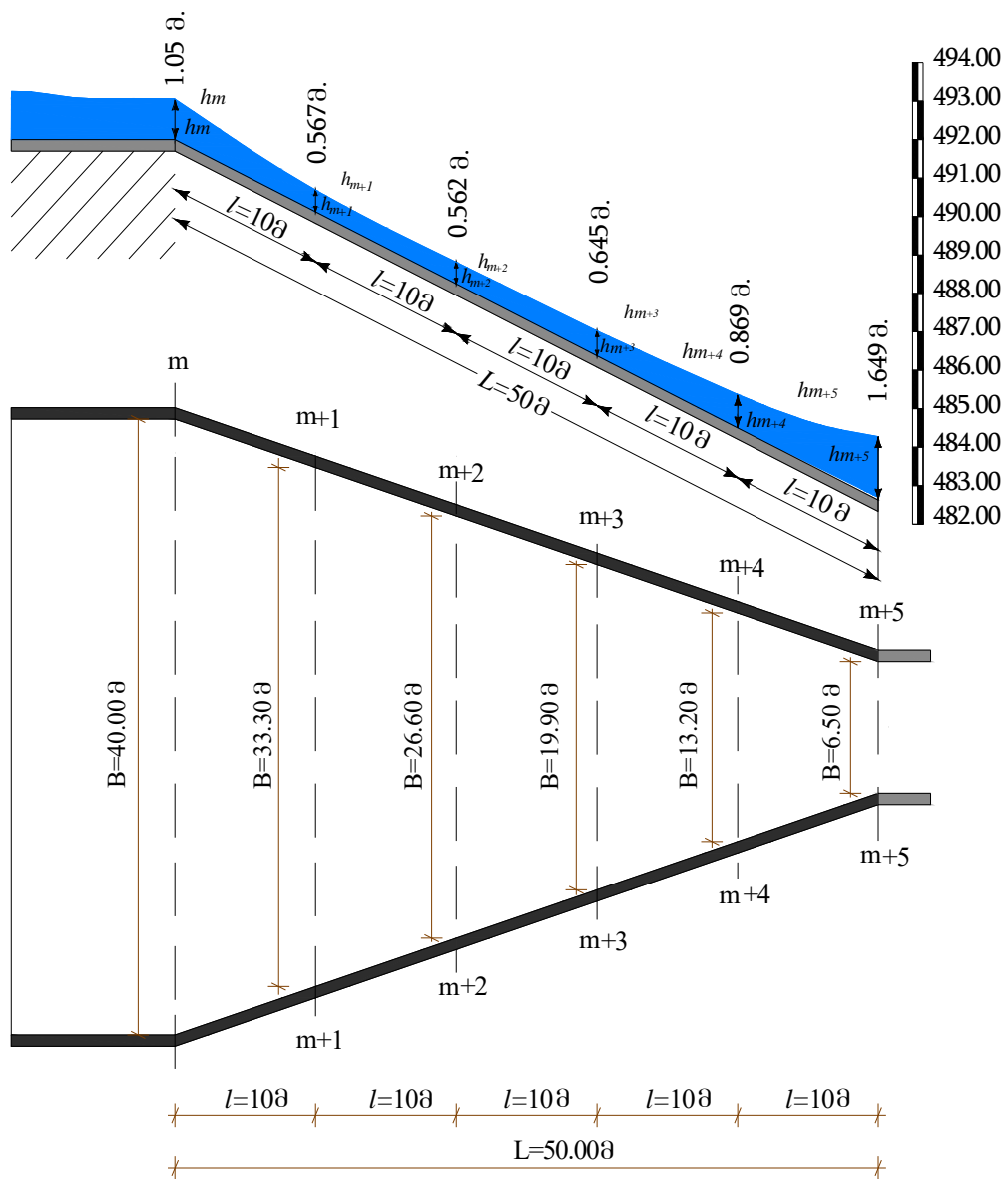
არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის $i = 0.1875$ სხვადასხვა კვეთში წყლის სიჩქარეები და ფრუდის რიცხვის მნიშვნელობები წყლის ნაკადის სხვადასხვა ხარჯის დროს.

კვეთი	m		$m + 1$		$m + 2$		$m + 3$		$m + 4$	
ხარჯი მ ³ /წმ	$i = 0.1875$									
	v	Fr	v	Fr	v	Fr	v	Fr	v	Fr
60	2.46	1.010	7.32	21.112	9.15	30.27	10.13	26.289	10.47	12.659
80	2.70	1.002	6.73	12.267	8.62	19.00	10.12	19.680	11.27	11.858
100	2.91	1.002	5.36	4.961	8.78	16.03	10.24	16.308	11.27	9.487
120	3.09	0.998	7.03	9.318	8.91	13.99	10.37	14.078	11.22	7.805
135	3.21	1.003	7.11	8.597	8.99	12.75	10.43	12.742	11.17	6.833
150	3.33	1.001	7.20	8.010	9.07	11.80	10.48	11.635	11.13	6.085
170	3.47	1.002	7.29	7.356	9.14	10.64	10.52	10.388	11.02	5.218

ასევე მნიშვნელოვანია განვსაზღვროთ არაპრიზმული არხის სიგრძისა და ქანობის გავლენა წყლის ნაკადის შრის სიღრმეზე ამისათვის $i = 0.1875$ ქანობის მქონე არაპრიზმული არხის სიგრძე გავზარდოთ პირველ შემთხვევაში 10 მ, ანუ არაპრიზმული შემაუღლებელი ნაგობობის სიგრძე გაუტოლდება 50 მეტრს, ხოლო მეორე შემთხვევაში არაცილინდრული შემაუღლებელი ნაგობობის გრძივი ზომა იქნება 60 მეტრი. სხვა გეომეტრიული მახასიათებლები დარჩა უცვლელი. ჩარნომსკი-ხესტადეს მეთოდის გამოყენებით გავიანგარიშე ნაკადის სიმაღლე არხის ყოველ $m + 1, m + 2, m + 3, m + 4, m + 5, m + 6$ კვეთებში. მიღებული ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის სიღრმეები მოცემულია ცხრილი 4-ში $L = 50$ მეტრისათვის და ცხრილი 5. 6 $L = 60$ მეტრისათვის.

ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის სიღრმეები

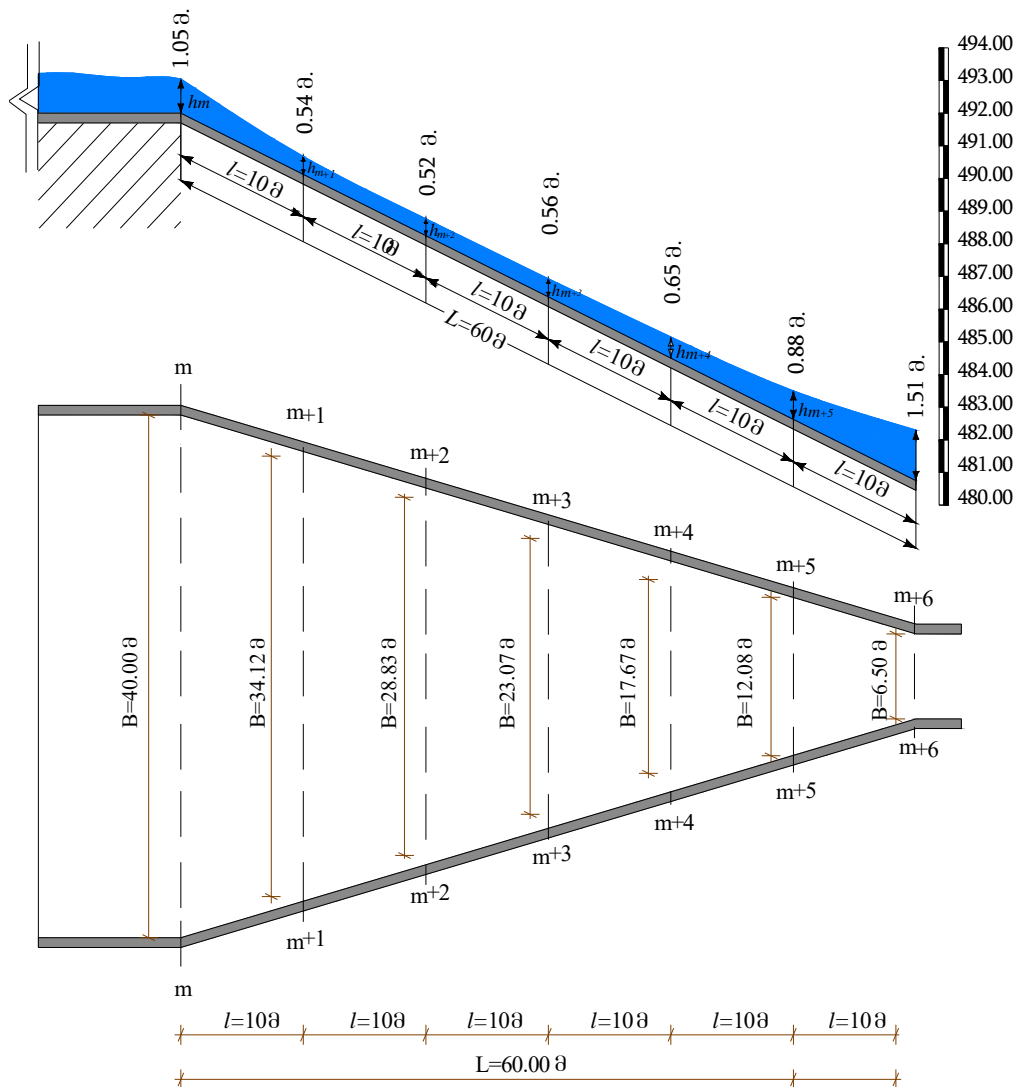
შემაურლებელი ნაგებობის კვეთები	m	$m + 1$	$m + 2$	$m + 3$	$m + 4$	$m + 5$
ნაკადის სიღრმე	1.05	0.567	0.562	0.645	0.869	1.649



ნახ. 23. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემავლლებელი ნაგებობა $L = 50$; $i = 0.1875$

არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაულლებელი ნაგებობის
ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი

შემაულლებელი ნაგებობის კვეთები	m	$m + 1$	$m + 2$	$m + 3$	$m + 4$	$m + 5$	$m + 6$
ნაკადის სიღრმე	1.05	0.54	0.52	0.56	0.65	0.88	1.51



ნახ. 24. ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაულლებელი ნაგებობა $L = 60$; $i = 0.1875$

2.5. არაპრიზმული არხის გავლენა სწრაფმდენში წყლის ნაკადის ზედაპირის ნიშნულებზე

ჰიდრავლიკურ კონსტრუქციას, ხელოვნურ ნაგებობას, რომლის ქანობიც მეტია კრიტიკულზე და ანხორციელებს წყლის ნაკადის მაღალი სიჩქარით ტრანსპორტირებას ზემო ბიეფიდან ქვემო ბიეფში, სწრაფდენი ეწოდება. ის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნაგებობაა წყალსაგდებ კვანძში, რომელმაც უპრობლემოდ უნდა მოახდინოს წყალმოვარდნის პერიოდში კატასტროფული წყლის ხარჯის გატარება ქვემო ბიეფში, ისე რომ მან საფრთხე არ შეუქმნას ჰიდროკვანძის მდგრადობას. აქედან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის თემატიკის სრულად შესწავლის მიზნით საჭიროა მოვახდინოთ სწრაფდენის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება. ანგარიშისთვის ვიხელმძვანელოთ ბ. ა. ბახმეტევის მეთოდით. განვიხილოთ დიფერენციალური განტოლება 2.5.1 როცა $i > 0$.

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\kappa^2 - 1}{\kappa^2 - j} i \quad (2.5.1)$$

ამ განტოლების ინტეგრირებისთვის გადავწეროთ ბახმეტევის დამოკიდებულება ხარჯის მოდულისთვის შემდეგი სახით

$$\kappa^2 = \eta^x \quad (2.5.2)$$

$$\kappa = \frac{K}{K_0} \quad \eta = \frac{h}{h_0} \quad (2.5.3)$$

სადაც η სიდიდეს ეწოდება შედარებითი სიღრმე.

მოვახდინოთ 2.5.1 და 2.5.2 განტოლებების შემდეგი სახით ჩაწერა

$$h_0 \frac{d\eta}{ds} = \frac{\eta^x - 1}{\eta^x - j} \quad (2.5.4)$$

სადაც

$$h_0 d\eta = dh \quad (2.5.4)$$

განტოლება 2.5.4 შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით

$$\frac{i}{h_0} ds = \frac{\eta^x - j}{\eta^x - 1} d\eta = \left(1 - 1 + \frac{\eta^x - j}{\eta^x - 1}\right) d\eta \quad (2.5.5)$$

საიდანაც გამომდინარეობს

$$\frac{i}{h_0} ds = d\eta - \frac{1-j}{1-\eta^x} d\eta \quad (2.5.6)$$

უფრო სიღრმისეული ანალიზისთვის განვიხილოთ ნახაზი სადაც მოცემულია: AB - ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის მრუდი. დიფერენციალური განტოლება შედგენილია ნაკადის ds ელემენტარული სიგრძისთვის. გამოვსახოთ კვეთები 1-1 და 2-2. კვეთებში ჰიდრავლიკური ელემენტები ავლნიშნოთ ინდექსებით, კვეთი 1-1 ინდექსით 1 და კვეთი 2-2 ინდექსით 2-ით.

განტოლება 2.5.6 ინტეგრირებით მივიღეთ შემდეგი გამოსახულება

$$\frac{i}{h_0} (S_1 - S_2) = \eta_1 - \eta_2 \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{1-j}{1-\eta^x} d\eta \quad (2.5.7)$$

სადაც

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0} \quad \eta_2 = \frac{h_2}{h_0} \quad (2.5.8)$$

მოცემული გამოთვლების საფუძველზე, j ჩვეულებრივ ოდნავ იცვლება ნაკადის სიღრმის ცვლილებით. ამის გათვალისწინებით, $1-j$ შეიძლება ამოღებულ იქნას ინტეგრალური ნიშნიდან, მიენიჭოს j არაერთი საშუალო მნიშვნელობა, რომელსაც შემდგომ ავლნიშნავთ j . დამატებით იმის გათვალისწინებით რომ

$$S_1 - S_2 = l \quad (2.5.9)$$

ნაცვლად (2.5.7) გამოსახულებით ვიღებთ

$$\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1-j) \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{d\eta}{1-\eta^x} \quad (2.5.10)$$

თუ ვივარაუდებთ, რომ მოცემული არხისთვის $x = const.$ ინტეგრალის ქვეშა ფუნქცია განტოლებაში (2.5.10) უნდა ჩაითვალოს მხოლოდ η ფუნქციად. ამიტომაც შეიძლება დაიწეროს [65, 66, 67, 68].

$$\int \frac{d\eta}{1 - \eta^x} = \varphi(\eta) + C_0 \quad (2.5.11)$$

სადაც C_0 – მუდმივი სიდიდე.

2.5.11 განტოლების გამოყენებით შეიძლება (2.5.10) განტოლება წარმოვადგინოთ საბოლოო სახით.

$$\frac{il}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - \bar{j})[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)] \quad (2.5.12)$$

ეს არის AB ნაკადის თავისუფალიზედაპირის მრუდის განტოლება. მას ეწოდება არა ერთგვაროვანი მოძრაობის განტოლებას ან სხვაგვარად ბახმეტევის განტოლება. (შემთხვევისთვის $i > 0$).

2.5.12 განტოლება მოიცავს j საშუალო მნიშვნელობას დინების განხილული მონაკვეთისთვის და პრაქტიკულად განისაზღვრება

$$\bar{j} = \frac{1}{2}(j_1 - j_2) \quad (2.5.13)$$

სადაც j_1 და j_2 გამოითვლება 2.5.14 დამოკიდებულებების მიხედვით შესაბამისად h_1 და h_2 სიმაღლეებისათვის ან 2.5.15 ფორმულით

$$\frac{aiC^2}{g} \frac{B}{\bar{\chi}} = j \quad (2.5.14)$$

$$\bar{j} = \frac{ai\bar{C}^2}{g} \frac{\bar{B}}{\bar{\chi}} \quad (2.5.15)$$

სადაც \bar{C} , \bar{B} , $\bar{\chi}$ გამოითვლება სიღრმისთვის

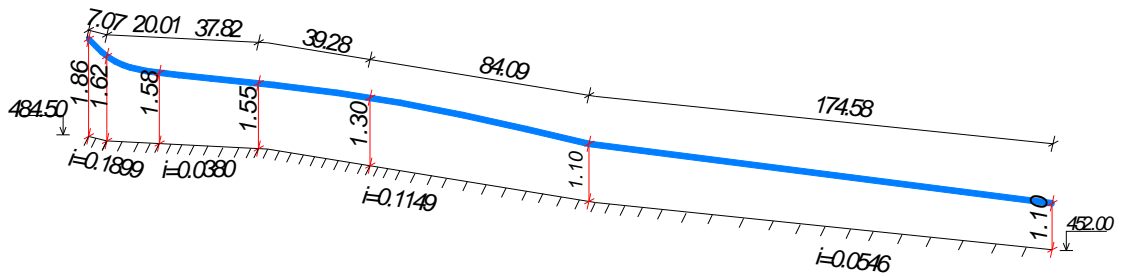
$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (2.5.16)$$

$\varphi(\eta)$, ასრის 2.5.12 განტოლებაში შემავალი სიდიდე, გამოანგარიშებული იყო ფუნქციის ინტეგრალქვეშა დაშლით სხვადასხვა η და x მნიშვნელობებისთვის.

ცხრილი 8.

სწრაფდენი არხის გაანგარიშება ბ. ა. ზახმეტევის მეთოდის გამოყენებით

h_1	h_2	$h_{\text{საშ}}$	ω_1	ω_2	$\omega_{\text{საშ}}$	χ_1	χ_2	$\chi_{\text{საშ}}$	R_1	R_2	$R_{\text{საშ}}$	C_1	C_2	$C_{\text{საშ}}$	J	η_1	η_2	$\varphi(\eta_1)$	$\varphi(\eta_2)$	L
$n = 0.013 \quad h_0 = 0.82 \quad i_0 = 0.1899 \quad b = 6.5 \quad x = 3.5 \quad l_1 = 7.07$																				
1,86	1,62	1,74	12,09	10,53	11,31	10,22	9,74	9,98	1,183	1,08	1,132	79,11	77,93	78,52	85,50	2,27	1,97	0,053	0,076	7,14
$n = 0.013 \quad h_0 = 1.40 \quad i_0 = 0.0380 \quad b = 6.5 \quad x = 3.5 \quad l_2 = 61.35$																				
h_2	h_3																			
1,62	1,58	1,6	10,53	10,27	10,40	9,74	9,66	9,7	1,081	1,06	1,072	77,93	77,71	77,82	17,29	1,15	1,13	0,407	0,442	20,01
h_3	h_4																			
1,58	1,55	1,565	10,27	10,075	10,17	9,66	9,6	9,63	1,063	1,05	1,056	77,71	77,54	77,63	17,33	1,13	1,10	0,442	0,506	37,82
$n = 0.013 \quad h_0 = 1.40 \quad i_0 = 0.1149 \quad b = 6.5 \quad x = 3.5 \quad l_3 = 125.88$																				
h_4	h_5																			
1,55	1,3	1,425	10,075	8,45	9,26	9,6	9,1	9,35	1,049	0,93	0,989	77,54	75,98	76,76	52,78	1,60	1,34	0,134	0,229	39,28
h_5	h_6																			
1,3	1,1	1,2	8,45	7,15	7,80	9,1	8,7	8,9	0,929	0,82	0,875	75,98	74,45	75,21	53,23	1,34	1,14	0,229	0,424	84,09



ნახ. 25. ნაკადის სიღრმე სწრაფდენში

არხაშენის წყალსაცავის მაგალითზე 135 მ³/წმ კატასტროფული წყლის ხარჯის მიხედვით მოვახდინოთ ბ. ა. ბახმეტევის მეთოდის გამოყენებით სწრაფდენი არხის გაანგარიშება, რაც მოგვცემს იმის თქმის საშუალებას რომ თითქმის სრულად შესწავლილ იქნება საკითხი ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების პროცესის. ანგარიში წარმართოთ ცხრილის სახით, მიმდინარე თავში მოხმობილი ფორმულების გამოყენებით [69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76].

2.6. სწრაფდენის ბოლო კვეთში ნაკადის ენერჯის

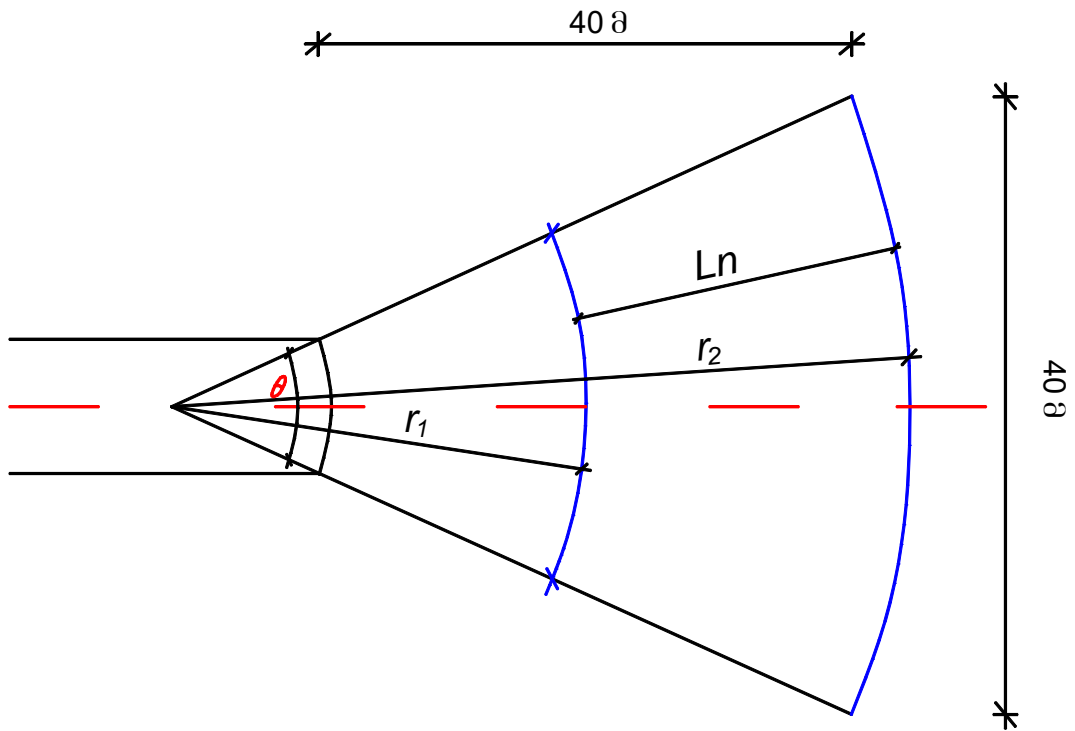
ჩამქრობი ნაგებობის გაანგარიშება

მოცემული საკითხის კვლევა წარმოადგემს მნიშვნელოვან ასპექტს საკიტხის სრულად შესწავლის მიზნით. საჭიროა ჰიდრავლიკურად გავიანგარიშოთ სწრაფდენის ბოლო გამოსასვლელი კვეთი, სადაც სწორკუთხა კვეთის სწრაფდენიდან, რომლის ფუძის სიგანე 6.5 მეტრის ტოლია ნაკადი გამოდის 40 მეტრის სიგრძის სწორკუთხა არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის 40 მეტრის სიგანის კალაპოტში. ანგარიში შესაძლებელია ვაწარმოოთ ო. ფ. ვასილევის მეთოდით.

ნაკადის ნახდტომი გამოითვლება ფორმულით

$$l_n = \frac{10.3h_1(\sqrt{Fr_1}-1)^{0,81}}{1 + 0.54 \frac{h_1}{r_1} (\sqrt{Fr_1}-1)^{0,81}} \quad (2.6.1)$$

სადაც r_1 – არის რადიუსი, რომელიც შეესაბამება პირველ კონიუგირებულ სიღრმეს.



ნახ. 26. ენერგიის ჩამქრობი ნაგებობა სწრაფდენის ბოლო კვეთში

Fr_1 – ფრუდის რიცხვი ნახტომის დასაწყის კვეთში:

$$Fr_1 = \left(\frac{h_{კრ_1}}{h_1} \right)^2 = \frac{a}{g} \left(\frac{Q}{\theta} \right)^2 \frac{1}{r_1^2 h_1^3} \quad (2.6.2)$$

გამოვთვალოთ წყლის ნაკადის კრიტიკული სიღრმე ჰიდრავლიკური ნახტომის დასაწყისში.

$$h_{კრ_1} = \sqrt[3]{\frac{a}{g} \left(\frac{Q}{\theta r_1} \right)^2} \quad (2.6.3)$$

სადაც; a – ნკადის სიჩქართი დაწნევის კოეფიციენტი

g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

Q – წყლის ხარჯი

θ – არაპრიზმული არხის გაფართოების კუთხე, რადიანი.

$$\theta = \frac{\pi}{180} \theta^\circ = \frac{\theta^\circ}{57.3} \quad (2.6.3)$$

2.6.1 ფორმულა შესაძლებელია ჩაიწეროს ასეთი სახით:

$$l_n = \frac{f}{1 + 0,052f \frac{h_1}{r_1}} h_1 \quad (2.6.4)$$

სადაც $f = 10,3(Fr_1 - 1)^{0.81}$

ჰიდრაულიკური ნახტომის სიღრმე გაფართოებულ კვთში განისაზღვრება

2.6.5 განტოლებით

$$\begin{aligned} \frac{2a'}{g} \left(\frac{Q}{b}\right)^2 \frac{1}{r_1 h_1^c} + r_1 (h_1^c)^2 \\ = \frac{2a'}{g} \left(\frac{Q}{b}\right)^2 \frac{1}{r_1 h_1^c} + r_2 (h_2^c)^2 \\ - \beta \frac{(h_1^c)^2 h_1^c h_2^c + (h_2^c)^2}{3} l_{II} \end{aligned} \quad (2.6.5)$$

სადაც a' –რაოდენობრივი მოძრაობის კოეფიციენტი ($a' \approx 1$)

$$\beta = 0,9$$

r_2 –რადიუსი, რომელიც შეესაბამება მეორე კონიუგირებულ სიღრმეს. $h_2^c = h$

$$r_2 = r_1 + l_u \quad (2.6.6)$$

არხაშენის წყალსაცავის ჰიდრაულიკური მონაცემის და ჩვენს მიერ შემოთავაზებული წყალსაშვები, არაპრიზმული არაცილინდრული არხის და სწრაფდენის გეომეტრიული ზომებით მიღებული ჰიდრაულიკური სიდიდეების მიხედვით გავიანგარიშოთ გამოსასვლელ კვთში 135 მ³/წმ კატასტროფული ხარჯის შესაბამისი სიღრმეები.

$$r_1 = \frac{b}{2 \sin \frac{\theta}{2}} = \frac{6.5}{2 \cdot 0.447} = 7.271$$

$$h_{კრ_1} = \sqrt[3]{\frac{1}{9.81} \cdot \left(\frac{135}{0.804 \cdot 7.271}\right)^2} = 3.78 \text{ მ}$$

$$\theta = \frac{53^\circ}{57.3} = 0.925 \text{ რად.}$$

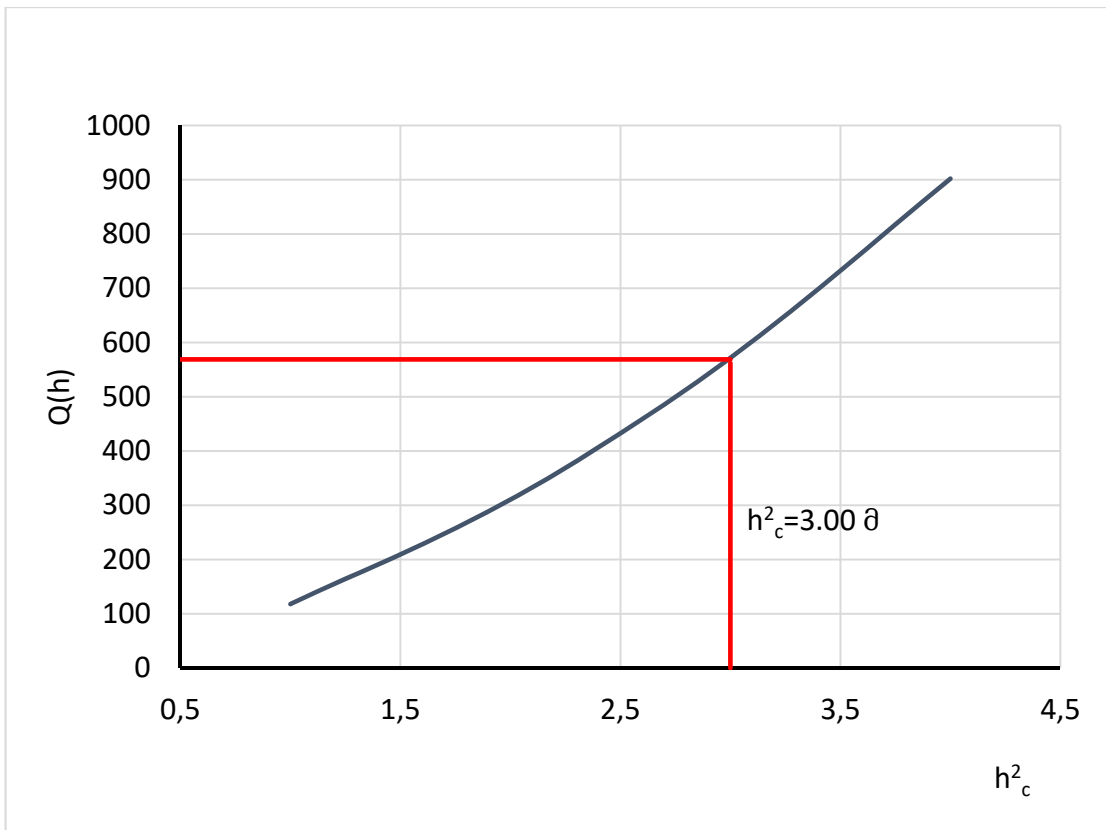
$$Fr_1 = \left(\frac{3.78}{1.10}\right)^3 = 40.58$$

$$l_{II} = \frac{40.19}{1 + 0.052 \cdot 40.19 \frac{1.10}{7.271}} = 30.53$$

$$r_2 = 7.271 + 30,53 = 37.801$$

$$\begin{aligned} \frac{2a'}{g} \left(\frac{Q}{\theta}\right)^2 \frac{1}{r_1 h_1^c} + r_1 (h_1^c)^2 \\ = \frac{2 \cdot 1.0}{9.81} \cdot \left(\frac{135}{0.925}\right)^2 \frac{1}{7.271 \cdot 0.75} + 7.271 \cdot (1.10)^2 \\ = 561.87 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{2a'}{g} \left(\frac{Q}{\theta}\right)^2 \frac{1}{r_2 h_2^c} + r_2 (h_2^c)^2 - \beta \frac{(h_1^c)^2 h_1^c h_2^c + (h_2^c)^2}{3} l_{II} \\ = \frac{2 \cdot 1.0}{9.81} \left(\frac{135}{0.925}\right)^2 \cdot \frac{1}{37.81 \cdot h_2^c} + 37.81 (h_2^c)^2 \\ - 0.9 \frac{(1.10)^2 + 1.10 \cdot h_2^c + (h_2^c)^2}{3} \cdot 30.53 \end{aligned}$$



ნახ. 27. h_2^c და მნიშვნელობა, $Q(h)$ დამოკიდებულების მრუდი.

2.6.5 განტოლების გათვალისწინებით შეგვიძლია რადგან ვიცით განტოლების მარჯვენა ნაწილი გამოთვალეთ მარცხენა ნაწილი და გავიგოთ h_2 მნიშვნელობა, რომელიც ტოლია 3.00 მეტრის.

**თავი 3. არაცილინდრული, არაპრიზმული შემაუღლებელ
ნაგებობაში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის აგების
ექსპერიმენტალური კვლევა**

**3.1. წყალსაგდები ნაგებობის მოდელირების თეორიის განხილვა
ექსპერიმენტული მოდელის პარამეტრების დადგენისათვის**

კვლევები ჰიდრავლიკური მოდელირების სფეროში 1938 წელს გამოაქვეყნდა ა. პ. ზეგჯდას და ს. ვ. ბჰაშემის მიერ. ცოტათი ადრე ი. ვ. ეგიაზაროვი აქტიურად აღწერდა ჰიდრავლიკურ ლაბორატორიებს და გამოკვეთა მეთოდის კიდრავლიკური მოდელირების. 1953 წელს მ.ვ. კირპიჩევმა განაზოგადა მსგავსების თეორიები. ჰიდრავლიკური მოდელირების საკითხები ასახულია პუბლიკაციებში [77].

ორი ნაკადი ნატურაში და მოდელზე მსგავსია, თუ შეინიშნება გეომეტრიული, კინემატიკური, და დინამიკური მსგავსება.

გეომეტრიული მსგავსება არის მოდელირებული ობიექტის სივრცითი მახასიათებლების მსგავსება. ნაკადისთვის გეომეტრიული მსგავსება არის ზედაპირის ფორმის მსგავსება, რომელიც საზღვრავს დინებას.

გეომეტრიული მსგავსების სისტემის (ნაკადი, კალაპოტი, ნაგებობა) არსი მდგომარეობს იმაში, თუ რა დამოკიდებულებაა მათი ზომების მსგავსებაში ერთიდაიმავე სიდიდეებს შორის.

მოცემულია ფორმულა:

$$m_e = \frac{l_\sigma}{l_\theta} \tag{3.1.1}$$

ადაც, l_σ და l_θ - სიგრძეა შესაბამისად ნატურაში და მოდელზე.

სიდიდე m_e არის ნატურული ობიექტის შემცირების ხარისხი. სიდიდე $1/m_e$ – მოდელირების მასშტაბი; ჰიდრაულიკაში სიდიდეს m_e ეწოდება ხაზოვანი მასშტაბი.

კინემატიკური მსგავსება – ეს არის კონკრეტული ადგილის ლოკალური სიჩქარის მსგავსება ველზე, ე.ი. იზოტაჰები ფორმით უნდა იქნენ მსგავსები. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ დამოკიდებულება სიჩქარის შესაბამის წერტილში ნატურაზე და მოდელზე უნდა იქნეს ერთიდაიგივე, სითხის მოძრაობის მიმართულება ნაკადის ერთიდაიგივე მონაკვეთებში უნდა იქნეს მსგავსი. მარტივად დასანახია, რომ უგანზომილებო ტაქოგრაფიკული მრუდი ორი მსგავსი ნაკადისთვის უნდა ემთხვეოდეს ერთმანეთს. ეს იწვევს კორნოლის კოეფიციენტის ტოლობას.

მოცემულია ფორმულა: $\frac{U_b}{U_a} = m_u$, სადაც U_b – ლოკალური სიჩქარეა ნატურაში; m_u ლოკალური სიჩქარის მასშტაბი.

დინამიკური მსგავსება წარმოადგენს მასისა და ძალის მსგავსებას. დინამიკური მსგავსებით განისაზღვრება, როგორც მსგავსება თანმიმდევრულად ცვალებადი მდგომარეობის მოდელზე და ნატურაზე.

არაუმეტეს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნებისმიერი მოდელირების ფორმის გაგების არსი მსგავსების კრიტერიუმებია. უგანზომილებო ხარისხის შემადგენელი სიდიდეების კომპლექსს, რომლებიც შედგებიან მოდელის მახასიათებელი სიდიდეებისგან და ახასიათებენ სამოდელო ობიექტს, ეწოდება მსგავსების კრიტერიუმები. განასხვავებენ განუსაზღვრელ და განსაზღვრულ მსგავსების კრიტერიუმებს. მსგავსების კრიტერიუმი, რომელიც შეიცავს არადამოკიდებულ ცვლადს, ეწოდება განმსაზღვრელი. მსგავსების კრიტერიუმი, რომელიც შეიცავს დამოკიდებულ ცვლადს, ეწოდება განსაზღვრული. მსგავსების კრიტერიუმებს შორის ფუნქციურ დამოკიდებულებას ეწოდება მსგავსების განტოლება. ჰიდრაულიკაში ასეთ განტოლებებს ხშირად უწოდებენ კრიტერიუმულ განტოლებებს [78].

მსგავსებისას მსგავსების კრიტერიუმი გამოისახება ერთიდაიგივე რიცხვითი მნიშვნელობით, რომელიც აღინიშნება სიმბოლოებით *idem*.

კრიტერიუმების ფორმა და რიცხვი, მიიღება მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებიდან, გამოისახება ისე, როგორც ამოხსნადი განტოლება ინტეგრირების შემდეგ.

ვიყენებთ დიფერენციალურ განტოლებას 3.1.2 არათანაბარი მოძრაობის ბლანტი სითხეებისთვის (ნავიე-სტოკსის განტოლება). იწერება განტოლება x ღერძის მიმართ, ემთხვევა ნაკადის მოძრაობის მიმართულებას და განიხილება, როგორც ნაკადის მოძრაობა მოდელზე.

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} = \frac{du_x}{dt} + u_x \frac{du_x}{dx} + u_y \frac{du_x}{dy} + u_z \frac{du_x}{dz} - \nu \left(\frac{d^2 u_x}{dx^2} + \frac{d^2 u_x}{dy^2} + \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right) \quad (3.1.2)$$

სადაც, X – მასური ძალის აჩქარება x ღერძის მიმართ

ρ – სითხის სიმკვრივე

p – წნევა

u_x, u_y, u_z , – სიჩქარის პროექციები შესაბამისად x, y, z , ღერძზე.

t – დრო

ν – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი

ანალოგიური განტოლება ნატურული ობიექტისათვის მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$m_g X - \frac{1}{m_p \rho} \frac{m_p dp}{m_e dx} = \frac{m_u}{m_t} \frac{du_x}{dt} + \frac{m_z^2}{m_e} \left(u_x \frac{du_x}{dx} + u_y \frac{du_x}{dy} + u_z \frac{du_x}{dz} \right) - \frac{m_v m_u}{m_e^2} \nu \left(\frac{d^2 u_x}{dx^2} + \frac{d^2 u_x}{dy^2} + \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right) \quad (3.1.3)$$

სადაც, m_g – მასური ძალის აჩქარების მასშტაბი

m_p – სიმკვრივის მასშტაბი

m_t – დროის მასშტაბი

m_v – სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტის მასშტაბი.

3.1.3 განტოლების გათვალისწინებით, განტოლების წევრები მარჯვენა მხარეს მდგარი ფრჩხილებში არის სიჩქარის კვადრატის ტოლი, მეორე მხარეს ფრჩხილებში – სიჩქარის კვადრატის ტოლი სიგრძეზე.

3.1.2 განტოლების ყველა წევრი გავყოთ m_u^2/m_e . მივიღებთ შემდეგ შედეგს

$$\begin{aligned} \frac{m_g m_e}{m_z^2} X - \frac{m_p}{m_\rho m_u^2} \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} \frac{m_e}{m_t m_u} \frac{du_x}{dt} + \left(u_x \frac{du_x}{dx} + u_y \frac{du_x}{dy} + u_z \frac{du_x}{dz} \right) \\ - \frac{m_v v}{m_u m_e} \left(\frac{d^2 u_x}{dx^2} + \frac{d^2 u_x}{dy^2} + \frac{d^2 u_x}{dz^2} \right) \end{aligned} \quad (3.1.4)$$

ყველა სიდიდის მნიშვნელობა, ვითარდება m მასშტაბიდან, ნავიესტოკსის განტოლების ყველა წევრის წარმოებულით. ამას შესაძლებელია ეწოდოს ინდიკატორული მსგავსება. არსებითად ის წარმოადგენს დაკვირვებით მიახლოებას, რომ მსგავსების კრიტერიუმები უნდა იქნეს ტოლი, ეს ნიშნავს რომ მსგავსება დაკმაყოფილებულია იმ კრიტერიუმით რომ მსგავსება უნდა იყოს ტოლი, ეს ნიშნავს რომ ინდიკატორი მსგავსების ერთეულის ტოლია, შესაბამისად, [79].

$$\frac{m_g m_e}{m_z^2} = 1 \quad (3.1.5)$$

$$\frac{m_p}{m_\rho m_u^2} = 1 \quad (3.1.6)$$

$$\frac{m_e}{m_f m_u} = 1 \quad (3.1.7)$$

$$\frac{m_v}{m_u m_e} = 1 \quad (3.1.8)$$

თუ გავითვალისწინებთ m აღნიშვნას, როგორც მოძრაობის დამოკიდებულებას ელემენტების ნატურაში და ელემენტების მოდელზე, შეიძლება 3.1.5 და 3.1.8 ფორმულები ასე ჩაიწეროს

$$\frac{U_{\delta}^2}{g_{\delta} l_{\delta}} = \frac{u_{\delta}^2}{g_{\delta} l_{\delta}} = Fr = idem; \quad (3.1.9)$$

$$\frac{P_{\delta}^2}{\rho_{\delta} u_{\delta}^2} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_{\delta} u_{\delta}^2} = Eu = idem; \quad (3.1.10)$$

$$\frac{u_{\delta} t_{\delta}}{l_{\delta}} = \frac{u_{\delta} t_{\delta}}{l_{\delta}} = Sh = idem; \quad (3.1.11)$$

$$\frac{u_{\delta} l_{\delta}}{\nu_{\delta}} = \frac{u_{\delta} l_{\delta}}{\nu_{\delta}} = Re = idem; \quad (3.1.12)$$

სადაც Fr – ფრუდის რიცხვია;

Eu – ეილერის რიცხვია;

Sh – სტრუხალის რიცხვია;

Re – რეინოლდსის რიცხვია;

ეს კრიტერიუმები მსგავსია ყველა სახისათვის. მოდელირებული ნაკადის განხილვისთვის არაერთი გზა არსებობს, მათგან ვირჩევთ კონკრეტულ ფორმას. თუ ტურბულენტური მოძრაობის განტოლებები მიიღება მოძრაობის საწყის განტოლებად, მაშინ გამოჩნდება დამატებითი მსგავსების კრიტერიუმები, რომლებიც ახასიათებს ტურბულენტობის ინტენსიობას. კინეტიკური მსგავსების კოეფიციენტიდან გამომდინარეობს, რომ მართვადი სიჩქარის მასშტაბი უნდა იყოს გასაშუალოებული სიჩქარის მასშტაბის ტოლი [80, 81, 82, 83, 84].

3.1.3 მსგავსების კრიტერიუმის ამოსახსნელად ხშირად ვიყენებთ ნიუტონის კანონს. ვპოულობთ ძალის დამოკიდებულებას ნატურასა და მოდელს შორის. ამის გათვალისწინებით ამ ნაკადის მოცულობისთვის (ნაგებობა) პროპორციულია გრძივი ზომის კუბში. წარმოვადგინოთ სიჩქარის კვადრატის დამოკიდებულება სიგრძეზე, ე.ი. $l/t^2 = u^2/l$. აქედან გამომდინარე ჩანს ისინი რამდენადმე ექვემდებარებიან დინამიკურ და გეომეტრიულ მსგავსებას, ფორმულაში შემავალ ყველა რიცხვში, მოცულობისთვის განისაზღვრება ძალის დამოკიდებულება – შემცირება.

აქედან გამომდინარე ძალის დამოკიდებულება ნიუტონის კანონის მიხედვით ორი სისტემისთვის მიიღებს შემდეგ სახეს.

$$\frac{F_{\delta}}{F_{\theta}} = \frac{\rho_{\delta} l_{\delta}^3 (U_{\delta}^2 l_{\delta})}{\rho_{\theta} l_{\theta}^3 (U_{\theta}^2 l_{\theta})} = \frac{\rho_{\delta} l_{\delta}^2 U_{\delta}^2}{\rho_{\theta} l_{\theta}^3 U_{\theta}^2} \quad (3.1.13)$$

სიმძიმის ძალის გათვალისწინებით

$$\frac{\rho_{\delta} l_{\delta}^2 U_{\delta}^2}{\rho_{\theta} l_{\theta}^3 U_{\theta}^2} = \frac{\rho_{\delta} g l_{\delta}^3}{\rho_{\theta} g l_{\theta}^3} \quad (3.1.14)$$

ან

$$\frac{u_{\delta}^2}{u_{\theta}^2} = \frac{g l_{\delta}}{g l_{\theta}} \quad (3.1.15)$$

საიდანაც

$$Fr_{\delta} = Fr_{\theta} \quad (3.1.16)$$

შესაბამისად, ფრუდის რიცხვი მოდელზე და ნატურაში უნდა იქნეს ტოლი. აქედან გამომდინარე, ნატურაში წყნარი ნაკადი უნდა იქნეს მოდელზეც წყნარი ნაკადი და შესაბამისად ნატურაზე მძაფრი ნაკადი უნდა იქნეს შესაბამისად მოდელზეც მძაფრი. ხახუნის ძალის გათვალისწინებით

$$\frac{\rho_{\delta} l_{\delta}^2 U_{\delta}^2}{\rho_{\theta} l_{\theta}^3 U_{\theta}^2} = \frac{\nu_{\delta} l_{\delta}^2 \rho_{\delta} (u_{\delta} / l_{\delta})}{\nu_{\theta} l_{\theta}^2 \rho_{\theta} (u_{\theta} / l_{\theta})} = \frac{\nu_{\delta} \rho_{\delta} l_{\delta} u_{\delta}}{\nu_{\theta} \rho_{\theta} l_{\theta} u_{\theta}} \quad (3.1.17)$$

ან

$$\frac{l_{\delta} u_{\delta}}{l_{\theta} u_{\theta}} = \frac{\nu_{\delta}}{\nu_{\theta}} \quad (3.1.18)$$

საიდანაც

$$Re_{\delta} = Re_{\theta} \quad (3.1.19)$$

აქედან გამომდინარე რეინოლდსის რიცხვი მოდელზე და ნატურაში უტოლდება ერთმანეთს.

წნევის ძალის გავლენით

$$\frac{\rho_{\delta} l_{\delta}^2 u_{\delta}^2}{\rho_{\theta} l_{\theta}^2 u_{\theta}^2} = \frac{p_{\delta} l_{\delta}^2}{p_{\theta} l_{\theta}^2} \quad (3.1.20)$$

ან

$$\frac{\rho_{\delta} u_{\delta}^2}{\rho_{\partial} u_{\partial}^2} = \frac{p_{\delta}}{p_{\partial}} \quad (3.1.21)$$

საიდანაც

$$Eu_{\delta} = Eu_{\partial} \quad (3.1.22)$$

საიდანაც

გამომდინარეობს, რომ ეილერის რიცხვი მოდელზე და ნატურაზე უტოლდება ერთმანეთს. 3.1.4 მსგავსების კრიტერიუმების გამოთვლის მესამე გზა ეფუძნება განზომილებათა მეთოდს.

რიცხვითი გაზომვის მეთოდი და უგანზომილებო ხარისხობრივი სტრუქტურის კომპლექსი აგებული სიდიდეებისთვის, არსებული მოცემული სამოდელო ობიექტისათვის ეფუძნება ხაზობრივი სიდიდეების შედარებას ეწოდება გაზომვითი მეთოდი [85, 86, 97, 88].

თუ არის ფუნქციური კავშირი ფაქტორებს შორის, რომელიც იწვევს ჰიდრაულიკურ მოვლენებს, ამ გაზომვითი მეთოდით შეიძლება მივიღოთ უგანზომილებო სიდიდეები, რომელიც ასრულებს მსგავსების კრიტერიუმის როლს. ამ შემთხვევაში მივიღოთ ბუკინგემის თეორია, რომელსაც სხვა შემთხვევაში პი-თეორია ეწოდება, რომელიც მოცემულია განტოლებით

$$f(a_1 a_2 \dots a_n) = 0 \quad (3.1.23)$$

გამოიხატება კავშირი n ზომის ჰიდრაულიკურ და ფიზიკურ სიდიდეებს შორის, ზომები რომლებიც m გამოიხატება არის ძირითადი სიდიდეები, ჩვეულებრივ M არის მასა, L სიგრძე და T დრო. პი-თეორიის თანახმად შესაძლებელია განტოლება 3.1.23 გარდავქმნათ უგანზომილებო განტოლებად, შევცვალოთ $n - m$ უგანზომილებო სიდიდით.

$$F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (3.1.24)$$

განვიხილოთ ნაწილაკის მოძრაობა სითხეში პი-თეორიის მაგალითზე. ჩავთვალოთ, რომ მოვებნოთ ნაწილაკის სიჩქარის ვარდნა არამოდრავ სითხეში ω . გადავწეროთ ω ახალი სახით

$$\omega = c\rho^x d^y \gamma_{\text{GB}}^z \mu^p \quad (3.1.25)$$

სადაც c – უგანზომილებო კოეფიციენტი; ρ – სითხის სიმკვრივე; d – ნაწილაკის დიამეტრი (ნალექის ნაწილაკების დიამეტრები); $\gamma_{\text{GB}} = (\rho_{\text{ფ}} - \rho)g$ – ხვედრითი წონა ნალექის ნაწილაკის წყალში; $\rho_{\text{ფ}}$ – სიმკვრივე ნაწილაკების (ნალექი) μ – სითხის სიბლანტის დინამიურობის კოეფიციენტი.

აქედან გამომდინარე, ვეძებთ კავშირს მეხუთე ცვალებადი ზომის სიდიდესთან ($n = 5$). ძირითადად გამოხატავს (3.1.25) ფორმულის სიდიდეები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{L}{T} = \left(\frac{M}{L^3}\right)^x L^y \left(\frac{M}{L^2 T^2}\right)^z \left(\frac{M}{LT}\right)^p \quad (3.1.26)$$

საიდანაც წარმოდგენილი M, L, T გათვალისწინებით გამოდის ($m = 3$)

$$0 = x + z + p \quad (3.1.27)$$

$$1 = -3x + y - 2z - p \quad (3.1.28)$$

$$-1 = -2z - p \quad (3.1.29)$$

მივიღეთ სამი განტოლება სამი უცნობით. ამ განტოლებების დამოკიდებულების p შედარებით, მივიღებთ

$$x = -\frac{1+p}{2} \quad (3.1.30)$$

$$y = \frac{1-3p}{2} \quad (3.1.31)$$

$$z = \frac{1-p}{2} \quad (3.1.32)$$

ამ მოცემულ შეთხვევაში რიცხვები უგანზომილებო სიდიდეების იქნება $n - m = 5 - 3 = 2$, რომლებიც იცვლებიან x, y, z განტოლებაში 3.1.25

$$\omega = c\rho^{-\frac{1+p}{2}} d^{\frac{1-3p}{2}} \gamma_{\text{ფ}}^{\frac{1-p}{2}} \mu^p \quad (3.1.33)$$

გავითვალისწინოთ, რომ $\mu = \nu\rho$ და აღნიშვნების შემოღებით $(\rho_{\text{ფ}} - \rho)/\rho = a$ 3.1.33 ფორმულიდან გამოდის

$$\omega = c\sqrt{agd} \sqrt{\left(\frac{v^2}{agd^3}\right)^p} \quad (3.1.34)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$\frac{d\sqrt{agd}}{v} = Re_d, \omega^2/gd = Fr_d \quad (3.1.35)$$

სადაც Fr_d – ფრუდის რიცხვი ნაწილაკისთვის, გამოდის

$$\sqrt{Fr_d} = \frac{c\sqrt{a}}{Re_d^p} \quad (3.1.36)$$

აქედან გამომდინარე ხუთი ცვლად განზომილების სიდიდეებს შორის არის კავშირი. ორ უგანზომილებო ცვლად სიდიდეს შორის Fr_d და Re_d . მნიშვნელობები c და p განისაზღვრება ცდის მოცემულობით.

ჰიდრაულიკაში და ხიდმშენებლობაში მოდელირება სრულდება ფრუდის რიცხვით. ვგულისხმობთ, რომ $l = h$, 3.1.9 გამოდის

$$\frac{V_\theta^2}{g_\theta h_\theta} = \frac{V_\xi^2}{g_\xi h_\xi} \quad (3.1.37)$$

სადაც h – არის ნაკადის სიღრმე

როგორც $g_\theta = g_\xi$

$$\frac{V_\xi}{V_\theta} = \sqrt{\frac{h_\xi}{h_\theta}} = m_e^{0.5} = m_h^{0.5} \quad (3.1.38)$$

სადაც m – მოდელირების მასშტაბი.

აქედან გამომდინარე, სიჩქარის განსაზღვრა ნაკადის მოდელზე საჭირო სიჩქარე ნატურაში შეამცირებს $m_e^{0.5}$ - ჯერ.

ხარჯის დამოკიდებულება ნატურაში და მოდელზე

$$\frac{Q_\xi}{Q_\theta} = \frac{V_\xi \omega_\xi}{V_\theta \omega_\theta} = m_e^{0.5} m_e^2 = m_e^{2.5} \quad (3.1.39)$$

დიდი ნაკადებისთვის m_e მოდელზე შეიძლება დინება გახდეს ლამინარული, ასე რომ დაკმაყოფილდეს m_e საჭირო მოთხოვნა:

$$Re_{\theta} \geq Re_{\zeta} \quad (3.1.40)$$

სადაც Re_{ζ} – რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობაა.

ა. პ. ზეგუდას თანახმად სითხის უდაწნეო რეჟიმით მოძრაობისას

$$Re_{\zeta} = \frac{vR}{\nu} = 800 \dots 900, \quad (3.1.41)$$

სადაც R – ჰიდრავლიკური რადიუსი

შეზის ფორმულა მიიღებს ასეთ სახეს

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{Fr}{I}} \quad (3.1.42)$$

სადაც $I_{\zeta} = I_{\theta}$ (გეომეტრიული მსგავსების პირობიდან) და ამის გათვალისწინებით ვღებულობთ

$$C_{\theta} = C_{\zeta} \quad (3.1.43)$$

(3.1.43) ტოლობა გვამღევს შესაძლებლობას დავნიშნოთ მოდელზე ხორკლიანი ზედაპირი. (3.1.43) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{1}{h_{\theta}} h_{\theta}^y = \frac{1}{h_{\zeta}} h_{\zeta}^y \quad (3.1.44)$$

საიდანაც

$$\frac{n_{\zeta}}{n_{\theta}} = \left(\frac{h_{\zeta}}{h_{\theta}}\right)^y \quad (3.1.45)$$

სადაც n – ხორკლიანობის კოეფიციენტი.

წარმოდგენს y განსაზღვრებას n და h დამოკიდებულებას.

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad (3.1.46)$$

სადაც λ – დარსის კოეფიციენტი

შემდეგ

$$\lambda_{\theta} = \lambda_{\zeta} \quad (3.1.47)$$

სრულად განვითარებული ტურბულენტობა λ ან C თითქმის არ არის დამოკიდებული ან მცირედით არის დამოკიდებული რეინოლდსის რიცხვზე. ეს ნიშნავს რომ პირობა 3.1.47 და შესაბამისად 3.1.43 იქნება სრულდება ყველა მნიშვნელობისთვის $Re > Re_{კრ.}$ [89, 90].

3.2. საკვლევი თემატიკის წყალსაშვები ნაგებობის სწრაფდენთან შეუღლების ექსპერიმენტული კვლევის ლაბორატორიის აღწერა

სადისერტაციო თემის „ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების გაანგარიშება“ პრაქტიკული კვლევისათვის შერჩეულ იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთამეურნეობის ინსტიტუტი, სადაც მდებარეობს ჰიდრავლიკისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ლაბორატორია. წყალთამეურნეობის უნივერსიტეტის ბაზაზე არსებულ ლაბორატორიაში განთავსებულია ჰიდრავლიკური ღარი. მოდელირების თეორიის განხილვის შემდგომ ექსპერიმენტალური კვლევისათვის დისერტანტისა და ხელმძღვანელის მიერ დათვალიერებულ იქნა წინასწარი შესწავლისა, ცდის დაგეგმვისა და განხორციელების მიზნით კვლევითი ლაბორატორია. დაზვერვითი სამუშაოების ჩატარების შემდგომ დოქტორანტისა და ხელმძღვანელის მიერ დეტალურად განხილულ იქნა ლაბორატორიაში არსებული ჰიდრავლიკური ღარი და მისი შემადგენელი ყველა კომპონენტი. რამაც საშუალება მოგვცა დაგვეგეგმა და შეგვედგინა ცდის მიმდინარეობის გეგმა, რაც საშუალებას მოგვცემდა ექსპერიმენტის მთავარი მიზნის ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკური გაანგარიშების, არაპრიზმულ, არაციინტრული ფორმის ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შემაუღლებელ დარში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირის აგების.



სურ. 1. წყალთამეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე
ჰიდრაგლიკურ ლაბორატორიაში
არსებული ჰიდრაგლიკური ღარი

აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე არსებულ ჰიდრაგლიკისა და ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ლაბორატორიაში განთავსებული ჰიდრაგლიკური ღარი (1), დამზადებულია ფოლადის მართხკუთხა კვეთის ფორმის მილისა (2) და ფოლადის გესებრი კოჭებით (3), რომელიც განსაკუთრებულ სიმყარეს ანიჭებს ნაგებობას. ჰიდრაგლიკური ღარი შემომფარგლულია გამჭვირვალე კომპოზიტური მასალა ორმინის (4) გამოყენებით დამზადებული 12 მმ. სისქის მქონე ფურცლებით, რაც საშუალებას აძლევს მკვლევარს უფრო თვალნათლივ შეხედოს და თვალი ადევნოს ექსპერიმენტის მიმდინარეობას.



სურ. 2. ჰიდროვლიკური ღარის სადაწნეო რეზერვუარი



სურ. 3. წყალთამეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე ჰიდროვლიკურ ლაბორატორიაში არსებული ჰიდროვლიკური ღარის მზომი ხელსაწყო

ჰიდრავლიკური ღარი სახსროვან მოძრავი შეერთებით (5) დაკავშირებულია, არაგანშლადი შეერთებით დაკავშირებულ 3 მმ სისქის ფოლადის ფურცლებით შედგენილი ოთხ ფოლადის ორტესებრ კოჭებზე განთავსებულ წყლის რეზერვუართან (6). ჰიდრავლიკური ღარის საყრდენს (7) წარმოადგენს ორტესებრ კოჭზე განთავსებული ჰოჭონაქი, რომელიც იძლევა საშუალებას ჰიდრავლიკურმა ღარმა მიიღოს სხვადასხვა ექსპერიმენტალური კვლევისას განსხვავებული ქანობები [91, 92, 93, 94, 95, 96].



სურ. 4. ჰიდრავლიკური ღარი წყლის ნაკადის გადაადგილების პროცესში

ექსპერიმენტალური კვლევისას ჰიდრავლიკურ ღარში გავლილი წყლის ნაკადის გადაადგილება ხდება წყალშემკრებ რეზერვუარში (9), სადაც განთავსებულია უხეში ნაწილაკების დამჭერი ფილტრი (8), რომლის გავლის შემდგომაც წყლის ნაკადი უერთდება ცენტრალური წყალარინების

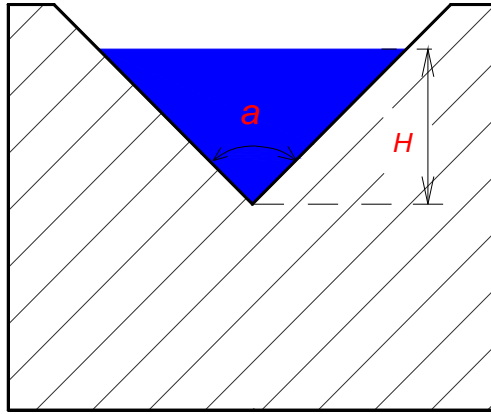
სისტემას. ექსპერიმენტალური კვლევის დროს, მეცნიერთა ჯგუფისთვის ცდის მიმდინარეობის პროცესის დეტალურად აღწერის მიზნით ჰიდრავლიკური ღარის მარჯვენა ნაწილზე განთავსებულია ფოლადის ჯებირით შემოსაზღვრული სადგომი (10).

ჰიდრავლიკური კვლევისათვის ღაერზე არასტაციონარულად განთავსებულია მზომი ტესტერი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ჰიდრავლიკური ღარის მთელ პერიმეტრზე განისაზღვროს ნაკადის ჰიდრავლიკური მახასიათებლები. ღარის მთელ პერიმეტრზე მოწყობილია სანიველირე ბაფთა, რომელიც გვამლევს საშუალებას ექსპერიმენტის, ცდის მიმდინარეობისას განისაზღვროს ჰიდრავლიკურ ღარში ჰიდრავლიკური მოდელის განთავსების ადგილი და ნაკადის ჰიდრავლიკურ მახასიათებელთა მდებარეობა. ლაბორატორიის წყლით მკვებავ წყაროს წარმოადგენს ცენტრალური წყალმომარაგების სისტემა. პოლიპროპილენის 40 მმ დიამეტრის მილი უკავშირდება ცენტრალურ წყალმომარაგების სისტემას, რომელიც ახდენს წყლის ტრანსპორტირებას წყალშემკრებ რეზერვუარში. მილზე განთავსებულია ჩამკეტ-მარეგულირებელი, სწრაფმავალი სარქველი, რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელია წყლის ხარჯის შემოდინების რეგულირება წყალშემკრებ რეზერვუარში.

3.3. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ

ნაგებობასთან შეუღლების ექსპერიმენტული კვლევა

ექსპერიმენტის ჩატარებისთვის საჭირო ხარჯის დადგენის მიზნით საჭიროა შერჩეულ და გაანალიზებულ იქნეს წყალსაშვის ტიპი. განვიხილოთ თხელკედლიანი სამკუთხა წყალსაშვი ნახ. 28 სამკუთხა ფორმის წყალსაშვის ხარჯი განისაზღვრება ფორმულით



ნახ 28. თხელკედლიანი სამკუთხა ტიპის წყალსაშვი

$$Q = MH^n \quad (3.3.1)$$

თუ კუთხე $a = 90^\circ$, მაშინ ხარჯი შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ტომსონის ფორმულით

$$Q = 1.4H^2\sqrt{H} \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (3.3.2)$$

ან, რამდენადმე ზუსტად,

$$Q = 1.343H^{2.47} \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (3.3.3)$$

ხარჯის სიდიდე წყალსაშვიზე, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ფორმულით (3.2.2) ნაანგარისები სიდიდეები მოცემულია ცხრილი 9-ში. ფორმულა 3.2.3 ანგარიში წარმოდგენილია ცხრილი 10.

ცხრილი 9.

სამკუთხა წყალსაშვის ხარჯის სიდიდეები (კუთხე $a = 90^\circ$) ფორმულით $Q = 1.4H^2\sqrt{H}$

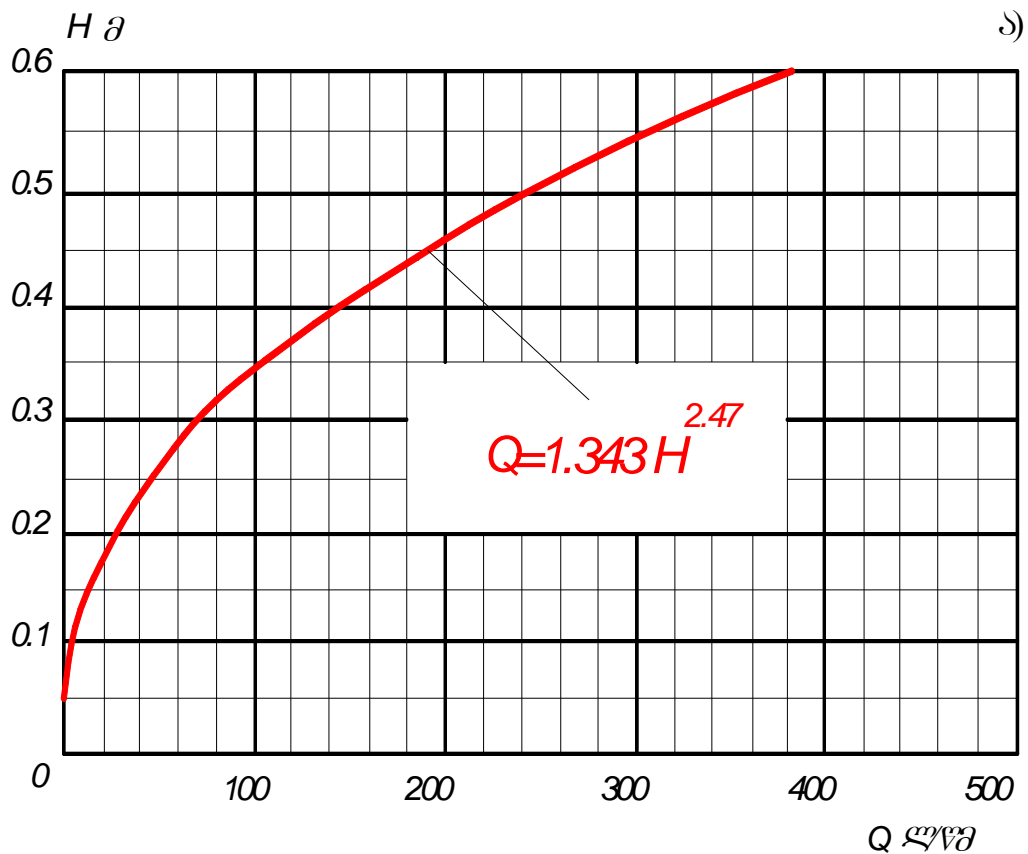
H მ.	Q ლ/წმ	H მ.	Q ლ/წმ	H მ.	Q ლ/წმ
0.02	0.140	0.16	14.35	0.30	69.1
0.04	0.42	0.18	19.20	0.40	141.6
0.06	1.24	0.20	25.10	0.50	247.5
0.08	2.53	0.22	31.8	0.60	390.8
0.10	4.43	0.21	39.5	0.70	575.0
0.12	7.00	0.26	48.3	0.80	802.0
0.14	10.22	0.28	58.2	0.90	1117.0

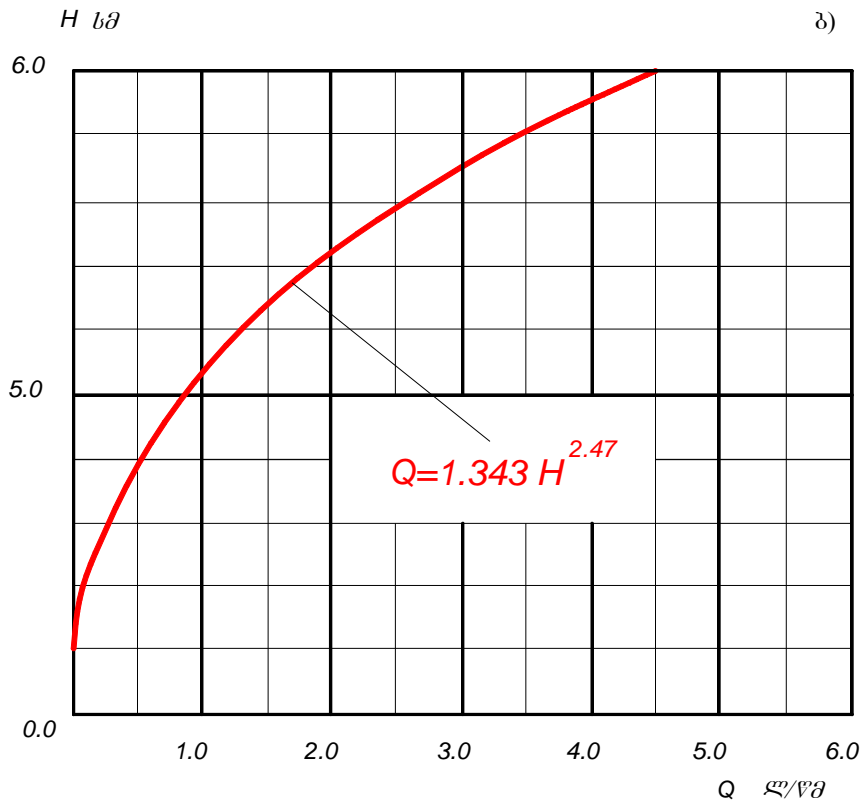
ცხრილი 10.

ხარჯის სიდიდეები სამკუთხა წყალსაშვის (კუთხე $\alpha = 90^\circ$) ფორმულით
 $Q = 1.343H^{2.47}$

H მ.	Q ლ/წმ	H მ.	Q ლ/წმ	H მ.	Q ლ/წმ
0.03	0.23	0.12	7.14	0.40	139.9
0.04	0.47	0.14	10.45	0.45	186.9
0.05	0.81	0.16	14.54	0.50	242.7
0.06	1.29	0.18	19.43	0.55	306.0
0.07	1.88	0.20	25.29	0.60	380.1
0.08	2.62	0.25	43.82	0.65	463.2
0.09	3.50	0.30	68.67		
0.10	4.55	0.35	100.4		

რელიეფისთვის გამოიანგარიშება ფორმულით $Q = 1.4H^2\sqrt{H}$ ასევე
 ემსახურება დამხმარე ცხრილი 11 მნიშვნელობა $N = H^2\sqrt{H}$.





ნახ.29. განსაზღვრულია სამკუთხა წყალსაშვიდან გადმოდინებული წყლის ხარჯის სიდიდე როცა $\alpha = 90^\circ$

ა) საშუალო დაწნევისას ბ) დაბალი დაწნევისას

ფორმულა $Q = 1.343H^{2.47}$ მ³/წმ, გვამღევს ზუსტ ინფორმაციას $H + p_B > 3H$;

$B > 5H$; $H = 0.06 \div 0.65$ მ, სადაც B – სიგანე სწორკუთხა წყალსაშვის; $H + p_B$ – მთლიანი სიღრმე კალაპოტის წყალსაშვის წინ.

ცხრილი 11-ში განსაზღვრულია დამოკიდებულება $N = H^{2.5}$

ცხრილი 11.

$N = H^{2.5}$ დამოკიდებულება

H	N	H	N	H	N	H	N	H	N
0.00	0	0.2	9	0.4	2	0.6	9	0.8	4
0.02	1	0.22	7	0.42	3	0.62	7	0.82	9
	0.000		0.017		0.101		0.278		0.572
	0.000		0.022		0.114		0.302		0.608

0.04	0.000		0.028		0.128		0.327		0.646
	3	0.24	2	0.44	4	0.64	7	0.84	7
0.06	0.000		0.034		0.143		0.353		0.685
	9	0.26	5	0.46	5	0.66	9	0.86	9
0.08	0.001		0.041		0.159		0.381		0.726
	8	0.28	5	0.48	6	0.68	3	0.88	5
0.10	0.003		0.049		0.176		0.410		0.768
	2	0.3	3	0.5	8	0.7	0	0.9	4
0.12	0.005		0.057		0.195		0.439		0.811
	0	0.32	9	0.52	0	0.72	9	0.92	8
0.14	0.007		0.067		0.214		0.471		0.856
	3	0.34	4	0.54	3	0.74	1	0.94	7
0.16	0.010		0.077		0.234		0.503		0.903
	2	0.36	8	0.56	7	0.76	5	0.96	0
0.18	0.013		0.089		0.256		0.537		0.950
	7	0.38	0	0.58	2	0.78	3	0.98	7

ცნობილია არხაშენის წყალსაცავის პროექტის ნამეტი წყლის ხარჯის ის რაოდენობა (135 მ³/წმ – ში), რომელიც უნდა გატარდეს წყალსაგდები ნაგებობით ქვემო ბიუფში; ვსაზღვრავთ მოდელისათვის ხარჯის რაოდენობას, რომლითაც უნდა ჩატარდეს მოდელზე კვლევა.

$$\frac{Q_{\delta} \text{ მ}^3/\text{წმ}}{Q_{\delta} \text{ მ}^3/\text{წმ}} = \frac{V_{\delta} \omega_{\delta}}{V_{\delta} \omega_{\delta}} = m_e^{0.5} m_e^2 = m_e^{2.5} \quad (3.3.4)$$

$$\frac{135}{Q_{\delta}} = 115^{2.5} \quad (3.3.5)$$

$$\frac{135 \text{ მ}^3/\text{წმ}}{Q_{\delta} \text{ მ}^3/\text{წმ}} = 141822.33 \quad (3.3.6)$$

$$Q_{\delta} = 0,00095 \text{ მ}^3/\text{წმ} \quad (3.3.7)$$

მიღებული მონაცემის საფუძველზე (135 მ³/წმ – ში),რათა უზრუნველყოფილ იქნას წყლის შეუფერხებელი მიწოდება მოდელისატვის შესაბამისი რაოდენობით, საჭიროა განისაზღვროს ნაკადის შრის სიღრმე სამკუთხა წყალსაშვზე. შევარჩიე და ანგარიში ვაწარმოე ფორმულა 3.3.3 გამოყენებით. ანგარიში წარმოდგენილია ცხრილი 12-ში.

ცხრილი 12.

ნაკადის შრის სიღრმე სამკუთხა წყალსაშვზე

დაწნევა	წყლის ხარჯი მ ³ /წმ	წყლის ხარჯი ლ/წმ
H მმ	Q მ³/წმ	Q ლ/წმ
50	0,00082	0,82
51	0,00086	0,86
52	0,00090	0,90
53	0,00095	0,95
54	0,00099	0,99

მიღებული მონაცემის საფუძველზე განსაზღვრულია ნატურაში მიღებული წყალსაგდებით გასატარებელი მაქსიმალური ხარჯის შესაბამისი სიდიდე ფორ. 3.3.4 (135 მ³/წმ – ში) ლაბორატორიული მოდელისათვის (0.95 ლ/წმ – ში, იხ.ცხრილი №12).

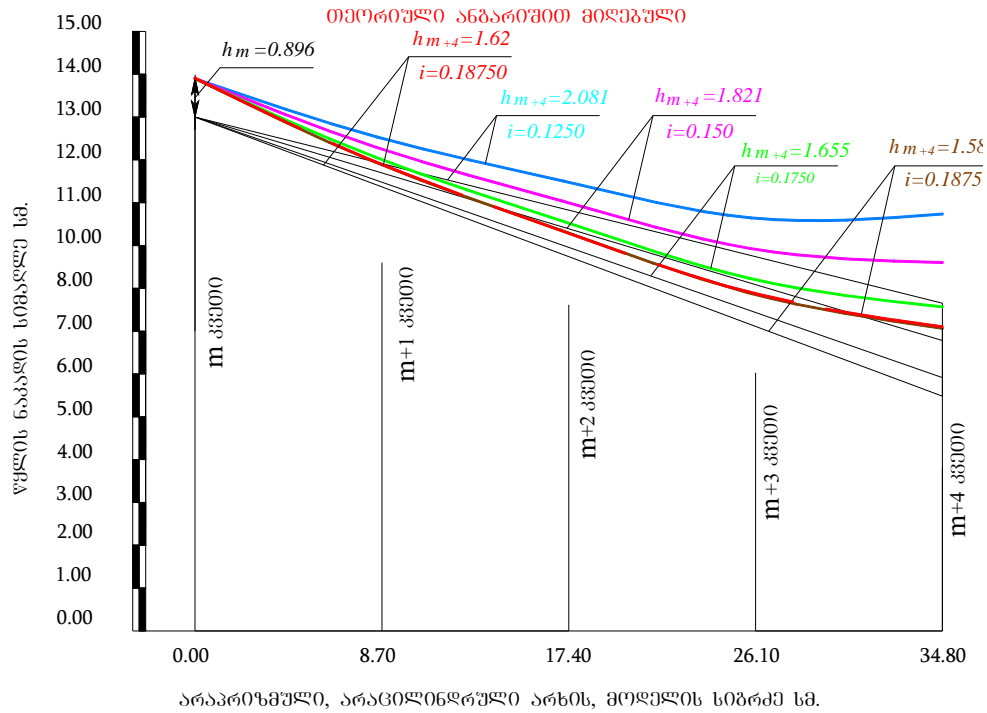
აქედან გამომდინარე დადგინდა, რომ ნაკადის შრის სიმაღლე ჰიდრავლიკურ ღარში განთავსებულ სამკუთხა კვეთის წყალსაშვზე გადმოდინებისას უნდა იქნეს 53 მმ.

შესაბამისად უკვე განისაზღვრა ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკური კვლევისათვის, ჩასატარებელი ცდის წყლის ხარჯის შესაბამისი რაოდენობა, რაც ტოლფასია ნატურაში არსებული კატასტროფული წყლის ხარჯის რაოდენობის, რომელიც უნდა გაატაროს ახარშენის წყალსაცავზე დაპროექტებულმა წყალსაშვმა.



სურ. 5. წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე არსებულ ჰიდრაულიკურ ღარში განთავსებული თხელკედლიანი სამკუთხა ტიპის წყალსაშვი.

მოდელირების თეორიის გამოყენებით საჭირო იყო დამზადებულიყო მოდელი, რომელიც იქნებოდა პროექტში მოხმობილი წყალსაგდები ნაგებობის ანალოგი. მხოლოდ განსხვავებულია სწრაფდენთან შეერთების კვეთში არაპრიზმული, არაცილინდრული სწრაფდენთან შემაუღლებელი ნაგებობის, არხის ზომა. შესაბამისად პროექტით გათვალისწინებული პრაქტიკული პროფილის ნაცვლად დავამზადე ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის მოდელი, ხოლო არაპრიზმული,



ნახ. 30. არაპრიზმული, არაცილინდრული შემაუღლებელი ნაგებობის მოდელზე მიღებული ნაკადის თავისუსალი ზედაპირის წირები სხვადასხვა ქანობის დროს არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელი არხის პროექტით გათვალისწინებული სწრაფდენთან შეუღლებების კვეთში 8.5 მეტრის ნაცვლად 6.5 მეტრის შესაბამისი მოდელი.

მოდელირების თეორიის გამოყენებით გავიანგარიშე პროექტით არსებული ნაგებობების გეომეტრიული ზომები ნატურიდან მოდელისთვის. პროექტში წარმოდგენილი პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის სიგანე, არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის შემაუღლებელი დარის სიგრძე და სიგანე შეადგენს 40 მეტრს.

$$m_e = \frac{l_b}{l_a} = \frac{40 \text{ მ}}{0.348 \text{ მ}} = 115 \quad (3.3.8)$$

მოდელირებისთვის l_a განისაზღვრა წყალთამეურნეობის ჰიდრავლიკის ლაბორატორიაში არსებული ჰიდრავლიკური დარის მაქსიმალური სიგანე, რაც თავისმხრივ საშუალებას მომცემდა მაქსიმალურად ამეთვისებუნა არსებული ლაბორატორიული რესურსი და შესაბამისად მოდელირების მასშტაბი განმესაზღვრა მინიმალურად შესაძლო მნიშვნელობით, რაც მომცემდა ცდის მიმდინარეობის პროცესში მეტ შესაძლებლობას უფრო თვალნათელივ აღსაქმელი ყოფილიყო პროცესი.



სურ. 6. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ჰიდრავლიკური მოდელი

გამომდინარე ანგარიშედან ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის სიგანედ და შემაუღლებელი ნაგებობის სიგრძედ განისაზღვრა 0.348 მ. შესაბამისად სწრაფდენთან შეუღლებისას სწორკუთხა არაპრიზმული არხის ფუძის სიგანე გაუტოლდა 0.057 მ. მოდელის დასამზადებლად შერჩეულ იქნა კომპოზიტური მასალა ორმინა, რომლის გამოყენებითაც დამზადდა ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეერთების მოდელი კვლევისათვის.

ცხრილი 13.

ლაბორატორიული ცდის შედეგები

ნაკადის სიმაღლე კვეთში მ.	არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის კვეთი				
	m	$m+1$	$m + 2$	$m + 3$	$m + 4$
ქანობი	$i = 0.125$				
$h_{\text{მოდელი}}$ სმ.	0.90	0.59	0.65	0.90	2.08
$h_{\text{ნატურა}}$ მ.	1.05	0.69	0.76	1.05	2.44
ქანობი	$i = 0.13125$				
$h_{\text{მოდელი}}$ სმ.	0.90	0.58	0.64	0.88	2.00

h _{ნატურა მ.}	1.05	0.679	0.748	1.029	2.35
ქანობი	<i>i = 0.1375</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.57	0.63	0.86	1.94
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.668	0.734	1.006	2.269
ქანობი	<i>i = 0.14375</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.56	0.61	0.84	1.87
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.658	0.721	0.986	2.198
ქანობი	<i>i = 0.150</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.55	0.60	0.82	1.82
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.649	0.708	0.965	2.135
ქანობი	<i>i = 0.1562</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.55	0.59	0.81	1.77
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.640	0.697	0.948	2.078
ქანობი	<i>i = 0.1625</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.54	0.58	0.79	1.73
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.63	0.685	0.930	2.027
ქანობი	<i>i = 0.1688</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.53	0.58	0.78	1.69
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.623	0.675	0.914	1.979
ქანობი	<i>i = 0.1750</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.52	0.57	0.77	1.65
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.615	0.664	0.898	1.94
ქანობი	<i>i = 0.18125</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.52	0.48	0.75	1.62
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.607	0.559	0.884	1.896
ქანობი	<i>i = 0.1875</i>				
h _{მოდელი სმ.}	0.90	0.51	0.55	0.74	1.59
h _{ნატურა მ.}	1.05	0.6	0.646	0.87	1.86

მიღებული მონაცემებზე დაკვირვებით ცხადია, რომ თეორიული გაანგარიშებით მიღებული მონაცემები და ცდის შედეგად მიღებული მონაცემების მოდელირების თეორიის გამოყენებით მოდელიდან ნატურაში გადაყვანისას არის დასაშვები ცდომილება, რის საფუძველზეც დგინდება, რომ თეორიული ანგარიში და ცდის შედეგები არის სამეცნიერო ლიტერატურაში მოხმობილი თეორიებისა და ფორმულების გამოყენებით სწორად, მართებულად შესრულებული და წარმოადგენს არაპრიზმული, არაცილინდრული სწრაფდენტან შემაუღლებელი ნაგებობაში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის გაანგარიშების მეცნიერულ მეთოდს.

3.4 არაპრიზმული არხის შემაუღლებელი დარქიმიანი ნაგებობის მოდელი

სადისერტაციო ნაშრომის ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების თეორიულ-ექსპერიმენტულ შედეგებზე დაკვირვებიდან გამომდინარე, სამეცნიერო ხელმძღვანელის პროფესორ იური ქადარიას რეკომენდაციით დავამზადე ახალი მოდელი, რომელიც შეამცირებდა არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენტან შემაუღლებელი ნაგებობის შევიწროებულ კვეთში ნაკადის მარჯვენა და მარცხენა დინების არაპრიზმული არხის სიმეტრიის ღერძთან შერწყმის კვეთში ნაკადის აზვირთებას, რაც არსებით ზეგავლენას იქონიებდა წყლის ნაკადის შრის სიმაღლეზე შევიწროებულ კვეთში. მოდელი დამზადდა ხის მასალისგან და შესაბამისად შეიცვალა მოდელირების მასშტაბი.

$$m_e = \frac{l_{\bar{\theta}}}{l_{\theta}} = \frac{40 \text{ მ}}{0.308 \text{ მ}} = 130$$



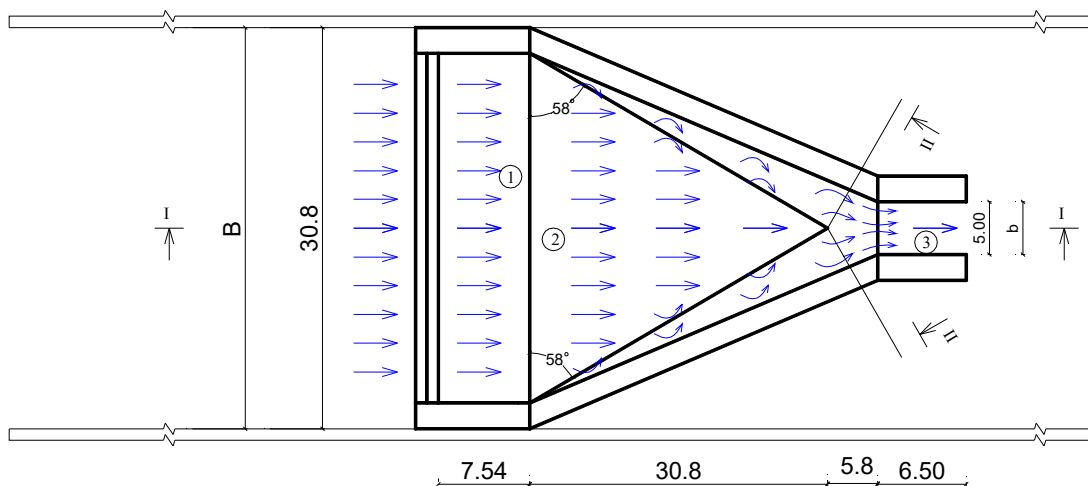
სურ. 7. არაპრიზმულ, არაცილინდრულ შემაუღლებელ ნაგებობაზე ნაკადის აზვირთება.

ამისათვის კვლავ მოდელირების თეორიის გამოყენებით ნატურიდან მოდელზე გადასვლისათვის დამზადდა, როგორც ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის ასევე არაპრიზმული არხისა და სწრაფდენის ახალი მოდელი. მოდელის დამზადებისათვის გამოყენებულ იქნა მასალა ხე. არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის არხის ფსკერზე შემუშავებული ნახაზების მიხედვით განთავსდა უკიდურე მარჯვენა და მარცხენა მხარეს სიღრმითი ღარები.



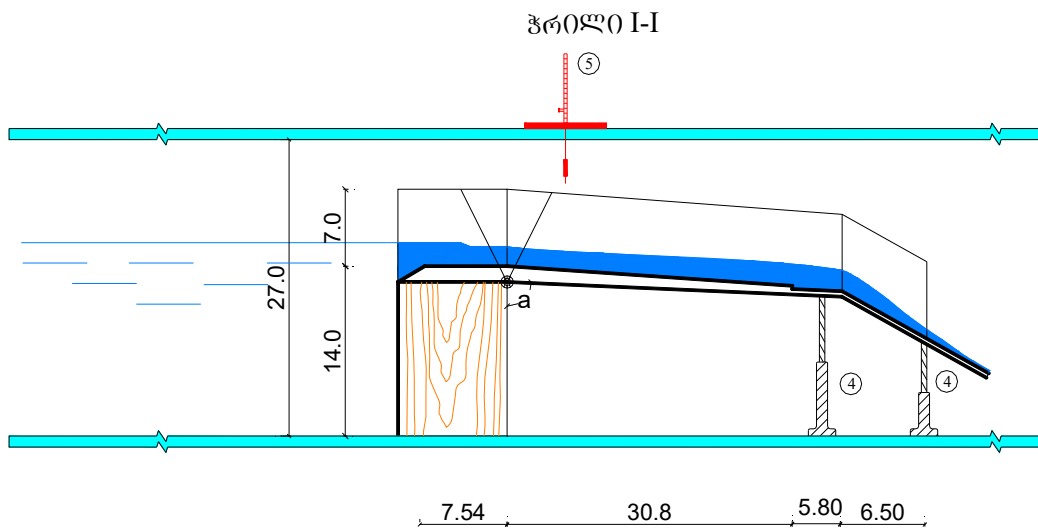
სურ. 8. არაპრიზმულ, არაცილინდრულ შემაუღლებელ ნაგებობაზე ნაკადის აზვირთების პროცესის დაკვირვება პროფესორ ი. ქადარიას მიერ ექსპერიმენტული ცდის მსვლელობის პროცესში.

ბეჭედი



ნახ. 31. არაპრიზმული არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენთან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის გეგმა (პროფესორ ი. ქადარიას წინადადებით)

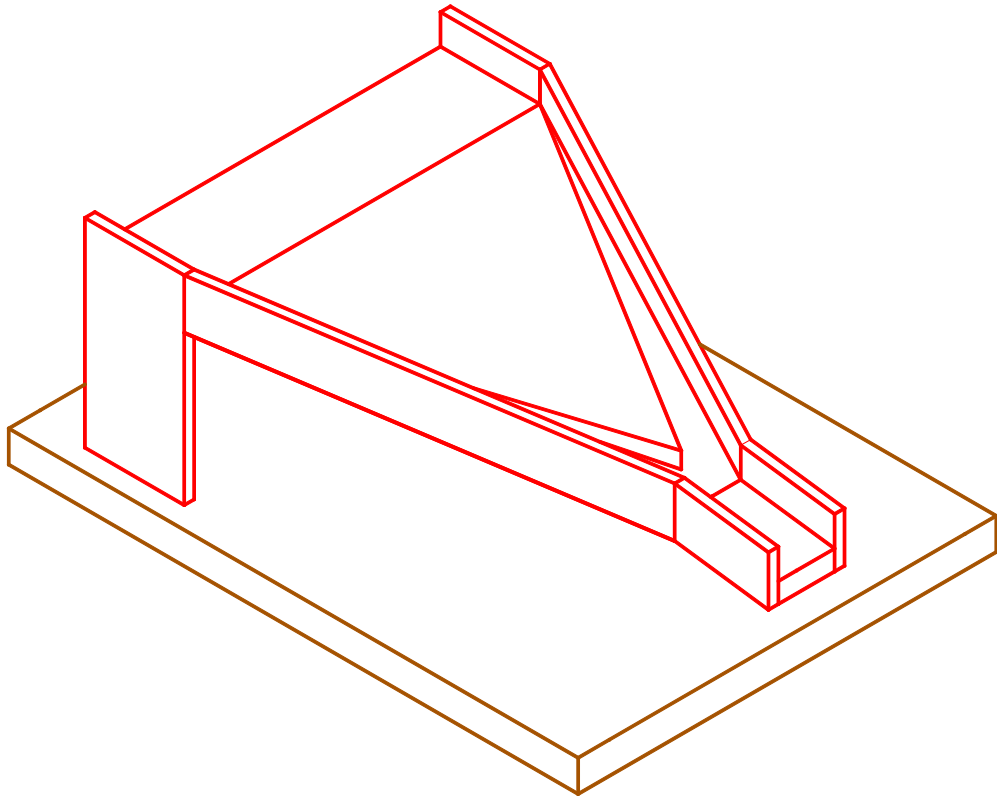
თეორიული და პქარტიკული ანგარიშების საფუძველზე განისაზღვრა მოდელის მეორე ვარიანტის მოდერნიზებული სქემა, რომელის ფსკერზეც ნაკადის მოძრაობის გეგმის არაპრიზმულ, არაცილინდრულ არხის სიმეტრიის ღერძისადმი ნაკადის აზვირთების ადგილას შევიწროებულ კვეთში. მოხდა მოდელის ნაკადის სიღრმის დამადაბლებელი ღარების მოწყობა [97].



ნახ. 32. არაპრიზმული არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენთან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის ჭრილი



სურ. 9. არაპრიზმული არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენთან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის



ნახ. 33. არაპრიზმული არაცილინდრული მოდელის მეორე ვარიანტი სწრაფდენტან შემაუღლებელი ღარქიმიანი ნაგებობის მოდელის აქსონომეტრული ნახაზი (პროფესორ ი. ქადარიას წინადადებით)

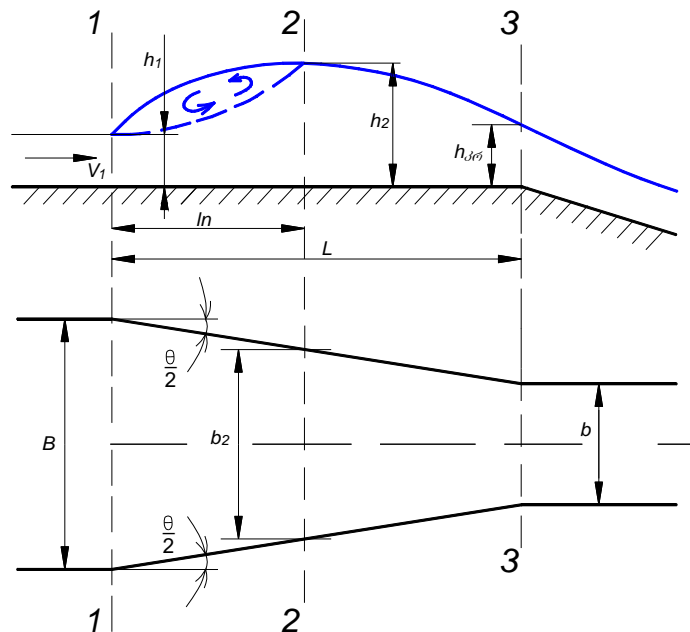
რომელთა გადაკვეთის წერტილი მდებარეობს ანგარიშით მიღებული მარჯვენა და მარცხენა ნაკადთა გადაკვეთის წერტილში (ნახ 31, 32, 33). ცდების მონაცემებზე დაყრდნობით, ამოზნექილობის სიმაღლე ტოლია $H_{m+4} \cdot 1/3$. ანუ მოდელზე ამოზნექილობის სიმაღლე ტოლია 0.47 სმ. არაპრიზმულ შემაუღლებელ ნაგებობაზე გადადინებული ნაკადის სიმაღლე სწრაფდენტან შეუღლების კვეთში მოდელზე ტოლია 1.26 სმ, რაც ნატურაში ტოლია 1.64 მეტრი წყლის ნაკადის სიღრმის შევიწროებულ კვეთში.

თავი 4. მიღებული შედეგების შედარებითი ანალიზი

4.1. პრაქტიკული პროფილის წყალსაგდები

ნაგებობის ანგარიში

გავიანგარიშოთ არაპრიზმული, სწორკუთხა კვეთის სწრაფმდენთან შემაულლებელი ნაგებობა, რომლის სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში ფუძის სიგანე უდრის 6.5 მეტრს. საჭიროა შემდგომში მოვახდინოთ სრულფასოვანი შედარება და მივიღოთ სრული სურათი ორი განსხვავებული მოხაზულობის მქონე, ნაგებობის ჰიდრავლიკური მახასიათებლების. ამისათვის განვიხილოთ ნახაზ 34-ზე წარმოდგენილი საანგარიშო სქემა ჩვენი მიზანია განვსაზღვროთ $135 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ წყლის ხარჯის დროს პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადმოდინებული ნაკადის სიღრმე h_c , h_2 და h_3 კვეთებში.



ნახ. 34. წყალსაგდები ნაგებობის საანგარიშო სქემა

პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიზე გადადინებული წყლის ხარჯის განსაზღვრა:

$$Q = mb\sqrt{2g}H_0^{\frac{3}{2}} \quad (4.1.1)$$

სადაც: Q – კატასტროფული წყლის ხარჯი, $\text{მ}^3/\text{წმ}$

m – კოეფიციენტი წყალსაშვის ხარჯის;

b – წყალსაგდები ნაგებობის სიგანე, $b = 40$ მ;

H_0 – დაწნევა, მ;

g – წარმოადგენს სიმძიმის ძალის თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას, $g = 9,81$ მ²/წმ;

დაწნევის განსაზღვრა პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვზე 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს

$$135 = 0,49 \cdot 40 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 H_0^3}$$

საიდანაც დაწნევა წყალსაშვზე საანგარიშო ხარჯის გამგებისას $Q = 135$ მ³/წმ ტოლია $H_0 = 1.34$ მ.

$$H = H_0 - \frac{v^2}{2g} = 1.14 \text{ მ} \quad (4.1.2)$$

შეკუმშული ნაკადის სიღრმე ქვედა ბიეფში h_c კვეთში წყალსაშვის ძირში გამოითვლება განტოლების ამოხსნით:

$$q = \varphi h_c \sqrt{2p(p + H_0 - h_c)} \quad (4.1.3)$$

1-მიახლოებაში

$$h_{c1} = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(P + H_0)}} = \frac{3.375}{0.95 \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (3 + 1.34)}} = 0.385 \text{ მ.} \quad (4.1.4)$$

2-მიახლოებაში

$$\begin{aligned} h_{c2}' &= \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(P + H_0)}} = \frac{3.375}{0.95 \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (3 + 1.34 - 0.385)}} \\ &= 0.403 \text{ მ.} \end{aligned} \quad (4.1.5)$$

3-მიახლოებაში

$$h_{c3}'' = \frac{q}{\varphi\sqrt{2g(P+H_0)}} = \frac{3.375}{0.95\sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (3 + 1.34 - 0.403)}} = 0.404 \text{ მ.} \quad (4.1.6)$$

საჭიროა განვსაზღვროთ გრაფიანალიტიკური მეთოდის გამოყენებით შეკუმშული ნაკადის სიღრმე.

$$y = (P + H_0)h_c^2 - h_c^3 \quad (4.1.7)$$

4.1.7 განტოლების გარდაქმნის შედეგად ვიღებთ

$$(P + H_0)h_c^2 - h_c^3 = \frac{q^2}{\varphi^2 g} \quad (4.1.8)$$

განტოლების მეორე ნაწილის გაანგარიშების შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{q^2}{\varphi^2 g} = \frac{3,375^2}{0,95^2 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,643 \quad (4.1.9)$$

გამოვთვალოთ y მნიშვნელობები განტოლებით

$$y = (P + H_0)h_c^2 - h_c^3 \quad (4.1.10)$$

$$h_c = 0.2 \quad y = (3 + 1.34) \cdot 0.2^2 - 0.2^3 = 0.1656$$

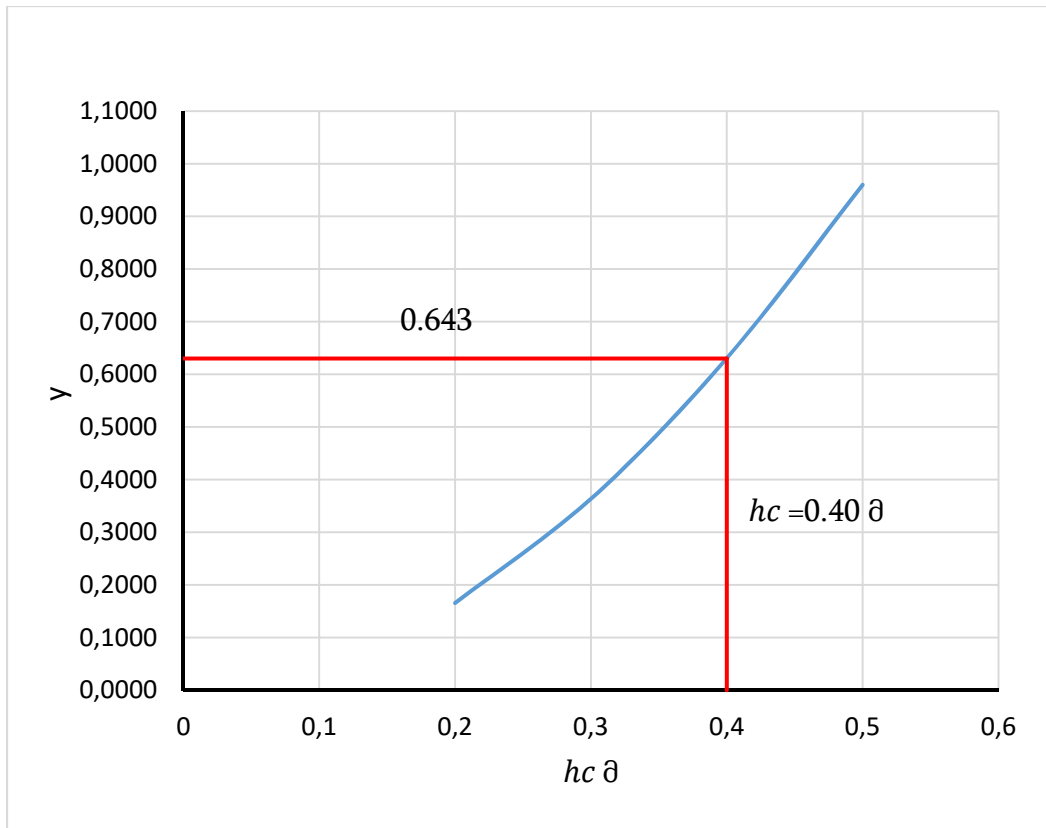
$$h_c = 0.3 \quad y = (3 + 1.34) \cdot 0.3^2 - 0.3^3 = 0.3636$$

$$h_c = 0.4 \quad y = (3 + 1.34) \cdot 0.4^2 - 0.4^3 = 0.6304$$

$$h_c = 0.5 \quad y = (3 + 1.34) \cdot 0.5^2 - 0.5^3 = 0.960$$

ცხრილი 14

h_c მ.	0.2	0.3	0.4	0.5
y	0.1656	0.3636	0.6304	0.960



ნახ. 35. დინების სიჩქარე, რომლის დროსაც ხდება გადასვლა მძაფრი ნაკადის წყნარ ნაკადში

განგარიშებას ვახდენთ ფორმულებით, კვეთში სადაც ხედაბა შევიწროება წარმოიქმნება მძაფრი ან წყნარი ნაკადი. როდესაც ნაკადი გადადის მძფრი მდგომარეობიდან წყნარ მდგომარეობაში გამოითვლება ფორმულით: [98]

$$Q_{კრ} = \mu_{კრ} b \sqrt{2g} \vartheta^{\frac{3}{2}} \quad (4.1.11)$$

სადაც ϑ – წყლის ნაკადის კუთრი ენერგია შევიწროებულ განივი კვეთის დასაწყისში;

$\mu_{კრ}$ – ხარჯის კოეფიციენტი ნაკადის კრიტიკული მდგომარეობისათვის;

$$\mu_{კრ} = 0.366 - 0.016 \left(0.2 \cdot Fr + \frac{\psi - 1}{2 \cdot \tan \frac{\theta}{2}} \right) \quad (4.1.12)$$

სადაც Fr – ფრუდის რიცხვის მნიშვნელობა 1 – 1 კვეთის დასაწყისში

$$Fr = \frac{q^2}{gh^3} \quad (4.1.13)$$

არხის შევიწროების ხარისხი

$$\psi = \frac{b}{B} \quad (4.1.14)$$

$$\psi = \frac{8.5}{40} = 0.21$$

$$h_1 = h_c = 0.4 \text{ მ}$$

$$\frac{\theta}{2} = 22^{\circ}43' \quad (4.1.15)$$

საჭიროა განისაზღვროს $q, \Xi, Fr, \mu_{კრ}$ მნიშვნელობები წყლის ნაკადის სხვადასხვა ხარჯისათვის და გამოვთვალოთ გატოლებით 4.1.11 კრიტიკული წყლის ნაკადის ხარჯის მნიშვნელობა. ანგარიში მოცემულია ცხრილი 15.

ცხრილი 15.

Q_i მ ³ /წმ	$q_i = \frac{Q_i}{B = 40}$ მ ³ /წმ	Ξ_i მ	$\Xi_i^{\frac{3}{2}}$	Fr_i	$\mu_{კრ_i}$	$Q_{კრ_i}$ მ ³ /წმ
60	1.5	1.117	1.180	3.584	0.370	12.6
80	2.0	1.674	2.166	6.371	0.361	22.5
100	2.5	2.391	3.697	9.955	0.350	37.2
120	3.0	3.267	5.905	14.335	0.336	57.1
135	3.375	4.029	8.086	18.143	0.323	75.3
150	3.75	4.880	10.779	22.398	0.310	96.2

გამოვთვალოთ წყლის ნაკადის ხარჯის ნახტომი, რომლის დროსაც წყლის ნაკადი გადადის წყნარი დინებიდან გადასვლა მძაფრ დინებაში. $Q'_{კრ}$ განისაზღვრება ფორმულით:

$$Q'_{კრ} = \mu'_{კრ} b \sqrt{2g} \Xi_2^{\frac{3}{2}} \quad (4.1.16)$$

სადაც, ϑ_2 – წყლის ნაკადის კუთრი ენერგია ნაკადის ნახტომის ბოლოში 2 – 2 კვეთში,

$$\mu'_{კრ} = \varphi' \mu' k' \sqrt{1 - \beta' k'} \quad (4.1.17)$$

სადაც, φ' – სიჩქარის კოეფიციენტი გამოსასვლელ კვეთში, ნაკადის წყნარი მდგომარეობის დროს $\varphi' = 0.95$;

β' – სიმრუდის კოეფიციენტი 3 – 3 კვეთში, რომელიც გავლენას ახდენს ნაკადის პოტენციალური ენერგიის მნიშვნელობაზე;

$K' = h_3/\vartheta_2$ – წყლის ნაკადის ფარდობითი სიღრმე გამოსასვლელ 3 – 3 კვეთში.

თუ შევიწროებულ კვეთში წყრაფმდენი განთავსებულია ქანობით

$$k' = \frac{1.08}{i_0} + 0.15 \left(\frac{\vartheta_2}{b} - 0.2 \right) \quad (4.1.18)$$

დავწეროთ ჰიდრავლიკური ნახტომის ძირითადი განტოლება შევიწროებულ კალაპოტში უგანზომილებო სახით.

$$(1 + 2\psi_2)\eta^2 - (2 + \psi_2 + 6Fr)\eta + \frac{6Fr}{\psi_2} = 0 \quad (4.1.19)$$

სადაც, $\psi_2 = \frac{b_2}{B}$ – არპრიზმული არხის შევიწროების ხარისხი ნაკადის

ჰიდრავლიკური ნახტომის დროს შევიწროებულ კვეთში.

$\eta = \frac{h_2}{h_1}$ – ფარდობითი სიღრმე

$Fr = \frac{q^2}{gh_1^2}$ – ფრუდის რიცხვი კალაპოტის 1 – 1 კვეთში

გამოითვლება ფარდობითი შევიწროება.

$$\psi_2 = 1 - \frac{2 \ln \tan \frac{\theta}{2}}{B} \quad (4.1.20)$$

სადაც, \ln – შევიწროებულ კვეთში წყლის ნაკადის ჰიდრავლიკური ნახტომის სიგრძე.

$$ln = \left(1 + 0.145 \sqrt{Fr \tan \frac{\theta}{2}} \right) f h_1 \quad (4.1.21)$$

სადაც, $f = 10.3(\sqrt{Fr} - 1)^{0.81}$

წყლის ნაკადის ჰიდრავლიკური ნახტომის ln სიგრძე კალაპოტის შევიწროებულ განივ კვეთში, კალაპოტის შევიწროების ხარისხი ψ_2 და კალაპოტის სიგანე ჰიდრავლიკური ნახტომის ბოლოში $b_2 = \psi_2 B$ მოცემულია ცხრილი 16.

ცხრილი 16.

Q_i მ ³ /წმ	q_i $= \frac{Q_i}{B = 40}$ მ ² /წმ	Fr_i	f	ln მ	ψ_2	b_2 მ.
60	1.5	3.58	9.40	4.44	0.90	36.08
80	2	6.37	14.49	7.20	0.84	33.65
100	2.5	9.95	19.18	10.0	0.78	31.18
120	3	14.33	23.62	12.89	0.72	28.64
135	3.375	18.14	26.82	15.13	0.67	26.67
150	3.75	22.40	29.93	17.43	0.62	24.64
170	4.25	28.77	33.97	20.60	0.55	21.84

Fr და ψ_2 მნიშვნელობებს ვიღებთ ცხრილი 16 - დან. გავიანგარიშებთ $\eta = \frac{h_2}{h_1}$, სიღრმე $h_2 = \eta h_1$ და ნაკადის კუთრ ენერგიას ჰიდრავლიკური ნახტომის ბოლოში 2 – 2 კვეთში.

$$\vartheta_2 = h_2 + \left(\frac{Q}{h_2 b_2} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g} \quad (4.1.22)$$

ცხრილი 16-ში მოცემულია სხვადასხვა ხარჯის დროს ჰიდრაულიკური ნახტომის სიგრძე და კალაპოტის შევიწროების ხარისხი შევიწროებულ კვეთში.

ψ_2 და Fr , რიცხვების მიღებული მნიშვნელობების ჩასმით ჰიდრაულიკური ნახტომის ძირითად განტოლებაში, მივიღებთ განტოლებას შემდეგი სახით.

$$2.8\eta^3 + 0.11\eta^2 - 24.38\eta + 23.87 = 0 \quad \eta = 2.164$$

$$2.68\eta^3 + 0.16\eta^2 - 41.06\eta + 45.5 = 0 \quad \eta = 3.11$$

$$2.56\eta^3 + 0.22\eta^2 - 62.48\eta + 76.53 = 0 \quad \eta = 4.093$$

$$2.44\eta^3 + 0.28\eta^2 - 88.7\eta + 119.42 = 0 \quad \eta = 5.119$$

$$2.34\eta^3 + 0.33\eta^2 - 111.51\eta + 162.45 = 0 \quad \eta = 5.925$$

$$2.24\eta^3 + 0.38\eta^2 - 137.02\eta + 216.77 = 0 \quad \eta = 6.761$$

$$2.1\eta^3 + 0.45\eta^2 - 175.17\eta + 313.85 = 0 \quad \eta = 13.6$$

მოცემული განტოლებების ამოხსნის საფუძველზე შესაძლებელია განისაზღვროს წყლის ნაკადის შეუღლების სიღრმე ჰიდრაულიკური ნახტომის, რომელიც შეესაბამება სხვადასხვა ხარჯის მნიშვნელობას $\eta = \frac{h_2}{h_1}$ და $h_2 = \eta h_1$

მიღებული მნიშვნელობებით h_2 და b_2 ცხრილი 17-ში გამოითვლება წყლის ნაკადის კუთრი ენერგია არხის 2-2 კვეთში. ანგარიში მოცემულია ცხრილი 17-ში.

ცხრილი 17.

წყლის ნაკადის ჰიდრაულიკური ნახტომის შეუღლების სიღრმე

Q_i მ ³ /წმ	ψ_2	Fr_i	η	h_2 მ	\mathfrak{P}'_2 მ
60	0.90	3.58	2.164	0.87	1.05
80	0.84	6.37	3.110	1.24	1.43

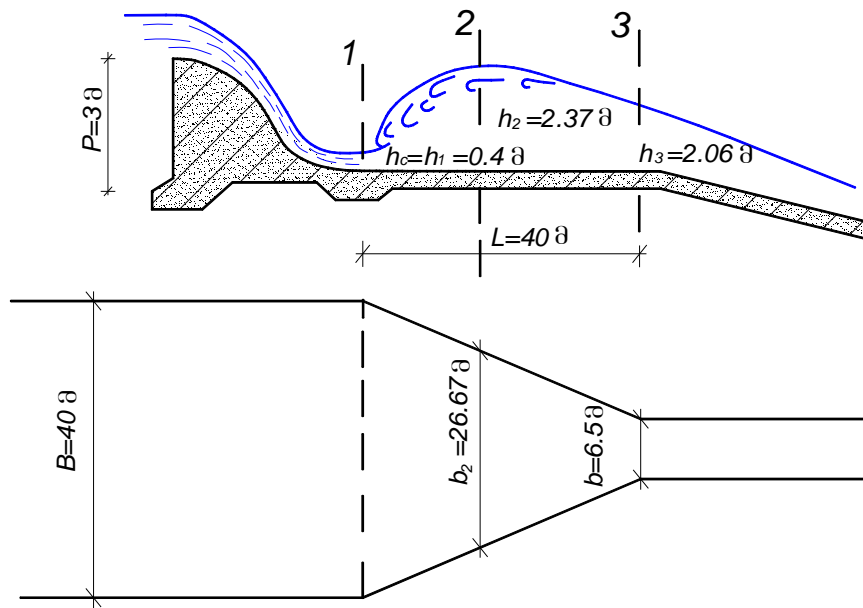
100	0.78	9.35	4.093	1.64	1.83
120	0.72	14.33	5.119	2.05	2.26
135	0.67	18.14	5.925	2.37	2.60
150	0.62	22.40	6.761	2.70	2.96
170	0.55	28.77	7.929	3.17	3.48

ჰ₂ სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით (4.1.22), Q_{კრ}, k' იანგარიშება (4.1.18) გამოსახულებით, μ'_{კრ} სიდიდის განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ (4.1.17) ფორმულით.

$$\beta' = 0.96 - 0.51i_0 \quad (4.1.23)$$

ცხრილი 18.

ჰ ₂ მ	$\frac{\beta'_2}{b}$	$\frac{\beta'_2}{b} - 0.2$	k'	μ' _{კრ}	Q _{კრი} მ ³ /წმ
1.05	0.162	-0.038	0.557	0.407	12.688
1.43	0.220	0.020	0.569	0.414	20.362
1.83	0.282	0.082	0.583	0.420	29.998
2.26	0.348	0.148	0.598	0.426	41.723
2.60	0.400	0.200	0.609	0.431	52.126
2.96	0.456	0.256	0.621	0.436	64.060
3.48	0.535	0.335	0.639	0.443	82.809



ნახ.36. პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადადინებული კატასტროფული წყლის ნაკადის სირრმე შემაურლებელ ნაგებობაში, როცა სწრაფდენტან შეუღლები კვეთში არაპრიზმული სწორკუთხა შემაურლებელი ნაგებობის ფუძის სიგანე უდრის 6.5 მეტრს

წყლის დონე შევიწროებულ ნაწილში და სწრაფდენტანის შესასვლელში როდესაც გაივლის წყალდიდობის ხარჯი 0.5% უზრუნველყოფა $Q = 135 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ზემოთ მოყვანილი გათვლების მიხედვით უდრის: [99,100]

შეკუმშულ კვეთში $h_1 = 0.40 \text{ მ}$

ნაკადის ჰიდრავლიკური ნახტომის ბოლო კვეთში $h_2 = 2.37 \text{ მ}$

სწრაფდენტან შეერთების კვეთში $h_3 = K' \cdot \vartheta_2 = 2.06 \text{ მ}$

4.2. პროექტით არსებული, თეორიული გაანგარიშებით მიღებული სიდიდეებისა და ექსპერიმენტის შედეგების შედარება.

სადისერტაციო ნაშრომის მე-2 თავში განხილულია და ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით გაანგარიშებულია ფართოზღურბლიანი წყალსაშვი, აგებულია არაპრიზმულ, არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენტან შემაურლებელ არხში ნაკადის თავისუფალი ზედაპირის წირი. გაანგარიშებები ჩატარდა არაპრიზმული, არხის სხვადასხვა ქანობისთვის განისაზღვრა არაცილინდრული არხის ოპტიმალური ქანობი,

რომელიც უზრუნველყოფდა 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის გატარებას ზემო ბიევიდან ქვემო ბიევიში. ასევე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აკადემიკოს ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთამეურნეობის ინსტიტუტის ბაზაზე არსებულ ჰიდრავლიკურ ლაბორატორიაში ჩატარებულმა ცდებმა ცხადყო თეოპრიული ანგარიშის მართებულობა. თუ არხაშენის წყალსაცავის პროექტში განთავსებულ პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვებ ნაგებობაზე გადმოდინებული წყლის ნაკადის მიყვანა ხდება სწრაფდენამდე 40 მეტრი სიღრმის ჰორიზონტალური $i = 0.00$ ქანობის არაპრიზმული არხით, რომლის სიგანე პრაქტიკული პროფილის წყალსაშთან შეერთების კვეთში შეადგენს 40 მეტრს, ხოლო სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში კი 8.5 მეტრს. 135 მ³/წმ წყლის ხარჯის გატარების დროს ნაკადის სიმაღლე შეკუმშულ კვეთში $h_c = h_1 = 0.4$ მ. ტოლია ჰიდრავლიკური ნახტომის ბოლოში ნაკადის სიღრმე $h_2 = 2.37$ მ, ხოლო სწრაფდენის შესასვლელ კვეთში კატასტროფული ნაკადის სიღრმე $h_3 = 1.90$ მ. [101, 102, 103].

კვლევაში შემოთავაზებული მოსაზრების საფუძველზე, პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის ჩანაცვლება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვითა და არაპრიამული, არაცილინდრული არხის სწრაფდენთან შეერთების კვეთში სწორკუთხა არხის ფსკერის სიგანის შემცირება 8.5 მეტრიდან 6.5 მეტრამდე საჭიროებდა ხელახა გაანგარიშებას, სხვადასხვა სახელოვანი მეცნიერის მიერ შემოთავაზებული თეორიების გამოყენებით და გაანგარიშებით მიღებული მონაცემების გამყარებას ექსპერიმენტალური კვლებებით. თეორიულმა გაანგარიშებამ გვიჩვენა რომ ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის არაპრიზმული, არაცილინდრული ფორმის არხთან შეერთების $m - m$ კვეთში ნაკადის სიმაღლე $h = 1.05$. ხოლო სწრაფდენთან შეუღლების $m + 4$ კვეთში სადაც სწორკუთხა არხის ფუძის სიგანე პროექტით გათვალისწინებულთან შედარებით შემცირებულია 2 მეტრით ნაკადის სიღრმე ტოლია 1.86 მეტრის. ეს მონაცემები ცხადყოფენ, რომ ჰიდრავლიკური თვალსაზრისით სრულიად გამართლებულია

ახარშენის კაშხლის კვეთში პროექტით გათვალისწინებული პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვი ჩანაცვლდეს ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით და არაპრიზმული არხი სწრაფდენთან შეერთების კვეთში გახდეს 6.5 მეტრი.

სამეცნიერო თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია ერთმანეთს შევადაროთ ისეთი შემთხვევა რომლის დროსაც როგორც პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადმოდინებული წყალი შედის არაპრიზმული ფორმის არხში რომლის გეომეტრიული ზომები პრაქტიკული პროფილის შეერთების კვეთში ტოლია 40 მეტრის ხოლო სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში 6.5 მეტრის. გაანკარიშება მოხმობილია წინამდებარე თვში სადაც ნათლად არის წარმოდგენილი $h_c = h_1 = 0.4$ მ. $h_2 = 2.37$ მეტრს და $h_3 = 2.06$ მეტრს. შესაბამისად არაპრიზმული, არაცილინდრული არხის თანაბარი გეომეტრიული ზომების შემთხვევის განხილვა ნათლად მიუთითებს რომ ფართოზღურბლიანი წყალსაშვიდან გადმოდინებული ნაკადის სიღრმე სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში გაცილებით მცირეა და შეადგენს 1.86 მეტრს ვიდრე პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვიდან გადმოდინებული წყლის ნაკადის სიღრმე რომელი სწრაფდენთან შეუღლების კვეთში ტოლია 2.06 მეტრის [104, 105, 106, 107].

4.3. წყალსაგდები ნაგებობების შედარებითი ანალიზი ეკონომიკური ეფექტურობის გათვალისწინებით

საბაზრო ეკონომიკის პირობებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ნებისმიერი საქონლის თვით ღირებულებას. მშენებლობაში მნიშვნელოვანია გავითვალისწინოთ ნაგებობის ფიზიკურ-ეკონომიკური მახასიათებელი. ჩვენი მიზანია დავაპროექტოთ ნაგებობა ისეთი ფორმით რომ ის ფიზიკურ თვალსაზრისით იქნეს გამართული, ხოლო ეკონომიკური კუთხით მისი ღირებულება შეადგენდეს მინიმალურს. აქედან გამომდინარე ჩვენი კვლევისათვის მნიშვნელოვანია გავაანალიზოთ თუ რაგავლენას იძლევა ჩვენსმიერ მიღებული კვლევის შედეგები არხაშენის წყალსაცავის

წყალსაგდები ნაგებობის ეკონომიკურ ფაქტორზე. წარმოდგენილი ანგარიშები გვიჩვენებ რომ ნაგებობა ჰიდრავლიკური კუთხით სრულიად გამართულია. საჭიროა განვსაზღვროთ თუ რა როლი ითამაშა ამ გაანგარიშებით წარმოდგენილმა გეომეტრიულმა ზომებმა ეკონომიკური თვალსაზრისით [108, 109, 110, 111, 112].

შესაბამისად მისი მშენებლობის დანახარჯები, როგორც გეომეტრიული მოხაზულობის ასევე ქარგილების მოწყობის თვალსაზრისით დიდ ფინანსურ დანახარჯთან არის დაკავშირებული, ვიდრე ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის.

ცხრილი 19.

	პროექტით გათვალისწინებულ ი ნაგებობა მ ³	სადისერტაციო თემაში წარმოდგენილი და გაანგარიშებული წყალსაგდები ნაგებობა მ ³	სხვაობა მ ³
წყალსაშვები	820.8	313.6	507,2
არაპრიზმული, არაცილინდრულ ი ფორმის არხი	971.61	941.33	30.28
სწრაფდენი	3216.84	2631.96	584.88

საჭიროა გავიანგარიშოთ თუ რა მოცულობის ბეტონია საჭირო პროექტით არსებული პრაქტიკული პროფილის წყალსაშვის, არაპრიზმული არხისა და სწრაფდენის მშენებლობისათვის. ასევე შედარებისთვის გავიანგარიშოთ კვლევაში წარმოდგენილი ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის, არაპრიზმული არაცილინდრული ფორმის სწრაფდენთან შემაუღლებელი ნაგებობის და სწრაფდენის ასაშენებლად საღებო ბეტონის მოცულობები. ამ მონაცემების საფუძველზე მოვახდინოთ ბეტონის მოცულობების შედარებითი ანალიზი და განვსაზღვროთ სხვაობა პროექტით

არსებულ წყალსაგდებ ნაგებობისთვის საჭირო ბეტონის მოცულობასა და კვლევაში წარმოდგენილ წყალსაგდებ ნაგებობასთან შედარებით [113, 114, 115].

მნიშვნელოვანია გავითვალისწინოთ და ყურადღება გავამახვილოთ ნაგებობების გეომეტრიულ მოხაზულობაზე და მათი მშენებლობისათვის ქარგილების წარმოებისა და მოწყობის სირთულეებზე რაც მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს პროექტის ეკონომიკურ მხარეზე.

დასკვნები

- გლობალური დათბობის პირობებში აქტუალური გახდა ჰიდროენერგეტიკის განვითარება მისი შესაძლებლობების მაქსიმალურად ათვისების თვალსაზრისით. ასეთი ელექტროსადგურების მშენებლობა XIX საუკუნეში დაიწყო და სხვა ნედლეულზე მომუშავე ელექტროსადგურებს მნიშვნელოვან კონკურენციას უწევს ეკოლოგიურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით.
აღნიშნულიდან გამომდინარე ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობის განვითარება თანხვედრილია სხვადასხვა ტიპის კაშხლების უსაფრთხო და მდგრად მშენებლობასთან. ამ უკანასკნელის ერთ-ერთი მთვარი შემადგენელი ნაწილია წყალსაგდებ ნაგებობათა კომპლექსის მშენებლობა თვით კაშხლის შემადგენლობაში.
- წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია ახალი ტიპის წყალსაგდების კონსტრუირება და ჰიდრავლიკური გაანგარიშება წყალსაცავიდან კატასტროფული ხარჯის ქვემო ბიეფში გასატარებლად.
- განხილულია რეალური პროექტით გათვაკისწინებული მონაცემების საფუძველზე კაშხლის ტანში (უკიდურეს მარცხენა ნაწილში) დაპროექტებული 3 მეტრის სიმაღლის პრაქტიკული პროფილის კაშხლის ჩანაცვლება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით.
- შესრულებულია ჰიდრავლიკური გაანგარიშება ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის სწრაფდენთან შემაუღლებელი არაცილინდრული, არაპრიზმული არხის და დადგენილია მისი ზომები $-b/B = 16 \%$
- აგებულია თავისუფალი ზედაპირის წირები არაცილინდრულ, არაპრიზმული შემაუღლებელი კალაპოტის ზედაპირისთვის $Q = 135 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ხარჯზე ბერნულის განტოლების გამოყენებით (ჩარნომსკი-ხესტედეს მეთოდით).
- მიღებული თეორიული კვლევის შედეგები შემოწმებულია ლაბორატორიულ-ექსპერიმენტული კვლევებით, რომელიც მასშტაბის მიხედვით ადასტურებს მის სისწორეს.

- ლაბორატორიულმა კვლევამ გამოავლინა, რომ შემაუღლებელი კალაპოტისა და სწრაფდენტან შემაერთებელ უბანზე ხდება მძაფრი ნაკადის აზვირთება. აღნიშნული მოვლენის გასანიტრალებლად შემოთავაზებულია ახალი ტიპის იმავე გეომეტრიული ზომის შემაუღლებელი ნაგებობა (იხ. ნახ. 31)
- მიღებული შედეგების გათვალისწინებით სწრაფდენტანის ბოლოში გაანგარისებულია ენერჯის ჩამქრობი ნაგებობის გეომეტრიული ზომები.
- შემოთავაზებული ახალი ტიპის წყალსაგდები ნაგებობის დანერგვა დასაგეგმარებელ პროექტებში გაზრდის მთლიანად ნაგებობის მდგრადობის და ეკონომიურობის მაჩვენებელს.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Eslamian S. Engineering Hydrology. Florida, CRC Press, 2014, 636 p.
2. Chang N., Hong Y. Multiscale Hydrologic Remote Sensing. Florida: CRC Press, 2017, 568 p.
3. Boiten W. Hydrometry. London, CRC Press, 2008, 260 p.
4. Zhiping L., Yunying Q., Shubo Q. Geodesy Introduction to Geodetic Datum and Geodetic Systems. Berlin: Springer, 2017, 235 p.
5. Noack G. Geodasie fur Bauingenieure und Architekten. Berlin: Hubert & Co, 2019, 258 p.
6. Armanin A. „Principles of river hydraulics. Springer international publishing, London, 2018, 399 p.
7. დიაკონიძე რ. „ჰიდრომეტრია“. თბილისი, გამომცემლობა „სტუ“, 2017, გვ. 318.
8. ხელიძე გ., უკლება ნ. „ჰიდროენერგეტიკის ჰიდროლოგიური საფუძვლები“. თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2017; გვ. 129.
9. Breeze P. Power System energy storage technologies. London, Academic Press, 2018, 157 p.
10. Sturm R. Geschte der Hydroelektrizitat im Raum Salzburg. Hamburg: disserta verlag, 2018, 154 p.
11. კოდუა ნ., ახვლედიანი ა., წურწუშია ი. „დადგმული სიმძლავრის დადგენა ჰიდროელექტროსადგურებისათვის საბაზრო ეკონომიკის პირობებში ხუდონჰესის მაგალითზე“. თბილისი, ჟურნალი „ენერჯია“ №2(54), 2010, გვ. 43-51.
12. Parks E. „Hydropower Engineering“. London, Larsen and keller Education, 2017, 312 p.
13. ხელიძე გ., კიკაჩიშვილი ნ. „ჰიდროელექტროსადგურები“. თბილისი, სტუ, 2018, გვ. 168.
14. კოდუა ნ. „ჰიდროელექტროსადგურები“. თბილისი, სტუ, 2017, 240 გვ.
15. საყვარელიძე ა. სამშენებლო ინდუსტრია წიგნში „საქართველოს განვითარების სტრატეგია“, თბილისი, თავი 3.5. „მერიდიანი“, 2015. გვ. 380.
16. გედენიძე ზ., ამბროლაძე თ., „წყლის მეურნეობა“. თბილისი, სტუ. 2009. გვ. 391.
17. გოგოლაძე ა., ახვლედიანი ა.. „დაბალ და საშუალო დაწნევიანი წყალმიმღები ნაგებობათა სათავე კვანძის ჰიდრაულიკური გაანგარიშება“ მეთოდური მითითებები საკურსო სამუშაოს შესასრულებლად. თბილისი, სტუ, 2010, გვ. 43.
18. ახვლედიანი ა., გოგოლაძე ა., ახვლედიანი გ., ბაძალა ზ. „ნამახვანჰესის დადგმული სიმძლავრის განსაზღვრა“. თბილისი, სტუ, „ჰიდრინჟინერია“. 2017, №1-2(23-24), გვ. 68-77.
19. კლიმიაშვილი ლ., გუბელაძე დ., ყრუაშვილი ი., გურგენიძე დ. „კალაპოტური პროცესების თავისებურება“, თბილისი, სტუ, „ჰიდრინჟინერია“. 2015, №1-2(19-20), გვ. 31-35;

20. კოდუა ნ., ახვლედიანი ა., გოგოლაძე ა., ახვლედიანი გ. „დადგმული სიმძლავრის განსაზღვრა ნამახვანჰესის მაგალითზე საბაზრო ეკონომიკის პირობებში“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2013, №1-2(15-16), გვ. 84-92;
21. გუბელაძე დ., ყრუაშვილი ი., ნაცვლიშვილი მ., ინაშვილი ი., დავითაშვილი ა. „საქართველოს წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენების და გარემოს ეფექტური დაცვის ღონისძიებები“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2014, №1-2(17-18), გვ. 54-62;
22. მეგრელიშვილი ზ., თურმანიძე ლ., კალანდარიშვილი ზ., დონდოლაძე ნ. „წყლის რესურსების დაცვის გადაწყვეტილების მიღების რისკის ალბათური მოდელი“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2014, №1-2(17-18), გვ. 63-71.
23. Yazdandoost F., Attari J. Hydraulics of dams and rivers structures. London, Uk. : Taylor and Francis Group plc, 2017, 596 p;
24. Tanchev L. Dams and appurtenant hydraulic structures. London: CRC Press, 2018, 1116 p.
25. Mazumder S. Flow transition design in hydraulic structures. Boca Raton: CRC Press, 2020, 206 p.
26. Mimikou M., Evangelos A., Tsihrintzis A. Hydrology and water resource systems analysis. Boca raton: CRC Press, 2018, 464 p
27. Novak P., Moffat A.I.B., Nalluri C., Narayanan R., Hydraulic structures. Fourth edition. London and New York: Taylor-Francis Group, 2010, 700 p.
28. ყალაბეგიშვილი მ., კლიმიაშვილი ლ., გურგენიძე დ.. „ორთაჭალჰესის სანაპირო უბნის ფილტრაციული რეჟიმების ანალიზი“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2017, №1-2(23-24), გვ. 7-16;
29. ლოღელიანი ლ., ხატიაშვილი ე., ასკურავა ზ. „მეწყერების, სელების და სხვადასხვა სახის ჩამოქცეულ-დაცურებული ქანების წყალსატევებში შეჭრის დინამიკის განტოლება და მისი ამონახსნები“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2014, №1-2(17-18), გვ. 9-15.
30. Icold C. Dam surveillance Guide. London: CRC Press, 2018, 222 p.
31. Icold C. Flood Evaluation and dam safety. London: CRC Press, 2018, 306 p.
32. ახვლედიანი გ. „ხეობის ფერდობის მდგრადობის საკითხები სადაწნო გვირაბის არსებობისას“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2013, №1-2(15-16), გვ. 93-98;
33. Lianos J., Yague F., Ormijana M., Cabrera J. Dam maintenance and rehabilitation. London: Engineering & Technology, 2017, 992 p.
34. Milanovic P. Engineering karstology of dams and reservoirs. Boca raton: CRC Press, 2018, 368 p.
35. Расказов Л.Н., Орехов В. Г., Анискин Н. А., Малаханов В. В., А. С. Бестружева А. С., Саинов М. П., Солдатов П. В., Толстиков В. В. Гидротехнические сооружения. Издательство Ассоциации строительных вузов, М.:, 2010, 575 с.;
36. Устройство Архашенского водохранилища на реке Архашенис-хеви на территории Гардабанского муниципалитета Грузии. Минск, 2014; 155 с.;

37. ქადარია ი., ნოსელიძე გ., მასპინძელაშვილი ბ. „საანგარიშო წყალდიდობის ხარჯის პრაქტიკული პროფილით და ფართოზღურბლიანი წყალსაშვით გატარების ანალიზი“. თბილისი, სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“ სტუ, 2021, №1-2(29-30) გვ. 22-27;
38. Icold C. Cutoffs for Dams. London: CRC Press, 2018, 288 p.
39. Tigrek S., Tuce A. Reservoir sediment management. London: CRC Press, 2018, 226 p.
40. ღარიბაშვილი ი., დოლიძე გ., მათიაშვილი ნ., მშვიდლობაძე ი., კაკუტაშვილი ი., გოგოლაძე ა., საყვარელიძე ა., დალაქიშვილი გ., გოგბერაშვილი ა., დოლიძე შ., ხაზალია კ., ჩავლეშვილი გ. „ჰიდროტექნიკური მშენებლობა“, თბილისი, განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნული ცენტრი, 2016, გვ 657.
41. Bhattacharyya K., Vijay P. Reservoir sedimentation assessment and environmental controls. London: CRC Press, 2019, 342 p.
42. გოგოლაძე ა., ახვლედიანი ა. „დაბალ და საშუალოდაწნევიანი წყალმიმღები ნაგებობათა სათავე კვანძისჰიდრაულიკური გაანგარიშება“ მეთოდური მითითებები საკურსო სამუშაოს შესასრულებლად. თბილისი, სტუ, 2009, გვ 43.
43. გვიშიანი ზ., ნაწილაკების ფორმის გავლენა ჰიდრაულიკურ სისხოზე ჩამდინარე წყლების მექანიკური გაწმენდის დროს. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, „ჰიდროინჟინერია“, 2018, 1-2 (25-26), გვ. 35-42.
44. კუპრავიშვილი მ. ნაწილაკის ფორმის გავლენა წყალსადინარის კალაპოტის გარეცხვა-დალექვის პროცესზე. სსაუ, ასპირანტთა და ხარისხის მაძიებელთა სამეცნიერო შრომების კრებული, „აგრარული მეცნიერების აქტუალური საკითხები“. თბილისი, 2000, ტომი5, 6, გვ. 238-243.
45. გაგოშიძე შ., ქადარია ი., კოდუა მ., კახაძე გ. „მაღლივი კაშხლებიდან ვარდნილი ნაკადებით კლდოვანი ფუძეების წარეცხვების გაანგარიშება“. თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“ 2021. (5-13) გვ. 5-14;
46. Ramesh S., Kolokytha E., Oliveria Galva C., Climate change-sensitive water resources management. London: CRC Press, 2020, 190 p.
47. გაგოშიძე შ. „წყლის პერიოდულ ტალღურ მოძრაობათა გაანგარიშების ანალიზური მეთოდები“. თბილისი, სტუ, 2018, 232 გვ.
48. Yousuf A., Singh M. Watershed hydrology, management and modeling. Boca raton: CRC Press, 2020, 208 p.
49. დანელია ზ., ამბროლაძე თ., თოფურია მ. „ჰიდრაულიკა, ჰიდროლოგია, ჰიდრომეტრია“. თბილისი, სტუ, 2013, 461 გვ.
50. Ghosh S. N. Flood control and drainage engineering. London: CRC Press, 2018, 400 p.
51. Lin L., Amini F., Pan Y., Yuan S., Cetin B. Hydraulics of Levee overtopping. London: CRC Press, 2020, 234 p.
52. Высоккий Rickenman D. Methods for the quantitative assessment of channel processes in torrents. Steep stream. London: CRC Press, 2017, 152 p.

53. Radecki-Pawlik A., Pagliara S., Hradecky J., Hendrickson E. Open channel hydraulics, River hydraulic structures and fluvial geomorphology. Boca Raton: CRC Press, 2017, 516 p.
54. Knight D., Hazlewood C., Lamb R., Samuels P., Shiono K. Practical channel hydraulics. London: CRC Press, 2018, 634 p.
55. Bollrich, G. Technische Hydromechanik, Band 1, 4. Auflage, Verlag fur Bauwesen Berlin (in German), 2019, 284 p.
56. Chanson, H. Hydraulics of skimming flow over stepped channels and spillways. Journal of Hydraulic Research 32, 2018, 445-460 p.
57. Moglen E. Fundamentals of open channel flow. London: CRC Press Taylor & Francis Group, 2017, 272 p.
58. Erbisti C. F. Design of hydraulic gates. London: Taylor & Francis Group, 2017, 442 p.
59. Pereira G. M. Spillway Design – Step by step. London, 2020, 418p.
60. Khatsuria R. M. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. New York, 2017, 637 p.
61. Minor H. E. Hager W. H. Hydraulics of stepped Spillway. Switzerland, 2020, 220 p.
62. Chanson H. Hydraulics of Stepped Chutes and Spillway. Lisse, 2021, 424 p.
63. Hager W. H., Schleiss A. J., Boes R. M. Prister M. Hydraulic Engineering of Dams. London: CRC Press 2020, 1080 p.
64. Chanson H. Energy Dissipation in Hydraulic Structures. London: CRC Press 2020, 178 p.
65. Chanson, H. Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes. Journal of Hydraulic Research 32, 2018, 213-218 p.
66. Matos, J., Quintela, A. Discussion for paper of Chanson in Journal of Hydraulic Research 32, 2017, 135-139 p.
67. Press, H. Stauanlagen und Wasserkraft. II Teil: Wehre. W. Ernst & Sohn, Berlin (in German). 2018, 258 p.
68. Chanson H. Energy dissipation in hydraulic structures. London: CRC Press, 2017, 178 p.
69. კლიმიაშვილი ლ., გუბელაძე დ., გურგენიძე დ., ინაშვილი ი. „კალაპოტის გამტარუნარიანობის ინტეგრალური მახასიათებლების დადგენა“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2014, №1-2(17-18), გვ. 20-17.
70. ლოღელიანი ლ.. „სხვადასხვა სიმკვრივის ნაკადების ჰიდრაულიკის საკითხები“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2013, №1-2(15-16), გვ. 9-19.
71. გაგოშიძე შ., გოგოლაძე ა., კოდუა მ. “მოურპირკეთებელი არხების სანაპირო ფერდობებზე გრძივი ტალღების ზემოქმედება“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2013, №1-2(15-16), გვ. 57-61.
72. ყრუაშვილი ი., გუბელაძე დ., ნაცვლიშვილი მ. „ტრაპეციული კვეთის ფილტრაციული ხარჯის განსაზღვრის საანგარიშო მოდელი“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2013, №1-2(15-16), გვ. 79-83.

73. ლოღელიანი ლ. „მძაფრი ნაკადის აერაციის კრიტერიუმი სწრაფდენებზე“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2014, №1-2(17-18), გვ. 16-19.
74. კლიმიაშვილი ლ., გუბელაძე დ., გურგენიძე დ., ნაცვლიშვილი მ. „მდინარეებში ტრანზიტული ნაკადის მოძრაობის კანონზომიერებები“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2015, №1-2(19-20), გვ. 25-30.
75. კოდუა მ. „გრძელი ტალღების გაანგარიშება მდინარეთა შესართავის აკვატორიებში“. თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2016, №1-2(21-22), გვ. 69-75.
76. ლოღელანი ლ., ხატიაშვილი ე., ასკურავა ზ., მჭედლიშვილი გ. კატასტროფული ტალღების მაქსიმალური ამპლიტუდის განსაზღვრა „ლოკალური არასტაციონალურობის“ მეთოდის გამოყენებით, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, №1-2(21-22), 2016 გვ. 36-41.
77. Willi H., Schleiss J. Boes R., Pfister M. hydraulic engineering of dams. London: CRC Press, 2021, 1080 p.
78. Кудинов В. А., Карташов Э. М., Коваленко А. Г., Кудинов И. В. Гидравлика. Москва: издательство Юрайт, 2018, 385 с.
79. Ильина Т. Н. Основы Гидравлического расчета инженерных сетей. Москва: Энергоиздат, 2017, 184 с.
80. Беликов В. В. Алексюк А. И. Основы численного моделирования динамики речных потоков. Москва: Российской академии наук, 2020, 329 с.
81. Пташкина-Гирина О. С., Волкова О. С. Основы Гидравлики. Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2021, 192 с.
82. Крестин Е. А., Крестин И. Е. Гидравлика практикум. Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2020, 320 с.
83. Высоцкий Л.И. Параметры продольно-однородных осредненных турбулентных потоков. Москва: Издательство Лань, 2018, 200 с.
84. Высоцкий Л.И., Высоцкий И.С. Продольно-однородные осредненные турбулентные потоки. Москва: Издательство Лань, 2017, 672 с.
85. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2019, 656 с.
86. ნოსელიძე გ. ფართოზღურბლიანი წყალსაშვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების ექსპერიმენტალური კვლევის პირველადი შედეგები. თბილისი, სტუ, შრომები, 2022, №2(524), გვ. 119-125.
87. Сологаев В. И. Гидравлика Механика жидкости и газа. Омск: Издателсьско-полиграфический комплекс, 2018, 64 с.
88. Махлаёв В.К. Гидравлика. Гидростатика. Учебное пособие. Томск: Издательство ТГАСУ, 2018, 92 с.
89. Вольвак С. Ф. Гидравлика. Издательство Инфра-М, 2021, 431 с.
90. ლოღელიანი ლ., ხატიაშვილი ე., ასკურავა ზ. „წყალსატევებში კატასტროფული ტალღების წარმოქმნისა და გავრცელების თეორიული მახასიათებლების შედარება ნატურულ მონაცემებთან“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2015, №1-2(19-20), გვ. 6-9.
91. კვიციანი ტ. „თეორიული მექანიკის კურსი“, თბილისი, სტუ, 2011; გვ 348.
92. ნადირაძე ა. „საშენი მასალები და ნაკეთობები“. თბილისი, სტუ, 2010, გვ. 294.

93. დალაქიშვილი გ., ხაზალია კ. „თვითდაზვადი ცემენტის ქვის გაფართოებისა და თვითდაზვადობის კინეტიკის შესწავლა ჰოლოგრაფიული ინტერფერომეტრის მეთოდით“, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2017, №1-2(23-24), გვ 78-81.
94. დალაქიშვილი გ., ხაზალია კ., სანიკიძე მ., ნოსელიძე გ., ხიმშიაშვილი დ. „ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში რღვევის პროცესის გამოკვლევა ჰოლოგრაფიული ინტერფერომეტრის მეთოდით“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2016, №1-2(21-22), გვ. 76-83.
95. საყვარელიძე ა. „წვრილმარცვლოვანი ბეტონის მოცულობითი ცოცვადობის ბირთვის ახალი გამოსახულება , რომელიც მასალის ტენზომეცვლელობას ითვალისწინებს“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, №1-2(21-22), 2016, გვ. 90-94.
96. საყვარელიძე ა. „თვითშემჭიდროებადი ბეტონის ტენგამტარობის პარამეტრების განსაზღვრა“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“.2015, №1-2(19-20), გვ. 94-100.
97. ბერძენიშვილი გ. სიზუსტის ნორმები და ალტერნატიული კონტროლი ხის დამუშავებაში. დამხმარე სახელმძღვანელო. თბილისი, 2011, გვ. 77.
98. Welin X. Mesoscale analysis of hydraulics. New-York: Springer, 2021, 260 p.
99. П. Г. Кисилева. Справочник по гидравлическим расчетам «Энергия» ·Москва· 1972, 312 с.
100. ნოსელიძე გ. W ახალი ტიპის წყალსაგდები ნაგებობის ჰიდრავლიკური გაანგარიშება, თბილისი, სტუ, 2019 გვ. 91.
101. Bittencour T., Frangopol M., Beck A. Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridges and Bridge Networks. London: CRC Press, 2017, 652 p.
102. Лапшев Н. Н. Гидравлика. Издательский центр «Академия», М., 2017, 272 с.
103. Волченкова Г. Я. Пособие по гидравлическим расчетам Малых водопропускных сооружений. «Транспорт», М., 2010, 407 с.
104. Арифжанов А. М., Апақхужаева Т. У. Гидравлика. Издательство Национального общества философов Узбекистана, Ташкент, 2019, 168 с.
105. ლოღელანი ლ., ხატიაშვილი ე., ასკურავა ზ. „წყალსაცავის ევტროფიკაციის დონის დადგენა“, თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“. 2015; გვ. 115-121.
106. Linder E., Moore P., King W. Handbook of Hydraulics, Eighth Edition. New-York: MC Graw Hill Education, 2017, 416 p.
107. Chand S. Irrigation engineering and hydraulic structures. New-York: Er (Dr) S K Sharma, 2017, 324 p.
108. ღარიბაშვილი ი., ბალანჩივაძე ლ., დოლიძე შ., ნარეკლიშვილი თ., დოლიძე გ., „რკინაბეტონის სამუშაოთა შემსრულებელი (მეყალიბე, მარმატორე, მებეტონე)“, საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნული ცენტრი, 2015; გვ. 258.
109. ახვლედიანი ა., გოგოლაძე ა., ახვლედიანი გ., გოგოლაძე ი. „წყალქვეშა დაბეტონება“. თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“ , 2019, №1-2(27-28), გვ. 67-78.

110. დალაქიშვილი გ., ხაზალია კ., გიორგაძე ც., საჯაია ო., თურმანიძე გ. „ბეტონის დეფორმაციის გამოკვლევა ჰოლოგრაფიული ინტერფერომეტრიის მეთოდით“. თბილისი, „ჰიდროინჟინერია“ 2019, №1-2(27-28) სტუ, გვ. 112-118;
111. გვიშანი ზ., კლიმიაშვილი ლ., სოსელია გ., გორდეზიანი ქ. „ჩამდინარე წყლების მყარი ფაზის ჰიდრავლიკური სისხოს დაზუსტების საკითხი“. თბილისი, სტუ, „ჰიდროინჟინერია“, 2018, №1-2(25-26), გვ. 27-34.
112. გავარდაშვილი გ. ირიგაცია, დრენაჟი, ეროზია. „უნივერსალი“, თბილისი, 2016, გვ. 410.
113. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е., Орленко С. Ю. Гидравлический расчет открытых русел и гидротехнических сооружений. Краснодар, 2009, 75 с.;
114. Парахневич В. Т. Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков: учеб пособие. Минск, 2015, 367 с.
115. ნოსელიძე გ. ფართობლურბლიანი წყალსამვის წყალსაგდებ ნაგებობასთან შეუღლების თეორიული კვლევის შედეგები. თბილისი, სტუ, „მშენებელი“, 2022, №1(61), გვ. 123-126.