

საქართველოს განათლების და მეცნიერების სამინისტრო  
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

**შორენა მომცემლიძე**

# **მდინარე რიონის წყალსაცავების მოლამვის კვლევა და მასთან ბრძოლის მეთოდები**

ინჟინერიის დოქტორის (0406) აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარმოდგენილი

**დისერტაცია**

სამეცნიერო ხელმძღვანელი - ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
ემერიტუსი ბადრი ზანძელაძე

ქუთაისი 2016

## ა ნ ო ტ ა ც ი ა

თანამედროვე ცივილიზაციის არსებობისათვის აუცილებელია წყლის ობიექტების ინტენსიური გამოყენება, რისთვისაც განუზომლად იზრდება ჰიდროლოგიურ ობიექტებზე ანთროპოგენური ზეგავლენის ფორმები და მასშტაბები.

რიონი საქართველოსათვის უმნიშვნელოვანესი სამდინარო არტერიაა. მის აუზში განლაგებულია მრავალი წყალსაცავი. მდინარის გამოყენება ხდება ენერგეტიკის, ირიგაციის, მოსახლეობის წყალმომარაგების საჭიროებისათვის, სასარგებლო წიაღისეულის მოსაპოვებლად აუცილებელი ტექნოლოგიური ციკლისათვის. მდინარე რიონის წყლის რესურსების მდგომარეობაზე, რეჟიმზე და ხარისხზე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული დასავლეთ საქართველოს ეკოლოგიური მდგომარეობა.

მდინარეზე აშენებულია მრავალი ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, რომლის ექსპლუატაციის შედეგად მნიშვნელოვნად შეიცვალა მდინარის ჩამონადენი, როგორც რაოდენობრივი, ისე ხარისხობრივი თვალსაზრისით.

მდინარის წყალსამეურნეო გამოყენების მიზნით მნიშვნელოვანია მდინარის მყარი ნატანის რაოდენობრივი მოცულობის შემცირება წყალსაცავში.

ნაშრომში განხილულია ისეთი საკითხები, როგორცაა მდინარის წყლის რესურსები, წყალსაცავები და მასზე შექმნილი ჰესების ექსპლუატაციის საკითხები, წყალსამეურნეო ბალანსები, გაშუქებულია მყარი ნატანის ტრანსპორტირების თავისებურებანი და მათი ურთიერთობა შავ ზღვასთან.

მნიშვნელოვანი ადგილი ეთმობა ასევე მდინარის ჩამონადენის ცვალებადობას და მასზე უმნიშვნელოვანესი გამაჭუჭყიანებელი მდინარე ყვირილას ზეგავლენას.

აღნიშნული საკითხების კვლევა მიმდინარეობდა სადღეისო პრობლემების გათვალისწინებით.

## **A b s t r a c t**

### Water Supply of Rioni River and Related Hydro-ecological Problems

Existence of modern civilization needs intensive use of water facilities. For this reason forms and extent of the anthropogenic influence on hydrological units are enormously increased. The Rioni is the main river Georgia. River basin includes a lot of reservoirs. The river is used for power supply, irrigation and water supply of the population, for technological cycle necessary for mineral resources extraction. Ecological condition of western Georgia highly depends on condition, mode and quality of water resources of Rioni River. There have been built a lot of hydro technical construction on the Rioni, operating of which importantly changed water flow, both qualitatively and quantitatively. It is important to reduce the amount of solid sediments in the river, which is mainly conditioned by the use of river water for agricultural purposes. There are discussed issues such as water resources of the river, reservoirs and hydropower stations operation issues, agricultural water balance there. The paper makes clear peculiarities of transportation of solid sediments and its relation with the Black Sea. Important place is given to changes of water flow and the influence of the Kvirila polluting it importantly. Study of the above mentioned issues is carrying out considering problems existing today.

## შინაარსი

ანოტაცია -----	2
შესავალი _____	7
<b>1. წყალსაცავების სისტემის მუშაობის რაციონალური რეჟიმების</b>	
<b>განმსაზღვრელი მეთოდოლოგია _____</b>	<b>14</b>
1.1. მდინარის აუზის წყალსამეურნეო სისტემა, როგორც კვლევის ობიექტი. _____	14
1.2. მდინარეთა ჰიდრორესურსების გამოყენების ტენდენცია საქართველოში და მისი აქტუალობა. _____	17
1.3. წყალსაცავების მრავალმიზნობრივი დანიშნულების ფუნქციონირების ჰიდროენერგეტიკული საფუძვლები. _____	18
1.4. წყალსაცავების სისტემების მუშაობის რეჟიმების რაციონალური განსაზღვრის არსებული მეთოდები. _____	21
1.5. პრობლემის დასმა და საერთო მიდგომა მათ გადასაწყვეტად. _____	26
<b>2. მრავალმიზნობრივი დანიშნულების მდ. რიონის წყალსაცავების</b>	
<b>სისტემების მკვებავი მდინარეების ჩამონადენის ფორმირებისა და</b>	
<b>ფუნქციონირების კვლევა _____</b>	<b>28</b>
2.1. ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების კვლევა და დიაგნოსტიკა. .	28
2.2. მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების მკვებავი მდინარეების ჰიდროლოგიური მონაცემების კვლევა _____	30
2.3. მდინარე ცხენისწყლის ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები (მდ. ცხენისწყალი რცხმელურის საგუშაგოზე). _____	31
2.3.1. მდინარე ლაჯანურის ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები (მდ. ლაჯანური ორბელთან საგუშაგოზე). _____	33
2.4. მდინარე რიონის ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები (მდ. რიონი-კვეთი ნამახვანი). _____	35
2.4.1. მდ. რიონის აუზის გუმათის კასკადის რიონის წყალსაცავი. _____	39
2.4.2. მდ. რიონის ვარციხის წყალსაცავი. _____	40

2.5. მდ. ყვირილასა და მდ. წყალწითელას ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები. _____	43
<b>3 მდ. რიონის აუზის კაშხალების სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობის ანალიზი და დიაგნოსტიკური კვლევა. _____</b>	<b>45</b>
3.1. მდ. რიონის აუზის კაშხალების სისტემების ფორმირება და ფუნქციონირება. _____	45
3.2. მდ. რიონის ლაჯანურის წყალსამეურნეო სისტემის შეფასება და დიაგნოსტიკა. _____	47
3.3. გუმათის წყალსაცავის წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტურობის შეფასება და დიაგნოსტიკა. _____	50
3.4. რიონჰესის წყალსაცავის წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტურობა, შეფასება და დიაგნოსტიკა. _____	54
3.5. ვარციხის წყალსაცავის წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტურობის შეფასება და დიაგნოსტიკა. _____	56
<b>4. მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსაცავების თანამედროვე მდგომარეობის მოლამული მოცულობის განსაზღვრის კვლევის მეთოდები. _____</b>	<b>60</b>
4.1 მთისა და მთისწინა ზონის მდინარეთა წყალსაცავში მოლამული მასალის მოცულობის დადგენის მეთოდი. _____	60
4.1.1. ლაჯანურის წყალსაცავში მოლამული ნატანი მასალის მოცულობის კვლევა. _____	61
4.1.2. გუმათის წყალსაცავში მოლამული ნატანი მასალის მოცულობის კვლევა. _____	63
4.1.3. რიონჰესის წყალსაცავში მოლამული ნატანი მასალის მოცულობის კვლევა. _____	65
4.1.4. ვარციხის წყალსაცავში მოლამული მასალის მოცულობის კვლევა. _____	66
4.2. მდ. რიონის მთელ სიგრძეზე ნატანი მასალის ჰიდრაულიკური და ჰიდროლოგიური მახასიათებლების ცვლილების კვლევა. _____	67

4.3. მდინარის კალაპოტის მოლამვის საკითხის სტატისტიკური მიდგომით კვლევა კომპიუტერული პროგრამის Mathcad 15 ბაზის გამოყენებით	71
4.4. გუმათჰესის მახლობლად მდინარე რიონის ღია კალაპოტის მოლამვის დიაგნოსტიკა	76
4.5. მდინარე რიონის მთის უბნებზე მყარი ნატანის ჩამონადენის გაგრძელებული რიგის მოდელირება.	83
<b>5. მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსამეურნეო წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები</b>	<b>94</b>
5.1. წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდი.	94
5.2 მდინარე რიონის აუზის წყალსაცავების კასკადების ჰიდრავლიკური გარეცხვის ანგარიშის წარმოების და შესასრულებელი ოპერაციების კვლევა	102
5.3. ჰიდრომასის ტრანსპორტირება ჰიდრალიკურად (ჰიდროტრანსპორტი).	108
5.4. წყალსაცავებში მოლამული მასალის გარეცხვის ჰიდრომექანიზაციული მეთოდი.	114
5.5. წყალსაცავებში მოლამული მასალის გარეცხვის სიფონური მეთოდი.	117
5.5.1. წყალსაცავის გაწმენდა მოლამული მასალისაგან.	119
5.6. გუმათის წყალსაცავის მოლამული მასალისაგან გაწმენდის გაანგრიშების პერსპექტივა.	123
5.7 მდ. რიონის წყალსაცავების სასარგებლო მოცულობის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგია	125
<b>ძირითადი დასკვნები</b>	<b>126</b>
<b>ლიტერატურა</b>	<b>129</b>

## შესავალი

მდინარეთა ჩამონადენი, როგორც მუდმივად განახლებადი და ხელმისაწვდომი რესურსი, ფართოდ გამოიყენება ენერგეტიკაში, მშენებლობაში, ირიგაციაში, წყალმომარაგებასა და მეურნეობის თითქმის ყველა დარგში. მდინარეთა ჩამონადენზე დამოკიდებული ზღვებისა და ოკეანეების ნაპირების მდგრადობა და წონასწორობა. წყლის რესურსების მართვის ეფექტურობაზე და წყალსაცავების რეგულირების პროცესზე ბევრად არის დამოკიდებული საზოგადოების სოციალურ-ეკონომიკური განვითარება და ამიტომ მდინარეთა ჩამონადენის და წყალსაცავების გაწმენდილი მოცულობის რაციონალური გამოყენება არის მეტად აქტუალური, გლობალური პრობლემა.

თანამედროვე ცივილიზაციის არსებობისათვის აუცილებელია წყლის ობიექტების ინტენსიური გამოყენება, რისთვისაც განუზომლად იზრდება ჰიდროლოგიურ ობიექტებზე ანთროპოგენური ზეგავლენის ფორმები და მასშტაბები. აქედან გამომდინარე წყალსაცავის გარემოზე ზემოქმედების შეფასება მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

დედამიწის მოსახლეობის ძირითადი ნაწილი ცხოვრობს და შრომით საქმიანობას ეწევა მდინარეების, ტბების, წყალსაცავების, ზღვების და ოკეანეების ნაპირებზე. ამ მხრივ საქართველოც არ წარმოადგენს გამონაკლისს.

მდინარე რიონი საქართველოს უმნიშვნელოვანესი სამდინარო არტერიაა. მის აუზში განლაგებულია მრავალი წყალსაცავი, რომლის ექსპლუატაციის შედეგად მნიშვნელოვნად შეიცვალა მდინარის ჩამონადენი, როგორც რაოდენობრივი, ისე ხარისხობრივი თვალსაზრისით. მნიშვნელოვანია მდინარის მყარი ნატანის რაოდენობის შემცირება, რაც ძირითადად განპირობებულია მდინარის წყალსამეურნეო გამოყენებით.

საქართველო მდიდარია მდინარეთა წყლის რესურსებით (65 მლრდ. მ<sup>3</sup>). აქ მრავალი ჰიდროკვანძი კომპლექსურად ემსახურება მეურნეობის სხვადასხვა დარგს. მაგრამ მათი ექსპლუატაცია გართულებულია, რადგან მდინარეთა ჩამონადენი არათანაბრადაა განაწილებული დროსა და სივრცეში; ხშირად წყალმოთხოვნა არ ეთანხმება წყალურუნველყოფას და წარმოიქმნება მწვავე დეფიციტური

სიტუაციები; რთულდება წყალსამეურნეო ბალანსების ზუსტი გაანგარიშება და შესაბამისი ღონისძიებების განხორციელება.

მდინარე რიონზე მდებარე წყალსაცავების კასკადების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ მათ დაკარგეს მოცულობის დიდი ნაწილი და ამის გამო მათი დღე-ღამური რეგულირების უნარი მკვეთრად დაეცა. ისინი ფაქტიურად აღარ ასრულებენ ენერგოსისტემის პიკური სიმძლავრეების რეგულატორის როლს, მუშაობენ ბუნებრივ ჩამონადენზე და ამის გამო ზამთრის პერიოდში (ნოემბერი-მარტი) ენერგოსისტემა კარგავს პიკურ ენერგიას.

უხვნატანიან მდინარეებზე მდებარე წყალსაცავების ექსპლუატაციის მსოფლიო გამოცდილება, რომელთა კატეგორიას მიეკუთვნება რიონის წყალსაცავების კასკადები, მოლამული ნატანის მოცილების მაღალ ეკონომიკურ ეფექტურობას გვიჩვენებს. ამასთან მსოფლიოს ყოველ კონკრეტულ წყალსაცავზე გამოიყენება გაწმენდის კონკრეტული ოპტიმალური ხერხი.

წყალსაცავიდან წყალმარცვლოვანი ნაწილაკების გარეცხვის პროგრესის ანუ ნაკადის გარეცხვის პროდუქტების გაჯერების ანგარიშისათვის მიზანშეწონილია სუსპენზიათა გადატანის დიფუზიური თეორიის გამოყენება.

როგორც რიონის ჰესების წყალსაცავების გარეცხვების გამოცდილებამ გვიჩვენა, ერთ მდინარეზე წყალსაცავების კასკადის არსებობისას არ არის მიზანშეწონილი და ზოგჯერ არაეფექტურია ცალკეულ წყალსაცავთა გარეცხვა კასკადის ინტერესების გაუთვალისწინებლად.

წყლის რესურსების გამოყენებისა და მათი მართვის მახასიათებლების შესწავლისა და გამოვლენის დროს ვხვდებით ორ საინტერესო მხარეს - გარემოს დაცვასა და საზოგადოებას. ასეთი შეჯახების ძირითადი მიზეზი გამოიხატება იმაში, რომ საზოგადოება მიისწრაფის შეცვალოს ბუნებრივი წყლის მოცულობა, მუშაობის რეჟიმი და ხარისხი თავის ინტერესების სასარგებლოდ.

კარგადაა ცნობილი, რომ წყალსაცავების სისტემების მშენებლობა წარმოქმნის მიწის ტერიტორიის დატბორვას და დაძირვას, წყლის მოცულობისა და ხარისხის შეცვლას. წყალბრუნვა წლის განმავლობაში სხვადასხვა წყალსაცავში იცვლება, აგრეთვე იცვლება ჰიდროფიზიკური და ბიოლოგიურ-ფიზიკური პროცესები. ფსკერული ნატანის დალექვით წყალსაცავში ხდება მისი აკუმულირება, განუსაზღვრელად იზრდება დაბინძურებული ნივთიერებების მოცულობითი



წილი: მძიმე მეტალების, პესტიციდების, ნავთობის და ნავთობის პროდუქტების რთულად გადასანაწილებელი ორგანული ნივთიერებით.

არ შეიძლება აგრეთვე დავივიწყოთ, რომ წყალსაცავის მშენებლობის დროს კონფლიქტური სიტუაცია არის არა მხოლოდ ბუნებრივ გარემოსა და საზოგადოებას შორის, არამედ წარმოიშვება ცალკეულ მონაწილეთა ინტერესების შეჯახება (მეწარმეების, სასოფლო-სამეურნეო, ჰიდროენერგეტიკის, გემთმომოსვლის, სათევზე მეურნეობის და სხვ.) წყალსამეურნეო კომპლექსების მართვაში. ხშირად წინააღმდეგობაში მოდის ძირითადი მონაწილე წყალსამეურნეო კომპლექსის სისტემებთან, რომლებიც განლაგებულია ზედა და ქვედა ბიეფში.

აქედან გამომდინარე, ჩვენს დროში ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა მართვის სივრცეში წყლის რესურსების წყალსამეურნეო სისტემების რეჟიმების ფუნქციონირების პარამეტრების ოპტიმალური განსაზღვრის მეთოდის დახვეწა და სრულყოფა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მრავალმიზნობრივი დანიშნულების თანამედროვე მსხვილი წყალსაცავების სისტემების მოლამვის კვლევა და მასთან ბრძოლის მეთოდები.

წყალსაცავების სისტემების ეფექტური ფუნქციონირებისათვის სხვადასხვა ბუნებრივ - სამეურნეო ცვლილების ანალიზისა და შეფასების პირობების პაკეტის შექმნა. დასმული მიზნების რეალიზაციისათვის დაგვირგნინდება ურთიერთ დამოკიდებული ამოცანების გადაწყვეტა:

- მდინარის აუზის ბუნებრივი წყლის რესურსების ჰიდროლოგიურ-წყალსამეურნეო მართვის ასპექტების განსაზღვრა;
- წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტური ფუნქციონირების კვლევა;
- მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსაცავების სისტემების მოლამვის პროცესების მიმდინარეობის კვლევა;
- მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდების კვლევა.

ნაშრომი შესრულებულია ჰიდრომეტეოროლოგიური მართვის კვლევის აპრობირებული მეთოდების გამოყენებით. მუშაობის პროცესში დისერტაციის მეთოდურ საფუძვლად გამოყენებულია კალაპოტური პროცესების ჰიდრომორფოლოგიის თეორია. ოპტიმალური მიდგომები და გამოსახულებები

შერჩეულია მათემატიკური სტატისტიკისა და ჰიდრავლიკური თეორიის საფუძველზე შემუშავებული სქემებით, რომელთა სარეალიზაციოდ შედგა სპეციალური ჰიდრავლიკური წარეცხვისა და ჰიდრომექანიზაციით მოლამული მასალის გაწმენდის მართვის მოდელები და კომპიუტერული პროგრამები.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს მდ. რიონის აუზის მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსამეურნეო სისტემები, რომლებიც შედგება ოთხი წყალსაცავისაგან: ლაჯანურჰესის, გუმათჰესის I, გუმათჰესი II, რიონჰესის და ვარციჰესის I, II, III, IV.

სადისერტაციო სამუშაოს მეთოდოლოგიურ ნაწილს წარმოადგენს მდინარის აუზის წყლის რესურსების დაცვის და რაციონალური გამოყენების კვლევა, ბუნებრივი გარემოს ინტერესების დაცვის გათვალისწინებით, სამუშაოს მეცნიერული სიახლე გამოისახება შემდეგში:

- შემუშავებულია რთული წყალსამეურნეო სისტემების კვლევის მეთოდოლოგია და ანალიზი;
- შემუშავებულია და რეალიზებულია წყალსაცავების სისტემების მოლამვის კვლევის მეთოდები და დიაგნოსტიკა;
- განსაზღვრულია გუმათის წყალსაცავის მოლამული ნაწილის მოცულობა;
- დამუშავებულია ჰიდრომასის მილსადენებში ჰიდროტრანსპორტირების პირობებში მოძრაობის კვლევის მეთოდოლოგია;
- ჩატარებულია გუმათჰესის მახლობლად მდინარე რიონის ღია კალაპოტის მოლამვის დიაგნოსტიკა;
- შემუშავებულია წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები;
- შესწავლილი და დადგენილი იქნა მდ. რიონის წყლის საშუალო წლიური ხარჯების მნიშვნელობები წყალსაცავების ექსპლუატაციის პირობებში;
- გაანალიზებული და თეორიულად შეფასებულ იქნა მდ. რიონის წყალსაცავების სისტემების ეფექტური ფუნქციონირების პირობები მათი 82-წლიანი მუშაობის მონაცემების საფუძველზე.

მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილია მდ. რიონის წყალსაცავების სისტემების მუშაობის რეჟიმების ოპტიმალური პარამეტრები. მოცემული მეთოდოლოგია წარმოადგენს მექანიზმს მდინარის აუზის წყალსამეურნეო სისტემების

ოპტიმალური ფუნქციონირების პარამეტრების ცვლადი გარემო-სამეურნეო პირობისათვის. წარმოდგენილი მეთოდიკა შეიძლება გამოყენებულ იქნას მდ. რიონის წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლაში და მუშაობის რეჟიმების სწორი მართვისათვის.

ნაშრომში წარმოდგენილია ჰიდრომექანიზაციის მეთოდებით წყალსაცავის მოლამული მასალის დამუშავება და კაშხალის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გადატანა. განხილულია მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების მოლამული მასალის ჰიდრომექანიზაციის მეთოდით გაწმენდის უპირატესობა, რიონის კასკადის წყალსაცავების ჰიდრაულიკური გაწმენდის მეთოდებთან შედარებით.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ წყალსაცავების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდებიდან ყველაზე ხელსაყრელ მეთოდს წარმოადგენს მიწასაწოვი მანქანებით გრუნტის დამუშავება წყალსაცავების ფსკერიდან სველი გრუნტის ამოწოვით და მისი მილსადენით ტრანსპორტირებით მოსაღეჭ ადგილამდე. ამ მეთოდით კაშხალების მოლამვისაგან გაწმენდა და გრუნტის დამუშავების ღირებულება 30-40 % -ით ნაკლებია, ვიდრე ექსკავატორით. გამომუშავება იზრდება 1.5...2-ჯერ, ხოლო ღირებულება სხვა მეთოდებთან შედარებით 10...18-ჯერ ნაკლებია [2].

აღნიშნულის მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია არსებული წყალსაცავების მუშაობის საპროექტო სიმძლავრეების დაბრუნება და შენარჩუნება ისე, რომ ნაკლებად იქნეს დარღვეული გარემოზე წყალსაცავების ზემოქმედების გავლენა და აღდგენილი იქნება ნატანი მასალის ტრანსპორტირების ეკოლოგიური წონასწორობა.

კვლევის ძირითადი შედეგების შესახებ მოხსენებული იყო აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის სამეცნიერო სემინარებზე და სესიებზე, როგორც საქართველოს, აგრეთვე საზღვარგარეთის უნივერსიტეტებში: 1) Российский университет дружбы народов. Исследование гранулометрического состава донных отложений по длине р. Риони. Москва. Труды VII конференции динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. (РУДНИ) 23-25 ноября 2009г.; 2) Пермский государственный университет. Заиление водохранилища Гумати ГЭС и борьба с ним. Пермь. Труды международной научно-практической конференции. Современные проблемы водохранилищ и их водосборов Т. 1. 26-28 мая 2009г.;

3) Пермский государственный университет. Заиление водохранилища Ладжанурской ГЭС и борьба с ним. Пермь. Труды международной научно-практической конференции. Современные проблемы водохранилищ и их водосборов Т. 1. 28-30 мая 2013г.; 4) საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. ბორცვისებური ფსკერული ნატანის მოძრაობა მდ. რიონის ქვედა წელში (სოფ. ზედა ჭალადიდთან). თბილისი № 1-3, 2011.; 5) საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი; „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. მდ. რაჩხას გამოყენება ქ.ქუთაისისა და კურორტ წყალტუბოს სასმელი წყლით მომარაგების მიზნით (წინასწარი კვლევების შედეგები). თბილისი, № 4-6, 2011.; 6) საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. მდ. ჭოროხის ნაპირდამცავი ნაგებობების ექსპლოატაციის ანალიზი. თბილისი. №4-6, 2011.; 7) საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ყოველთვიური სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. არაწარეცხვად კალაპოტიანი მდინარეების კრიტიკული შევიწროების სიდიდის განსაზღვრა ნაპირების ცალმხრივი გამაგრებისას. თბილისი. №4-6, 2012.; 8) აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“. ვერცხის წყალსაცავის მოლამვა. მოხსენებების კრებული. 18 იანვარი, 2015 ქუთაისი, საქართველო.

დისერტაციის პირველ თავში გადმოცემულია მთის და მთისწინა ზონის მდინარეთა წყალსაცავების მოლამვის კვლევისა და მასთან ბრძოლის მეთოდების, მდინარეთა კალაპოტური პროცესების შესასწავლად ჩატარებულ გამოკვლევათა მოკლე მიმოხილვა.

მეორე თავი ეხება წინამდებარე გამოკვლევებში გამოყენებულ მეთოდოლოგიას და მეთოდიკას. მასში განხილულია დისერტაციის მიზნები და ამოცანები.

მესამე თავში წარმოდგენილია მდ. რიონის აუზის გუმათისა და ვარცხის კასკადების ნაგებობების თანამედროვე მუშაობის პირობები.

მეოთხე თავში წარმოდგენილია მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების მოლამვის

პროცესების კვლევა.

მეხუთე თავში წარმოდგენილია მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდების კვლევა.

დისერტაციის ბოლოს აღწერილია გამოკვლევების შედეგები და ავტორის თვალსაზრისით მდ. რიონის აუზის მთისა და მთისწინა ზონის კალაპოტური პროცესებისა და წყალსაცავების სისტემების მოლამვის და მასთან ბრძოლის მეთოდების შემდგომი კვლევის ყველაზე უფრო პერსპექტიული მიმართულებები.

ავტორი დიდი პატივისცემითა და მადლიერებით მოიხსენიებს პროფესორ ოთარ შაუთიძეს, რომლის მოწოდებამ და პროფესიულმა რჩევებმა განაპირობა წინამდებარე ნაშრომის შექმნა. მადლობას მოახსენებს აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის კოლექტივს თანადგომისა და დახმარებისათვის.

დისერტაციის თემის მიხედვით გამოქვეყნებულია 18 ნაბეჭდი ნაშრომი.

დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, 5 თავისაგან და დასკვნებისაგან. მუშაობის ძირითადი ნაწილი მოიცავს A4 ფორმატის ერთ გვერდზე 141 ნაბეჭდ გვერდს, რომელშიდაც შედის 73 ნახაზის და 16 ცხრილისაგან, ლიტერატურის სია მოიცავს 173 სამამულო და უცხოელი ავტორების ნაშრომებს.

# თავი 1. წყალსაცავების სისტემის მუშაობის რაციონალური რეჟიმების განმსაზღვრელი მეთოდოლოგია

## 1.1. მდინარის აუზის წყალსამეურნეო სისტემები, როგორც კვლევის ობიექტი

მდინარე რიონი სათავეს იღებს კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთებზე. გაივლის რაჭას, ლეჩხუმს, კოლხეთის დაბლობს და ჩაედინება შავ ზღვაში ქ. ფოთთან. მდინარე რიონზე დაპროექტებულია მრავალი ჰიდროელექტროსადგური. ახლო მომავალში აშენდება ნამახვანის კასკადი. ნამახვანის კასკადი მოიცავს სამ ჰესს: ტვიში, ნამახვანი და ჟონეთი. მდინარე რიონის წყალშემკრები აუზის მთლიანი ფართობი 13418 კმ<sup>2</sup>, ხოლო სრული სიგრძე 327კმ, საშუალო წლიური ხარჯი 127 მ<sup>3</sup>/წმ ანუ 4.9 მილიონი მ<sup>3</sup>. მდინარე რიონზე უკვე აშენებულია 8 დიდი ჰიდროელექტროსადგური:ლაჯანურჰესი (ნამახვანის კასკადის ზემოთ), გუმათჰესი I და II, რიონჰესი და ვარციხეჰესი I, II, III, და IV.

ცხრილში 1.1 წარმოდგენილია ნამახვანის კასკადის საპროექტო მონაცემების ძირითადი პარამეტრები, რომელიც აშენდება ახლო მომავალში და შეემატება მდ. რიონის აუზის ჰესებს. ნამახვანის კასკადის ექსპლუატაციაში შესვლა გამოიწვევს რიონის აუზის წყალსაცავების მუშაობის რეჟიმს შეცვლას.

აქედან გამომდინარე, როდესაც საუბარია გუმათისა და ვარციხის კასკადის ჰესების წყალსაცავების ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებზე, საჭიროა განხილულ იქნას ნამახვანის კასკადის წყალსაცავების მდებარეობა და მათი მუშაობის პირობები. ვარციხის კასკადის ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებისათვის საჭიროა 350 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯი. გუმათჰესი I-ის და გუმათი II-ის ნორმალური ექსპლუატაციისათვის საჭიროა 214 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯი. ვინაიდან მდ.რიონზე ყველაზე ბოლო სადგურს წარმოადგენს ვარციხის კასკადი I, II, III და IV და მათი ფუნქციონირებისათვის, როგორც აღვნიშნეთ საჭირო ხარჯის მისაწოდებლად ნამახვანის კასკადის მშენებლობის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს აღნიშნული ხარჯის მიწოდება (350 მ<sup>3</sup>/წმ).

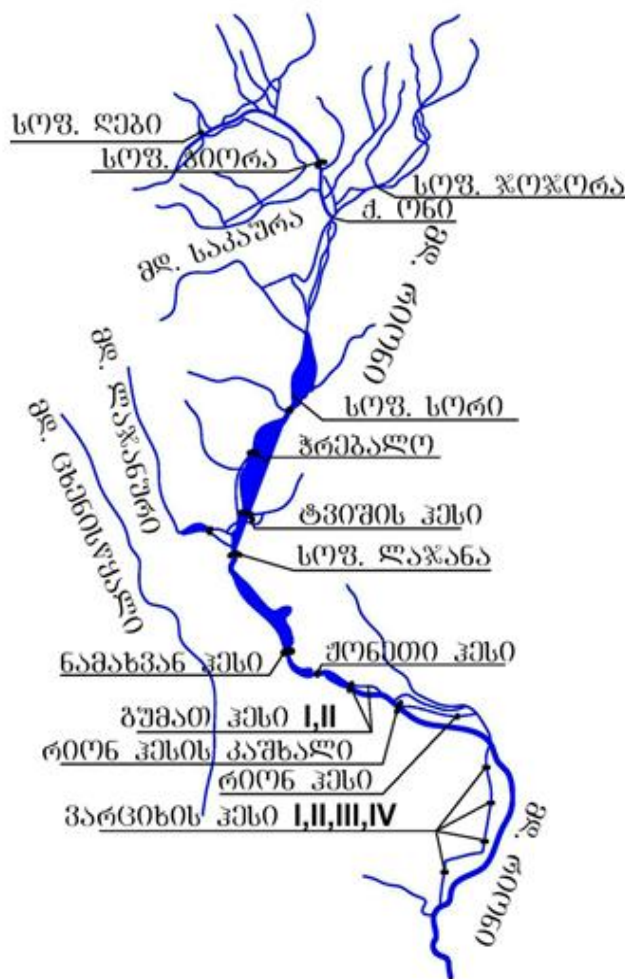
ნახ. 1.1-ზე წარმოდგენილია მდ. რიონის ნამახვანის კასკადის ტვიშის კაშხალის ღერძი, სადაც უნდა აშენდეს წყალსაცავი, რომლის სრული მოცულობა

## ნამახვანის კასკადის საპროექტო მონაცემების ძირითადი პარამეტრები

პარამეტრები	ზომის ერთეული	ტვიშის ჰესი	ნამახვანის ჰესი	ჯონეთი ჰესი
წყალგამყოფი	კმ <sup>2</sup>	3220	3420	3520
ჰიდრომეტეოროლოგიური მონიტორინგის პერიოდი	წლები	55	55	55
წყლის წლიური ნაკადი	მილიონი მ <sup>3</sup>	4860	4910	4980
წყლის დინების ზომის მახასიათებლები:				
ა) მრავალწლიანი საშუალო	მ <sup>3</sup> /წმ	154	156	158
ბ) მაქსიმალური 0.01%	მ <sup>3</sup> /წმ	3630	3700	3700
წყალსაცავის პარამეტრები:				
ა) წყლის ნორმალური დონე	მ, ზღვის დონიდან	360	310	232
წყლის ზედაპირის ფართობი	კმ <sup>2</sup>	0,74	4,9	1,25
გ) წყლის დონის დაწევა	მ	3,0	12,0	6,0
დ) სრული მოცულობა	მილიონ მ <sup>3</sup>	31,1	156	12,5
ე) სასარგებლო მოცულობა	მილიონი მ <sup>3</sup>	1,8	52,0	6,0
რეგულირების ტიპი	-	შეზღუდული დღე-ღამური	სეზონური	დღე-ღამური
წყლის დონის დაწევა:				
ა) მაქსიმალური	მ	36,8	83,6	32,0
ბ) ნორმალური	მ	33,3	75,5	27,0
გ) მინიმალური	მ	30,0	64,5	24,4
წყლის ნორმალური ნაკადი	მ <sup>3</sup> /წმ	336	336	416
ჰესის სიმძლავრე				
ა) დადგმული	მგვტ	2 X 50 = 100	2 X 125 = 250	2 X 50 = 100
ბ) გარანტირებული	მგვტ	9,0	26,3	6,0
საშუალო წლიური გამომუშავება	მგვტსთ	395.000	897.000	297.000
მუშაობის ხანგრძლივობა (მრავალწლიანი) საშუალო დადგმულ სიმძლავრეზე წელიწადში	საათები	4035	3712	3460

ტოლია 31.1 მლნ. მ<sup>3</sup>-ის; ნამახვანის კაშხლის ღერძი, სადაც უნდა აშენდეს წყალსაცავი, რომლის სრული მოცულობა ტოლია 12.5 მლნ. მ<sup>3</sup>-ის; ჟონეთის კაშხლის ღერძი სადაც უნდა აშენდეს წყალსაცავი, რომლის სრული მოცულობა ტოლია 156 მლნ. მ<sup>3</sup>.

მდ. რონის ნამახვანის ჰესების კასკადის მშენებლობის შემდეგ წყალსაცავი და მდინარის ნაპირები მოახდენს ზეგავლენას წყალსაცავის მოცულობის საერთო ფართზე, რომელიც მოიცავს სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის 296.92 ჰექტარს, რომელთაგან 27.0 ჰა სათიბია, 152.50 ჰა საძოვრები, 32.9 ჰა ბაღები, 29.93 ჰა ვენახები, 51.60 ჰა კერძო ფერმერები და 2.9 ჰა ჩაის პლანტაციები.



ნახ 1.1. მდინარე რონის აუზის კასკადების წყალსაცავების რუკა

გუმათის კასკადი მოიცავს უკვე ექსპლუატაციაში მყოფ ოთხ ჰესს შესაბამისი წყალსაცავებით: ლაჯანურჰესი, გუმათჰესი I და გუმათჰესი II და რიონჰესი. ვარციხის კასკადი მოიცავს უკვე ექსპლუატაციაში მყოფ სადგურს: ვარციჰესი I, II, III, და IV.



## 1.2. მდინარეთა ჰიდრორესურსების გამოყენების ტენდენცია

### საქართველოში და მისი აქტუალობა

საქართველოს მდინარეთა წყალუხვობა, ხეობათა ტიპები და კალაპოტების დიდი დახრილობა განაპირობებენ მდინარეთა საკმაოდ მაღალ ჰიდროენერგეტიკულ პოტენციალს. ქვეყნის საერთო ზედაპირული და ტრანზიტული ჩამონადენის ენერჯია დაახლოებით 229 მლრდ კვტ.სთ-ს, ხოლო შესაბამისი სიმძლავრე - 26 მლრდ კვტ-ს შეადგენს. დიდი, საშუალო, მცირე და ძირითადი მდინარის (319 მდინარე) ჰიდროენერგეტიკული რესურსები ენერჯიის მიხედვით 137 მლრდ კვტ.სთ-ს შეადგენს, ხოლო სიმძლავრის მიხედვით 15 მლრდ კვტ-ს. ენერგეტიკული რესურსების მიხედვით (აბსოლუტური მახასიათებლებით), საქართველო მეოთხე ადგილზე იყო ყოფილი საბჭოთა რესპუბლიკებს შორის (რუსეთის, ტაჯიკეთის და ყაზახეთის შემდეგ), ხოლო 1 კმ<sup>2</sup> ხვედრითი ხარჯის მახასიათებლით ერთ-ერთი პირველი ადგილი უჭირავს მსოფლიოში.

წყლის რესურსების ანალოგიურად ჰიდროენერგეტიკული რესურსების განაწილებაც ტერიტორიებზე საკმაოდ არათანაბარია. დასავლეთ საქართველოს წილზე მოდის დიდი და საშუალო მდინარეების ენერგორესურსების 72 %, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოს წილზე - 28 %.

მდინარეთა თეორიული ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ტექნიკური და სხვა შესაძლებელი გამოყენების ხარისხი, კონკრეტული პირობების მიხედვით 0.3-დან 0.9-მდე იცვლება, საშუალო 0.6-ს შეადგენს. აქედან გამომდინარე, საქართველოს ტექნიკური ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი (მცირე მდინარეების გათვალისწინების გარეშე) 80-85 მლრდ კვტ.სთ-ს შეადგენს.

საქართველოში, ექსპლუატაციაში მყოფი ჰესების საერთო საპროექტო გამომუშავება დაახლოებით 10 მლრდ კვტ.სთ-ია, რაც ეკონომიკური ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის 25 %-ს შეადგენს.

საქართველოს ჯერ კიდევ დიდი რეზერვი გააჩნია ჰიდროენერგეტიკის განსავითარებლად, რომელიც დღევანდელ ეტაპზე ელექტროენერჯიის ეკოლოგიურად ყველაზე სუფთა წყაროს წარმოადგენს. ამის გამო ჰიდროენერგეტიკული რესურსებით მდიდარ ბევრ ქვეყანაში, პირველ რიგში სწორედ ეს რესურსები არის ათვისებული.



სურ.1.2 ენერგეტიკული სახე და ფსკერული ნატანი მდინარე რიონის ნამახვანისა და ჟონეთის კაშხალების ღერძებს შორის.

მაგალითად, შვეიცარიაში მთელი გამომუშავებული ელექტროენერჯის 98,7 % ჰიდროენერჯეტიკაზე მოდის, შვეციაში - 93,1 %, ნორვეგიაში - 99,5 %, შესაბამისად ათვისებული იყო ეკონომიკური ჰიდროენერჯეტიკული პოტენციალის 60 %, 30,2 % და 44,6 %.

წყალსაცავის დანიშნულება არის მდინარის ჩამონადენის რეგულირება წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენების მიზნით. დღეისათვის ექსპლუატაციაშია 44 წყალსაცავი, მათი საერთო მოცულობა 3.32 კმ<sup>3</sup> შეადგენს. ჰესთან არსებული წყალსაცავის შექმნა გარკვეული ხარისხით ცვლის ეკოლოგიურ სისტემას. ამიტომ განვითარებულ ქვეყნებში გამოყენების სქემიდან, წყალსაცავების მშენებლობაში გამორიცხულია ის მონაკვეთები და ხეობები, სადაც ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა მნიშვნელოვნად დააზიანებდა ეკოლოგიურ სისტემას, საფრთხე შეექმნებოდა ბუნებასა და ისტორიულ ძეგლებს და ისტორიულად ჩამოყალიბებული ადამიანის კულტურულ-სოციალურ სამეურნეო გარემოს.

### 1.3. წყალსაცავების მრავალმიზნობრივი დანიშნულების ფუნქციონირების ჰიდროენერჯეტიკული საფუძვლები

მსოფლიოში ელექტროენერჯის მოხმარების ტემპები საკმაოდ მაღალია. მაგალითად, საერთაშორისო ენერჯეტიკული სააგენტოს (IEA) პროგნოზით, ელექტროენერჯის მოხმარება 2010 წლისათვის 15 ტრილიონი კვტ.სთ-დან

21 ტრილიონი კვტ.სთ-მდე გაიზარდა და ზრდის ტენდენცია მომდევნო წლებშიც შენარჩუნდება. აქვე აღსანიშნავია, რომ CO<sub>2</sub>-ის ემისიის წლიური მოცულობა 2009 წლისათვის 23.000 მლნ. ტონიდან 28.999 მლნ. ტონამდე გაიზარდა, რაც შემაშფოთებელ ტენდენციად არის მიჩნეული. ვინაიდან CO<sub>2</sub>-ის ემისია ენერგეტიკის სექტორში ძირითადად თბოსადგურების ფუნქციონირებასთან არის დაკავშირებული, შესაბამისად, უფრო აქტუალური ხდება ჰიდრორესურსების გამოყენება. ჰიდრორესურსების ათვისებისაკენ მისწრაფება ცხადი სახით არის ასახული მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნების ენერგეტიკული სისტემების სტრუქტურაში. საერთაშორისო ჟურნალის „The International Journal on Hydropower & Dams“ 1-ის თანახმად, მსოფლიოს თეორიული ჰიდროპოტენციალი შეფასებულია 400 204 865 გვტ.სთ-ით, ტექნიკურად განხორციელებადი - 140 606 559 გვტ.სთ-ით და ეკონომიკურად განხორციელებადი – 80 721 093 გვტ.სთ-ით. სულ, მსოფლიოს მასშტაბით ფუნქციონირებს 25 000-ზე მეტი სხვადასხვა სიმძლავრის ჰესი. მსოფლიოს პოტენციალის ტერიტორიულად შეფასება მოცემულია ცხრილში 1.2.

ცხრილი 1.2

მსოფლიოს ჰიდროპოტენციალის მონაცემები

რეგიონი	თეორიული პოტენციალი (გვტ.სთ)	ტექნიკურად განხორციელებადი პოტენციალი (გვტ.სთ)	ეკონომიკურად განხორციელებადი პოტენციალი (გვტ.სთ)	ფაქტობრივი (გვტ.სთ)	ფაქტობრივი გამოყენება%-ში (ეკონომიკურად განხორციელებადი თანამიმართებაში)
აფრიკა	2,506,511	1,183,826	779,223	104,713	13.4
აზია	19,717,141	7,684,990	4,477,937	1,367,783	30.5
ავსტრალია და ოკეანეთი	657,984	185,012	88,700	37,135	41.9
ევროპა	2,829,939	1,038,430	779,698	559,763	71.8
ჩრდილოეთ ამერიკა	7,600,775	1,907,776	1,058,742	654,308	61.8
სამხრეთ ამერიკა	6,892,515	2,606,559	1,536,794	685,959	44.6
სულ	40,204,865	14,606,593	8,721,094	3,409,661	39.7

როგორც ცხრილიდან ჩანს, განვითარებული რეგიონების მიერ ჰიდროპოტენციალის მაჩვენებელი საკმაოდ მაღალია და ამჟამად კვლავ მიმდინარეობს მისი აქტიური ათვისება. ჰიდროპოტენციალის ათვისების მიმდინარეობა მოცემულია ცხრილში 1.3.

ცხრილი 1.3

ჰიდროპოტენციალის ათვისების მიმდინარეობა მსოფლიოში

რეგიონი	დადგმული სიმძლავრე (მგვტ)	მიმდინარე მშენებლობა (მგვტ)	პროექტირების სტადიაში (მგვტ)	დადგმული სიმძლავრის-ზრდა (%) მშენებლობის შემდეგ
აფრიკა	24,646	12,891	28,248	52.3/166.9
აზია	411,104	123,724	185,310	30.1/75.2
ავსტრალია-და ოკეანეთი	13,371	117	420	0.88/4.0
ევროპა	177,702	4,683	16,118	2.6/11.7
ჩრდილოეთ ამერიკა	169,585	7,912	24,675	4.7/19.2
სამხრეთ ამერიკა	140,926	32,818	60,958	23.3/66.5
სულ	937,334	182,145	315,729	19.8/53.4

მიმდინარე მშენებლობები ძირითადად განპირობებულია კაშხალიანი ჰესებით. დღეისათვის მსოფლიოში მიმდინარეობს 330-ზე მეტი 60 მ და მეტი სიმაღლის სხვადასხვა ტიპის კაშხალიანი ჰესის მშენებლობა. იმ შემთხვევაში, თუ ბოლო წლებში ეკონომიკურად განხორციელებადი ჰიდროპოტენციალის ათვისება მოხდება, დღეს არსებული CO<sub>2</sub>-ის გაფრქვევის შემცირება დაახლოებით 7.2 %-ით არის მოსალოდნელი. (ენერჯის მოხმარების ზრდის პროგნოზის გამართლების შემთხვევაში).

ძალიან მნიშვნელოვანია მაღალსეისმური იაპონიის მაგალითი, სადაც ჰიდროენერგეტიკული დადგმული სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით 27 000 მგვტ-ს, აქედან 23 775 მგვტ არის დიდი და საშუალო სიმძლავრის ჰესები.

კაშხლები და მათ შორის მაღალი კაშხლების საერთო რაოდენობაა მცირემიწიან (ერთ სულ მოსახლეზე) მაღალსეისმურ ქვეყანაში, 2650-მდეა. ჰიდროენერჯის განვითარების გეგმა იაპონიაში ითვალისწინებს 2021

წლამდე კაშხალების მშენებლობის გაგრძელებას, რათა მაქსიმალურად იქნას ათვისებული იაპონიის ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალი. [Trans Electrica Ltd., 2013 4.]

განვითარებული ქვეყნების მიერ მიღებული სტრატეგიული გადაწყვეტილება ადგილობრივი ჰიდრორესურსების ათვისების თვალსაზრისით ეფექტიანია. აგრეთვე მნიშვნელოვანია მდ. რიონის ენერგეტიკული ათვისების პერსპექტიული განვითარების ტენდენციები. ნახ. 1.1-ზე წარმოდგენილია მდინარე რიონის აუზის სადოქტოროს პროგრამის ჩარჩოში არსებული წყლის ენერგეტიკული რესურსების გამოყენების გეგმა.

#### **1.4. წყალსაცავების სისტემების მუშაობის რეჟიმების რაციონალური განსაზღვრის არსებული მეთოდები**

წყალსაცავებში წყლის შეტბორვის შედეგად მკვეთრად მცირდება მდინარის ბუნებრივი სიჩქარეები, ეს კი თავის მხრივ ამცირებს ნაკადის ტრანსპორტირების უნარიანობას და [93, 94, 96], იწყება მდინარის მყარი ნატანის დალექვის ანუ წყალსაცავების დალამვის პროცესი, ე.ი. წყალსაცავები წარმოადგენენ მყარი ნატანის აკუმულატორებს. წყალსაცავებში საშუალოდ ილექება მყარი ჩამონადენის 90-95 %. ამის გამო წყალსაცავებში წყლის სასარგებლო მოცულობა თანდათანობით მცირდება. წყალსაცავის დალამვის პროცესი ზოგადად შეიძლება დავახასიათოთ შემდეგნაირად: ფსკერული ნატანის დალექვა იწყება წყალსაცავის ბოლო ნაწილში. ატივანარებული ნატანი ილექება წყალსაცავის მთელ სიგრძეზე. დალექილი ნატანის პრიზმა ერთდროულად იზრდება სიმაღლეში, წარმოებს ნატანის ერთგვარი დახარისხება ნაწილაკების სიმსხოს კლებადი მიმდევრობით. ამ კანონზომიერებაში მკვეთრი კორექტივები შეაქვს წყალსაცავის ექსპლუატაციასთან დაკავშირებულ ჰიდრავლიკური რეჟიმის ცვალებადობას. გარდა მყარი ნატანისა, წყალსაცავის მოცულობის შემცირება მიმდინარეობს ისეთი მოვლენების გავლენით, როგორებიცაა ნაპირების გადამუშავება, მეწყრები, ზვავები, ჩამოქცევები, ჩამონაშლები, ქარის მიერი ეროზიის პროდუქტები.

მდინარეთა მყარი ნატანის ჩამოყალიბებაში ძირითადი როლი მიუძღვის ფიზიკური გამოფიტვის, დენულაციისა და ეროზიის პროცესებს. მაღალმთიან ზონებში მიმდინარე ეს პროცესები, საშუალომთიანი ზონის პროცესებთან (მეწყერი, მთის ჩამონაშლელები) ერთად, ხელს უწყობს დიდი რაოდენობით ფხვიერი ნაშალი მასალის დაგროვებას, რომელიც შემდგომ მდინარის ნაკადის მიერ წარიტაცება.

მყარი ნატანი მასალის მოძრაობის ჰიდრავლიკური პირობების შესწავლა მთის მდინარეებზე დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. ამ მხრივ აღსანიშნავია ლ. გველესიანის [38, 39], ნ.შმაღვლის [141] და ო.შაუთიძის [139] მიერ ნატურაში ჩატარებული კვლევები, რომლებმაც შეძლეს კონკრეტულ მდინარეთა მონაკვეთისათვის დაედგინათ ფსკერული ნატანის ხვედრითი წილი ატივნარებულ ჩამონადენში.

#### ცხრილი 1.4

საზღვარგარეთის მდინარეებზე ფსკერული ნატანის ხარჯის გაზომვის მონაცემები

№№ რიგზე	მდინარე	ავტორი წელი	ფსკერის ნალექის ზედაპირის ფენის საშუალო დიამეტრი, მმ	კალაპოტის სიგანე, მ	ფსკერის ქანობი	წყლის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	ნატანის ხარჯი, 10 <sup>-3</sup> მ <sup>3</sup> /წმ.
1	ელბუ, ბერტა	ალბერტა, ხო-ლინგშედი, 1971	76	38-49	0,0007-	35-109	0,09-„14,1
2	სნეიკე, აიდახო	ემეტი და ტომასი, 1978	54	155-204	0,00006-0,0001	780-4390	0,003-10,7
3	კლიაუოტა, აიდახო	ემეტი და ტომასი, 1973	72	125-149	0,00001-0,00006	289-3512	0,0003-14,5
4	ტანანა, ალიასკა	ემეტი, 1978	12	122-393	0,00004-0,00005	590-1890	3,1-32,8
5	აარა	შვეიცარია 1939	70	15	0,0002	44-125	0,002-0,58

სხვადასხვა მკვლევარის ფორმულები მსხვილი ნატანის ხარჯის გასაანგარიშებლად

№№ რიგ ზე	ავტორი, წყარო	ფორმულის სახე	შენიშვნა
1	2	3	4
1	შამოვი, [140]	$q_T = \left(\frac{V}{V_6}\right)^3 (V - V_6) \left(\frac{d}{H}\right)^{\frac{1}{4}}$	$K=0,95 \sqrt{d}$ -კოეფიციენტი ერთგვაროვანი ნატანი-სათვის
2	გველესიანი, [38, 39]	$q_T = 12,9 \frac{dV_{0,6}}{\left(\lg \frac{12D+d}{d}\right)^2} \times \left(\frac{V^3}{V_{0,6}^3} - 1\right) \left(\frac{V}{V_{0,6}} - 1\right)$	$V_{0,6}$ - ნაკადის საშუალო სიჩქარე, რომლის დროს მოძრავი ნატანი ჩერდება.
3	ტალმაზა, [120,121]	$q_T = \beta \gamma \frac{\sqrt{d} V}{\sqrt{g}} \left(\frac{d}{H}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{V}{V_{0,6}}\right)^3 (V - V_{0,6})$	$1/m = 1/H$ ; $V_{0,6} = V_0/\sqrt{2}$ , $\beta = 0,0018$ -დამგვალებული ნაწილაკებისათვის, $\beta = 0,0012$ - ფირფიტოვანი ფორმის ნაწილაკებისათვის.
4	კოპალიანი, [70,74]	$q_T = \frac{5,58}{86400} \cdot \frac{V^4}{H^{\frac{1}{2}}}$	$V > V_0$ ; $\frac{H}{d} > 15$
5	რუხაძე, [112]	$q_T = 0,006 V^{3,6} \left(\frac{HI}{\frac{\rho_T}{\rho} - 1}\right)^{0,13} \left(\frac{H}{d}\right)^{0,32}$	
6	ეინშტეინი, [75]	$q_T = \frac{3,34 \omega d}{I^{0,397\psi - 1}}$	$\psi = \frac{\alpha d}{HI}$
7	რომაშინი, [198]	$Q_T = \frac{11232}{86400} \cdot \frac{\rho}{\rho_T} \cdot \frac{(Q - Q_0)^{1,2}}{Q_0^{0,2}}$	$Q_0 = 0,067 \sqrt{g} \left(\frac{d}{I}\right)^{2,5}$
8	ნიკიტინი, [90]	$Q_T = \frac{530}{\rho_T} I^{2,2} (Q - Q_0)$	$Q_0 = 1,0$ მასის
9	შოკლიჩი, [74]	$q_T = \frac{2,5}{\rho_T / \rho} I^{3,2} (q - q_0)$	$q_0 = 0,26 \left(\frac{\rho_T}{\rho} - 1\right)^{\frac{5}{3}} \frac{d^{\frac{3}{2}} Q}{I^{\frac{7}{6}}}$
10	ბატხუსტი, [74]	$q_T = \frac{2,5}{\rho_T / \rho} I^{3,2} (q - q_0)$	$q_0 = 0,21 I^{-1,12} \sqrt{g d}^{\frac{3}{16}}$

მსხვილი ნატანის ტრანსპორტირების გამოკვლევები ისტორიულად ხორციელდებოდა რამდენიმე მიმართულებით: გაზომვის მეთოდებისა და ხელსაწყოების შექმნით; წატაცებული ნატანის რაოდენობისა და ხარჯის ნატურაში გამოკვლევით; ჰიდრავლიკურ მოდელებზე და ღარებში მსხვილი ნატანის ტრანსპორტირების მახასიათებელთა (მოდრაობის დასაწყისი, ტრანსპორტირების მექანიზმი და ფორმა, ნატანის ხარჯი) ლაბორატორიული გამოკვლევები; ანალიზური, ნახევრად ემპირიული მოდელების და გაანგარიშების (ფორმულების) შექმნით.

ყირგიზეთის რამდენიმე მთის მდინარეზე წატაცებული ნატანის ხარჯის გაზომვა ვ.ფ.ტალმაზმა [120, 121]. მსგავსი გაზომვა ჩაატარეს აგრეთვე საქართველოს მდინარეებზე თბილისისა და მოსკოვის უნივერსიტეტების ექსპედიციებმა [14, 84, 114, 115].

ცხრილი 1.5-ში წარმოდგენილია უცხოელ ავტორთა [121] მიერ ჩატარებული გაზომვის შედეგები.

მოცულობითი მეთოდით ნატანის მყარი ჩამონადენისა და ხარჯის მახასიათებლების ყველაზე უფრო დაწვრილებითი გამოკვლევები, რომელიც მიზნად ისახავს გაზომვის ამ ხერხის მეთოდის შემუშავებასა და წყალსაცავში დადგენილი მოცულობით მთის მდინარის ჩამონადენის განსაზღვრას, ჩაატარა ი. ვ. ბოგოლუბოვამ მდინარე მზიმთაზე, კრასნოპოლიანსკის ჰესის ზედა ბიეფზე [29].

ეს ნაშრომი, როგორც გაზომვის მეთოდის შექმნის მცდელობა და მისი ანალიზი, შეიძლება წარმატებით იქნას გამოყენებული მოცულობითი მეთოდით მსხვილი ფსკერული ნატანის ჩადენისა და ხარჯის განსაზღვრის მეთოდთა შემდგომი სრულყოფის გზაზე.

რ. ვ. კრომერის მიერ ჩატარებულ იქნა სამხრეთ ყაზახეთის მთის სხვადასხვა პატარა მდინარეებზე ფსკერული ნატანის ჩამონადენის მახასიათებელთა გაზომვის მონაცემების კვლევა [68]. წატაცებული ნატანის მოცულობის გაზომვა ხორციელდებოდა წყალსაგდები ნაგებობის სალექარებში, ხოლო ნაკადის ჰიდრავლიკური მახასიათებლების გაზომვა წყალსაგდებიდან ნატანის გარეთ. ამ გამოკვლევათა საფუძველზე ავტორმა მიიღო მთის მდინარეებზე ფსკერული ნატანის ხარჯის გასაანგარიშებელი ფორმულა [68]. კრომერის სტატიიდან არასაკმარისად



ჩანს, თუ როგორ მიმდინარეობდა წატაცებული ნატანის მოცულობის დაყოფა ფსკერულ და სალტირებულად (ნახევრად შეტივტივებულ) ნატანად.

განსაკუთრებით საინტერესოა კავკასიის შავი ზღვის სანაპიროს მდინარეებზე ვ.ვ.რომაშინის მიერ ჩატარებული გამოკვლევები [108]. ამ გამოკვლევაში მოცულობითი მეთოდი გამოყენებულია შესართავის ბარის დინამიკისა და კალაპოტის მეზო და მაკროფორმებზე დაკვირვებებთან შერწყმულად (გადაგორებადი და სალტირებადი ნაკადის გადალექვა, შემდგომ კი მათი შეჯამება).

რომაშინმა ამ გაზომვათა საფუძველზე მიიღო მთისა და მთისწინა მდინარეებზე წატაცებული ნატანის ხარჯის გასაანგარიშებელი ფორმულა [108]. სამწუხაროდ რომაშინის ნაშრომი არ შეიცავს ნაკადის სიღრმისა და სიჩქარის მონაცემებს.

სხვადასხვა მკვლევარის მიერ ჩატარებული ლაბორატორიული ცდების შედეგად ძირითადი ჰიდრავლიკური მახასიათებლების შეცვლილი დიაპაზონის შესახებ მიღებული ზოგადი ცნობები (მსხვილი ნატანი  $d \geq 1.0$  მმ), რომელებსაც გავეცანით არსებული ლიტერატურული წყაროებიდან [150, 151, 158].

ამ ნაშრომებიდან ჩანს, რომ მეტწილ ექსპერიმენტებში კალაპოტური ფორმები არ არის ფიქსირებული ანდა მათ არ ეთმობათ ყურადღება და ამიტომ სპეციალურად არ იყო შესწავლილი. გარდა ამისა, ზოგიერთი ავტორის მეთოდიკის გაცნობისას ყოველთვის არ ჩანს, მიღწეული იყო თუ არა ცდებში დინამიკური წონასწორობის მდგრადობა.

ცხრილში 1.5 ჩართულია მთისა და მთისწინა ზონის მდინარეებზე ფსკერული ნატანის ხარჯის გასაანგარიშებელი ფორმულები. ისინი დაფუძნებულია სხვადასხვაგვარ ფიზიკურ წარმოდგენებზე, ნახევრად ემპირიულ ხასიათსა და ვარგისიანობის დასასაბუთებლად განმტკიცებულია ამა თუ იმ ლაბორატორიული ან ნატურული მონაცემებით, რომლებიც მიღებულია სხვადასხვაგვარი ჰიდრავლიკური პირობებისათვის, გაზომვის სხვადასხვა მეთოდებით.

აქვე აღსანიშნავია, რომ ყველა ეს ფორმულა, ვ.ვ.რომაშინისა და ზ. დ. კოპალიანის ფორმულების გარდა, მიღებულია ფსკერული ნატანის უსტრუქტურო მოძრაობის პირობებისათვის.

მთის მდინარეების წატაცებული ნატანის ხარჯის გასაანგარიშებლად მიღებული

ფორმულები, რომლებიც ეკუთვნით კ. ი. როსინსკის, შ. რ. პოზდნიაკოვს და ვ. ვ. რომანოვსკის, შედგენილია ტურბულენტური ნაკადის ალბათობით ბუნებისა და ნატანის ტრანსპორტირების პროცესის გათვალისწინებით [109, 101, 107]

მაგრამ გაანგარიშების სხვა არსებულ მეთოდებთან და გაზომვათა მონაცემებთან შედარებისას ვლინდება, რომ ამ მეთოდებს, რომლებიც ერთობ რთული აგებულებისაა, გაანგარიშებისას არავითარი უპირატესობა არ ახასიათებთ.

საჭიროა აღვნიშნოთ, რომ ფსკერული ნატანის ხარჯი, რომელიც ნაკადის ტრანსპორტირების უნარიანობის ტოლია და დინამიკური წონასწორობის ფსკერის ქანობს შეესაბამება, ერთმნიშვნელოვნად იყოს დაკავშირებული ნაკადის ჰიდრაულიკურ მახასიათებლებთან მხოლოდ დანალექის ჩამორეცხვისა და ნატანის მთლიანი ნარევის ინტენსიური მოძრაობის პირობისათვის.

ბოლო წლების ნაშრომებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია ტ. შ. მაჟიდოვის ლაბორატორიული გამოკვლევები [85], რომლებიც ჩატარებულია ფსკერული ტალღების ჩამოყალიბებაზე, მათ გეომეტრიულ და დინამიკურ მახასიათებლებზე, აგრეთვე ნაკადის ჰიდრაულიკურ წინაღობაზე მსხვილი ნატანის შედგენილობის არაერთგვაროვნების შესასწავლად.

## 1.5 პრობლემის დასმა და საერთო მიდგომა მის გადასაწყვეტად

მდ. რიონის აუზის ჰესების მუშაობის რეჟიმების პრობლემას წარმოადგენს: ლაჯანურჰესის, გუმათჰესის I, გუმათჰესის II, რიონჰესის და ვარციხჰესის წყალსაცავების მოლამვის და მათი ნატანი მასალისაგან გაწმენდის პროცესები.

წყალსაცავების მოლამვის შედეგად შემცირებულია წყალსაცავების მოცულობა. მოლამვის გამო შესაბამისად მცირდება წყლის შენახული ენერგია, რომელიც საჭიროების მომენტში შეიძლება გარდავემნათ ტურბინების გამოყენებით ელექტრო ენერგიად. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ტურბინების მუშაობას პრობლემას უქმნის წყალმიმღების დონემდე ნატანი მასალით მოლამვა. ფსკერული ნატანი იწყებს ნაკადთან ერთად მოძრაობას ტურბინაში და აზიანებს მას. წყალსაცავის მოლამვის ასეთი დონე მოითხოვს წყალსაცავის გადაუდებელ გაწმენდას. წყალსაცავის

გარეცხვები მიმდინარეობს სამი დღე-ღამის განმავლობაში. წყალსაცავი იცლება მთლიანი მოცულობით, სადგური გაჩერებულია, თევზის ძირითადი ნაწილი ილუპება.

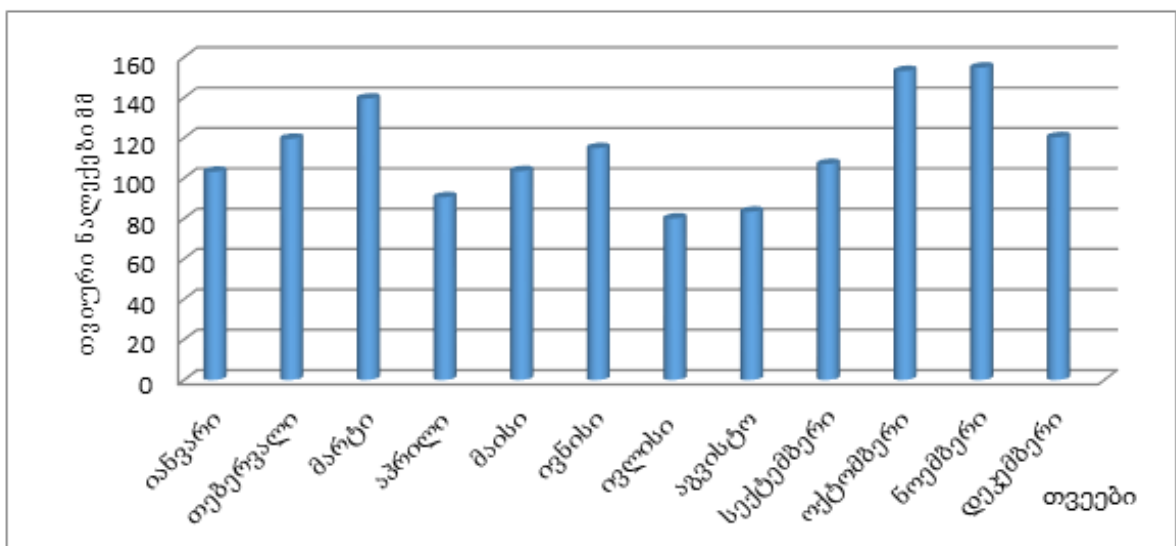
დისერტაციაში დასმული პრობლემის გადაწყვეტის მეთოდურ საფუძვლად გამოყენებულია კალაპოტური პროცესების ჰიდრომორფოლოგიური თეორია [67, 69]. ჩავატარე ნატურაში წყალსაცავებზე გაზომვითი სამუშაოები მოლამული მასალის, ფსკერული და ტივტივა ნატანის გრანულომეტრული შემადგენლობის მნიშვნელობის დასადგენად. შევისწავლე და ფოტოტოპოგრაფიული გადაღებით გავაკეთე 2016 წლის კალაპოტის გარეცხვის მიმდინარეობის (21-23 მაისი) პროცესი. გამოვიყენე ჰიდროლოგიური საგუშაგოების: მდ. რიონი-სოფ. უწერა, მდ. რიონი-ქ. ონი, მდ. რიონი-სოფ. ხიდიკარი, მდ. რიონი-სოფ. ალპანა, მდ. რიონი-სოფ. ნამახვანი, მდ. რიონი სოფ. საკოჩაკიძე, მდ. რიონი-ქ. ფოთი, ჩრდილოეთის ტოტი, მდ. რიონი-ქ. ფოთი, სამხერთის ტოტი, მდ. ცხენისწყალი-სოფ. რცხმელური, მდ. ყვირილა-ზესტაფონთან მონაცემები. დასმული პრობლემა გადავწყვიტე წყალსაცავების გარეცხვის ჰიდრაულიკური, ჰიდრომექანიკური, სიფონური მეთოდით, მათემატიკური მოდელირებისა და კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით.

**თავი 2. მრავალმიზნობრივი დანიშნულების მდ. რიონის წყალსაცავების  
სისტემების მკვებავი მდინარეების ჩამონადენის  
ფორმირების ფუნქციონირების კვლევა**

**2.1 ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების  
კვლევა და დიაგნოსტიკა.**

მდ. რიონი მდიდარია როგორც თხევადი, ისე მყარი კალაპოტური ჩამონადენით. ხასიათდება წყალდიდობებითა და წყალმოვარდნებით, რომელთა რეგულირება მოითხოვს მყარ და საფუძვლიან ცოდნას, მსხვერპლის გარეშე გატარებისათვის.

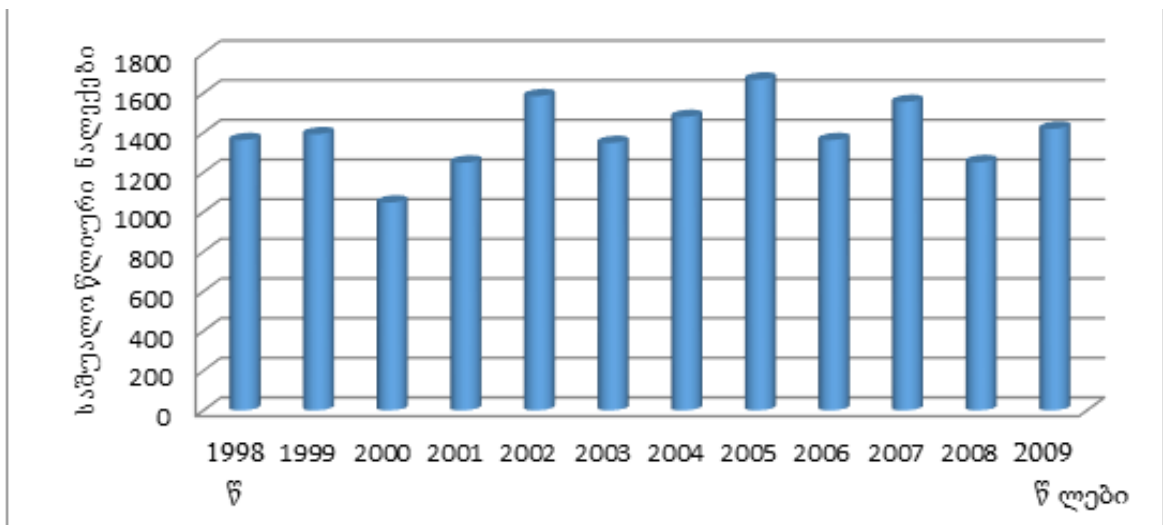
ქუთაისის მეტეოროლოგიურ სადგურში დაფიქსირებული მრავალწლიანი საშუალო თვიური ნალექები შეადგენს 1954.53 მმ. ყველაზე მაღალი საშუალო ნალექი დაფიქსირდა ნოემბერში და შეადგენს 312.92 მმ. და ივლისში დაფიქსირებული საშუალო თვიური ნალექი შეადგენს 80.02 მმ. ნალექების თვიური მონაცემები წარმოდგენილია ნახ. 2.1.



ნახ. 2.1. ქუთაისის მეტეოროლოგიურ სადგურში დაფიქსირებული თვიური ნალექის განაწილება.

ქუთაისის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების მიხედვით, მაქსიმალური საშუალო წლიური ნალექები დაფიქსირდა 2005 წელს და შეადგინა 1666.7 მმ.

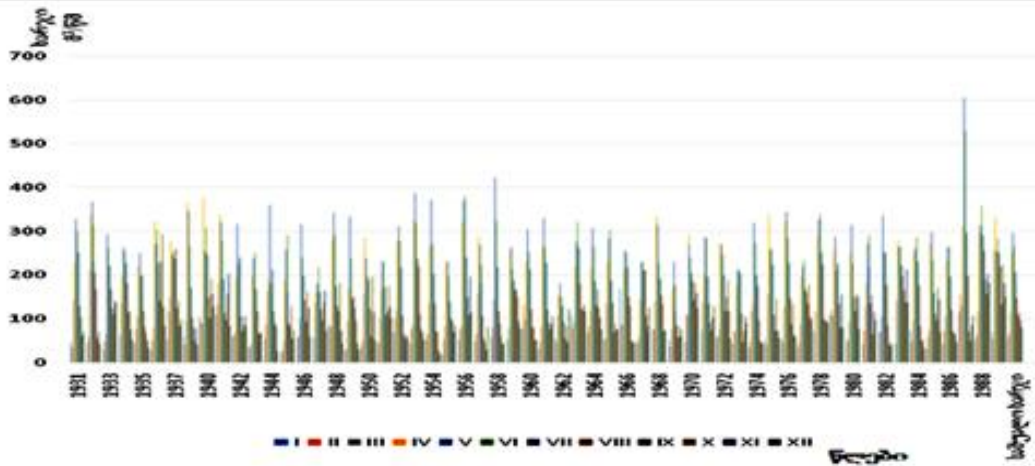
შემდგომ წლებში საშუალო წლიური ნალექი უხეშად მერყეობდა 1000 მმ-დან 1700 მმ-მდე. წლიური ჩანაწერები მოცემულია ნახ. 2. 2.



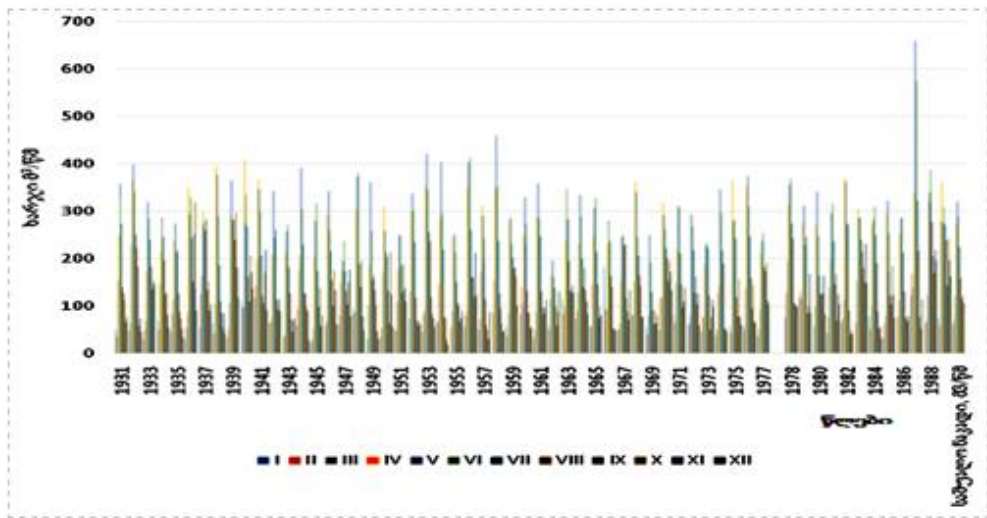
ნახ. 2.2. ქუთაისის მეტეოროლოგიური სადგურში დაფიქსირებული წლიური ნალექების განაწილება (1998-2009 წწ.)

მდ. რიონის ხარჯის შესახებ ინფორმაცია 1910 და 1993 წლებს შორის, დაფიქსირებულია ნამახვანის წყლის მონიტორინგის სადგურზე. საგუშაგო მოწყობილია მარჯვენა ნაპირზე, აღჭურვილია ლარტყით და წყლის დონეების თვითმწერით „ვალდაი“. თვითმწერი კუნძულეებრივი ტიპისაა. 1954 წელს არსებული ხარჯის პირობები შეიცვალა შაორის ჰესისა და მდინარე დიდი ჭალას (შარაულას) გამო. შაორის ჰესის პროექტის განხორციელებასთან ერთად მდინარის კალაპოტში არსებული ნაკადი შეიცვალა 5 მ<sup>3</sup>/წმ-ით. მეორე მხრივ, ლაჯანურის წყალსაცავის მშენებლობის შემდეგ 1960 წელს, მდინარე რიონის კალაპოტში წყლის ხარჯი გაიზარდა 60 მ<sup>3</sup>/წმ-ით. რადგან ნაკადი მდინარე ცხენისწყლიდან იქნა გადმოყვანილი.

ნახ. 2.3-ზე და ნახ. 2.4-ზე შესაბამისად შეიცავენ ტვიშის კაშხლისა და ჟონეთის კაშხლის ღერძებთან მონაცემებს. როდესაც განიხილება 1931-1989 წლების პერიოდის ტვიშის კაშხლის ღერძის ხარჯები, საგუშაგოს მონაცემებით მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები დაფიქსირებულია მაისში, როგორც 295 მ<sup>3</sup>/წმ და იანვარში, როგორც 57 მ<sup>3</sup>/წმ-ში.



ნახ .2.3 საშუალო ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ ნამახვანის მონაცემებით



ნახ. 2.4 საშუალო ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ ჟონეთის კაშხლის ღერძთან

როდესაც განიხილება 1931-1989 წლების პერიოდის ჟონეთის კაშხლის ღერძის ხარჯები, საგუშაგოს მონაცემებით მაქსიმალური და მინიმალური ხარჯები დაფიქსირებულია მაისში, როგორც 321 მ<sup>3</sup>/წმ და იანვარში, როგორც 62 მ<sup>3</sup>/წმ-ში.

## 2.2 მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების მკვებავი მდინარეების ჰიდროლოგიური მონაცემების კვლევა

მდ. რიონის აუზის კასკადების წყალსაცავების მოლამვის მიმდინარე პროცესები ძირითადად დამოკიდებულია მკვებავი მდინარეების კალაპოტში დაგროვილი ნატანი მასალის მოცულობასა და მდინარეთა ნაკადის ტრანსპორტირების

შესაძლებლობაზე. პრობლემის შესასწავლად განვიხილოთ მკვებავი მდინარეების ჰიდრომორფოლოგიური ხასიათი.

წინამდებარე გამოკვლევა ხორციელდება რიონის აუზის წყალსაცავების სისტემის მთლიანობაში, ამიტომ წყლის ხარჯის და სიმღვრივის მონაცემები მოთავსებულია ერთად და მოყვანილია მიმდევრობით შემდეგი კვეთებისათვის: 1) მდინარე ცხენისწყალი რცხმელურთან; 2) მდინარე ლაჯანური ორბელთან; 3) მდინარე რიონი ნამახვანთან და ვარციხესთან. დამატებით მოყვანილია სიმღვრივეების მონაცემები: 1) მდინარე ყვირილა ზესტაფონთან; 2) მდინარე რიონი საკოჩაკიძესთან.

ვინაიდან ვარციხის კვეთში სიმღვრივეები არ იზომება ზემოთმოყვანილი მონაცემების საშუალებით, ხდება სიმღვრივეების შეფასება ამ კვეთში. საანგარიშო წლები შერჩეულია ვარციხჰესის წყალსაცავის ჰიდროლოგიური მონაცემების მიხედვით ვინაიდან, ის მწყობრში ჩადგა რიონის კასკადის წყალსაცავებს შორის ყველაზე გვიან, არის კასკადის ყველაზე ქვემოთ მდებარე წყალსაცავი და ამიტომ ის კარნახობს კასკადის გარეცხვის პირობებს.

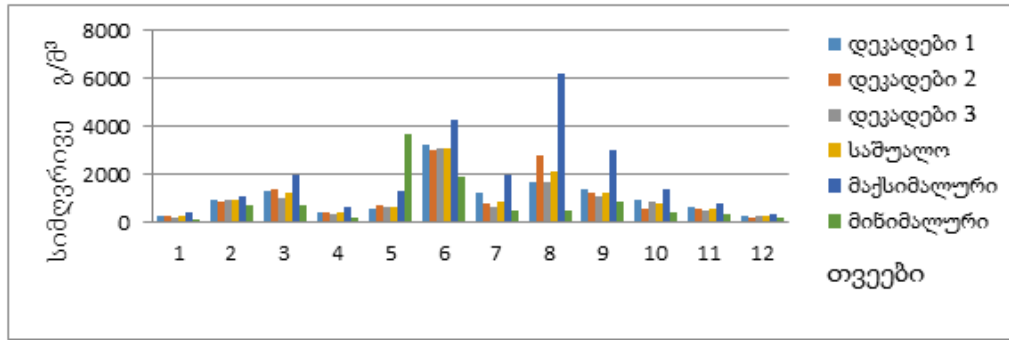
ჰიდროლოგიური მონაცემების მიხედვით წყალსაცავის კვეთში მდ. რიონის უხვწყლიანი წელია 1987 წ., მცირეწყლიანი კი - 1986 წ. ჰიდრაულიკური მონაცემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამ წლებში საშუალო უხვწყლიანი და მცირეწყლიანი წლების ხარჯებს უახლოვდება შესაბამისად წყლის ხარჯები ზემომდებარე კვეთებისათვის.

### **2.3 მდინარე ცხენისწყალის ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები**

#### **(მდ. ცხენისწყალი რცხმელურის საგუშაგოზე)**

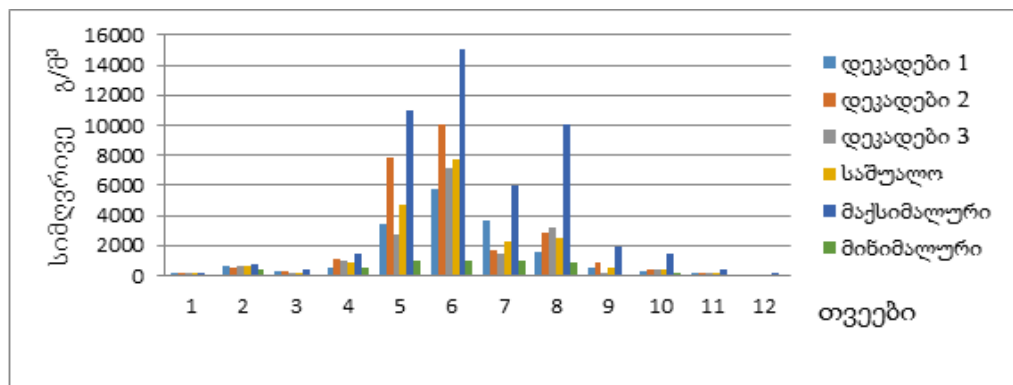
მდ. ცხენისწყალი ცაგერის სათავე ნაგებობის ფუნქციონირებით ლაჯანურის წყალსაცავს აწვდის 60 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯს. იგი გარკვეული წილით მონაწილეობას ღებულობს მდ. რიონის კალაპოტურ პროცესებში. ნახ.2.5-ზე წარმოდგენილია მდ. ცხენისწყალი-რცხმელურის საგუშაგოს კვეთში. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, საშუალო, მაქსიმალური და მინიმალური სიმღვრივეთა

მნიშვნელობები გ/მ<sup>3</sup> მცირეწლიანი 1986 წლის მონაცემებით.

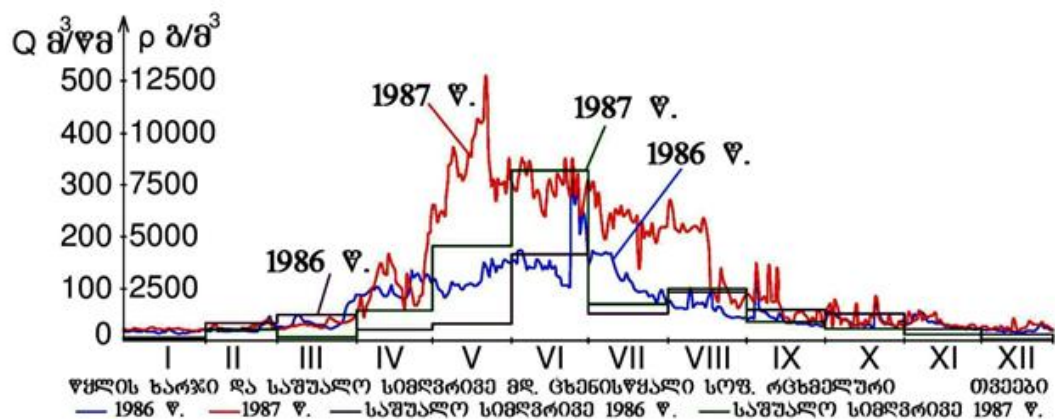


ნახ. 2.5 სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები

ნახ.2.6-ზე წარმოდგენილია მდ. ცხენისწყალი-რცხმელურის საგუმბაგოს კვეთში სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, საშუალო, მაქსიმალური და მინიმალური სიმღვრივეთა მნიშვნელობები გ/მ<sup>3</sup> უბეწყლიანი 1987 წლ-ის მონაცემებით.



ნახ. 2.6. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები



ნახ. 2.7. მდინარე ცხენისწყალი- რცხმელური საგუმბაგოს მონაცემებით



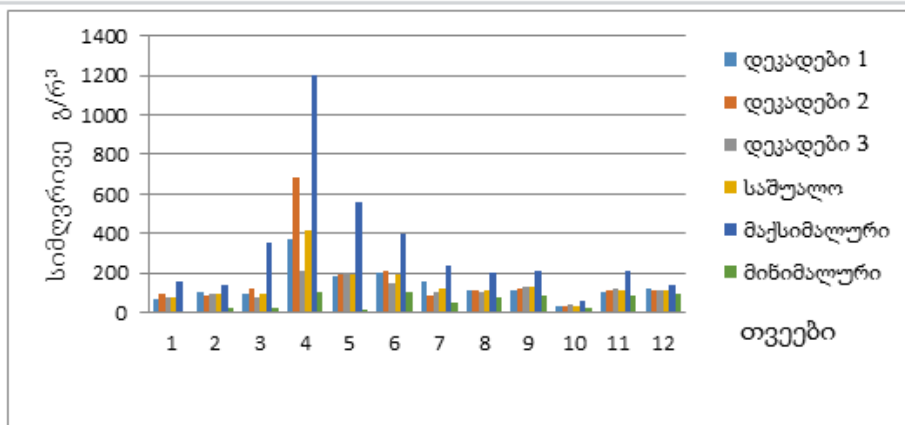
ნახ.2.7-ზე მოყვანილია მდ. ცხენისწყალი-რცხმელურის კვეთებში 1986-1987 წლების წლიური ხარჯები და 1986 - 1987 წლების საშუალო დეკადური სიმღვრივები.

### 2.3.1 მდინარე ლაჯანურის ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები (მდ. ლაჯანური ორბელთან საგუშაგოზე)

ლაჯანურის წყალსაცავი არის საინჟინრო-ჰიდროტექნიკური ნაგებობა ცაგერის მუნიციპალიტეტში. შექმნილია მაღალი თაღოვანი კაშხლით მდინარე ლაჯანურის ქვემო დინების ვიწრო ხეობაში, სოფელ სურმუშთან. წყალსაცავის სიგრძეა 3.23 კმ, უდიდესი სიგანე 1 კმ, საშუალო სიგანე 0.5 კმ, უდიდესი სიღრმე 70 მ, საშუალო სიღრმე 30 მ, ფართობი 1.6 კმ<sup>2</sup>, წყლის მოცულობა 50 მლნ.მ<sup>3</sup>

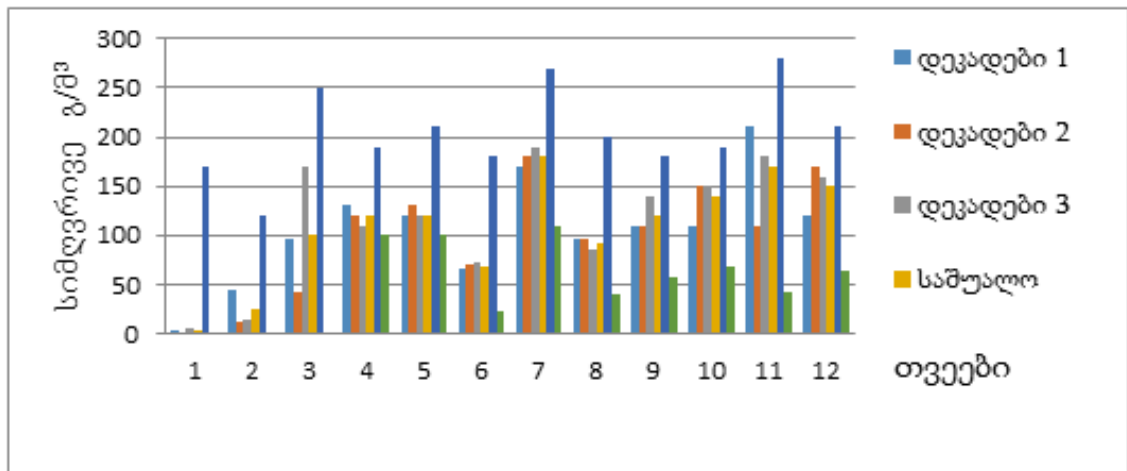
ლაჯანურის წყალსაცავს ასაზრდოებს მდინარეები: ლაჯანური, ხელეშურისდეღე, ლიამღვრიე, უსახელოდეღე, აგრეთვე მდინარე ცხენისწყლიდან არხით გამოყვანილი წყალი. წყალსაცავი დღეღამური რეგულირებისაა. წყლით უზრუნველყოფს ლაჯანურჰესს.

ნახ. 2. 8-ზე წარმოდგენილია მცირეწელიანი 1986 წლის სიმღვრიეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. ლაჯანური-ორბელის საგუშაგოს კვეთში. სიმღვრიეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები გ/მ<sup>3</sup> მონაცემებით.



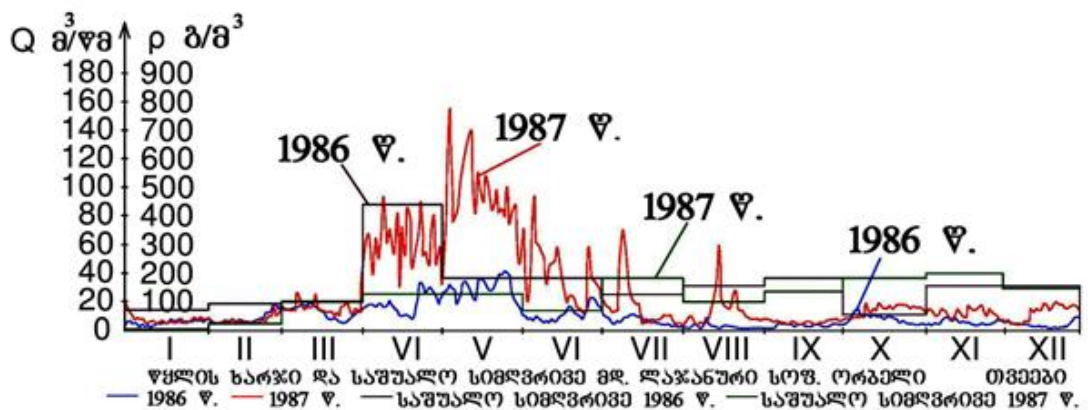
2.8. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები

ნახ.2.9-ზე წარმოდგენილია სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, საშუალო, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები გ/მ<sup>3</sup> უხვწყლიანი 1987 წლის მონაცემებით მდ. ლაჯანური-ორბელის საგუშაგოს კვეთში.



ნახ.2.9. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები

ნახ.2.10-ზე მოყვანილია მდ. ლაჯანური-ორბელის კვეთებში 1986 - 1987 წლების წლიური ხარჯები და 1986 - 1987 წლების საშუალო დეკადური სიმღვრივეები.



ნახ. 2.10. მდინარე ლაჯანური-ორბელის საგუშაგოს მონაცემებით

ლაჯანურის წყალსაცავის ქვაბულის ქვედა ნაწილი აგებულია ცარცული სქელშრეობრივი კირქვებით, ზედა- ქვიშაქვებით, მერგელოვანი თიხაფიქლებითა და კონგლომერატებით. კალთები მეწყრებიანი აქვს. ნაპირების ტალღისმიერი გადამუშავება უმნიშვნელოა. წყალსაცავის მოლამვა ძირითადად ხდება შენაკადების მიერ შემოტანილი მყარი ჩამონადენის ხარჯზე. კაშხალთან ფსკერული ნატანის სისქე

აღმატება 10 მ-ს.

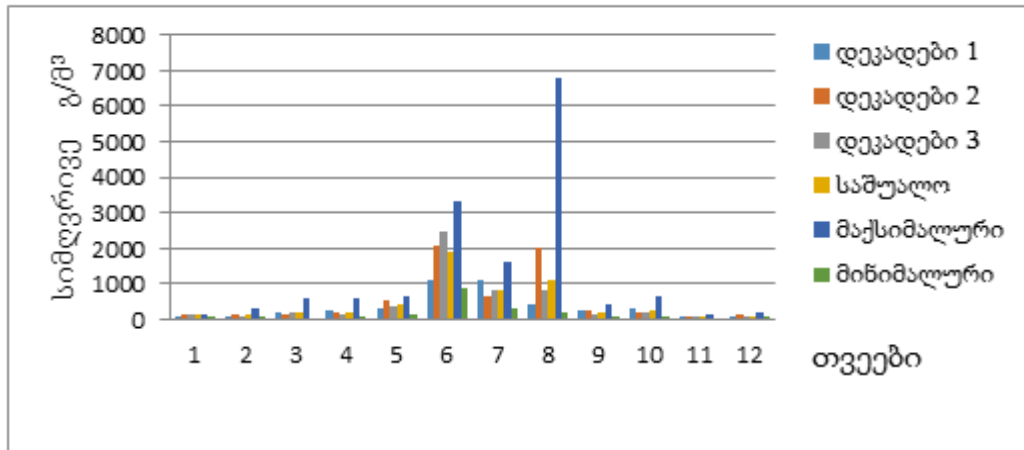


სურ. 2.11. მდინარე რიონის კასკადი, ლაჯანურის წყალსაცავი

#### **2.4. მდ. რიონის ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები (მდ. რიონი-კვეთი ნამახვანი)**

გუმათის წყალსაცავი— წყალსაცავი მდინარე რიონის შუადინებაში, წყალტუბოს მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე, სოფელ გუმათთან მდებარეობს. საექსპლუატაციოდ გადაეცა 1958 წელს. წყალსაცავი შეტბორილია 30 მ რკინაბეტონის გრავიტაციული კაშხლით. უდიდესი სიღრმე 24 მ-ია, ფართობი 2.4 კმ<sup>2</sup>, მოცულობა 40 მლნ.მ<sup>3</sup> (მაქსიმალური დონის დროს). წყალსაცავი დღე-ღამური რეგულირებისაა, საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება კვირეული რეგულირებისაც იქნეს. წყალსაცავი არეგულირებს მდინარე რიონის ჩამონადენს გუმათჰესისთვის. გუმათის წყალსაცავი წაგრძელებულია მდინარის ხეობის მიმართულებით. უდიდესი სიგრძეა 11 კმ, სიგანე 60 მ-დან 550 მ-მდე, ნაპირები სუსტადაა დანაწევრებული, ადგილ-ადგილ ფლატიანია, ზვირთცემა სუსტია. მდინარე რიონს წყალსაცავში წლიურად 5 მლნ.ტ-ზე მეტი მყარი ჩამონადენი შეაქვს, რის გამოც სწრაფად ილამება.

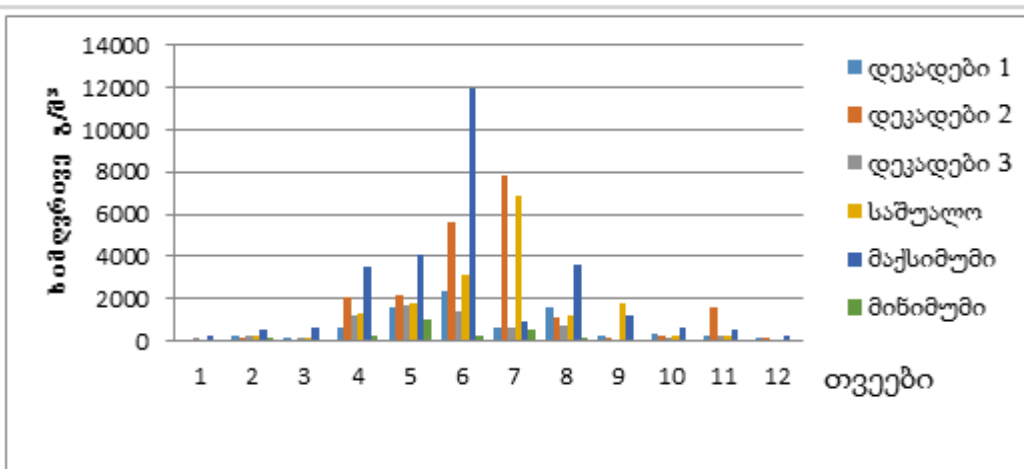
ნახ.2.12-ზე წარმოდგენილია სიმღვრიეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. რიონი-ნამახვანის საგუშაგოს კვეთში. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები გ/მ<sup>3</sup> მცირეწელიანი 1986 წლის მონაცემებით.



ნახ. 2.12. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები

ნახ. 2.13-ზე წარმოდგენილია სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. რიონი-ნამახვანი საგუშაგოს კვეთში.

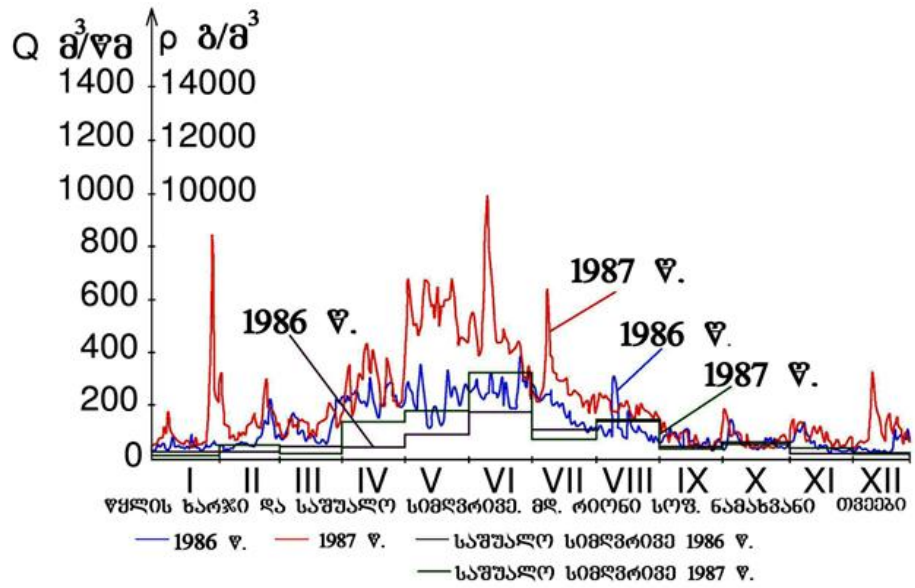
სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები გ/მ³ უხვწყლიანი 1987 წლის მონაცემებით.



ნახ. 2. 13. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები

ნახ. 2.14-ზე მოყვანილია მდ. რიონი- ნამახვანის კვეთებში 1986 - 1987 წლების წლიური ხარჯები და 1986 - 1987 წლების საშუალო დეკადური სიმღვრიეები.

წყალსაცავი პრაქტიკულად დალამულია, სასარგებლო მოცულობაში მარცხენა მხარეს ლერწმის მინდორია (ნახ. 2.16), სიგრძით 120 – 140 მეტრი.



ნახ. 2.14. მდინარე რიონი-ნამახვანის საგუმაგოს მონაცემებით



სურ.2.15. გუმათის წყალსაცავის მდ.რიონის მოლამული კალაპოტი



სურ.2.16. გუმათის წყალსაცავის ჰესის წყალმიღების წინ



სურ. 2. 17. გუმათის წყალსაცავის მოლამული ტერიტორია

წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონეზე წყალსაცავის სიგრძე 5 – 7 კმ-ია. წყალსაცავში მინიმალური საშუალო დონე 199.5 მეტრია. ამ დონეზე წყალსაცავის სიგანე მხოლოდ 200-300 მეტრია. წყალმიმღები მუშაობს შეუფერხებლად, მუშაობის ისეთი რეჟიმია, რომ ნატანის მოძალებისთანავე ხდება ლოკალური გარეცხვები, იღება გამრეცხი ფარები და ნატანი პრაქტიკულად ტურბინაში არ ხვდება. გამრეცხი ფარების ზღურბლი კაშხლის ზედაპირიდან ( $\nabla$  210 მ, ქიმი) 21 მეტრის სიმაღლეზე მდებარეობს. თითო გამრეცხი ატარებს 70 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯს. სულ 4 გამრეცხია. გამრეცხის გაღებას ჭირდება 20 წუთი. გამრეცხის გაღება ნაწილობრივ არ შეიძლება, ვინაიდან გაღებულ ფართან იქმნება ვაკუმი და ფარის დაფიქსირება ჭირს. ამიტომ საჭიროების შემთხვევაში ფარები იღება მთლიანად ან ყველა ერთად ან ცალცალკე. არსებობს კიდევ ავარიული ფარი. მისი უფრო მოხერხებულად გამოყენების მიზნით ჰესის თანამშრომლებმა კაშხლის სხეულში, ბეტონში გამოჭრეს 1.5 მ დიამეტრის და 10.5 მ სიღრმის მქონე ცილინდრული ფორმის საჭაერო, რამაც გაადვილა ამ ფარის მუშაობა. გამრეცხი ფარების ზომებია 2x2 მ. რაც, როგორც აჩვენებს პრაქტიკა სულაც არ არის საკმარისი მყარი ნატანის წლიური ჩამონადენის გასატარებლად, და საჭირო ხდება ღრმა გარეცხვის ჩატარება. თუ წყლის დონე წყალსაცავში დაიწევს 199 მ-მდე 200 – 300 მეტრზე მდებარე მყარი ნატანის ნალექი ჩამოიშლება და კაშხლისკენ გადაადგილდება გამდინარე წყლის ხარჯის ზემოქმედებით. მყარი ნატანი ავსებს არეს გამრეცხის ზღურბლიდან წყალმიმღების ზღურბლამდე. ნალექის მეტად ამაღლებას არ უშვებენ, ვინაიდან საშიშია, რომ სილა არ ჩამოიშალოს და არ გაიაროს ტურბინებში. მყარი ნატანის მოხვედრა წყალმიმღებში

იწვევს ზეთის მაცივრების და ჰაერის რადიატორების ამოჭედვას და გაცივების სისტემების გამოთიშვას.

ყველა ზემოთ თქმულიდან ჩანს ნატანის მავნებლობა ჰესებისათვის, წყალმიმღებში გამდინარე წყალი ხვდება არხში. არხი დაბეტონებულია და საკმაოდ კარგ მდგომარეობაშია. პერიოდულად იგი იწმინდება საჭიროების შემთხვევაში ბულდოზერით.

კაშხლის მაქსიმალური გამტარუნარიანობაა 3000 მ<sup>3</sup>/წმ, მათ შორის ზედაპირული წყალსაგდებები ატარებენ ერთდროულად 2400 მ<sup>3</sup>/წმ. ოთხივე ერთად ე. ი. თუ ფარს ბოლომდე გავხსნით თითო ზედაპირული წყალსაგდები გაატარებს მაქსიმალურად 600 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯს, ჰესის ტურბინები ატარებენ ოთხივე ერთად 220 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯს, ე. ი. თითოეული 55 მ<sup>3</sup>/წმ. გამრეცხები- 280 მ<sup>3</sup>/წმ, თითოეული 70 მ<sup>3</sup>/წმ, ხოლო დამატებითი საავარიო გალერია ატარებს 105 მ<sup>3</sup>/წმ.

დაკვირვებებმა წყალსაცავზე ექსპლოატაციის დროს აჩვენა, რომ მყარი ნატანის გატანა წყალსაცავიდან მცირე ხარჯებით გარეცხვის მეშვეობით ნაკლებად ეფექტურია. წყალსაცავის გარეცხვა დონის შენარჩუნებით იწვევს წყალმიმღების მიმდებარე არის გათავისუფლებას ნალექისაგან 20 – 30 მ-ის რადიუსით. წყალსაცავის დაცლა და 400 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯით მის გარეცხვას მოსდევს 500 მეტრის მანძილზე 60 მეტრიანი სიგრძის კალაპოტის შექმნა.

1992 წლის 9 ნოემბრის მონაცემების მიხედვით, როდესაც 1.5 საათის განმავლობაში ხარჯი იყო გაზრდილი საშუალოდ 50 მ<sup>3</sup>/წმ, სარეგულირებელი ფენის მოცულობა 200 მ და 199.5 მ დონეებს შორის შეადგენდა,

$$1.5 \cdot 3600 \text{ წმ} \cdot 50 \text{ მ}^3/\text{წმ} = 270000 \text{ მ}^3$$

#### 2.4.1. მდ. რიონის აუზის გუმათის კასკადის რიონის წყალსაცავი.

რიონჰესის წყალსაცავში გამრეცხების წინ მოწყობილი უხეში გისოსები ხშირად იჭედება ტივტივა ნატანით (ხე, პლასტმასი და ფოთლები). ისინი გროვდებიან უხეშ გისოსთან, ქმნიან ბუნებრივ ფარს წყალმიმღების მთელ სიგრძეზე და სიღრმეზე.

ტივტივა ნატანის გატანა ხდება სპეციალური მექანიზმით. ნაგავი ამოიღება სპეციალური ბრჭყალებით, იტვირთება ვაგონზე და ასეთნაირად გაიტანება კაშხლიდან. (ასეა გუმათის კაშხალზედაც). უხეში გისოსის გაჭედვა იწვევს წყლის გადაკეტვას ჰესისაკენ, იჭედება წყალსადენზე შემწოვი, ჰესზე შეიძლება გავიდეს 75 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯი. თუ წყლის ხარჯი საკმაოდ დიდია, მაგალითად, 250 მ<sup>3</sup>/წმ, იღება გამრეცხი დიდი ფარები და ირეცხება კაშხლის მიმდებარე არე 20 – 30 მეტრის მანძილზე და ფაქტიურად ეს არე ყოველთვის დაუღეჭავია, ვინაიდან პერიოდულად ირეცხება ნატანი ჩამოსვლისთანავე. თუ ხარჯი 75 მ<sup>3</sup>/წმ-ზე მეტია და 250 მ<sup>3</sup>/წმ ნაკლებია იღება პატარა ფარები.



სურ. 2.18. რიონჰესის კაშხალის წყალსაცავის მოლამული მხარე

რიონის წყალსაცავში მოთავსებულ წყალსადენს ეწოდება ჭომის წყალსადენი, იგი ემსახურება დაახლოებით 3000 მოსახლეს. წყალსადენი იღებს წყალს ზედა ფენიდან 156.7 მ დონიდან.

#### 2.4.2. მდ რიონის ვარციხის წყალსაცავი

წყალსაცავის ძირითადი სასარგებლო მოცულობა მოლამულია. წყალსაცავის საშუალო დონეა 87.02 – 86.6 მ. დონის დამუშავება ხდება იმ შემთხვევაში, თუ ხარჯი წყალსაცავში 350 მ<sup>3</sup>/წმ-ზე ნაკლებია და საჭიროა სიმძლავრის გაზრდა. 350 მ<sup>3</sup>/წმ-ში ჰესის მუშა ხარჯია. ორივე აგრეგატი მუშაობს მაქსიმალური დატვირთვით. დონის ერთჯერადი დამუშავების დროს შეიძლება სიმძლავრის გაზრდა 10 მგვტ-ით ერთი საათის განმავლობაში. მაგალითად 2015 წლის 14 ნოემბერს ჰესის დატვირთვა იყო



46 მგვტ, ხარჯი 350 მ<sup>3</sup>/წმ.

ბევრ პრობლემას კაშხალზე ქმნის ტივტივა ნატანი. გისოსის წინ 1 მეტრის სიღრმეზე მისი დაგროვების შემთხვევაში ხდება არხში და ჰესში წყლის დონის 20 სმ - ით დავარდნა, ამის ასაცილებლად აუცილებელია ნაგვის გატანა. ამისათვის ამცირებენ დატვირთვას ჰესზე და აგროვებენ ხარჯს სადერივაციო არხში. როცა კაშხალთან და არხში დონე 87 მეტრს აღწევს დატვირთვა ჰესზე სრულიად იხსნება და გრძელდება დონის აწევა 87.10 – 87.20 მეტრამდე. შემდეგ იხსნება სეგმენტური ფარი № 1 და ხდება ნაგვის გადაყრა ქვედა ბიეფში. ეს პროცესი გრძელდება სულ 20-60 წუთის განმავლობაში.

წყალსაცავის გვერდით მოთავსებული სალექარის გასარეცხად მოწყობილია ხუთი გამრეცხი. როგორც კი ნალექი სადერივაციო არხის ზღურბლის დონეს აღწევს, ხდება სალექარის გარეცხვა. კაშხალზე შეიძლება სულ 3640 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯის გატარება, მათ შორის წყალმიმღებში გაივლის 350 მ<sup>3</sup>/წმ წყალი, გასახსნელ კაშხალში (4 სეგმენტური ფარი) ატარებს 3000 მ<sup>3</sup>/წმ, სალექარის გამრეცხი გალერეები (5 ფარი) ატარებს 290 მ<sup>3</sup>/წმში. 1982 წელის 1 აპრილს დაფიქსირებული იყო 4300 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის ხარჯი, ამ შემთხვევაში წყლის დონემ კაშხალთან ყველა გაღებული ხერეთის დროს მიაღწია 89 მ ნიშნულს.

მყარი ნატანის მოჭარბებული შემოსვლა წყალსაცავში ქმნის დამატებით სირთულეებს. თუ ვერ მოხერხდა სალექარის დროული გარეცხვა, ნატანი შედის არხის წყალმიმღებში. აზიანებს გამაცივებელ სისტემას, მაცივრების რადიატორები გაიბიდნებიან ნატანით და ხდება აუცილებელი მათი გარეცხვა წყლის მიმართულების შეცვლით. ასეთ დროს ხდება ჰესის გამორთვა.

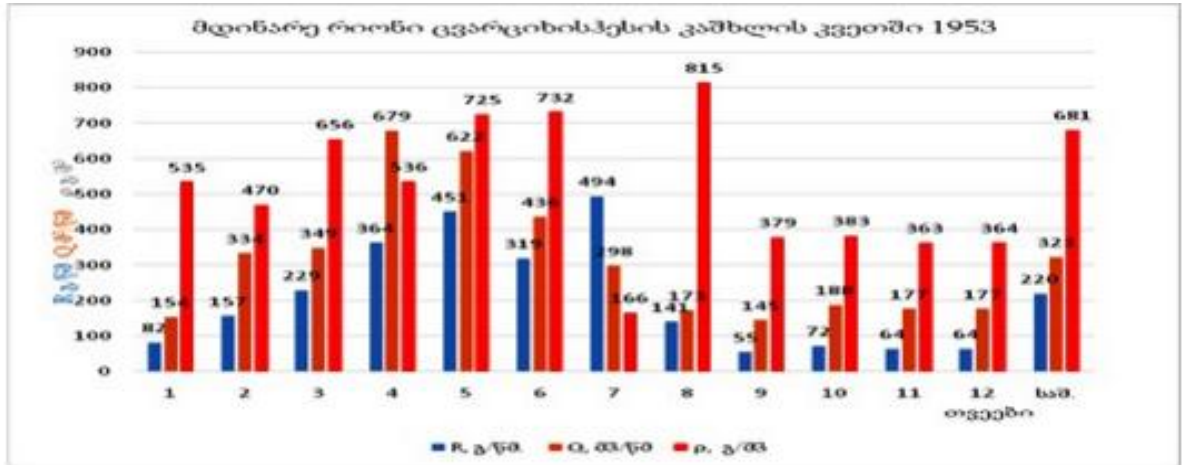
კატასტროფიული დონე კაშხლისთვის ითვლება 87.6 მ. დონის დამატებით გაზრდა იწვევს ღვინის ქარხნის და მეურნეობის ტერიტორიის დატბორვას. ვარციხის კასკადს 4 ჰესის შენობა აქვს, რომლებიც სადერივაციო არხზე არიან განლაგებული.

ვარციხის კასკადის ტერიტორიაზე მდებარეობს ზუთხის გასამრავლებელი მეურნეობა, რომელიც იღებს წყალს რიონიდან 800 მმ-ანი მილით. ხარჯი იმდენად მცირეა, რომ ჰესის მუშაობაზე ეს წყლის ხარჯის დანაკარგი არ ახდენს გავლენას.

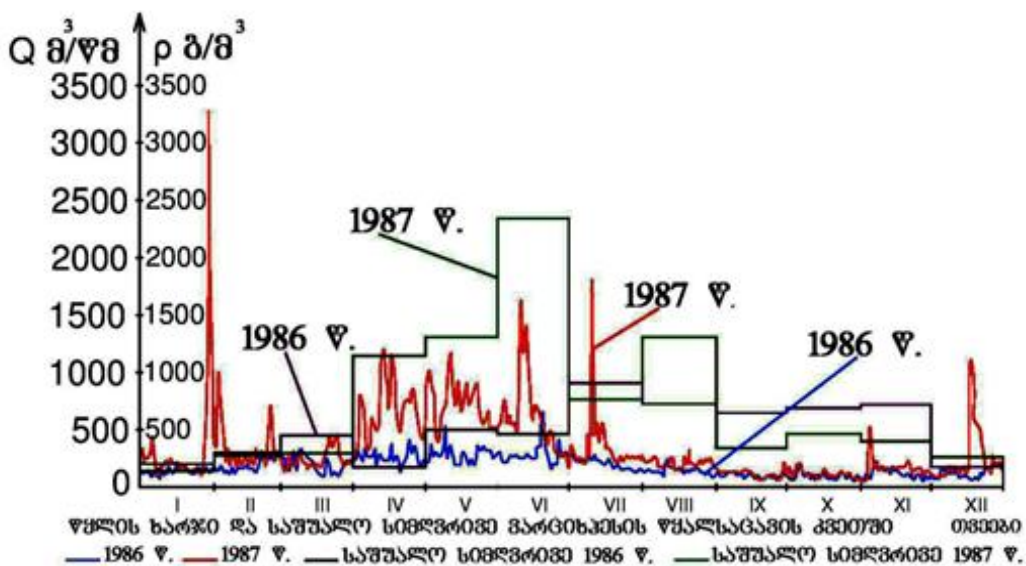
ჰესი მუშაობს პიკურ რეჟიმში. პიკის საათებია დილის 7 საათიდან დღის 12 საათამდე, საღამოს 5 საათიდან 12 საათამდე. წყალსაცავი პროექტით დღე-ღამური რეგულირებისაა.

ნახ. 2.19-ზე წარმოდგენილია სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. როინის-ვარციხის წყალსაცავის საგუშაგოს კვეთში. 1953 წლის მონაცემებით Q - წყლის ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ, R - შეწონილი ნატანის ხარჯი კგ/წმ და ρ - სიმღვრივე გ/მ<sup>3</sup>.

ნახ. 2. 20-ზე მოყვანილია მდ. როინი-ვარციხის წყალსაცავის კვეთებში 1986 - 1987 წლების წლიური ხარჯები და 1986 - 1987 წლების საშუალო დეკადური სიმღვრიეები.



ნახ. 2.19. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. როინის-ვარციხის წყალსაცავის საგუშაგოს კვეთში Q - წყლის ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ, R - შეწონილი ნატანის ხარჯი კგ/წმ და ρ - სიმღვრივე გ/მ<sup>3</sup>

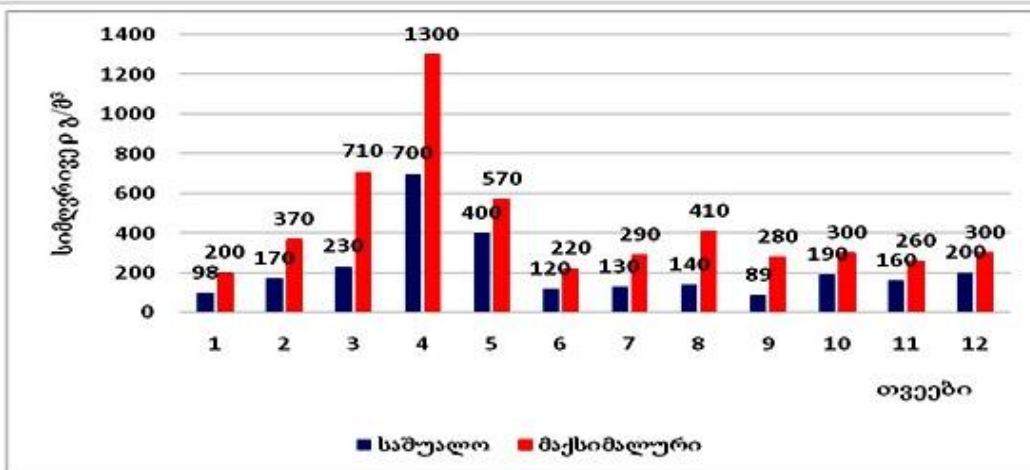


ნახ. 2. 20. მდ. როინი-ვარციხის წყალსაცავის კვეთებში 1986 - 1987 წლების წლიური

ხარჯები და სიმღვრივები

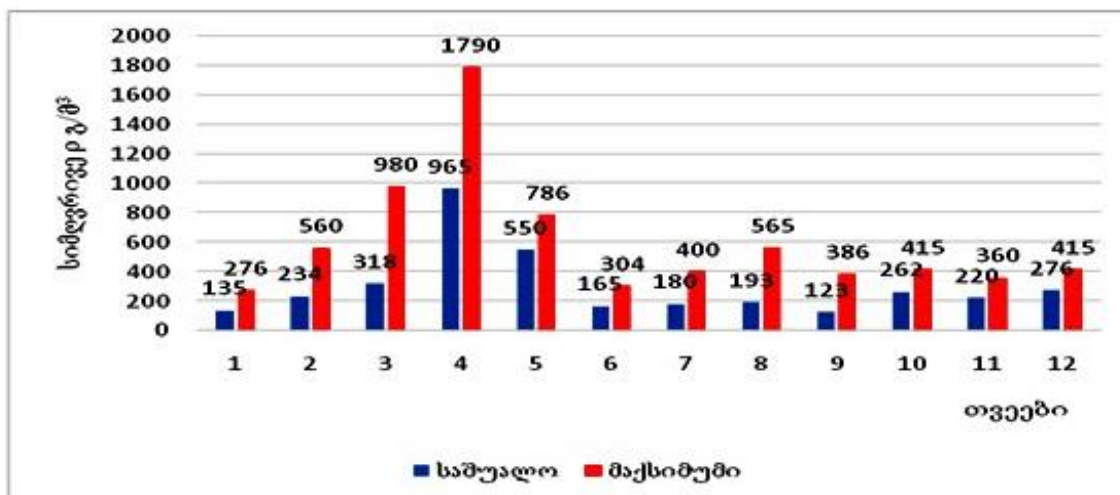
2.5. მდ. ყვირილსა და მდ. წყალწითელას ჰიდრომორფოლოგიური მახასიათებლები

ნახ. 2.21-ზე წარმოდგენილია სიმღვრიეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. ყვირილა-ზესტაფონის საგუშაგოს კვეთში 1987 წლის მონაცემებით: Q - წყლის ხარჯი მ<sup>3</sup>/წმ, R - შეწონილი ნატანის ხარჯი კგ/წმ და ρ - სიმღვრიე გ/მ<sup>3</sup>.



ნახ. 2.21. სიმღვრივის საშუალო თვიური მნიშვნელობა

ნახ.2.22-ზე წარმოდგენილია სიმღვრიეთა თვიური მნიშვნელობა გ/მ<sup>3</sup> მდინარე ყვირილა - აჯამეთთან, 1987 წ.



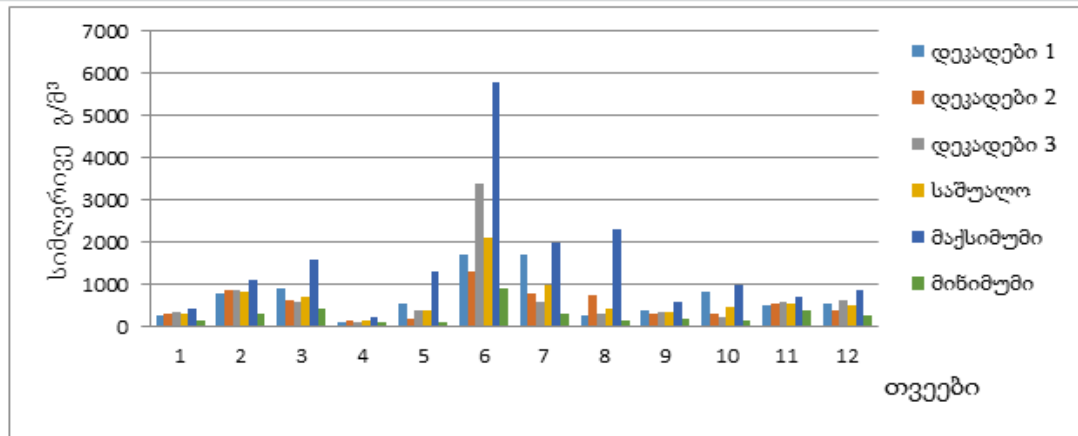
ნახ. 2.22. სიმღვრივითა თვიური მნიშვნელობა

ნახ.2.23-ზე წარმოდგენილია მდ.

როინი

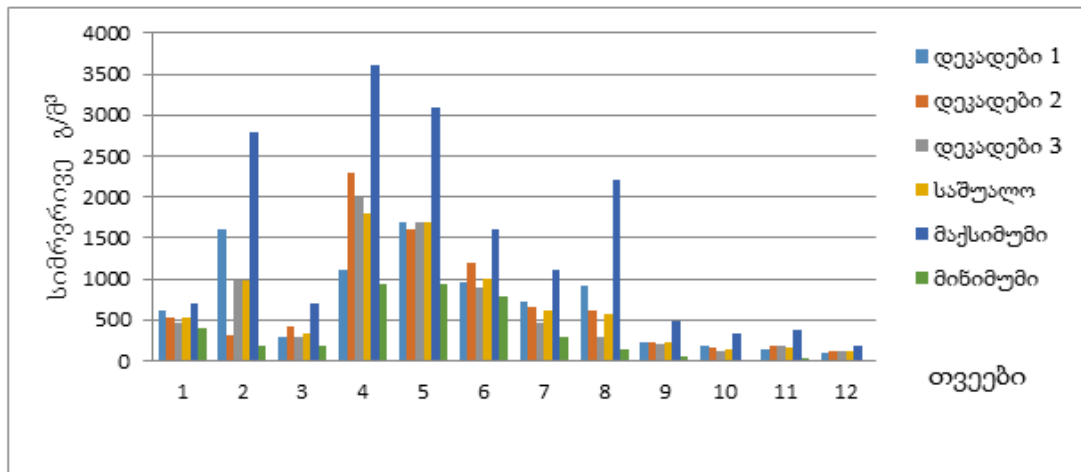
საკოჩაკის

საგუშაგოზე სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობები (გ/მ<sup>3</sup>) მცირეწელიანი 1986 წლის მონაცემებით.



ნახ.2. 23 სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობა

ნახ.2.24-ზე წარმოდგენილია სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. რიონი-საკოჩაკიძის საგუშაგოს კვეთში (გ/მ<sup>3</sup>) უხვწელიანი 1987 წლის მონაცემებით.



ნახ.2.24. სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური მნიშვნელობა

### თავი 3 . მდ. რიონის აუზის კაშხლების სისტემების ფუნქციონირების ეფექტურობის ანალიზური და დიაგნოსტიკური კვლევა

#### 3.1. მდ. რიონის აუზის კაშხლების სისტემების ფორმირება და ფუნქციონირება

მდ. რიონის წყალსამეურნეო სისტემების ფორმირება დაიწყო 1924 წლიდან, როდესაც რიონის აუზში დაიწყო პირველი ჰესის (რიონჰესი) მშენებლობა. დღევანდელი მონაცემებით აღნიშნულ აუზში ფუნქციონირებს 8 დიდი ჰესი. ცხრილში 3.1 წარმოდგენილია მდ. რიონის აუზის გუმათის და ვარციხის კასკადის კაშხლების: ლაჯანურჰესის, გუმათჰესი I, გუმათჰესი II, რიონჰესი და ვარციხჰესის I, II, III, IV მონაცემები 2016 წლის მდგომარეობით.

ცხრილი 3. 1

მდ.რიონის აუზის ჰესების ძირითადი მონაცემები

№ №	დასახელება	ლაჯანურ ჰესი	გუმათ ჰესი I	გუმათ ჰესი II	რიონჰესი	ვარციხჰესი კასკადი I. II. III. IV
1	2		3	4	5	6
1	საექსპლოატაციოდ გადაცემის წელი	1960	1958	1956	1933	1976.
2	წყალსაცავის სრული მოცულობა	25 მლნ. მ <sup>3</sup>			0.5	15.5
3	წყალსაცავის სარეგულირებელი ფენის მოცულობა	18 მლნ. მ <sup>3</sup>	13 მლნ. მ <sup>3</sup>	-		2.4
4	წყალსაცავის მკვდარი ფენის მოც ულობა	7,0 მლნ. მ <sup>3</sup>	26 მლნ. მ <sup>3</sup>	-		
5	წყალსაცავის რეგულირების ხასიათი	სადღელა მისო	სადღე ლა მისო	სადღე- ლამისო	სადღელამი- სო	სადღელამი- სო
5	წყალსაცავის ზედაპირის ფართობი. კმ <sup>2</sup> .	1,5 კმ <sup>2</sup>	2,7	-		5,07
6	დერივაციული არხის სიგრძე, მ	934, მ	-	1836	3.8 კმ	10
7	კაშხლის სიმაღლე. მ	69, მ	52			
8	ჰესის საანგარიშო ხარჯი. მ <sup>3</sup> /წმ	100, მ <sup>3</sup>	214	214	80/100	350

9	მაქსიმალური დაწნევა-ნეტო. მ	134, მ	26	13,5		87.6
10	საანგარიშო დაწნევა. მ.	128, მ	24,5	12,5	60	15
11	მინიმალური დაწნევა-ნეტო. მ	122,5, მ	23,5	11,2	58.25	
12	მთლიანი დადგმული სიმძლავრე. კვტ	112500 კვტ	44000	22800	48000	184000
13	მაქსიმალური მუშა სიმძლავრე. კვტ.		44000	21500	48000	184000
14	გამომუშავება საშუალო წელიწადის წლის მიხედვით. მლნ.კვტს	438	2013-345; 2014-338; 2015-288;	127	289	1.0
15	წყლის ხვედრითი ხარჯი 1 მვტ-ზე. მ <sup>3</sup> /წმ	0,89, მ <sup>3</sup> /წმ	4,864	9,5	2.2	2.2
16	წყლის ხარჯი 1კვტს-ზე. მ <sup>3</sup> .	3,2 მ <sup>3</sup>	17,5	34,2	7.9	7.9
17	გამყვანი არხის სიგრძე. მ.		-	300		
18	აგრეგატები: ტურბინები ტურბინების ტიპი	ვერტიკალური რადიალური-დერძული	1,2,3,4 მბრუნავ ფრთიანი	1,2,3 მბრუნავ-ფრთიანი	№ 1, № 2, №3, №4	№ 1, № 2, №3, №4
19	დამამზადებელი ქარხანა	ავსტრია	ფინეთი	ავსტრია	ლმზ	
20	სიმძლავრე, კვტ	38600 კვტ.	11 500	7948	12500	23000
21	ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წმ	250ბრ/წმ	214	150	300	300
22	მაქსიმალური მ ქკ, %		90 %.		87	91
23	საანგარიშო ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	33,3 მ <sup>3</sup> /წმ	53,5	71,3	25	175
24	გენერატორები	ავსტრია “სიმენს შუკერტ”			BB-744-300, ელექტროსილს	
25	სიმძლავრე	37500 კვტ				12000
26	ძაბვა	10500 ვ				6600
27	დენი	2561 ა				1320

### 3.2. მდ. რიონის აუზის ლაჯანურის წყალსამეურნეო სისტემის შეფასება და დიაგნოსტიკა

საქართველოს ჰიდროენერგორესურსების მნიშვნელოვანი ნაწილი მდინარე რიონის წილად მოდის. მდინარე ცხენისწყალის ყველაზე მეტ სიახლოვეს მდინარე რიონის შუა წელთან ქმნიდა იმის საშუალებას, რომ განხორციელებულიყო ამ მდინარეთა ერთობლივი ჰიდროენერგეტიკული გამოყენება. ეს შესაძლებლობა სინამდვილედ იქცა. ყოფილ საბჭოთა კავშირში პირველად დაპროექტდა და აიგო თაღოვანი კაშხალი, ამით საფუძველი ჩაეყარა მეტად მნიშვნელოვანი ტექნიკური სიახლის დანერგვას ჰიდროენერგეტიკულ მშენებლობაში. ლაჯანურჰესის თაღოვანი კაშხალი წინამორბედა ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის. პირველად საქართველოში აიგო მიწისქვეშა ჰიდროელექტროსადგურის შენობა. უნდა ითქვას, რომ ღია მოედანზე შენობისა და სატურბინო მილსადენის მშენებლობა გაცილებით რთული იქნებოდა და უფრო ძვირიც დაჯდებოდა. ამიტომ ლაჯანურჰესის ძალური კვანძის მიწისქვეშე განლაგება არა მარტო ტექნიკური სიახლე, არამედ ფრიად მიზანშეწონილი ეკონომიკური გადაწყვეტაც იყო.

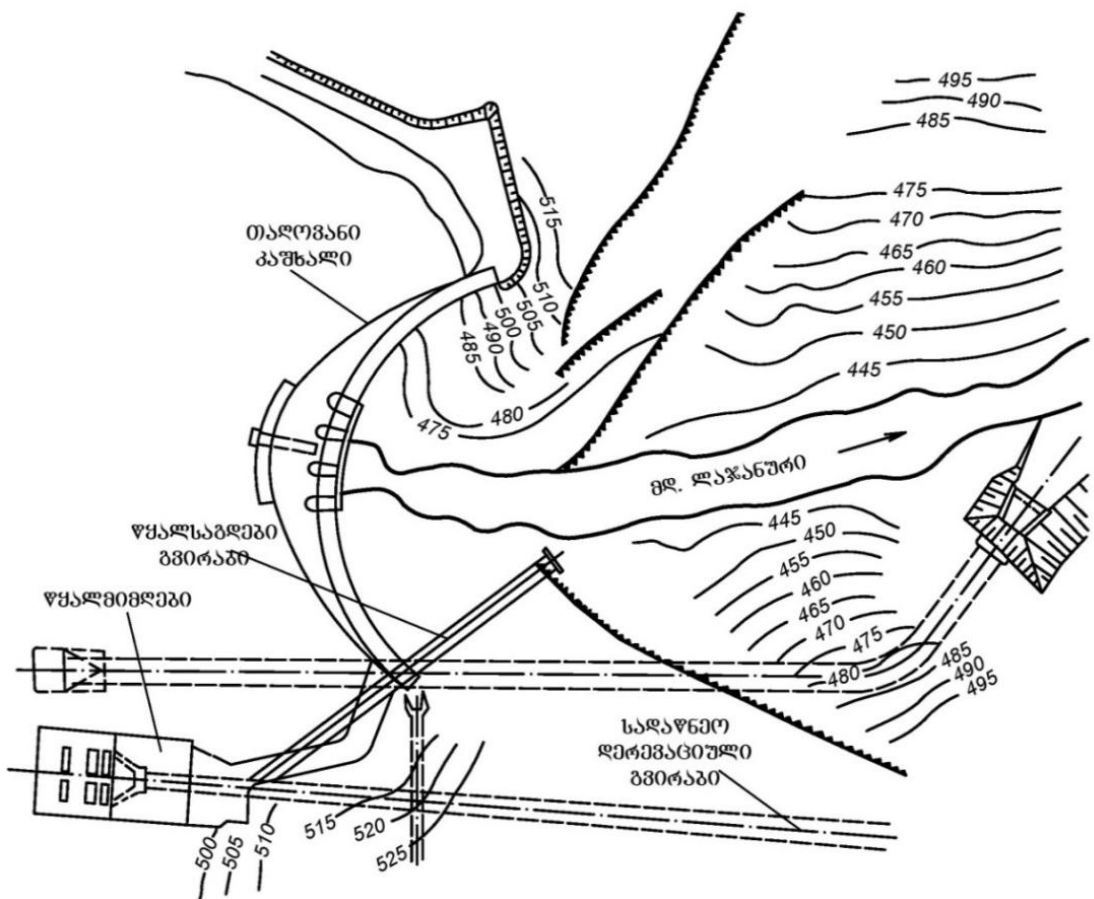


ნახ. 3.1. ლაჯანურის ჰიდროკვანძის სქემა.

სადგურის სათავე კვანძი აგებულია მდინარე ცხენისწყალთან, ქ. ცაგერის მახლობლად. ამ კვანძის მთავარ ნაგებობას წარმოადგენს 4 მალიანი ბეტონის კაშხალი. კაშხლის მარცხენა მხარეს არის წყალმიმღები, რომელიც უზრუნველყოფს დერივაციაში 60 მ<sup>3</sup> წყლის გაშვებას წამში. წყალი 934 მ სიგრძის დერივაციული არხით შედის უდაწნევო გვირაბში, რომლის სიგრძეა 5524 მ, ხოლო დიამეტრი 5.4 მ. გვირაბი

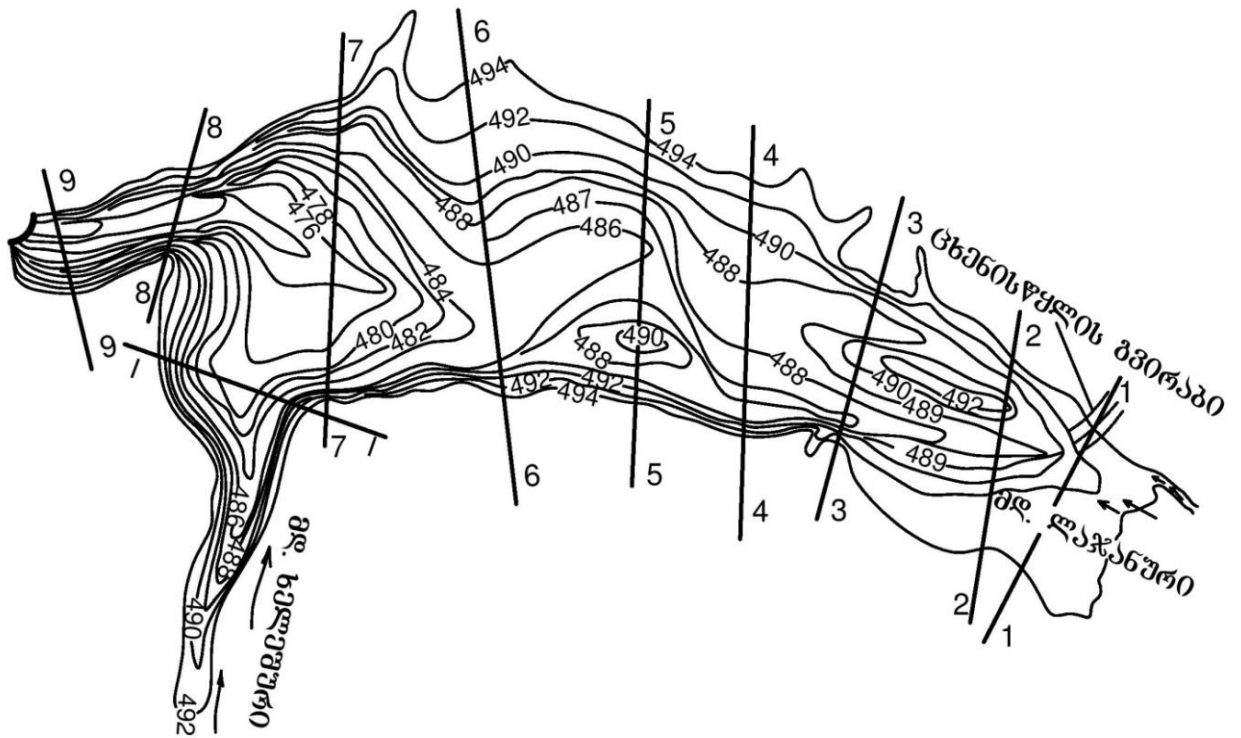
მოპირკეთებულია თუჯის ტიუბინგებით. ამ გვირავით წყალი გამოდის მდინარე ლაჯანურას კალაპოტში მოთავსებულ წყალსაცავში, რომელსაც წარმოქმნის ამ მდინარის ვიწრო ყელში აგებული ბეტონის თაღოვანი კაშხალი.

ლაჯანურზე მოწყობილ სათავე კვანძის შემადგენლობაში შედის: წყალსაშვიანი თაღოვანი კაშხალი, რომლის საერთო სამშენებლო სიმაღლეა 70 მ, წყალმიმღები ფსკერული გამრეცხი გალერეებით, რომლებიც მარჯვენა ნაპირზეა და აქვს ორი ხვრეტი, რომლებიც უზრუნველყოფს წამში 100 მ<sup>3</sup> წყლის გატარებას. სამშენებლო შემომვლელი გვირავიც მარჯვენა ნაპირზეა მოთავსებული. გვირავის ბოლოს მოთავსებულ მიწისქვეშა ძაღოვან კვანძის შემადგენლობაში შედის: გამთანაბრებელი რეზერვუარი, სადაწნევო საშახტო მილსადენი, ჰესის სამანქანო შენობა. სასალტე-სატვირთვო გვირავი.სავენტილაციო გვირავი, ჰესის მომსახურეთა პერსონალის მუდმივი დასახლება.



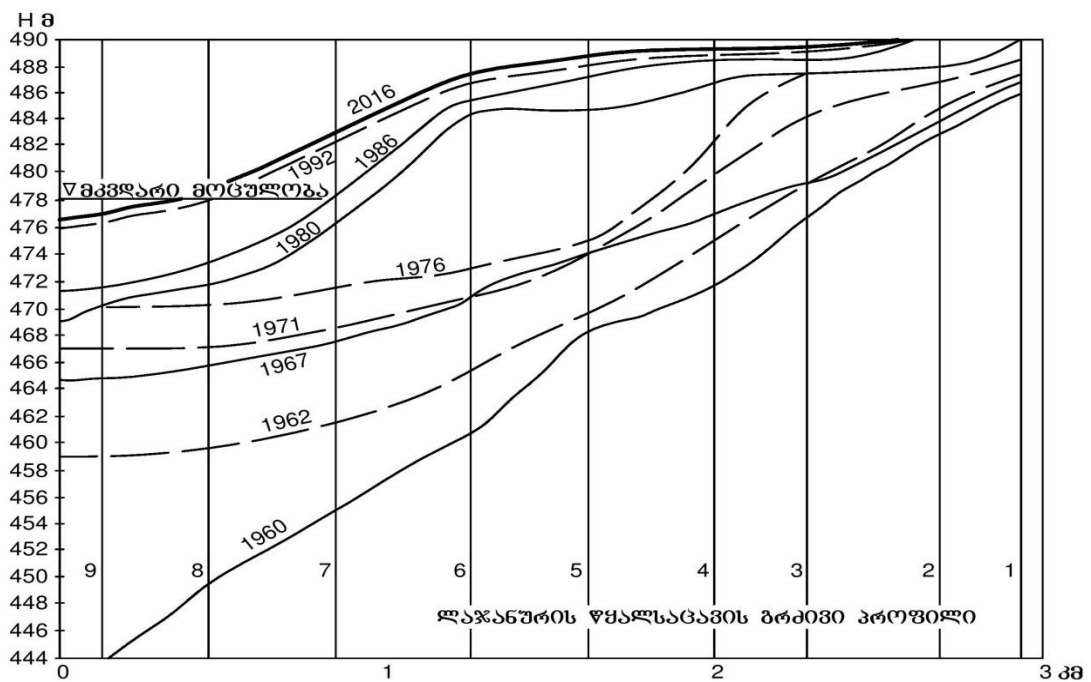
ნახ. 3. 2 ლაჯანურჰესის თაღოვანი კაშხალი.





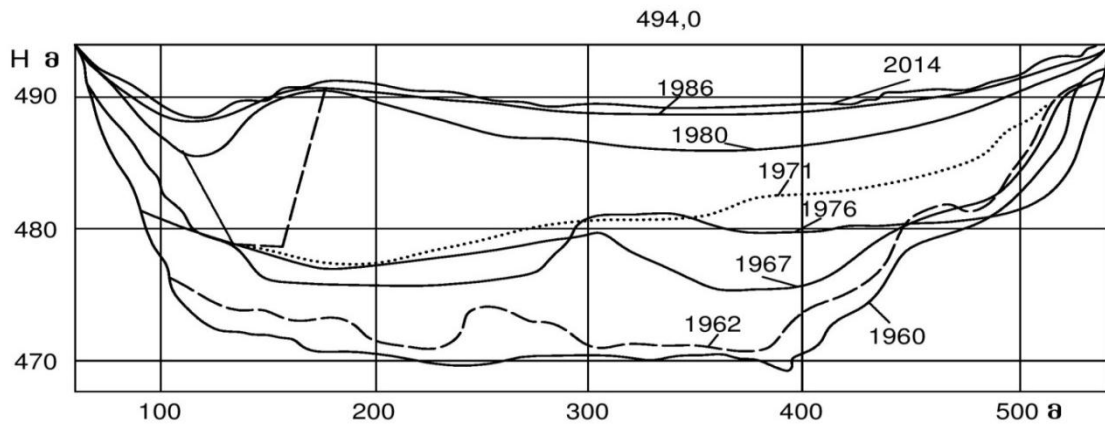
ნახ. 3.3 ლაჯანურის წყალსაცავის მოლამვის იზოჰიფსებიანი გეგმა

ნახ.3.4-ზე წარმოდგენილია ლაჯანურის წყალსაცავის გრძივი პროფილი მოლამვის წლების შესაბამისად 1960, 1962, 1967, 1971, 1976, 1980, 1986, 2016 წლების მიხედვით.



ნახ. 3.4. ლაჯანურ ჰესის წყალსაცავის გრძივი პროფილი.

ნახ. 3.5-ზე წარმოდგენილია ლაჯანურის წყალსაცავის განივი კვეთი 5 - 5 კვეთში. ნახ. 3.4-დან ჩანს, რომ წყალსაცავის მშენებლობის შემდეგ დაიწყო ინტენსიური მოლამვა. მოლამვა იცვლება წლების შესაბამისად და გარეცხვამდე აღწევს მაქსიმალურ ნიშნულამდე, რომლის შემდეგ აუცილებელია გარეცხვის ჩატარება. ნახ.3.5-ზე მოცემულია 5-5 კვეთში მოლამვის დონეები 2014 წლის მდგომარეობით.



ნახ. 3. 5. ლაჯანურის წყალსაცავის (5-5) განივი კვეთი

### 3.3. გუმათის წყალსაცავის წყალსამუშაო სისტემების ეფექტურობის შეფასება და დიაგნოსტიკა

გუმათის წყალსაცავი შექმნილია მდინარე რიონზე გრავიტაციული ტიპის ბეტონის კაშხალით. სადაწნეო ფრონტს წყალსაცავში ქმნის კაშხალი და ჰესის შენობა (გუმათჰესი -I). კაშხლის ტანში ოთხი 14 მეტრიანი წყალსაშვის მალია, საერთო გამტარუნარიანობით 2560 მ<sup>3</sup>/წმ. ნორმალური შეტბორვის დონე 200 მეტრია.

სურ.3.6-ზე წარმოდგენილია გუმათჰესი I, ქვედა ბიეფი. კაშხლის ტანში ოთხი 14 მეტრიანი წყალსაშვის მალიდან გამოედინება წყლის მღვრიე ნაკადი წყალდიდობის დროს, რომელიც წყალსაცავის მოლამვის გამო უქმად იღვრება, ე. ი. იკარგება წყლის ენერგია, რომელსაც შეუძლია გამოიმუშაოს ელექტროენერგია და რომელიც მთელ მსოფლიოში დეფიციტური მოხმარების პროდუქტია. ტურბინებიდან ნამუშავერი წყალი ბუნებრივი სიმღვრივით მიედინება დინების მარცხენა მხარეს გუმათჰესის 2-ის სადერივაციო არხში. გუმათჰესი I-ის შენობის კედელს ზედა მხრიდან აქვს ოთხი

წყალმიმღები. კამერა ლითონის ტურბინის წყალმიმღებით, ოთხი გამრეცხი გალერია (2×2 ზომებით) და დამატებითი წყალმიმღები კამერა, რომელიც გუმათიჰესი I-ის გაჩერების შემთხვევაში წყალს აწვდის გარდამავალ უბანს გუმათიჰესი II- ისათვის. დამატებითი წყალმიმღების გამტარუნარიანობა სრული დაწნევის დროს 105 მ<sup>3</sup>/წმ . წყალმიმღების ლითონის თითოეული წყალმდენის გამტარუნარიანობაა 53.5 მ<sup>3</sup>/წმ, ზღურბლის ნიშნულია 192 მ.



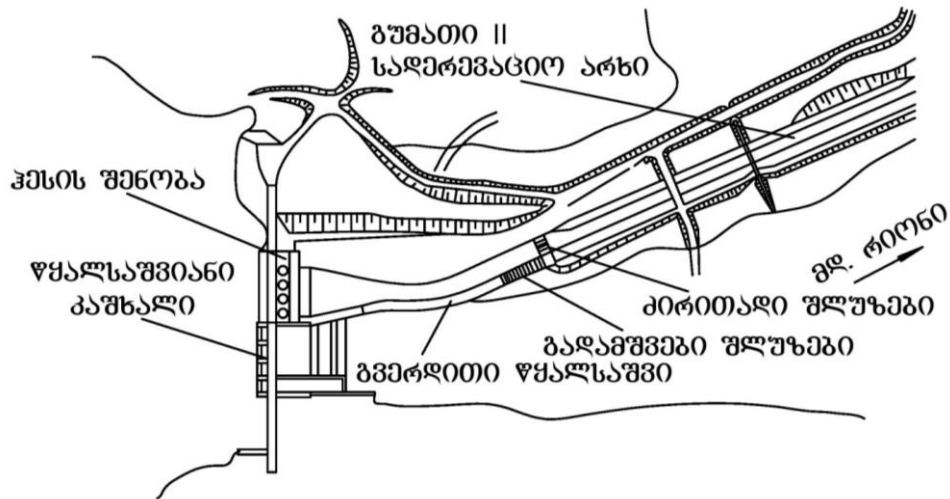
სურ. 3.6 გუმათიჰესი- I ქვედა ბიეფი

გამრეცხი გალერეები, რომლებიც აღჭურვილია სარემონტო და სამუშაო საკეტებით, ატარებენ 64 მ<sup>3</sup>/წმ წყალს თითოეული, მათი ზღურბლი მდებარეობს 180 მ. ნიშნულზე. გამრეცხი გალერეებიდან წყალი წყალსაცემ ჭაში ჩაედინება.

გუმათიჰეს I-ში გამოყენებული წყალი გამყვანი კამერიდან გარდამავალი უბნის გავლით (სიგრძით 97 მ) მდინარე რიონის კალაპოტის მარცხენა ფერდობზე გაყვანილია (183 მ სიგრძის) დერივაციული არხით, რომელიც სადაწნეო კამერით ბოლოვდება და გუმათიჰესის II-ის ჰიდროტურბინებში ხვდება. არხის ქანობია 0.0004, ხოლო წყლის მაქსიმალური სიჩქარე 2.45 მ/წმ. გარდამავალი უბნის მარჯვენა კედელი არხის და კაშხლის წყალსაცემი ჭის წყალგამყოფია, მარცხენა კედელი კი მდინარის ნაპირია. გუმათიჰეს II-ში გამოყენებული წყალი 0.9 კმ სიგრძის გამყვანი არხით მდინარე რიონში ჩაედინება რიონჰესის წყალსაცავის ცოტა ზემოთ. კაშხლის ქიმზე გადის 6.0 მ სიგანის გზა.

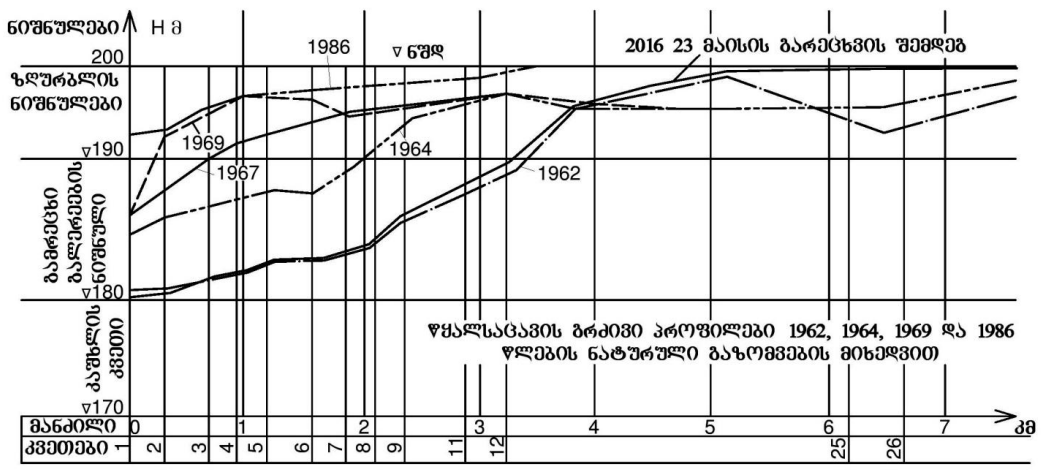
გუმათჰეს II-ის დერივაციული არხი გადაიკეტება საჭიროების შემთხვევაში 5×4 მ საკეტით, მაშინ წყალი რიონში გარდამავალ უბანზე მდებარე გვერდითი წყალსაგდების მეშვეობით ხვდება.

გუმათჰესის წყალსაცავი პრაქტიკულად მოლამულია, სასარგემლო მოცულობაში წყალსაცავის მარცხენა მხარეს მინდვრებია.

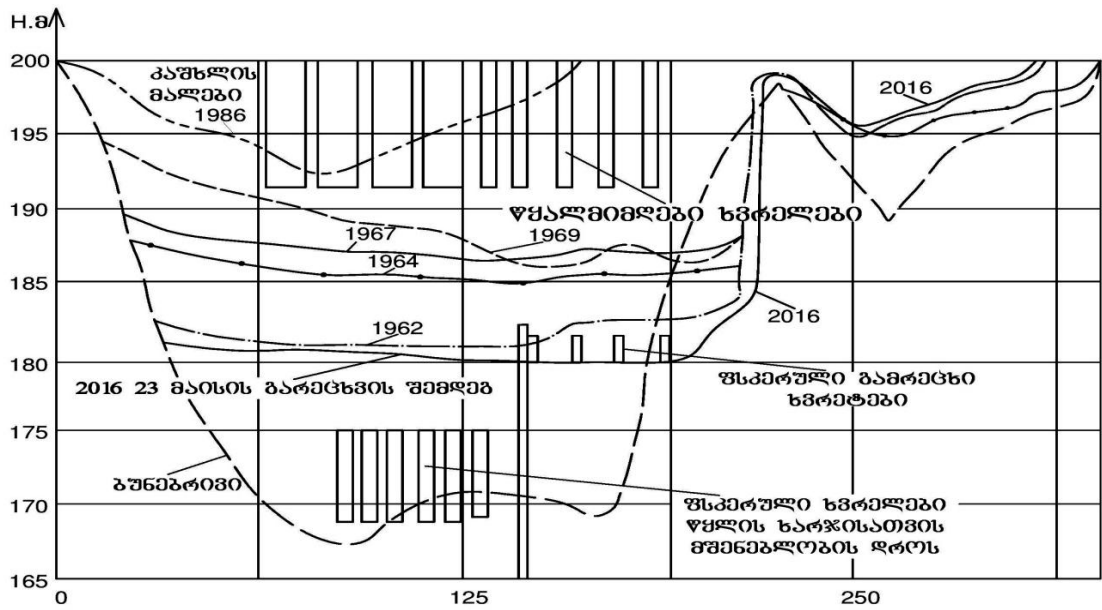


ნახ. 3.7. გუმათჰესი I- ის ჰიდროკვანძი გეგმა

ნახ.3.8-ზე წარმოდგენილია წყალსაცავის დაღეჯის გრძივი პროფილები, შესაბამისად 1962, 1967, 1969, 1986 და 2015, 2016 წლების ნატურული გაზომვების მიხედვით. ნახ. 3.9 წარმოდგენილია წყალსაცავის დაღეჯის განივი პროფილები. შესაბამისად 1962, 1967, 1969 და 1986, 2015, 2016 წლების ნატურული გაზომვების მიხედვით. მოცემულია კაშხლის ელემენტები: კაშხლის მიმღები, წყალმიმღები ხვრელები, ფსკერული გამრეცხი ხვრელები, ფსკერული ხვრელები წყლის ხარჯისთვის მშენებლობის დროს და მდინარის ბუნებრივი ფსკერი.

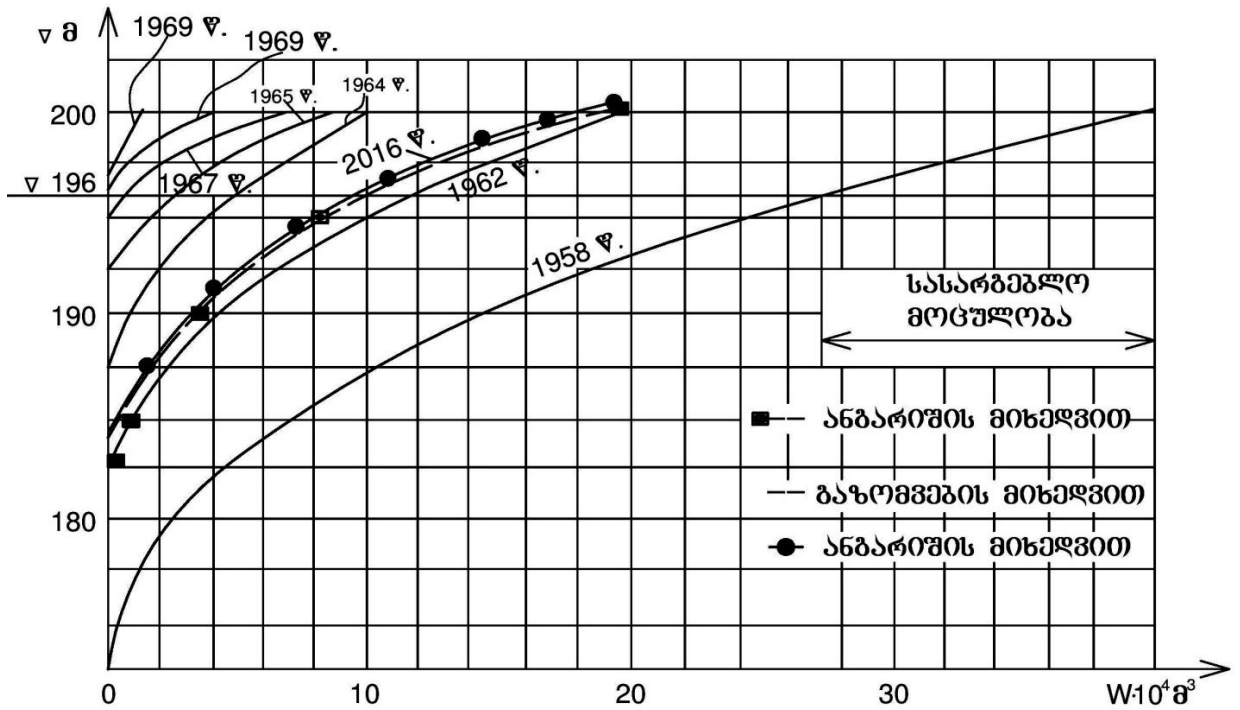


ნახ. 3.8. გუმათჰესის წყალსაცავის გრძივი პროფილები



ნახ. 3.9. გუმათქესის წყალსაცავის განივი კვეთი

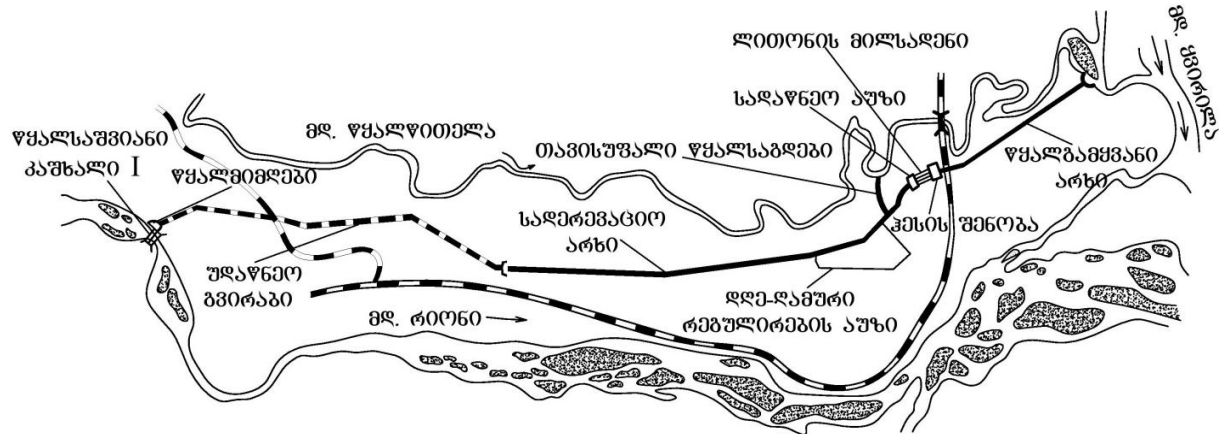
ნახ.3.10-ზე წარმოდგენილია გუმათქესის წყალსაცავის მოცულობების მრუდები, მოლამვის პროცესი წლების მიხედვით. 1958-2016 წწ;



ნახ. 3.10. გუმათქესის წყალსაცავის მოცულობების მრუდები.

### 3.4. რიონჰესის წყალსაცავის წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტურობა, შეფასება და დიაგნოსტიკა

რიონჰესის წყალსაცავი შექმნილია მდინარე რიონზე დაბალზღურბლიანი ბეტონის კაშხლით. სადაწნეო ფრონტს ქმნის კაშხალი, სიფონური წყალსაგდები, ტივსავალი და წყალმიმღები. ნორმალური შეტბორვის დონე 158 მეტრია.



ნახ. 3. 11. რიონის ჰიდროკვანძი



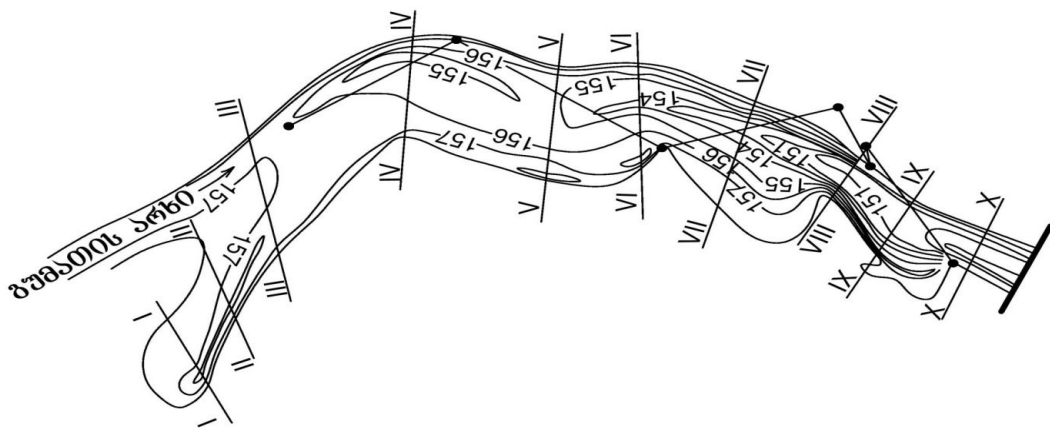
სურ. 3.12. რიონჰესის კაშხლის ქვედა ბიეფი

გვირაბის ბოლოს მოთავსებულ მიწისქვეშა ძალოვან კვანძის შემადგენლობაში შედის: გამთანაბრებელი რეზერვუარი; სადაწნეო საშახტო მილსადენი; ჰესის სამანქანო შენობა. სასალტე-სატვირთვო გვირაბი, სავენტილაციო გვირაბი, ჰესის მომსახურეთა პერსონალის მუდმივი დასახლება.

მოთავსებულია ტივსავალი სიგრძით 13.5 მ და სიგანით 7.5 მ. ის გაანგარიშებულია წელიწადში 5000 ტივზე, ღია ტიპის 5 მალიან წყალმიმღები

წყალგამტარობით 80 მ<sup>3</sup>/წმ მდებარეობს კაშხლის მარცხნივ, მდინარე რიონის კლდოვან ნაპირზე. წყალმიმღების გაწმენდა ნალექისაგან ხდება გამრეცხი რაბებით, რომელთაც 70 მ<sup>3</sup>/წმ წყლის გაშვება შეუძლიათ. წყალმიმღებიდან იწყება უდაწნეო გვირაბი, რომლის სიგრძე 3860 მეტრი, ხოლო გამტარუნარიანობა 80 მ<sup>3</sup>/წმ. უდაწნეო გვირაბის ქანობია  $0.000848 \div 0.00081$  მ. უდაწნეო გვირაბიდან იწყება სადირევაციო ღია არხი, მისი სიგრძე 5200 მ, წყლის საანგარიშო ხარჯი არხში სადღეღამისო რეგულირების აუზამდე 80 მ<sup>3</sup>/წმ. არხის ქანობი მერყეობს  $0.000143 \div 0.00009$ . წყლის სიჩქარე არხში იცვლება 1.53 – 2.0 მ/წმ. სადღეღამისო რეგულირების აუზი, რომლის ტევადობა 500 ათასი მ<sup>3</sup> მთლიანად გაუქმებულია დალექვის გამო, პროექტით იგი უზრუნველყოფდა მეოთხე პიკური აგრეგატის მუშაობას 4 საათის განმავლობაში და ზრდიდა ჰესის ხარჯს 100 მ<sup>3</sup>/წმ. სადღეღამისო რეგულირების აუზიდან წყალი ღია არხით მიედინებოდა სადაწნეო აუზისაკენ. აქედან წყალი 213 მ სიგრძის ოთხტოტიანი სადაწნეო ლითონის მილსადენით ჰიდროტურბინისაკენ მიემართება. თითოეული მილსადენის გამტარუნარიანობაა 25 მ<sup>3</sup>/წმ. წყლის სიჩქარე მილსადენში 4.67 მეტრია წამში. ტურბინებში გამოყენებული წყალი ჩადის 2150 მ სიგრძის წყალგამყვან არხში, რომელიც მდინარე წყალწითელაში ჩაედინება დერივაციის ბოლოში განლაგებული გვერდითი წყალსაშვის მეშვეობით. წყლის ნორმალური დონე გამყვან გვირაბში მდ. წყალწითელას მინიმალური დონის ტოლია.

რიონის წყალსაცავი პრაქტიკულად მოლამულია, წყალსაცავის გარეცხვას აწარმოებენ სხვა წყალსაცავებთან ერთად. სურ.3.12-ზე წარმოდგენილია რიონის წყალსაცავის იზოჰიფსებიანი გეგმა 1986 წლის ნატურაში გაზომვის (სოიუზენერგოს კვებები) მიხედვით.



ნახ. 3. 13 რიონის წყალსაცავის მოლამვის გეგმა

### 3.5 ვარციხის წყალსაცავის წყალსამეურნეო სისტემების ეფექტურობის შეფასება და დიაგნოსტიკა

ვარციხის წყალსაცავი მდებარეობს მდინარე რიონზე მისი მარჯვენა შენაკადის გუბიწყლის შესართავსა და რიონჰესს შორის. ჰიდროკვანძის ნაგებობათა შემადგენლობაში შედის: სათავე ჰიდროკვანძი და ოთხი ერთნაირი ტიპის ჰიდროელექტროსადგური, რომლებიც განლაგებული არიან სადერივაციო არხზე. თითოეული ჰესის საანგარიშო დაწნევა შეადგენს 15 მ, კასკადის დადგმული სიმძლავრეა 184 მგვტ, ხოლო საშუალო-მრავალწლიური გამომუშავება 1 მლრდ. კვტს.

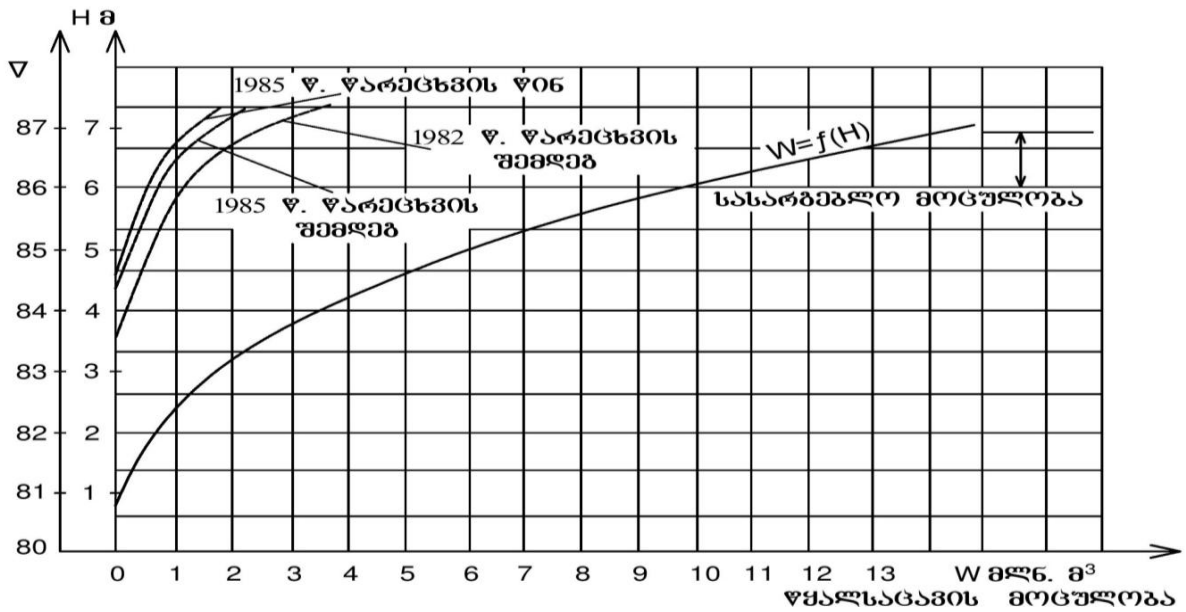


სურ. 3.14. ვარციხჰესის მოლამული წყალსაცავი

ვარციხის ჰესის სათავე კვანძი მდებარეობს მდინარე რიონის შენაკადების ყვირილასა და ხანისწყლის შესართავების მახლობლად და უზრუნველყოფს დერივაციაში საანგარიშო ხარჯის - 350 მ<sup>3</sup>/წმ მიღებას, ხოლო ქვედა ბიეფში 0.5 % უზრუნველყოფის მაქსიმალური ხარჯის - 3640 მ<sup>3</sup>/წმ გატარებას. ზედა ბიეფში ნორმალური შეტბორვის ნიშნული შეადგენს 87.0 მ, ხოლო ფორსირებული შეტბორვის დონე 87.6 მ.

სათავე კვანძი შედგება: დაბალზღურბლიანი დასაშლელი ოთხი სეგმენტური საკეტით აღჭურვილი 20 მ სიგანის ხვრეტით, 10 მ სიმაღლის მიწის კაშხალისაგან, რომელიც ერწყმის მდინარის მარცხენა ნაპირს, მარჯვენა სანაპირო დამბისაგან, წყალმიმღებისაგან და გამრეცხი გალერეებისაგან, რომლებიც მდებარეობენ დასაშლელი კაშხლიდან მარჯვნივ.

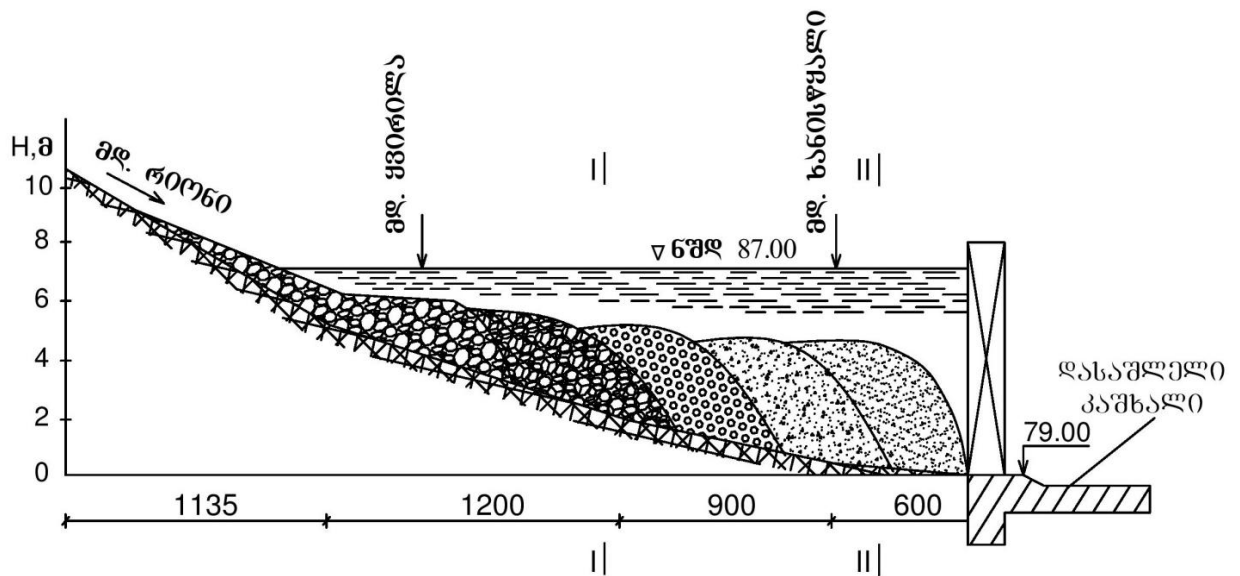




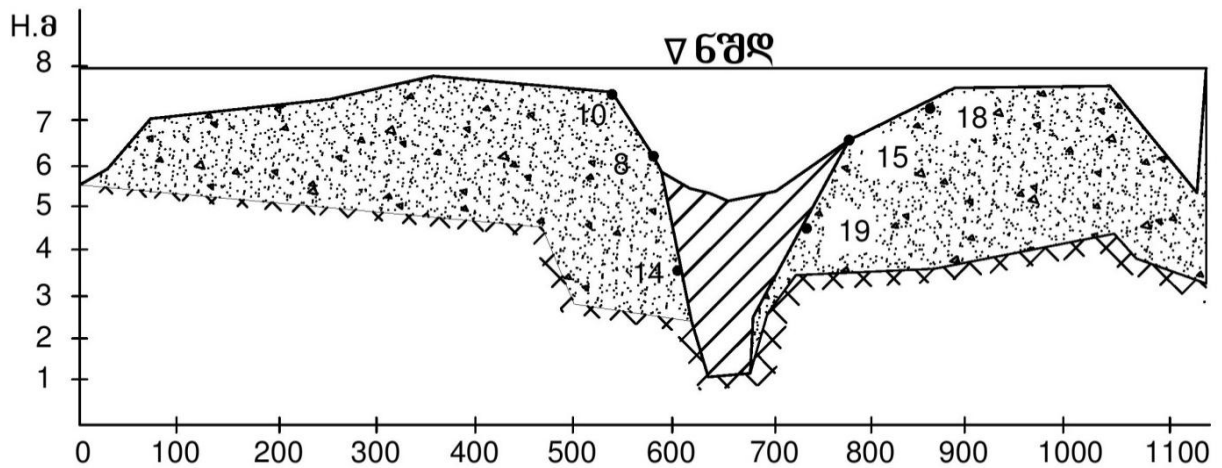
ნახ. 3.15. ვარციხის წყალსაცავის მოლამვის მოცულობის მრუდები.

დერივაცია წარმოადგენს ტრაპეციული კვეთის არხს საერთო სიგრძით 27.2 კმ. ძალოვანი კვანძები ერთმანეთის იდენტურია, როგორც შემადგენლობით, ისე ენერგეტიკული მაჩვენებლებით. ნაგებობათა შემადგენლობაში შედის: ღია ტიპის ჰესის შენობა, რომელიც შეთავსებულია აგრეგატების ბლოკის ორივე მხარეს მდებარე საექსპლოატაციო წყალსაგდებთან, რომლებიც თავის მხრივ აულებს ზედა და ქვედა ბიეფის ნაგებობებს. თითოეულ ჰესზე დაყენებულია ორ-ორი აგრეგატი ჯამური სიმძლავრით 46 მვტ. ჰესის ხარჯი შეადგენ 350 მ<sup>3</sup>/წმ, გამომუშავება - 250 მლნ. კვტს.

ვარციხის წყალსაცავი პრაქტიკულად დალამულია. ნახ.3.15-ზე წარმოდგენილია ვარციხის წყალსაცავის მოცულობის მრუდები. წყალსაცავის მოცულობის დონესთან დამოკიდებულების გრაფიკი  $W = f(H)$ , 1982 წელს წარეცხვის შემდეგ, 1985 წელს წარეცხვის წინ, 1985 წელს წარეცხვის შემდეგ. ნახ. 3.16-ზე წარმოდგენილია ვარციხის წყალსაცავის გრძივი პროფილი. ნახაზიდან ჩანს, რომ წყალსაცავი მოლამულია და მყარი ჩამონადენი განაწილებულია წყალსაცავში გრანულომეტრიული ფრაქციების მიხედვით. ფრაფციების სიმსხო კაშხალისაკენ თანდათანობით მცირდება.

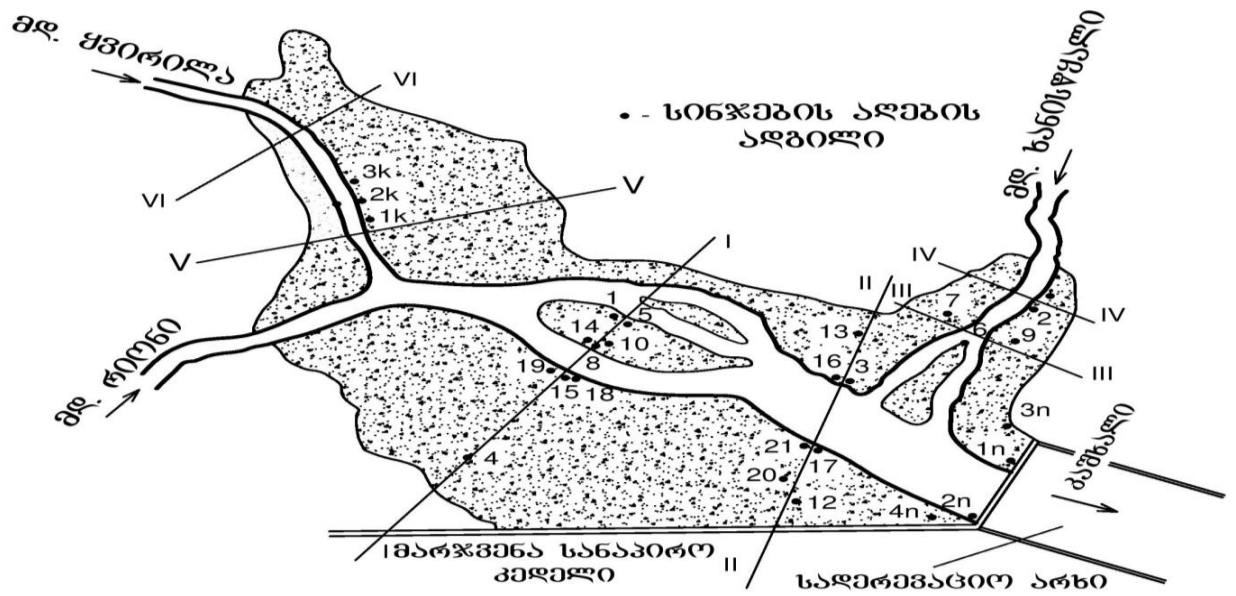


ნახ. 3.16. ვარციხის წყალსაცავის გრძივი პროფილი



ნახ. 3.17. ვარციხის წყალსაცავის განივი ჭრილი

ნახ.3.17-ზე წარმოდგენილი ვარციხის წყალსაცავის განივი პროფილი. ნახაზიდან ჩანს, რომ წყალსაცავი მოლამულია და მყარი ჩამონადენი განაწილებულია წყალსაცავში არათანაბრად გრანულომეტრიული ფრაქციების მიხედვით. წყალსაცავში შეიმჩნევა დინება, რომელიც წარმოქმნის წყალსაცავში მდინარის კალაპოტს. წყალსაცავის ჰიდრავლიკური გარეცხვის წარმოების დროს ძირითადად ირეცხება წყალსაცავში არსებული მდინარის კალაპოტის მონაკვეთი. გარეცხვის დროს ხდება მდინარის ნაპირების ჩამოშლა და აგრეთვე ხდება მათი ნაწილობრივ გარეცხვა.



ნახ. 3.18. ვარციხის წყალსაცავის გეგმა

ნახ.3.18-ზე წარმოდგენილია ვარციხის ჰიდროკვანძი 2016 წლის მდგომარეობით. წყალსაცავის მოლამვა ძირითადად ხდება მდინარეების: რიონის, ყვირილას, და ხანისწყალის მიერ წვალსაცავში შემოტანილი მყარი ნატანის დალექვით.

## თავი 4. მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსაცავების თანამედროვე მდგომარეობის მოლამული მოცულობის განსაზღვრის კვლევის მეთოდები

### 4.1 მთისა და მთისწინა ზონის მდინარეთა წყალსაცავში მოლამული მასალის მოცულობის დადგენის მეთოდი

მთისა და მთისწინა ზონის მდინარეთა ფსკერული ნატანის გადაადგილება მდინარის კალაპოტში მიმდინარეობს პერიოდულად წყალდიდობის დროს წყლის ხარჯის შესაბამისად. წყალმცრობის პერიოდში ნატანი მასალის მოძრაობა არ შეიმჩნევა. კალაპოტში ნატანი მასალა ტალღების (გრიადების) სახით მოძრაობს. წყლის ხარჯის მატების შესაბამისად დაიწყებს მოძრაობას ზღვისა და ოკეანების მიმართულებით. ნატანი მასალა თავის მოცულობის გარკვეულ ნაწილს ნაკადის ტრანსპორტირების უნარის შესაბამისად წარიტაცებს და გადაატარებს კაშხალზე, ნაწილს ტურბინების გავლით მდინარის შემდგომი მიმართულებით. გარკვეული ნაწილის მოლამვა ხდება წყალსაცავში. ამის შემდეგ მოხვდება ზღვებსა და ოკეანეებში და მონაწილეობას მიიღებს ზღვების და ოკეანეების ნაპირების ფორმირებაში.

მდ. რიონის გუმათის წყალსაცავის ნატურაში დაკვირვების შედეგად მიღებული მასალები გრძივი და განივი პროფილები საშუალებას იძლევა ვიანგარიშოთ წყალსაცავის მოლამვის სიდიდე მოცულობაში ( $m^3$ )-ში, შესაბამისი პერიოდების მიხედვით.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ზემოაღნიშნული პერიოდისათვის წყალსაცავში შემოტანილი მასალის მოცულობა, პირველყოვლისა ვაგებთ პროფილებს წყალსაცავის შეტბორილი დონის მთელ სიგრძეზე, ჩვენს შემთხვევაში 37 განივი კვეთის პროფილი განლაგებულია წყალსაცავის 7.6 კმ-ის სიგრძეზე. გამოთვლები ვაწარმოეთ კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით. ყოველ პროფილზე ვსაზღვრავდით მოლამვის ფართობს ( $m^2$ )-ში და კვეთებს შორის მოლამვის ფართობს ვასაშუალოებდით ფორმულით.

$$F = \frac{F_n + F_{n+1}}{2}, \quad (4.1)$$

სადაც  $F_n$  - არის წინა კვეთის მოლამვის ფართობი, მ<sup>2</sup>;

$F_{n+1}$  - არის მომდევნო კვეთის მოლამვის ფართობი, მ<sup>2</sup>.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ მოცულობა, ეს სიდიდე უნდა გამრავლდეს კვეთებს შორის სიგრძეზე (სიგრძეს ვადგენთ ტოპორუკის საშუალებით)

$$l = \frac{l_{\text{მარჯ}} + l_{\text{მარცხ}}}{2}, \quad (4.2)$$

სადაც  $l_{\text{მარჯ}}$  - არის მარჯვენა ნაპირის სიგრძე, მ;

$l_{\text{მარცხ}}$  - არის მარცხენა ნაპირის სიგრძე, მ.

დანალექი ნატანი მასალის მოცულობას ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$W = F \cdot l, \quad (\text{მ}^3) \quad (4.3)$$

სადაც  $F$  - არის გასაშუალოებული კვეთის ფართობი (მ<sup>2</sup>);

$l$  - არის ადებულ კვეთებს შორის მანძილი, (მ).

ასე ვაგრძელებთ ანგარიშს დანარჩენი კვეთებისათვის:

$$W_{1958-2016} = W_{1962-1964} + \dots + W_{1986-2016} \quad (\text{მ}^3) \quad (4.4)$$

სადაც  $W$  არის ადებული პერიოდისათვის დალექილი ნატანი მასალის მოცულობა.

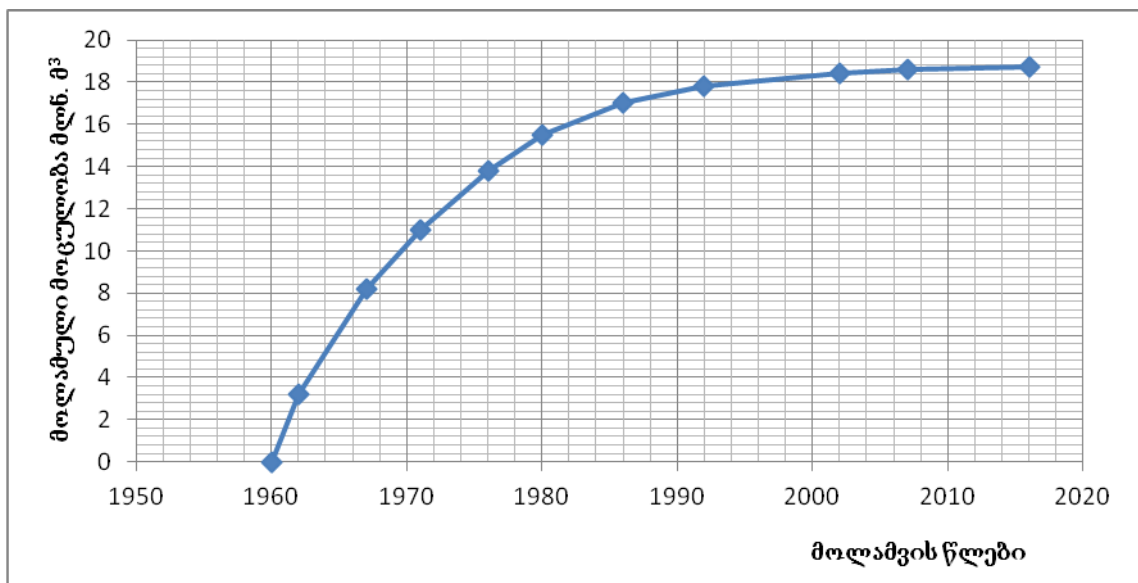
ჩვენი გაანგარიშების შედეგად 2016 წლისათვის წყალსაცავის მოლამვის მოცულობა შეადგენს 39.2 მილიონ მეტრ კუბს.

#### 4.1.1 ლაჯანურის წყალსაცავში მოლამული მასალის მოცულობის კვლევა

ლაჯანურჰესის წყალსაცავის მოლამვა ექსპლუატაციაში შესვლიდან დაიწყო ინტენსიურად. დალექილი ნატანი მასალის მოცულობა 1962 წლისათვის შეადგინა 3.2 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1967 წლისათვის 8.2 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1971 წლისათვის 11.0 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1976 წლისათვის 13.8 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1980 წლისათვის შეადგინა 15.5 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1986 წლისათვის შეადგინა 17.0 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1992 წლისათვის შეადგინა 17.8 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2002 წლისათვის შეადგინა 18.4 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2007 წლისათვის შეადგინა 18.6 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2016 წლისათვის შეადგინა 18.7 მლნ. მ<sup>3</sup>. რაც საწყისი მოცულობის 24.6 მლნ. მ<sup>3</sup>-ის 76.02 %-ს

წარმოადგენს. ფაქტიურად, როგორც ვხედავთ 20 წლის განმავლობაში წყალსაცავის ნატანი მასალით თითქმის მთლიანად შეივსო. ვინაიდან დარჩენილი 23.98 % წარმოადგენს 3.2 კმ-იან მონაკვეთზე მდინარის მიერ შექმნილ კალაპოტს და დარჩენილი წყლის მოცულობას.

1980–86 წლებისათვის კვლევებით მიღებულმა შედეგებმა შეადგინა 1.5 მლნ მ<sup>3</sup>, რაც სრული მოცულობის 6.1%-ია. ამ პერიოდში წყალსაცავში შემოსული ფრაქციების უმეტესი ნაწილი ტრანზიტად გადაედინებოდა ტურბინებში და კაშხალზე ხარჯთან ერთად. აგრეთვე გაწმენდის გამოყენების შედეგად. ძალიან მცირე ნაწილი კი ილექებოდა ზედა ბიეფში.

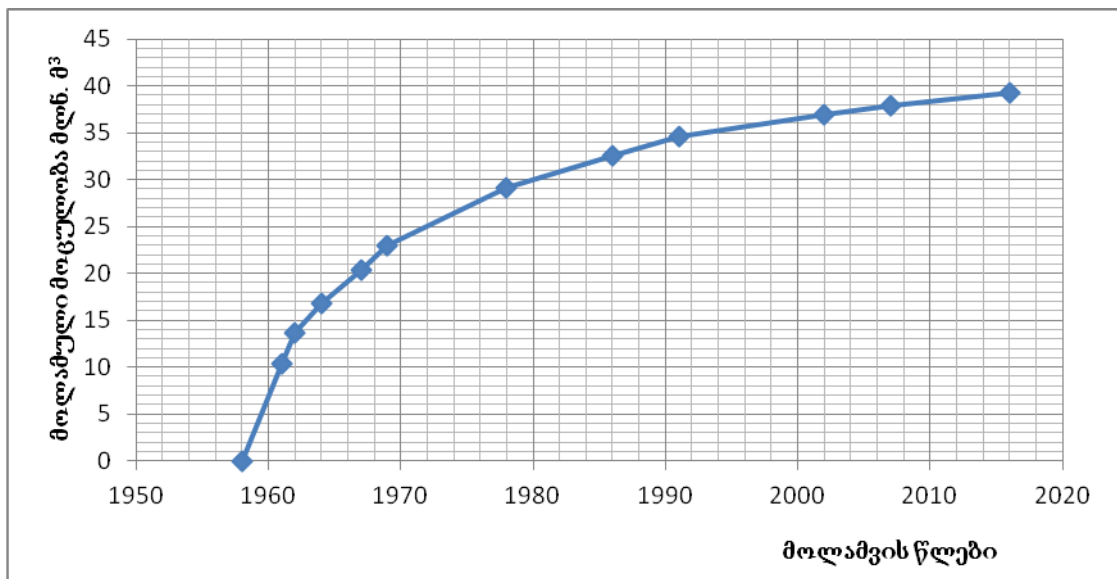


ნახ.4.1. ლაჯანურის წყალსაცავის მოლამვის ინტეგრალური მრუდი

2007-2016 წლებში წყალსაცავში შემოსული ნატანი მასალის მოცულობამ შეადგინა 0.1 მლნ. მ<sup>3</sup> აღნიშნული წონასწორობა წყალსაცავში ძირითადად გამოწვეულია მიმდინარე გარეცხვებით, რითაც მცირდებოდა ნატანი მასალის მოცულობა წყალსაცავში. წყალსაცავის გარეცხვა ძირითადად წარმოებს მარტი-მაისის პერიოდში, მაშინ, როდესაც ნატანი მასალა აღწევს მიმდების დონებრივ ზედაპირს.

#### 4.1.2. გუმათის წყალსაცავში მოლამული მასალის მოცულობის კვლევა

გუმათის წყალსაცავი პრაქტიკულად მოლამულია. მოლამული მასალის დაგროვებამ წყალსაცავში შეცვალა წყალსაცავის მუშაობის რეჟიმები. წყალსაცავი მუშაობს ძირითადად მდინარის ჩამონადენზე და დაკარგა პიკური მუშაობის რეჟიმის ფუნქცია. მოლავის პროცესი მიმდინარეობს ექსპლოატაციაში გაშვების პერიოდიდან, როგორც წყალსაცავის მოლამვის ინტეგრალური მრუდის მონაცემებიდან ჩანს, ინტენსიური მოლამვა მოხდა 1958-67 წლებში, რომლის მოცულობამ შეადგინა 20.4 მლნ. მ<sup>3</sup>. ეს გამოწვეულია წყალსაცავში დაღეჭილი წვრილფრაქციული და მსხვილფრაქციული მდინარის მიერ შემოტანილი მასალით. აღნიშნული პროცესი ხდებოდა იმის გამო, რომ წყალსაცავამდე მდინარე თავის კალაპოტში მიედინებოდა დიდი სიჩქარით და შესაბამისად ტრანსპორტირების საშუალებაც დიდი ჰქონდა. როდესაც ეს ნაკადი მოხვდა წყალსაცავის ზონაში, დინება შეიცვალა, გახდა არათანაბარი. წყალსაცავის მთელ სიგრძეზე ცვალებადი გახდა სიჩქარე, სიგანე და სიღრმე, რამაც გამოიწვია მდინარის ნატანი მასალის ტრანსპორტირების შემცირება და ამის გამო მოტანილი ნატანი მასალის უდიდესი ნაწილი ილექებოდა წყალსაცავში, ხოლო უმნიშვნელო ნაწილი ძლიერ წვრილი ფრაქციები (თიხა, ქვიშა) გაედინებოდა ტრანზიტად კაშხლისა და ტურბინების გავლით.



ნახ 4.2 გუმათის წყალსაცავის მოლამვის ინტეგრალური მრუდი

ნახ. 4.2-ზე წარმოდგენილია გუმათჰესის წყალსაცავის მოლამვის ინტეგრალური მრუდი ექსპლუატაციაში გაშვებიდან 2016 წლის ჩათვლით. 2016 წელს წყალსაცავში შეიმჩნევა შეტბორილი კალაპოტის წონასწორობა აღნიშნული წონასწორობა წყალსაცავში ძირითადად გამოწვეულია მიმდინარე გარეცხვებით. რითაც მცირდებოდა ნატანი მასალის მოცულობა წყალსაცავში. წყალსაცავის გარეცხვა ძირითადად წარმოებს მაშინ, როდესაც ნატანი მასალა აღწევს მიმდების დონებრივ ზედაპირს.

ცხრილი 4.1

გუმათის წყალსაცავში სამწლიანი პერიოდის მიხედვით მოლამული ფრაქციები

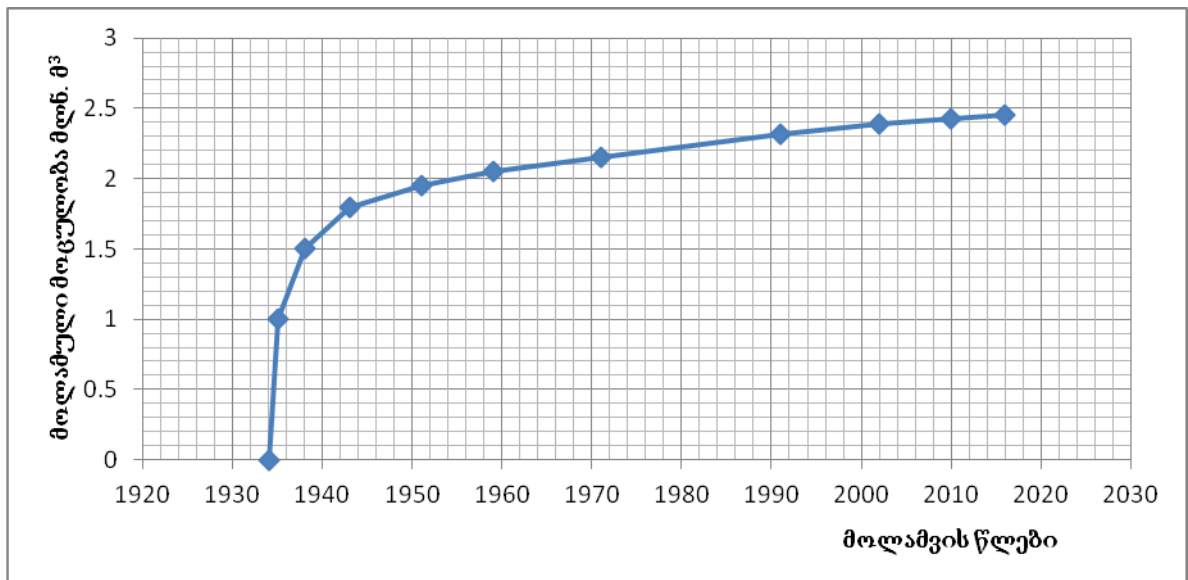
ფრაქცია, მმ-ში		მათ შორის წყალსაცავში დაილექა შემოტანილი მასალის რაოდენობა, %					
		პირველი 3 წელი	6 წლის შემდეგ	9 წლის შემდეგ	12 წლის შემდეგ	15 წლის შემდეგ	18 წლის შემდეგ
ცოტა 0,01	1,67	0	0	0	0	0	0
0,01-0,05	0,87	90	71	55	35	25	0
0,05-0,25	0,68	100	100	100	100	100	100
0,25-1,5	0,51	100	100	100	100	100	100
დიდი 1,5	0,72	100	100	100	100	100	100

ცხრილში 4.1 წარმოდგენილია გუმათის წყალსაცავში სამწლიანი პერიოდით მოლამული ფრაქციების პროცენტული შემადგენლობა . როგორც დაკვირვების მასალები გვიჩვენებს ძირითადად წყალსაცავში ილექება მსხვილი ფრაქციები, ხოლო როგორც ცხრილიდან ჩანს წყალსაცავის ფუნქციონირების 18 წლის შემდე დალექილი ფრაქციების დიამეტრი თითქმის არ იცვლება.



### 4.1.3. რონჰესის წყალსაცავში მოლამული მასალის მოცულობის კვლევა

დალექილი ნატანი მასალის მოცულობა 1935 წლისათვის შეადგინა 1.0 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1938 წლისათვის 1.5 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1943 წლისათვის 1.8 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1951 წლისათვის შეადგინა 1.95 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1959 წლისათვის შეადგენდა 2.05 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1971 წლისათვის 2.15 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1991 წლისათვის 2.32 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2002 წლისათვის 2.39 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2010 წლისათვის 2.43 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2016 წლისათვის 2.45 მლნ. მ<sup>3</sup> რაც საწყისი მოცულობის 3.0 მლნ. მ<sup>3</sup>-ის 81.67%-ს წარმოადგენს. ფაქტიურად, როგორც ვხედავთ 19 წლის განმავლობაში წყალსაცავის ნატანი მასალით თითქმის მთლიანად შეივსო. ვინაიდან დარჩენილი 18.33 % წარმოადგენს 2.6 კმ-იან მონაკვეთზე მდინარის მიერ შექმნილ კალაპოტს.



ნახ.4.3. რონჰესის წყალსაცავის ნატანი მასალით მოლამვის ინტეგრალური მრუდი

1951–59 წლებისათვის კვლევებით მიღებულმა შედეგებმა შეადგინა 0.1 მლნ მ<sup>3</sup>, რაც სრული მოცულობის 3.33 %-ია. ამ პერიოდში წყალსაცავში შემოსული ფრაქციების უმეტესი ნაწილი ტრანზიტად გადაედინებოდა ტურბინებში და კაშხალში ხარჯთან ერთად, ძალიან მცირე ნაწილი კი ილექებოდა ზედა ბიეფში .

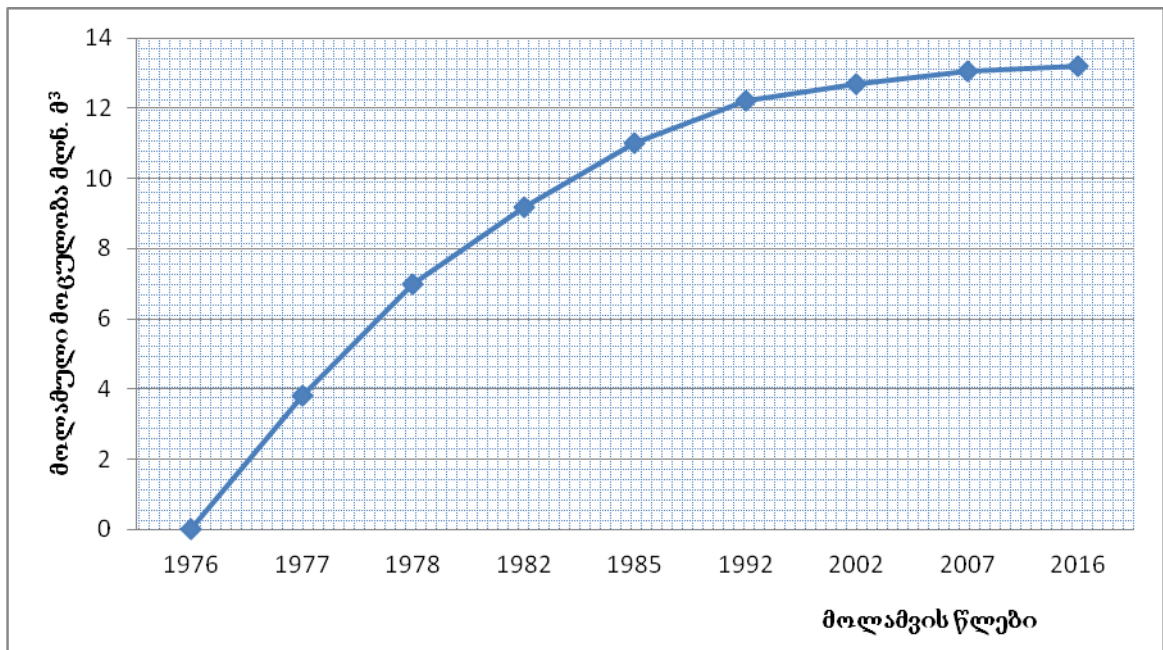
1959-2016 წლებში წყალსაცავში შემოსული ნატანი მასალის მოცულობამ შეადგინა 0.4 მლნ. მ<sup>3</sup>. აღნიშნული წონასწორობა წყალსაცავში ძირითადად გამოწვეულია მიმდინარე გარეცხვებით, რითაც მცირდებოდა ნატანი მასალის მოცულობა წყალსაცავში. წყალსაცავის გარეცხვა ძირითადად წარმოებს მაშინ,

როდესაც ნატანი მასალა აღწევს მიმდების დონებრივ ზედაპირს.

#### 4.1.4. ვარციხის წყალსაცავში მოლამული მასალის ცვლილების კვლევა

ვარციხის წყალსაცავი პრაქტიკულად მოლამულია. ჰესი ძირითადად მუშაობს ჩამონადენზე. წყალსაცავის მოლამვა წარმოებს ნატანი მასალის მოდინების არასწორი ექსპლუატაციის რეჟიმების გამო. დალექილი ნატანი მასალის მოცულობა 1977 წლისათვის შეადგინა 3.8 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1978 წლისათვის 7.0 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1982 წლისათვის 9.2 მლნ. მ<sup>3</sup>, 1985 წლისათვი შეადგინა 11.0 მლნ. მ<sup>3</sup>, რაც საწყისი მოცულობის 14.6 მლნ. მ<sup>3</sup>-ის 75.34 %-ს წარმოადგენს. ფაქტიურად, როგორც ვხედავთ 9 წლის განმავლობაში წყალსაცავის ნატანი მასალით თითქმის მთლიანად შეივსო. ვინაიდან დარჩენილი 9.59 % წარმოადგენს 3.1 კმ-იან მონაკვეთზე მდინარის მიერ შექმნილ კალაპოტს. 1992 წელს წყალსაცავში შემოსული მოლამული მასალის მოცულობა შეადგენს 12.2 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2002 წლისათვის 12.7 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2007 წლისათვის 13.5 მლნ. მ<sup>3</sup>, 2016 წლისათვის 13.2 მლნ მ<sup>3</sup>. რაც საწყისი მოცულობის 14.6 მლნ. მ<sup>3</sup>-ის 90.41 %.

1985–92 წლებისათვის კვლევებით მიღებულმა შედეგებმა შეადგინა 1.2 მლნ მ<sup>3</sup>, რაც სრული მოცულობის 8.22 %-ია. ამ პერიოდში წყალსაცავში შემოსული ფრაქციების უმეტესი ნაწილი ტრანზიტად გადაედინებოდა ტურბინებში და კაშხალში ხარჯთან ერთად, ძალიან მცირე ნაწილი კი ილექებოდა ზედა ბიეფში.



ნახ. 4.4. ვარციხის წყალსაცავის ნატანი მასალით მოლამვის ინტეგრალური მრუდი

2007-2016 წლებში წყალსაცავში შემოსული და მოლამული ნატანი მასალის მოცულობამ შეადგინა 0.25 მლნ. მ<sup>3</sup>. აღნიშნული წონასწორობა წყალსაცავში ძირითადად გამოწვეულია მიმდინარე გარეცხვებით, რითაც მცირდებოდა ნატანი მასალის მოცულობა წყალსაცავში. წყალსაცავის გარეცხვა ძირითადად წარმოებს მაშინ, როდესაც ნატანი მასალა აღწევს მიმღების დონებრივ ზედაპირს.

#### 4.2. მდ. რიონის მთელ სიგრძეზე ნატანი მასალის ჰიდრაულიკური და ჰიდროლოგიური მახასიათებლები

მდინარე რიონის მთელ სიგრძეზე ხდება მდინარის ნატანი მასალის გრანულომეტრიული შემადგენლობის ცვლილება. ნატანი მასალის ცვლილებაზე დაკვირვებები ხდებოდა მდ.რიონზე განლაგებულ ჰიდროლოგიურ საგუშაგოებზე. დაკვირვებათა მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილში 4.2. დაკვირვებათა მონაცემები მოცემულია სხვადასხვა ფრაქციების მიხედვით, შესაბამისი დიამეტრითა და პროცენტული შემადგენლობით.

ცხრილი 4.2

მდ. რიონის მთელ სიგრძეზე ნატანის გრანულომეტრიული შემადგენლობა და სიმკვრივე

№	მდინარე და საგუშაგო/სინჯის ადების დრო	ნაწილაკების შემადგენლობა (% მასით) დიამეტრით (მმ)								ნაწილ აკუმულირებული დიამეტრი, მმ	დიამეტრი 50 %, მმ
		1-0.5	0.5-0.3	0.3-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.00-0.001	<0.001		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	რიონი, ონი/23.03.1981	1.2	3.7	11.6	14.1	24.7	16.7	11.9	16.1	0.9	0.002
2	რიონი, ხიდიკარი/04.06.1981	1.1	26.1	31.6	9.0	11.4	10.4	7.0	3.0	1.0	0.13
3	რიონი, ალპანა/28.05.1981	0.3	3.1	18.8	43.2	16.7	6.5	6.5	4.9	0.9	0.07
4	რიონი, ნამახვანი/22.03.1981	0.8	2.1	13.7	19.4	34.8	14.8	3.6	10.8	0.7	0.03
5	რიონი, საკოჩაკიძე/11.05.1981	0.2	5.8	7.6	3.7	7.2	69.7	1.8	2.2	0.7	0.009
6	ლაჯანური, ორბ		2.7	4.0	1.6	27.3	31.9	26.4	6.1	0.5	0.008

	ელი/10.05.1981										
7	ყვირილა, ეცტაფონი/10.05.1981	1.9	5.4	2.0	6.5	62.2	12.2	8.9	0.9	0.9	0.03
7	ძირულა, წვევა/02.05.1981	0.6	14.2	20.6	13.7	36.2	4.2	7.3	3.2	1.4	0.05
8	რიონი, უწერა/05.05.1982	0.5	11.6	16.5	29.6	27.5				1.1	0.09
9	რიონი, ონი/26.05.1982	0.8	23.5	12.5	31.7	20.2	11.7	5.0	5.0	0.9	0.07
10	რიონი, ხიდიკარი/28.07.1982		8.7	18.3	14.5	24.5	18.4	8.1	7.1	0.5	0.04
11	რიონი, ალპანა/30.06.1982	0.9	8.5	12.7	23.4	32.0	11.0	6.1	5.4	0.7	0.03
12	რიონი, ნამახვანი/25.05.1982	0.5	10.6	29.1	24.5	18.1	9.6	4.0	3.6	0.6	0.09
13	რიონი, ორბელი/17.05.1982	0.1	11.5	23.5	21.8	16.8	10.5	5.7	9.2	0.8	0.07
14	ყვირილა, ზესტაფონი/12.05.1982	0.5	9.6	5.5	21.5	27.9	19.0	3.9	12.1	0.5	0.03
15	ძირულა, წვევა/30.06.1982	1.2	13.6	9.9	21.5	16.9	19.3	8.8	8.8	0.6	0.04
16	რიონი, უწერა/14.04.1983	0.3	10.7	29.8		0.9				0.70	0.090
17	რიონი, ონი/07.04.1983	1.5	18.6	30.6		27.8				1.8	0.095
18	რიონი, ხიდიკარი/24.05.1982	0.9	10.9	24.4	30.1	16.4	3.7	6.0	7.6	0.6	0.075
19	რიონი, ალპანა/18.06.1983	1.7	18.8	24.2	33.8	23.5				1.6	0.13
20	რიონი, ნამახვანი/27.06.1983	0.9	5.6	14.7	46.7	16.5	7.8	4.6	3.3	0.6	0.080
21	ლაჯანური, ორბელი/27.05.1983	1.6	15.2	27.9	22.5	11.4	4.8	3.4	3.2	0.4	0.050
22	ყვირილა, ზესტაფონი/28.05.1983	0.9	8.6	27.3	51.7	11.5			0.8	0.085	
23	ძირულა, წვევა/25.06.1983	0.3	6.7	12.5	20.4	26.0	17.3	8.6	8.2	0.5	0.034
24	რიონი, უწერა/08.05.1984	0.9	12.6	35.0	19.8	31.7				1.0	0.095
25	რიონი, ონი/15.05.1984	1.1	14.8	28.1	28.4	27.4				2.5	0.085
26	რიონი, ხიდიკარი/15.05.1984	0.9	15.4	22.6	26.5	12.1	11.4	7.0	4.1	0.9	0.080
27	რიონი, ალპანა/11.05.1984	0.3	10.8	9.6	29.9	23.1	11.8	7.1	7.4	0.6	0.060
28	რიონი, ნამახვანი/20.05/1984	0.9	15.6	25.6	24.7	7.3	11.8	7.1	7.0	1.2	0.085
29	ლაჯანური, ორბელი/18.05.1984	0.6	11.4	16.7	23.4	23.4	15.8	5.7	3.0	0.7	0.060

30	ყვირილა, ზესტა ფონი/10.05.1984	0.9	14.5	29.5	24.8	15.3	9.5	4.1	1.4	0.9	0.065
31	ძირულა, წევა/05.06.1984	1.2	16.7	26.8	25.2	22.5	1.1	5.3	1.2	2.5	0.090
32	რიონი, უწე რა/13.05.1985	0.8	12.5	19.4	35.5	31.8				0.8	0.075
33	რიონი,ონი/22.04 .1985	1.0	19.5	25.4	30.5	8.7	7.1	4.9	2.9	1.1	0.090
34	რიონი, ხიდიკა რი/14.05.1985	0.5	10.7	26.1	24.0	22.0	7.3	6.1	3.3	0.5	0.070
35	რიონი, ალპა ნა/19.06.1985	0.9	16.8	21.9	18.7	15.6	17.4	5.1	3.6	0.8	0.070
36	რიონი, ნამახვანი/27.06. 1985	0.4	5.6	20.8	35.3	18.9	6.6	4.2	8.2	0.5	0.055
37	ლაჯანური, ორბ ელი/24.05.1985	0.9	15.6	26.8	27.8	10.8	9.3	5.7	3.1	0.9	0.090
38	ყვირილა, ზესტა ფონი/18.06.1985	0.6	5.7	19.8	16.8	35.0	12.4	7.1	2.6	0.6	0.042
39	ძირულა, წევა/10.05.1985	0.8	13.7	27.6	35.0	14.2	2.2	4.8	1.7	0.8	0.090

ცხრილში 4.2 წარმოდგენილია მდ. რიონის მთელ სიგრძეზე ნატანი მასალის ჰიდრავლიკური და ჰიდროლოგიური მახასიათებლები და აგრეთვე მდ. ლაჯანური ორბელის საგუმავოზე, მდ. ყვირილა ზესტაფონთან, მდ. ძირულას წევასთან.

ცხრილი 4.3

მდ. რიონის ფსკერული და ტივტივა ნატანის შესახებ მონაცემები

№	დაკვირ ვების წლები	მდ. რიონის სგუმავოები	შემკრები აუზის ფართობი $F$ კმ <sup>2</sup>	ნატანი მასალის საერთო ხარჯი ატასი ტ.	ნატანი მასალის მოდული ტ/მ <sup>2</sup>
1	1981	სოფ. უწერა	707	470	660
		ქ. ონი	1060	440	420
		სოფ. ხიდიკარი	2010	1800	900
		სოფ. ალპანა	2830	1800	640
		სოფ. ნამახვანი	3450	3200	930
		სოფ. საკოჩაკიძე	13300	6600	500
		ქ. ფოთი ჩრდილოეთის ტოტი	13400	2300	170
		ქ. ფოთი სამხრეთის ტოტი	13400	660	49
		მდ. ლაჯანური სოფ. ორბელი	231	47	200
		მდ. ყვირილა ს. ზესტაფონი	2490	1700	680
		მდ. ძირულა სოფ. წევა	1190	410	340
2	1982	სოფ. უწერა	707	568	803
		ქ. ონი	1060	320	300
		სოფ. ხიდიკარი	2010	2400	1200

		სოფ. ალპანა	2830	1100	390
		სოფ. ნამახვანი	3450	4400	1300
		სოფ. საკოჩაკიძე	13300	5000	380
		ქ. ფოთი ჩრდილოეთის ტოტი	13400	3500	260
		ქ. ფოთი სამხრეთის ტოტი	13400	1800	130
		მდ.ლაჯანური სოფ. ორბელი	231	63	270
		მდ. ყვირილა ს. ზესტაფონი	2490	1100	440
		მდ. ძირულა სოფ. წევა	1190	410	340
3	1983	სოფ. უწერა	707	470	660
		ქ. ონი	1060	1000	940
		სოფ. ხიდიკარი	2010	1800	900
		სოფ. ალპანა	2830	2000	710
		სოფ. ნამახვანი	3450	3100	900
		სოფ. საკოჩაკიძე	13300	4700	350
		ქ. ფოთი ჩრდილოეთის ტოტი	13400	2100	160
		ქ. ფოთი სამხრეთის ტოტი	13400	5700	430
		მდ.ლაჯანური სოფ. ორბელი	231	110	480
		მდ. ყვირილა ს. ზესტაფონი	2490	770	310
		მდ. ძირულა სოფ. წევა	1190	347	291
4	1984	სოფ. უწერა	707	700	990
		ქ. ონი	1060	440	420
		სოფ. ხიდიკარი	2010	2000	1000
		სოფ. ალპანა	2830	2000	710
		სოფ. ნამახვანი	3450	3100	900
		სოფ. საკოჩაკიძე	13300	7000	530
		ქ. ფოთი ჩრდილოეთის ტოტი	13400	630	47
		ქ. ფოთი სამხრეთის ტოტი	13400	3800	280
		მდ.ლაჯანური სოფ. ორბელი	231	51	220
		მდ. ყვირილა ს. ზესტაფონი	2490	570	230
		მდ. ძირულა სოფ. წევა	1190	200	170
5	1985	სოფ. უწერა	707	190	270
		ქ. ონი	1060	310	1060
		სოფ. ხიდიკარი	2010	850	420
		სოფ. ალპანა	2830	910	320
		სოფ. ნამახვანი	3450	1900	550
		სოფ. საკოჩაკიძე	13300	4700	350
		ქ. ფოთი ჩრდილოეთის ტოტი	13400	6600	490
		ქ. ფოთი სამხრეთის ტოტი	-	-	-
		მდ.ლაჯანური სოფ. ორბელი	231	91	390
		მდ. ყვირილა ს. ზესტაფონი	2490	600	240
		მდ. ძირულა სოფ. წევა	1190	230	190
6	1986	სოფ. უწერა	707	310	440
		ქ. ონი	1060	540	510

ცხრილში 4.3. წარმოდგენილი მდ. რიონის ფსკერული და ტივტივა ნატანის მონაცემები საგუმაგოების კვეთებში: აუზის ფართობი  $F$  კმ<sup>2</sup> მასალის საერთო ხარჯი ათასი ტ., მასალის მოდული ტ/კმ<sup>2</sup>.

მდ. რიონის ფსკერული ნატანის გადაადგილება მდინარის კალაპოტში მიმდინარეობს პერიოდულად წყალდიდობის დროს წყლის ხარჯის შესაბამისად. წყალმცრობის პერიოდში ნატანი მასალის მოძრაობა არ შეიმჩნევა. ნატანი მასალის მოცულობა მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობის ზრდასთან ერთად იზრდება და როგორც ცხრილი 4.3-დან ჩანს შავი ზღვის შესართავთან აღწევს მაქსიმალურ მოცულობას.

#### 4. 3. მდინარის კალაპოტის მოლამვის საკითხის სტატისტიკური მიდგომით კვლევა კომპიუტერული პროგრამის Mathcad 15 ბაზის გამოყენებით

ღია კალაპოტების დალამვის საკითხის ანალიზური კვლევა დაკავშირებულია ნაკადის ტურბულენტობასთან. საკითხის გადაწყვეტა ხდება რეინოლდს-ბუსინესკის მოდელის წესების თანახმად [22]. დაუმყარებელი მოძრაობის გასაშუალებული სიჩქარის სიდიდის კორექტულად განსაზღვრის შესაძლებლობა გვეძლევა ტურბულენტური ნაკადების აღწერისას თეორიულ-ალბათობითი მიდგომის გამოყენების დროს. ამასთან ტაქოგრამების სტატისტიკური ერთობლიობის რეალიზაცია, მაგალითად, მოძრაობის აჩქარებისას გრძივი სიჩქარის დაკავშირებულია ძვირადღირებულ ექსპერიმენტებთან ნატურულ პირობებში.

ექსპერიმენტალური მონაცემების სრული ნაკრების მიღების შეზღუდული საშუალების შემთხვევაში, შეიძლება გამოყენებულ იქნას კომპიუტერული მათემატიკის მეთოდები, დაკავშირებული შემთხვევითი რიცხვების გენერაციასთან.

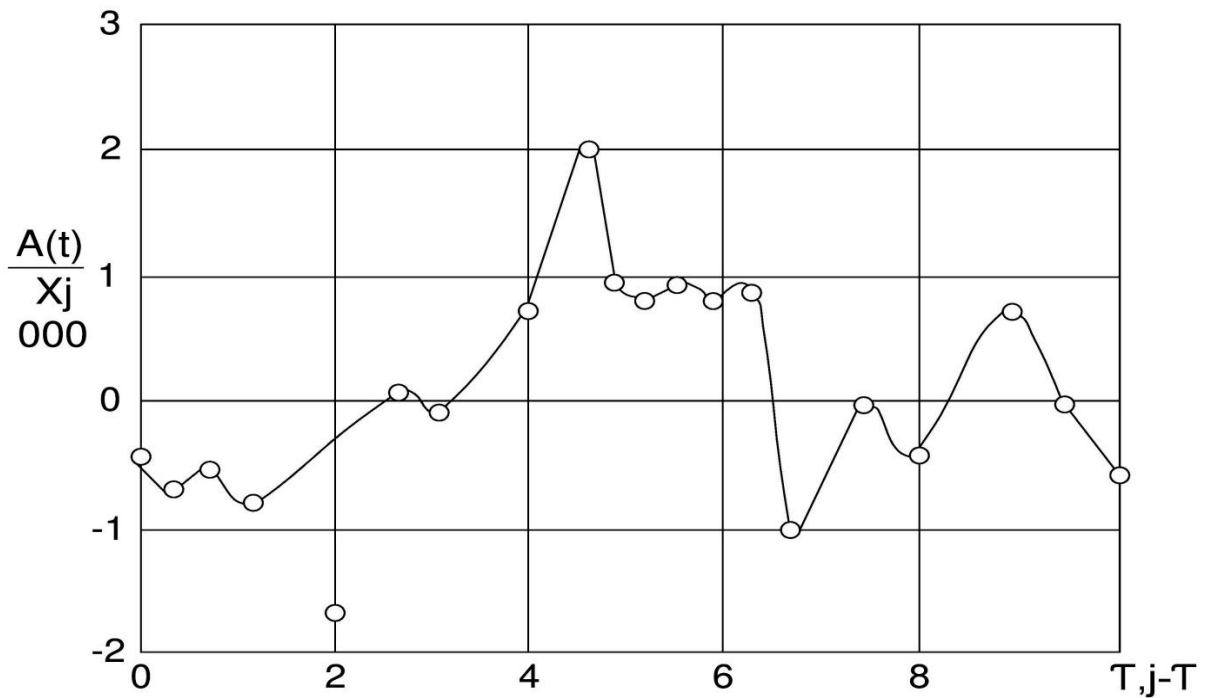
პროგრამა Mathcad 15 შეიცავს ჩაშენებულ ფუნქციებს შემთხვევითი რიცხვების გენერაციისათვის, რომლებიც ქმნიან რიგს შემთხვევითი მონაცემებიდან  $A_i$  [22]. ამასთან ფსევდოშემთხვევითი პროცესის გენერაცია წარმოებს შემდეგი წესით:

$$\begin{array}{lll}
 N:=20 & \tau:=0,5 & T_{\max}=(N-1)\cdot\tau \\
 j:=0\cdots N-1 & T_j=j\cdot\tau & x:=\text{rnorm}(N,0,1) \\
 KSI:=\text{cspline}(T,x) & A(t):=\text{interp}(KSI,T,x,t) & 
 \end{array}$$

აქ დასაწყისში განსაზღვრულია დამოუკიდებელი შემთხვევითი რიცხვების

რაოდენობა  $N$ , რომლებიც შემდგომში გენერირებული იქნებიან, და დროებითი (დროითი) კორელაციის რადიუსი  $\tau$ ; შემდგომში განისაზღვრება დროის მომენტები  $T_j$ , რომლებსაც უპასუხებენ შემთხვევითი მნიშვნელობები  $A(t_j)$ . ნორმალური შემთხვევითი პროცესის შექმნა დაიყვანება დამოუკიდებელი შემთხვევითი რიცხვების  $x$  ვექტორის ჩვეულებრივი ხერხით გენერაციამდე და ინტერპოლაციური დამოკიდებულების აგებაზე მათ შორის შუალედებში. ჩვენს შემთხვევაში გამოიყენება სპლაინ-ინტერპოლაცია.

შედეგად მიიღება შემთხვევითი პროცესი  $A(t)$ , რომლის კორელაციის რადიუსი განისაზღვრება  $\tau$  მანძილით წერტილებს შორის, რომლებისთვისაც აიგება ინტერპოლაცია. შემთხვევითი პროცესის  $A(t)$  გრაფიკი შემთხვევით საწყის რიცხვებთან ერთად ნაჩვენებია ნახ. 4.6-ზე



ნახ. 4.5. ფსევდოშემთხვევითი პროცესი

ასეთი ხერხით დაგენერირებული შემთხვევითი პროცესების მიმართ, როგორც ექსპერიმენტალური მონაცემების მიმართაც, გამოიყენება დამუშავების ნებისმიერი სტატისტიკური მეთოდი, მაგალითად, კორელაციური ან სპექტრალური ანალიზი. ვაჩვენოთ, როგორ მოვახდენთ ზემოთ მოყვანილი შემთხვევითი პროცესის კორელაციური ფუნქციის გაანგარიშებას.

როგორც მოყვანილი ფსევდოშემთხვევითი პროცესის გაგრძელება, განვიხილოთ



შემთხვევითი პროცესის დისკრეტიზაციის ალგორითმი და კორელაციური ფუნქციის ანგარიში.

$$\Delta := 0,02$$

$$M := 20$$

$$n := \text{floor}\left(\frac{T_{\max}}{\Delta}\right) \quad n=475$$

$$j=0 \dots n$$

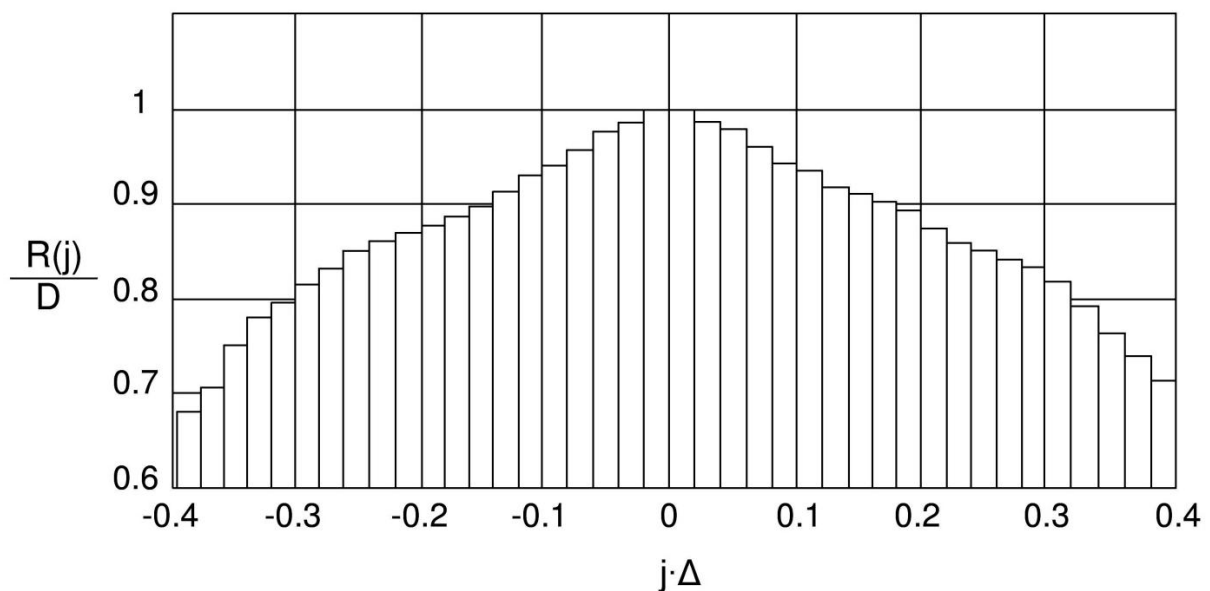
$$Y_j := A(\Delta \cdot j)$$

$$m := \text{mean}(Y)$$

$$D := \text{var}(Y) \quad D=0,785$$

$$R(j) := \frac{1}{(n-2M)} \cdot \sum_{i=M}^{n-M} \frac{(Y_{i+j} - m)(Y_i - m)}{D} \quad R(0)=1,025$$

$$j := -M \dots M$$



ნახ. 4.6. ფსევდოშემთხვევითი პროცესის კორელაციური ფუნქცია

შემთხვევითი პროცესისათვის  $A(t)$  ინტერვალის  $(0, T_{\max})$  დისკრეტული წარმოდგენა სხვადასხვა ელემენტარული ინტერვალით  $\Delta$  (პირველი სტრიქონი).  $\Delta$ -ს მნიშვნელობის მიხედვით მიიღება შემთხვევითი რიცხვების  $Y_t$  შერჩევის სხვადასხვა მოცულობა  $n$ , რომლებიც წარმოადგენენ შემთხვევითი ფუნქციის  $A(t)$  მნიშვნელობებს დისკრეტიზაციის წერტილებში. ბოლო ორ სტრიქონში განისაზღვრება შემთხვევითი სიდიდის  $Y$  სხვადასხვა მახასიათებლები (საშუალო მნიშვნელობა, დისპერსია), რომლებიც თვითონ არიან შემთხვევითი პროცესის  $A(t)$

მახასიათებლები. გრაფიკი გაანგარიშებული კორელაციური ფუნქციის  $R(j)$  წერტილებში  $2M + 1$  ნაჩვენებია ნახ. 4.6-ზე.

მდინარე რიონის ღია კალაპოტის მოლამვის საკითხი განხილულია რეინოლდს-ბუსინესკის ტურბულენტური მოდელის წესების მიხედვით [22]. მდინარე რიონის ტურბულენტური ნაკადის სხვადასხვა რეჟიმები შეიძლება განვიხილოთ თეორიულ-ალბათობითი მიდგომითაც (ნახ.4.7). მაგალითად, ხარჯის დროს  $Q = 100$  მ<sup>3</sup>/წმ გვაქვს ტურბულენტური ნაკადის გასაშუალებული გრძივი სიჩქარე  $v = 1,35$  მ/წმ. ამ პარამეტრებით შეიძლება ნაკადის გრძივი სიჩქარის ფსევდომემთხვევითი ველის გენერაციის წარმოება პროგრამის Mathcad 15 წესების მოქმედების შემდეგი თანმიმდევრობის მიხედვით.

$$N:=15$$

$$\tau:=0,5$$

$$T_{\max}:=(N-1)\cdot\tau$$

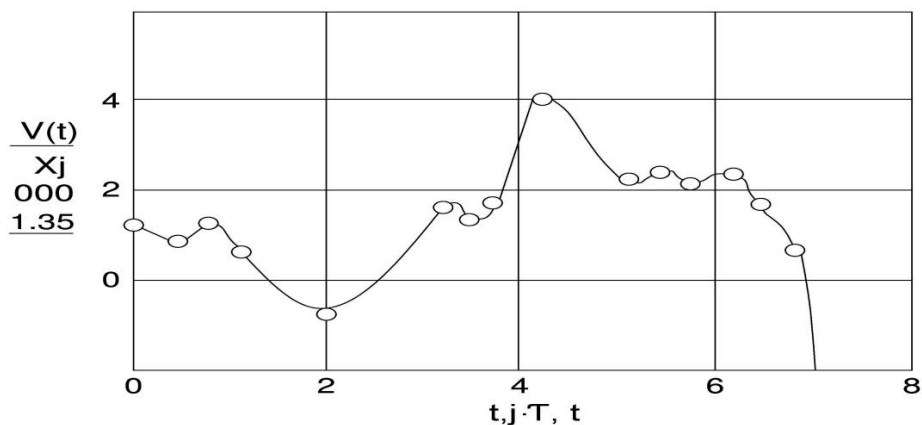
$$j:=0\cdots N-1$$

$$T_j:=j\cdot\tau$$

$$x:=\text{rnorm}(N;1,35;1)$$

$$X:=\text{cspline}(T,x)$$

$$V(t):=\text{interp}(X,T,X,t)$$



ნახ. 4.7 გასაშუალებული სიჩქარით  $v = 1,35$  მ/წმ გრძივი ტურბულენტური ნაკადის ფსევდომემთხვევითი ველის გენერაცია.

მდინარე რიონში ტურბულენტურ ნაკადებში მოძრაობის და შეწონილი ნაწილაკების დალექვის გაანგარიშებისას ნაკადის ტურბულენტურ ბირთვში

ვერტიკალური სიჩქარის სიდიდედ მიღებულია 0.095 მ/წმ. ამიტომ გრძივ ერთგვაროვან ტურბულენტურ ნაკადში ( $U_x = U_x(Z)$ ) ვერტიკალური პულსაციური სიჩქარის შემთხვევითი ველის გენერაციას ექნება შემდეგი სახე ნახ.4.8:

$$M:=10$$

$$\theta:=0,5$$

$$H_{\max}:=(M-1)\cdot\theta$$

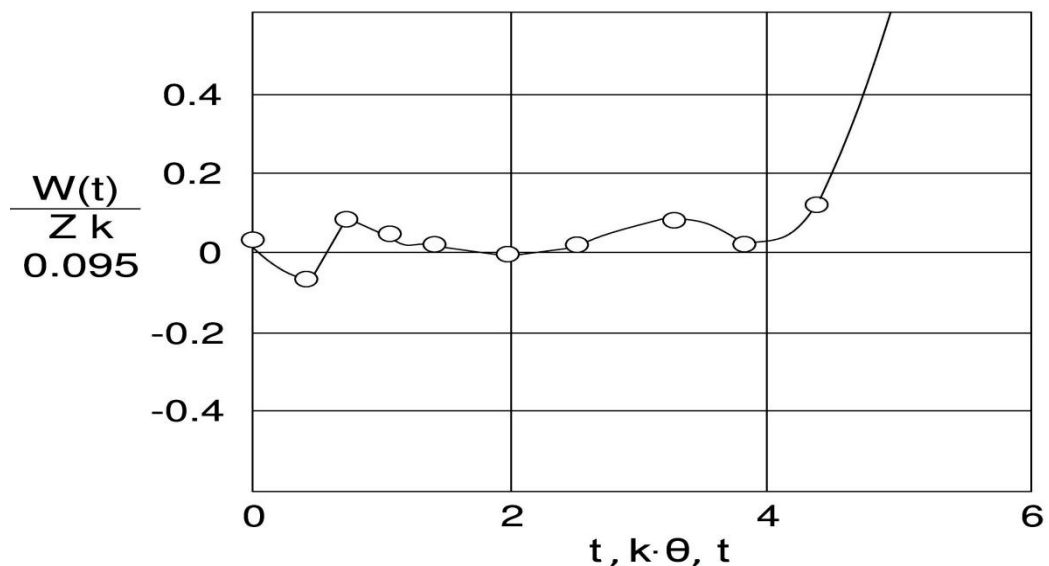
$$k:=0\cdots(M-1)$$

$$H_k:=k\cdot\theta$$

$$z:=\text{rnorm}(M, 0.095)$$

$$Z:=\text{cspline}(H,z)$$

$$W(t):=\text{interp}(Z,H,z,t)$$



ნახ.4.8 ვერტიკალური პულსაციური სიჩქარის შემთხვევითი ველის გენერაცია.

იგივე გზით, როგორც ზემოთ, შეიძლება აღვწეროთ სტატისტიკურად განხილული მდ. რიონის ღია ნაკადის სხვადასხვა ტურბულენტური რეჟიმები.

#### 4.4. გუმათჰესის მახლობლად მდინარე რიონის ღია კალაპოტის მოლამვის

##### დიაგნოსტიკა

ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა აჩვენა, რომ გუმათჰესის უშუალო სიახლოვეში მდ. რიონის უდაწნეო ნაკადის მართობი კვეთი პირველ მიახლოებაში შეიძლება მიღებულ იყოს მართკუთხად (სწორკუთხად) [21]. ამასთან გამოიყოფა ორი დამახასიათებელი მონაკვეთი სიგრძით  $L_1 = 310$  მ და  $L_2 = 455$  მ და ცოცხალი კვეთი ზომით  $\omega_1 = 187 \cdot 9$  მ და  $\omega_2 = 187 \cdot 15$  მ.

თეორიული გაანგარიშებისას, რომელიც უკავშირდება მართობი კვეთის შეცვლას სამდინარო ნაკადის შეწონილი ნაწილაკების დალამვის გამო, ჩატარება შეიძლება უკუმშველი სითხის მოდელის საფუძველზე. ბლანტი უკუმშველი სითხის მოძრაობის განტოლებას წარმოვადგენთ ნავიე-სტოქსის სამი განტოლების სისტემის და სიჩქარის სამი გეგმილის  $(u_1, u_2, u_3)$  დახმარებით. განტოლებას ტენზორული ჩანაწერით აქვს სახე:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial u_i}{\partial X_\alpha} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial X_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial X_\alpha^2}; \quad \alpha, i = 1, 2, 3. \quad (4.5)$$

სადაც  $(X_1, X_2, X_3)$  - დეკარტეს კოორდინატებია;

$f(f_1, f_2, f_3)$  - სითხეზე მოქმედი გარე მასობრივი ძალის განაწილების

სიმკვრივის ვექტორია.

$p$  - ჰიდროდინამიკური წნევა;

$\rho$  - სითხის სიმკვრივე;

$\nu$  - სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი.

ნავიე-სტოქსის სამი განტოლება და უწყვეტობის განტოლება

$$\frac{Dp}{Dt} + \rho \operatorname{div} u = 0$$

$(\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u_x \frac{\partial}{\partial x} + u_y \frac{\partial}{\partial y} + u_z \frac{\partial}{\partial z})$  -სუბსტანციური წარმოებულის ოპერატორი) შეიცავს

ოთხ უცნობ სიდიდეს  $(u_1, u_2, u_3, p)$ , და ამიტომ არის ჩაკეტილი, ვინაიდან სითხისთვის უკუმშველობის განტოლებას აქვს სახე:

$$\frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\alpha} = 0 \quad (4.6)$$

თეორიულად არსებობს პრინციპული საშუალება ნაპოვნი იყოს სითხეში მყისიერი ადგილობრივი სიჩქარეების და წნევების ველები, თუმცა სითხის ტურბულენტური მოძრაობის განხილვისას ასეთი გადაწყვეტები შეიძლება აღმოჩნდეს ნაკლებად ვარგისი პრაქტიკული გამოყენებისათვის. ამიტომ ტურბულენტობის თეორიულმა კვლევებმა მიიღეს განვითარება რეინოლდს-ბუსინესკის განტოლების გამოყენების საფუძველზე. ამასთანავე გამოიკვეთა ტურბულენტური ნაკადების პრაქტიკულად საინტერესო დახასიათებები: გასაშუალებული სიჩქარე, დამახასიათებელი პულსაციური სიჩქარე და პულსაციის სიხშირე.

„რეინოლდსის გასაშუალების წესის“ საფუძველზე დაუმყარებელი მოძრაობის საერთო შემთხვევაში ვლებულობთ რეინოლდსის სამი განტოლების შემდეგ სისტემას:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \bar{u}_\alpha \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial X_\alpha} = \bar{f}_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial X_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial X_\alpha} \left( \eta \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial X_\alpha} - \overline{\rho u'_i u'_\alpha} \right); \quad i, \alpha = 1, 2, 3. \quad (4.7)$$

აქ ხაზები გასაშუალებული სიდიდეების სიმბოლოების თავზე აღნიშნავენ გასაშუალების ოპერაციას; შტრიხები - შესაბამისი სიდიდეების პულსაციურ შემადგენელს (მაგალითად, აქტუალური სიჩქარე  $u = \bar{u} + u'$ ). ამასთანავე შესაკრებები  $\overline{\rho u'_i u'_\alpha}$  ქმნიან მეორე რანგის სიმეტრიულ ტენზორს და ეწოდება ტურბულენტური ძაბვები, რომლებიც აღინიშნება როგორც  $P_{i\alpha}^T = -\overline{\rho u'_i u'_\alpha}$ . ფორმულაში გასაშუალებულ სიჩქარესთან და წნევასთან ერთად შედის ასევე ტურბულენტობის ისეთი მნიშვნელოვანი მახასიათებლები, როგორცაა, მაგალითად, პულსაციური სიჩქარეების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობები, რომლებიც წარმოადგენენ ტურბულენტობის თეორიის მნიშვნელოვან სპექტრს.

განვიხილოთ სითხის დამყარებული თანაბარი ტურბულენტური მოძრაობა და დავაფიქსიროთ კოორდინატების ორთოგონალური სისტემა და მივმართოთ ღერძი  $x$  დინების გასწვრივ ისე, რომ ცოცხალი კვეთი დევს სიბრტყეში  $(y, z)$ . ამასთანავე პულსაციური სიჩქარის  $(u'_x, u'_y, u'_z)$  სამი გეგმილი არ არის ნულის ტოლი და მაშასადამე ნორმალური და მხები ძაბვა განსხვავებულია ნულისაგან, თუმცა როგორც სხვა კინემატიკური მახასიათებლები, ისინი უცვლელია ნაკადის ხაზის გასწვრივ. იმის გამო, რომ თანაბარი მოძრაობისას რომელიც პარალელურია  $x$  ღერძის, ადგილი აქვს მხოლოდ  $x$  ღერძის გასწვრივ, ძაბვის მხები  $P_{zy} = P_{yz} = 0$ , იმ დროს, როდესაც ძაბვის ტენზორის დანარჩენი შემადგენელი შეიძლება იყოს

ნულისაგან განსხვავებული. ნორმალური ძაბვა ცოცხალ კვეთში შეადგენს [47]:

$$P_{xx} = -\bar{P} + P_{xx}^B + P_{xx}^T,$$

სადაც ბლანტი ნორმალური ძაბვა თანაბარი მოძრაობისას

$$P_{xx}^B = \eta \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} = 0, \text{ ტურბულენტური ნორმალური ძაბვა } P_{xx}^T = -\rho \bar{u}_x'^2 \text{ განსხვავდება}$$

ნულისაგან.

გუმათჰესის მიდამოების ფსკერის მოლამვა განისაზღვრება კალაპოტის ნაკადიდან შეწონილი ნაწილაკების (წვრილი, ლამისებური) დალექვით, რომელთა სიმძიმის ძალის ზემოქმედების ქვეშ თანაბარი დალექვის სიჩქარეს ეწოდება ჰიდრავლიკური სიმსხო და აღინიშნება  $\omega$ . მოლამვის პროცესი მიმდინარეობს, თუ გრუნტის ნაწილაკის ჰიდრავლიკური სიმსხო აღემატება ვერტიკალური პულსაციური სიჩქარის მაქსიმალურ მნიშვნელობას:

$$\omega \geq \max(u'_z).$$

პულსაციური სიჩქარის დროებით - ინტეგრირებული, გასაშუალებული სიდიდე  $\bar{u}'_z$  უდრის ნულს [47], ამიტომ პულსაციური სიჩქარის გეგმილი მახასიათებელი მნიშვნელობით მიიღება კვადრატული ფესვი მისი საშუალო კვადრატული მნიშვნელობიდან, რომელიც დადებითი პულსაციური სიჩქარის არსებობისას ყოველთვის დადებითია:

$$\sqrt{\bar{u}'_z'^2} = \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [u'_z(t)]^2 dt \right\}^{1/2}$$

ზოგჯერ  $\sqrt{\bar{u}'_z'^2}$  უწოდებენ პულსაციური სიჩქარის სტანდარტს. ექსპერიმენტული მონაცემების თანახმად, ნაკადის ტურბულენტურ ბირთვში, რომელიც არ შეიცავს გრუნტის შეწონილ ნაწილაკებს, ვერტიკალური პულსაციური სტანდარტი შეადგენს (5...7) %-ს საშუალო სიჩქარიდან  $\nu$ . ამასთანავე, ნატანის მასობრივ კონცენტრაციას, ე.ი. გრუნტის ნაწილაკების მასას წყლის მოცულობის ერთეულში, ეწოდება სიმღვრივე და აღინიშნება  $\theta$ .

მოძრაობისა და ტურბულენტურ ნაკადებში შეწონილი ნაწილაკების დალექვის გაანგარიშებისას მიიღება, რომ გრუნტის მყარი ნაწილაკების სიმკვრივე  $\rho_T = 2600 \text{ კგ/მ}^3$ . მათი განივი საშუალო ზომა D სფეროს დიამეტრი, რომელიც აპროქსიმირებს ამ ნაწილაკებს. სითხეში ნაწილაკების თანაბარი ვარდნისას მასზე

მოქმედებენ: სიმძიმის ძალა, აწონილი არქიმედული ძალა და მოძრაობის წინაღობის ძალა სიჩქარით  $W$ . ამ ძალების წონასწორობიდან გვექნება [46]:

$$\rho_a \frac{1}{6} \pi D^3 g - \rho_b \frac{1}{6} \pi D^3 g - 3\pi \eta DW = 0, \Rightarrow W = \frac{1}{18} \frac{\rho_a - \rho_b}{\rho_b} \frac{g D^2}{\nu}, \quad (4.8)$$

სადაც  $\rho_b$  - სითხის სიმკვრივეა;

$\nu$  - სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი.

მდინარე რიონის ნაკადის საშუალო სიჩქარე თანახმად [21]-ისა ხარჯის დროს  $Q = 1000$  მ<sup>3</sup>/წმ არის  $\nu = 1,35$  მ/წმ. ამიტომ სტანდარტული ვერტიკალური პულსაციური სიჩქარე

$$\bar{u}'' = 0,07 \cdot \nu = 0,095 \text{ მ/წმ} = 9,5 \text{ სმ/წმ}.$$

ამიტომ დალექვა ხდება გრუნტის ნაწილაკებისათვის შემდეგი დიამეტრის დიაპაზონში  $D = 1,0 \div 3,0$  მმ (მსხვილი ქვიშოვანი). ანალოგიურად, როდესაც სითხის ხარჯი არის  $Q = 300$  მ<sup>3</sup>/წმ, გვაქვს  $\nu = 2,6$  მ/წმ;  $\bar{u}'' = 0,182$  მ/წმ = 18,2 სმ/წმ და დალექვა ხდება ნაწილაკებისათვის, რომელთა დიამეტრია  $D = 3,0$  მმ.

აღსანიშნავია, რომ პულსაციური სიჩქარის საჭირო მნიშვნელობა ჩვენ განვსაზღვრეთ ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე. წინააღმდეგ შემთხვევაში გასაშუალებული სიჩქარეების ველი უნდა განისაზღვროს განტოლების (4.7) ამოხსნის საშუალებით შესაბამისი ზღვრული და საწყისი პირობების გათვალისწინებით. მაგალითად, გასაშუალებული სიჩქარის  $\bar{u}_1 = \bar{u}_1(x_3)$  გამარტივებული ამოხსნას (გადაწყვეტას) გრძივ-ერთგვაროვან ბრტყელ ტურბულენტურ ნაკადში აქვს სახე [47]:

$$\bar{u}_1 = \frac{u_*}{K} \ln \frac{x_3}{x_0},$$

სადაც  $x_3$  - ინტეგრირების მუდმივა;  $K$  - კარმანის მუდმივა ( $K = 0,4$ );  $\bar{u}$  - დინამიკური სიჩქარე.

ამასთანავე,  $u_*^2 \equiv \frac{\tau}{\rho}$ , სადაც  $\tau = -\rho \overline{u'_1 u'_3}$  - ტურბულენტური მხები ძაბვაა,

რომელიც პროპორციულია გასაშუალებული სიჩქარის გრადიენტის:

$$-\rho \overline{u'_1 u'_3} = \eta^T \frac{\partial u_1}{\partial x_3};$$

$\eta^T$  - ტურბულენტური სიბლანტის დინამიკური კოეფიციენტი.

ტურბულენტური ნაკადით მინარევის დალექვის რაოდენობის (რაოდენობრივი) შეფასებისათვის, საჭიროა პროცესის აღწერა დიფუზიის განტოლებების დახმარებით, რომლებიც შედგენილია აქტუალური კონცენტრაციის მ შეფარდებით:

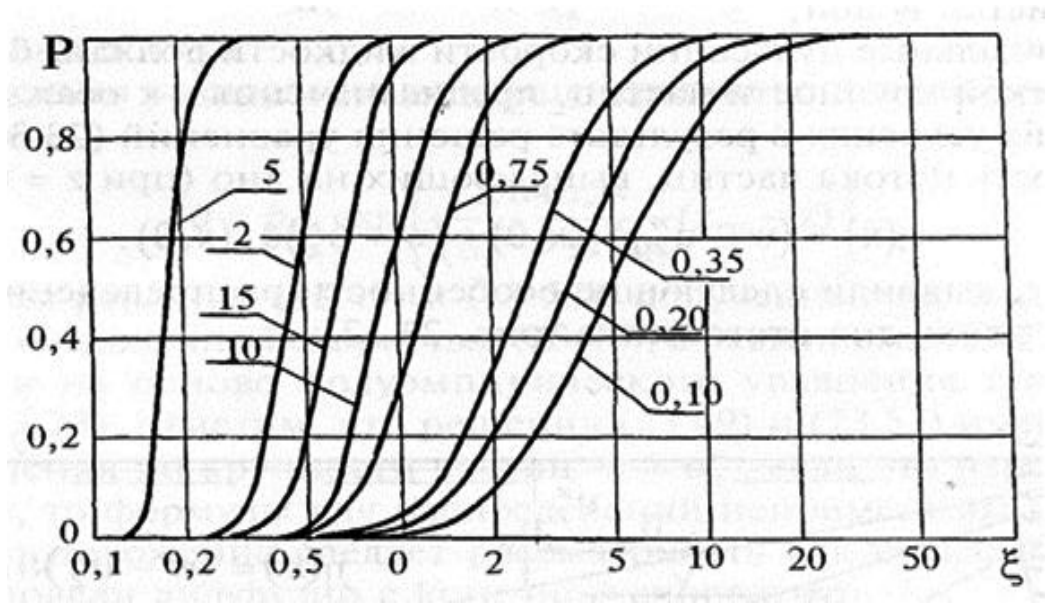
$$\theta(r, t) = \lim_{\forall \rightarrow 0} \frac{\sum m_i}{\forall},$$

სადაც  $\forall$  - სითხის საკონტროლო მოცულობაა,  $m_i$  - მინარევის ნაწილაკის მასა. კალაპოტის ნაკადში გრუნტის შეწონილი ნაწილაკების (ნატანის) კონცენტრაციას უწოდებენ სიმღვრივეს. ტურბულენტურ ნაკადში მინარევის კონცენტრაცია იცვლება ქაოსურად ცვალებად სტატისტიკურ მახასიათებლად, რომლისთვისაც შეიძლება განისაზღვროს გასაშუალებული  $\bar{\theta}$  და პულსაციური  $\theta'$ , მდგენელები ( $\theta' = \theta - \bar{\theta}$ ), რაც საშუალებას იძლევა რეინოლდსი-ბუსინესკის მოდელის გამოსაყენებლად. თუ გამოვიყენებთ მინარევის ნაწილაკების გადატანის სქემებს ჰიდრავლიკური სიმსხოთი  $\omega$  გრძივ-ერთგვაროვან ტურბულენტურ ნაკადში, რომელშიც გრძივი გასაშუალებული სიჩქარე არის  $\bar{u}_x = \bar{u}_x(z)$ , სიჩქარის გრძივი პულსაციები არ არის, ვერტიკალური პულსაციური სიჩქარის მნიშვნელობა კი არის  $(+u_z')$  და  $(-u_z'')$ . იმისდა მიხედვით, თუ რომელი შესაძლებელი სიჩქარის მონაცვლეობით დროის შემთხვევითი ინტერვალებით  $u^{(1)}$  და  $u^{(2)}$  მოძრაობს სითხის ნაწილაკი (აიწევა და ჩამოიწევა). შემოვიღებთ პარციალურ კონცენტრაციებს  $\theta_1$  და  $\theta_2$ . ნაწილაკების რეალური კონცენტრაცია არის  $\theta = \theta_1 + \theta_2$  აღვნიშნოთ  $\omega^{(L)}$  შეწონილი ნაწილაკების მასის ფარდობა, რომელმაც მოცულობის ერთეულში დროის ერთეულობის განმავლობაში შეიცვალეს თავისი სიჩქარე  $u^{(1)}$  სიჩქარეზე  $u^{(2)}$ , ყველა ნაწილაკების მასასთან, რომლებსაც აქვს სიჩქარე  $u^1$ . ამ სქემით სასრულ (საბოლოო) სიჩქარიან ტურბულენტური დიფუზიების განტოლებების სისტემას აქვს სახე [47]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_1}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \theta_1}{\partial X} + (u_z'' - \omega) \frac{\partial \theta_1}{\partial z} &= -\omega^{(L)} \theta_1 + \omega^{(L)} \theta_2, \\ \frac{\partial \theta_2}{\partial t} + \bar{u}_x \frac{\partial \theta_2}{\partial X} - (u_z'' + \omega) \frac{\partial \theta_2}{\partial z} &= -\omega^{(L)} \theta_1 - \omega^{(L)} \theta_2. \end{aligned} \quad (4.9)$$

დავუშვათ, რომ სითხის სიჩქარის ვერტიკალური პულსაციები ნაკლებია ნაწილაკების ჰიდრავლიკურ სიმსხოზე, რომლებიც მინიშნებულია დასაღექად (რომლებიც უნდა იყოს დაღექილი).





ნახ 4. 9. გრაფიკი გრაფიტაციული სიგრძის გაანგარიშებისათვის; მრუდები მიეკუთვნება გრაფიკზე მითითებულ  $\omega$ -ს მნიშვნელობას

ამ პირობებში განტოლების (4.9) ამოხსნის შედეგად გამოიანგარიშება ნაკადის ნაწილაკების სიმკვრივე, ნაწილაკები დაილექება ფსკერზე (როდესაც  $z=0$ ).

პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის შემოთავაზებულია გრაფიკი, წარმოდგენილი ნახაზზე და დაფუძნებული განტოლებების (4.9) გადაწყვეტაზე (ამოხსნაზე).

ჰორიზონტალზე დატანილია სიდიდე  $\xi = \frac{x}{h} \frac{\sqrt{g}}{C}$ , სადაც  $C$ -შეზის კოეფიციენტი, რომელიც შეიძლება იყოს  $C = (30...50) \frac{\sqrt{M}}{C}$ . ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა ვერ იქნება მოცემული ზუსტად, ვინაიდან ნაწილაკების დალექვის პროცესში ფსკერის სიმქისე (ხორკლიანობა) მნიშვნელოვნად იცვლება. ვერტიკალზე დატანილია (მოთავსებულია) მნიშვნელობა:

$$P(\xi) = \int_0^{\xi} [(\omega - u_z'')\theta_1 + (\omega - u_z'')\theta_2] d\xi,$$

$P(\xi)$ - წარმოადგენს კუთრი მყარი მასობრივი ხარჯის ნაწილს, რომელიც დაილექა (ამოვარდა, ჩავარდა) ნაკადიდან უგანზომილებო სიგრძეზე  $\xi$ . გრაფიკზე მოყვანილი მრუდები მიეკუთვნება ფარდობითი ჰიდრავლიკური სიმსხოს სხვადასხვა მნიშვნელობებს:

$$\omega_0 = \frac{\omega C}{\nu \sqrt{g}}.$$

გუმათჰესის მეორე უბანზე სიგრძით  $L_2 = 455$  მ სითხის ხარჯის დროს  $Q = 100$  მ<sup>3</sup>/წმ, განვსაზღვროთ ნაწილაკების დიამეტრი ვარდნის პროცენტი 1 მმ (საშუალო მარცვლიანი ქვიშები) და ჰიდრავლიკური სიმსხოს  $\omega = 0,094$  მ/წმ გამოყოფის (დალექვის) პროცენტი. თუ მივიღებთ  $C = 50 \frac{\sqrt{M}}{C}$ , გვექნება:

$$\omega_{\delta} = \frac{0,094 \cdot 50}{1,35 \cdot \sqrt{9,81}} = 1,112.$$

ამასთანავე უგანზომილებო სიგრძე:

$$\xi = \frac{\ell_2 \cdot \sqrt{g}}{h_2 \cdot C} = \frac{455 \cdot \sqrt{9,81}}{15 \cdot 50} = 1,9.$$

გრაფიკზე მნიშვნელობებს შორის  $\omega_{\delta} = 0,75$  და  $\omega_{\delta} = 10$ , ინტერპოლირებით ვიპოვიოთ  $\xi = 1,9$  მნიშვნელობისათვის  $P = 0,9$  (90%).

ანალოგიურად ვსაზღვრავთ, რომ იმავე უბანზე გრუნტის ნაწილაკების დალექვა დიამეტრით 3.0 მმ (მსხვილ მარცვლიანი ქვიშები) და ჰიდრავლიკური სიმსხოთი  $\omega = 0,193$  მ/წმ შეადგენს 93%-ს.

როდესაც სითხის ხარჯი  $Q = 300$  მ<sup>3</sup>/წმ გამოიყოფა (დაილექება) გრუნტის ნაწილაკები დიამეტრით 3.0 მმ და ჰიდრავლიკური სიმსხოთი  $\omega = 0,193$  მ/წმ . ამიტომ გვაქვს:

$$\omega_{\delta} = \frac{0,193 \cdot 50}{2,6 \cdot \sqrt{9,81}} = 1,185 \Rightarrow p = 91\%.$$

პირველი უბნისათვის, რომლის სიგრძე  $L_1 = 310$  მ, სიმაღლე კი  $h_1 = 9$  მ-ია, ფრაქციების გრანულომეტრიული შემადგენლობა და სიჩქარეების ველი რჩება იგივე, იცვლება მხოლოდ უბნის უგანზომილებო სიგრძე:

$$\xi = \frac{\ell_1 \cdot \sqrt{g}}{h_1 \cdot C} = \frac{310 \cdot \sqrt{9,81}}{9 \cdot 50} = 2,158$$

ნახაზზე აბსცისის მნიშვნელობის ეს შეცვლა ნაკლებად ახდენს გავლენას შედეგებზე, რომელიც ჩატარებულია მეორე უბნისთვის. ამიტომ შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ უბანზე, რომელიც უშუალოდ ახლავს გუმათჰესს მდინარე რიონის ღია ნაკადიდან გრუნტის ნაწილაკების გამოყოფის (დალექვის) პროცენტული შეფარდება პირველ უბანზე რჩება თითქმის ისეთივე, როგორც მეორე უბანზე.

დასკვნაში აღვნიშნოთ, რომ გვაქვს რა ძვირადღირებული ექსპერიმენტული

მონაცემების ტაქოგრამების ფართო სპექტრი ზემოთმოყვანილი გამოთვლებით, შეიძლება მიღებულ იყოს უფრო ფართო ინფორმაცია მდ. რიონის გრანულომეტრიული შემადგენლობის ცალკეული ფრაქციების წვლილის შესახებ დალამვის პროცესში გუმათჰესის მიდამოებში.

#### 4.5. მდინარე რიონის მთის უბნებზე მყარი ნატანის ჩამონადენის

##### გაგრძელებული რიგის მოდელირება.

საქართველოში 1989 წლიდან მიმდინარე პროცესების შესაბამისად მდ. რიონზე პრაქტიკულად ფუნქციონირება შეწყვიტა ჰიდროლოგიურმა სამუშაოებმა. შესაბამისად შეწყდა ჰიდროლოგიური მონაცემები. თუ სადმე ხდებოდა წყვეტილი მონაცემების შეგროვება ნაკლებად საიმედოა და მისი შეტანა ადრე არსებულ რიგებში გამოიწვევს დაკვირვებების მასალების სიზუსტის ცვლილებას. აქედან გამომდინარე საჭირო გახდა ნატურაში დაკვირვება და მოდელირების მეთოდის გამოყენება.

მთის მდინარეთა შეუსწავლელ ან ნაკლებად შესწავლილ უბნებზე წყალსაცავების პროექტირებისას მყარი ნატანის საანგარიშო მახასიათებლები განისაზღვრება ანალოგიის მეთოდით, რაც გულისხმობს განსახილველი მდინარის შესწავლილი და საანგარიშო კვეთების წყალშემკრები აუზების თანაფარდობის მიხედვით მყარი ნატანის ხარჯების თანაფარდობის განსაზღვრას.

$$R_x = R_0 \frac{F_x}{F_0} \quad (4.10)$$

სადაც  $R_x$  და  $R_0$  ნატანის საშუალოწლიური ხარჯები შესაბამისად საანგარიშო და შესასწავლ კვეთებში, კგ/წმ;  $F_x$  და  $F_0$  - მდინარის წყალშემკრები აუზის ფართობები შესაბამის კვეთებში, კმ<sup>2</sup>.

ამ მეთოდის გამოყენებით მთის მდინარეთა მყარი ჩამონადენის საანგარიშო სიდიდეების დადგენის მართებულობის დასაბუთების მიზნით შევასრულეთ მდინარეთა მთისა და მთისწინა უბნებზე ტივტივა ნატანის ჩამონადენის პარამეტრების ანალიზი მდინარის სიგრძის წყალშემკრები ფართობის ცვლილების მიხედვით.

წინამდებარე სამუშაოს შესწავლის მიზანს წარმოადგენს მდ. რიონის

ჰიდროლოგიური მახასიათებლების ცვალებადობა, მიღებული შედეგების საიმედოობის დადგენის და განზოგადების მიზნით.

ანალიზი შესრულდა საქართველოს მდინარეების - ბზიფის, კოდორის, ენგურის, რიონის, აჭარისწყალის, მტკვარის, თეთრი არაგვის, ალაზნის და სომხეთის მდინარე პამბაკის მაგალითზე.

ცხრილი 4.4-ში მოყვანილია ამ მდინარეთა სიგრძეები და წყალშემკრები აუზების ფართობები, აგრეთვე დაკვირვებათა პუნქტების დაშორების მანძილები შესართავიდან და წყალშემკრები აუზის ფართობები ამ კვეთებში. საკვლევი პარამეტრებად შერჩეული იყო შემდეგი პარამეტრები: ვარიაციისა და ასიმეტრიის კოეფიციენტები, 0.1; 1; 5; 10 და 20 % უზრუნველყოფის ტივტივა ნატანის ხარჯები. ცხრილი 4.5-ში მოყვანილია ამ პარამეტრების მნიშვნელობები გამოსაკვლევ კვეთებში, ამასთან ანალიზის დროს მდინარეთა დაბლობის კვეთები გამორიცხული იყო, ხოლო ბოლო კვეთად შერჩეული იყო მთის მონაკვეთის ბოლო კვეთი (თითოეულ მდინარის ბოლო კვეთი 4.4 ცხრილში).

ნახ. 4.11-ზე მდ. რიონის მაგალითზე აგებულია ტივტივა ნატანის ხარჯების უზრუნველყოფის ალბათური მრუდები. ნატურალური წერტილები კარგი დამთხვევაა თეორიულ მრუდთან ადასტურებს შერჩეული  $S_B$  - ჯონსონის განაწილების მრუდის საიმედოობას ნატანის ხარჯების განსასაზღვრავად.

ცხრილი 4.5-ის მონაცემების მიხედვით აგებულია ტივტივა ნატანის პარამეტრების წყალშემკრები ფართობის ცვალებადობასთან დამოკიდებულების გრაფიკები (ნახ 4.12). მოყვანილი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წყალშემკრები ფართობის (მდინარის სიგრძეზე) ცვალებადობის მიხედვით ტივტივა ნატანის ჩამონადენის პარამეტრების ცვალებადობის ხასიათი არ ექვემდებარება ერთიან კანონზომიერებას (ცხრილი 4.5, ნახ. 4.12).

როგორც მდინარეების რიონის, მტკვარის, ენგურის და ბზიფის მაგალითზე ჩანს 0.1 და 1 % უზრუნველყოფის მოდულური კოეფიციენტები იცვლებიან ნახტომისებურად, ხოლო 5; 10 და 20 % უზრუნველყოფის ხარჯების ცვალებადობა ხდება უფრო თანაბრად.

მდ. ალაზანზე, რომელზედაც არსებობს მხოლოდ სამი დაკვირვების პუნქტები, ხარჯების ცვალებადობა თანაბრად, თითქმის წრფივად, ამასთან ისინი მცირდებიან შესართავის მიმართულებით.

მდინარეებისათვის კოდორი, აჭარიწყალი, და თეთრი არაგვი, რომლებზეც მხოლოდ დაკვირვების ორი პუნქტი არსებობს, რამდენადაც ამ მონაცემებით შეიძლება დავასკვნათ, ტივტივა ნატანის ხარჯების ცვალებადობა ექვემდებარება ერთიან კანონზომიერებას, ამასთან 5, 10, და 20 % უზრუნველყოფის მრუდები თითქმის ერთმანეთს ემთხვევა.

ცხრილი 4.5 -დან (სვეტი 3 და 4) ჩანს, რომ ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის მონაცემების მიხედვით მდინარეთა მთის უბნებზე ნატანის საშუალო წლიური ხარჯის ცვალებადობა ხშირად არ არის მდინარის წყალსაცავების ფართის ცვალებადობის პროპორციული, როგორც ეს ანალოგიის მეთოდს უდევს საფუძვლად. ამის მიზეზი ჩვენი აზრით უნდა იყოს მდინარის მთის უბნებზე ტივტივა ნატანის ფორმირების რთული, მრავალ ბუნებრივი ფაქტორზე დამოკიდებული პროცესი და ნატანის ჩამონადენის არაზუსტი გაზომვის სუბიექტური და ობიექტური მიზეზებით. ტივტივა ნატანის ჩამონადენის პარამეტრების საწყისი ჰიდროლოგიური რიგის სიგრძის მიხედვით ცვალებადობის დადგენის მიზნით შევასრულეთ სამი ჰიდროლოგიური რიგის ანალიზი მდინარეებზე: თეთრი არაგვი- სოფ. მლეთა (n=41), მტკვარი სოფ. ხერთვისი (n=39) და სულაკი - სოფ. მიათლი (n=61).

ცხრილი 4.6-ში მოყვანილია ტივტივა ნატანის ჩამონადენის პარამეტრები საწყისი რიგის სიგრძის ცვალებადობის მიხედვით. ამ ცხრილის მონაცემების მიხედვით აგებულია საშუალოწლიური ხარჯების, ასიმეტრიისა და ვარიაციის კოეფიციენტების, 0.1; 1; 5; 10; 20 % უზრუნველყოფის მოდულური კოეფიციენტებისა და საწყისი რიგის სიგრძეებს შორის დამოკიდებულობის გრაფიკები (ნახ. 4.14 ; 4.15).

შესრულებულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ 0.1 და 1 % უზრუნველყოფის მოდულური კოეფიციენტები საწყისი ჰიდროლოგიური რიგის სიგრძის მიხედვით მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, ხოლო 5, 10, და 20 % უზრუნველყოფისა - უმნიშვნელოდ.

საშუალომრავალწლიური ხარჯის სიდიდის საიმედო განსაზღვრისათვის საკმარისია 25 - 30 წლის წყლის რიგის არსებობა. უფრო გრძელი რიგის არსებობისას ხარჯის სიდიდე უმნიშვნელოდ იზრდება.

რაც შეეხება ვარიაციისა და ასიმეტრიის კოეფიციენტებს, მათი ცვალებადობა ჰიდროლოგიური რიგის სიგრძის მიხედვით არ ექვემდებარება გარკვეულ კანონზომიერებას. ნატანის ჩამონადენის ფორმირების ფიზიკური არსიდან

გამომდინარე, რომელიც გამოიხატება მის ციკლორობაში, ამ კოეფიციენტის ცვალებადობა უნდა ექვემდებარებოდეს რაიმე კანონს და ხასიათდებოდეს ციკლორობით. ამის გამოსავლენად, როგორც ჩანს ჩვენს მიერ ხელთ არსებული მონაცემების რაოდენობა ( $n = 40 - 60$ ) არასაკმარისია.

ცხრილი 4.4.

ჰიდრაულიკურ მოდელირებაში მონაწილე მდინარეების ჰიდრაულიკური და ჰიდროლოგიური მახასიათებლები

№№	მდინარე და დაკვირვების პუნქტი	მდინარის სიგრძე, კმ	დაკვირვების პუნქტის დაშორება შესართავიდან	წყალშემკრები ფართობი კმ <sup>2</sup>	
				მდინარის	დაკვირვების
				ს	პუნქტის კვეთში
1	2	3	4	5	6
	მდ.რიონი	327	-	13400	-
	სოფ. უწერა	-	278	-	707
	ქალ. ონი	-	269	-	1060
	სოფ. ხიდიკარი	-	244	-	2010
	სოფ. ალპანა	-	209	-	2830
	სოფ. ნამახვანი	-	176	-	3450
2	მდ. მტკვარი	1364	-	188000	-
	სოფ. ხერთვისი	-	1141	-	4980
	სოფ. მინამე	-	1099	-	8010
	სოფ.ლიკანი	-	1049	-	10500
	სოფ. ძეგვი	-	920	-	18000
3	მდ. ბზიფი	110	-	1510	-
	მდ. რეშავიას შეს.	-	70	-	337
	ქვედა ბეტაგა	-	67	-	507
	მდ.ბავიე	-	63	-	632
	სოფ. ჯირხვა	-	22	-	1410
	ბიჭვინთის ხიდი	-	1,4	-	1510
4	მდ. ენგური	213	-	4060	-
	სოფ. დიზი	-	135	-	1020
	სოფ. ხაიში	-	116	-	2780
	სოფ. ხუბერი	-	94	-	3010
5	მდ. ალაზანი	351	-	11800	-
	სოფ. ბირკიანი	-	342	-	282
	სოფ. ჭიაურა	-	201	-	4539
	მდ. აგრიჩაის შ. 1,7კმ	-	33	-	11600
6	მდ. კოდორი	84	-	2030	-
	სოფ. ლატა	-	50	-	1420
	სოფ. კარჩა	-	6	-	2020
7	მდ. აჭარისწყალი	90	-	1540	-
	სოფ. ხულო	-	60	-	251
	სოფ. ქედა	-	20	-	1360

8	მდ. თეთრი არაგვი	41	-	339	-
	სოფ. მლეთა	-	21	-	107
	სოფ. ფასანაური	-	0,2	-	335
9	მდ. პამბაკი	-	-	-	-
	სოფ. არგუტი	-	126	-	660
	სოფ. მაგრუტი	-	117	-	1070
	სოფ. თურმანიანი	-	92	-	1370

ზემოთ მოყვანილიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მდინარეთა მთის უბნის შეუსწავლელ და ნაკლებად შესწავლილ კვეთებში ტივტივა ნატანის 5, 10, და 20 % უზრუნველყოფის საშუალო წლიური ხარჯების დასადგენად შეიძლება ვისარგებლოთ ანალოგიის მეთოდით, ხოლო 0.1 და 1 % უზრუნველყოფისა და საშუალო წლიური ხარჯების დასადგენად ამ მეთოდის გამოყენება არასაიმედოა და არასაკმარისია, ამიტომ ამ შემთხვევაში საჭიროა დამატებითი კვლევების ჩატარება.

ცხრილი 4.5

მდინარეთა სიგრძეები და წყალშემკრები აუზის ფართობები, დაკვირვებათა პუნქტების დამორების მანძილები შესართავიდან და წყალშემკრები აუზის ფართობები ამ კვეთებში

№	მდინარე დაკვირვების პუნქტი	საშ. წლიური ხარჯი, კგ/წმ	F <sub>x</sub> /F <sub>0</sub>	კოეფიციენტები		მოდულური კოეფიციენტი <i>ki</i>					
				ვარიაციის	ასიმეტრიის	უზრუნველყოფა %					
						0,1	1	5	10	20	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	მდ.რიონის ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. უწერა	12	0,2	0,37	0,39	1,79	1,75	1,65	1,56	1,38	
	ქ. ქიონი	8	0,3	0,75	1,68	5,3	3,8	2,6	2,03	1,48	
	სოფ. ხიდკარი	40	0,53	0,6	0,31	2,38	2,3	2,16	1,97	1,61	
	სოფ. ალპანა	49	0,82	0,77	3,54	10,26	4,98	2,68	1,97	1,38	
	სოფ.ნამახვანი		1,0	0,61	2,1	6,9	4,0	2,46	1,9	1,41	
2	მდ. მტკვარი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ.ხერთვისი	3,9	0,28	0,49	2,27	8,8	5,1	2,95	2,1	1,47	
	სოფ. მინამე	3,1	0,44	1,8	3,39	7,3	6,2	3,9	2,6	1,4	
	სოფ. ლიკანი	38	0,58	0,68	0,94	3,27	3,0	2,5	2,13	1,63	
	სოფ. ძეგვი	160	1,0	0,67	2,1	6,5	4,04	2,5	1,93	1,41	
3	მდ. ბზიფი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	მდ. რეშავიას შესართავი	1,7	0,22	0,64	0,9	2,78	2,67	2,2	1,94	1,52	
	ქვედა ბეტაგა	3,2	0,33	0,6	1,38	4,4	3,27	2,3	1,9	1,45	
	მდ.ბავიუ	5,6	0,42	0,47	1,38	3,88	2,98	2,17	1,8	1,42	
	სოფ. ჯირხვა	12	0,93	0,53	0,59	2,29	2,1	1,99	1,8	1,5	
	ბიჭვინთის ხიდი	23	1,0	0,49	1,29	3,8	2,9	2,1	1,8	1,4	

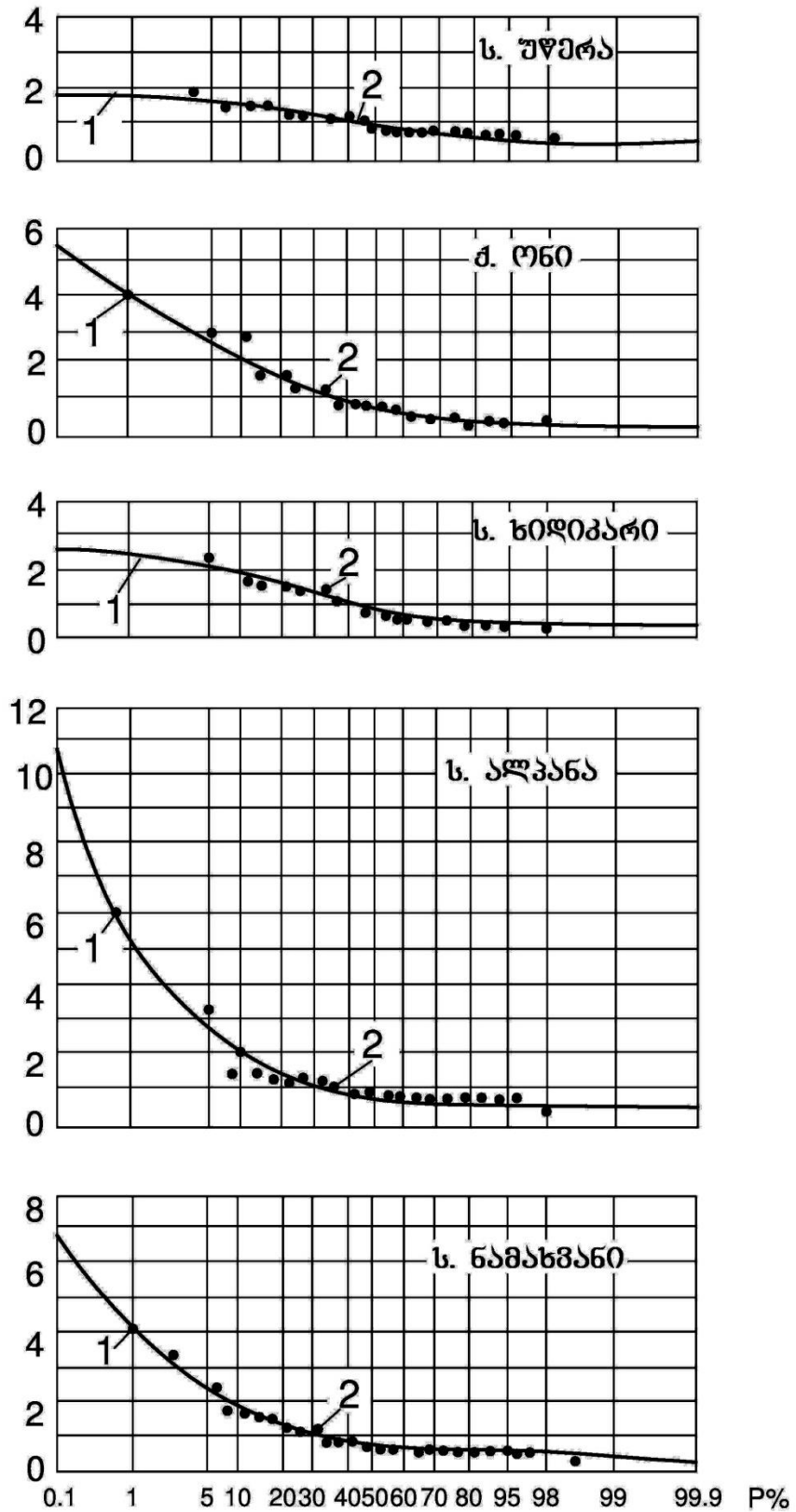
4	მდ. ენგური ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. დიზი	42	0,53	0,35	1,51	3,4	2,6	1,9	1,6	1,3	
	სოფ. ხაიში	37	0,92	0,43	0,50	2,1	2,0	1,8	1,67	1,43	
	სოფ. ხუბური	74	1,0	0,5	1,1	2,0	2,5	2,0	1,7	1,4	
5	მდ. ალაზანი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. ირკიანი	3,8	0,02	0,75	1,65	5,56	3,97	2,67	2,1	1,5	
	სოფ. ჭიაურა	59	0,39	0,66	0,42	4,7	3,4	2,4	1,93	1,46	
	მდ. აგრიჩაის შესართავი დან 1,7 კმ	240	1,0	0,46	0,18	2,4	2,0	1,8	1,7	1,47	
6	მდ. კოდორი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. ლატა	28	0,7	0,7	1,35	4,7	3,8	2,7	2,2	1,6	
	სოფ. ვარჩა	31	1,0	0,51	2,50	7,9	4,2	2,48	1,9	1,4	
7	მდ. აჭარისწყალი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. ხულო	4,8	0,18	0,6	1,54	4,4	3,2	2,2	1,8	1,4	
	სოფ. ქედა	11	1,0	0,67	1,44	4,3	3,36	2,4	1,95	1,47	
8	მდ.თეთრი არაგვი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. მლეთა	5,34	0,32	0,58	2,51	11,2	6,0	3,3	2,4	1,57	
	სოფ.ფასანაური	12,0	1,0	1,58	3,71	22,8	9,0	3,9	2,47	1,40	
9	მდ. პამბაკი ჰიდროლოგიური საგუშაგოები										
	სოფ. არგუტი	2,4	0,48	0,86	1,4	4,75	4,0	2,95	2,33	1,65	
	სოფ.მეგრუტი	5,0	0,78	0,79	1,49	4,85	3,88	2,77	2,2	1,56	
	სოფ. თუმანიანი	4,9	1,0	0,65	1,45	4,8	3,46	2,4	1,9	1,46	

ცხრილი 4.6

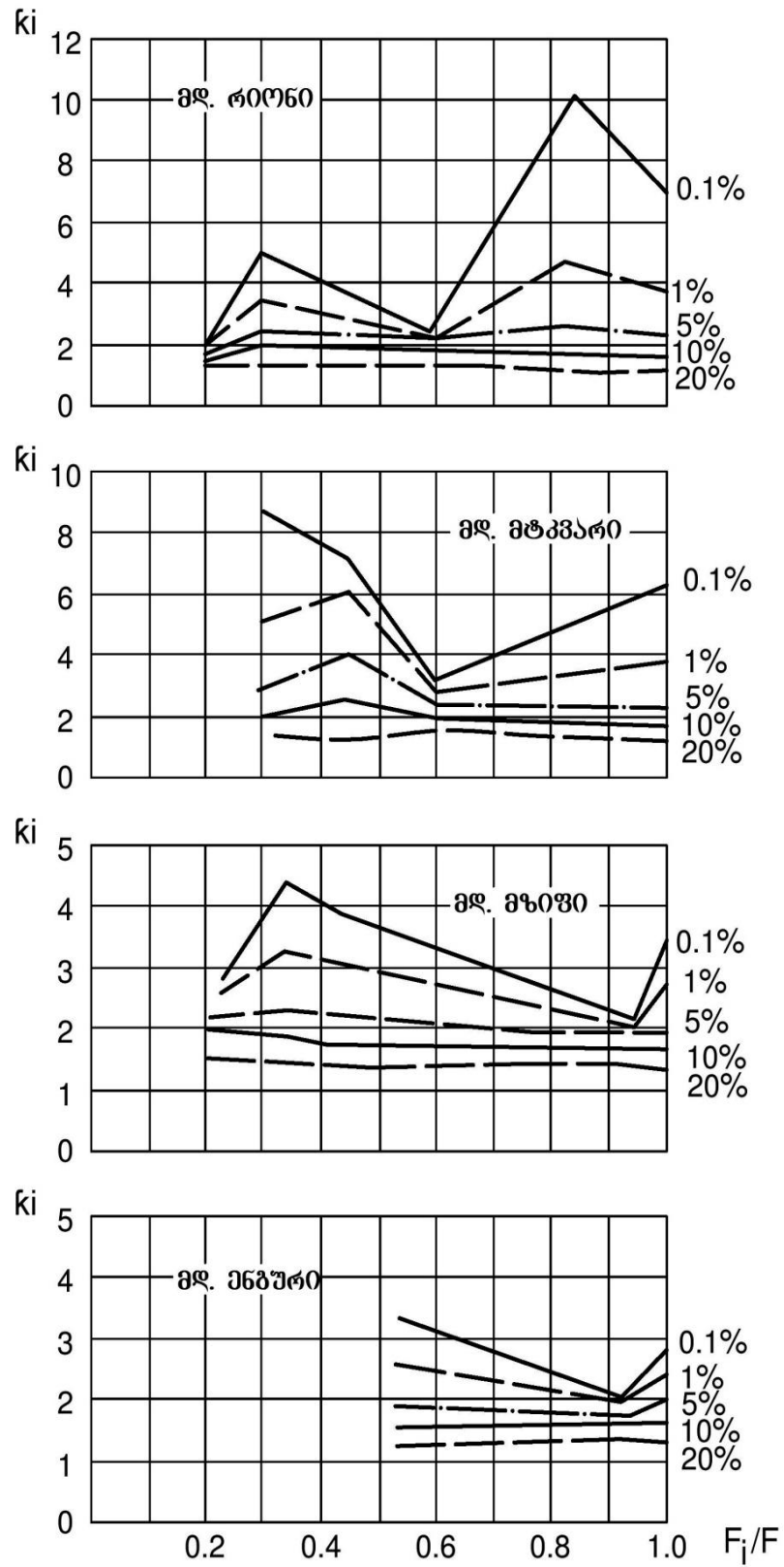
ვარიაციისა და ასიმეტრიის კოეფიციენტები, 0,1; 1; 5; 10 და 20 % უზრუნველყოფის ტივტივა ნატანის ხარჯების პარამეტრები

№	მდინარე ზე	რიგი სიგრძე	საშ. წლიური ხარჯ კგ/წმ	კოეფიციენტი		მოდულური კოეფიციენტი				
				ვარიაციის	ასიმეტრიის	უზრუნველყოფა %				
						0,1	1	5	10	20
1	თ.არაგვი	17	0,8	0,94	2,76	10,87	5,4	2,87	2,1	1,5
		27	0,7	1,03	2,46	10,42	6,14	3,4	2,4	1,57
		37	0,7	0,91	2,45	10,71	6,14	3,42	2,42	1,57
		41	0,7	0,88	2,51	11,2	6,0	3,3	2,4	1,57
2	მტკვარი	13	2,7	1,72	3,28	7,66	6,07	3,85	2,7	1,59
		23	3,7	1,13	2,36	8,83	5,9	3,45	2,46	1,54
		33	3,7	0,99	2,43	9,86	5,43	3,02	2,19	1,48
		39	3,8	0,94	2,27	8,79	5,1	2,94	2,15	1,47
3	სულაკი	10	560	0,51	0,98	8,04	2,6	2,08	1,78	1,43
		20	538,5	0,41	1,12	3,05	2,49	1,94	1,66	1,36
		30	480,3	0,44	1,17	3,14	2,57	1,99	1,69	1,37
		40	494,9	0,51	1,62	4,86	3,37	2,27	1,81	1,37
		50	511,0	0,48	1,51	3,97	2,98	2,14	1,76	1,37
		61	468,8	0,52	1,56	4,23	3,1	2,19	1,78	1,38

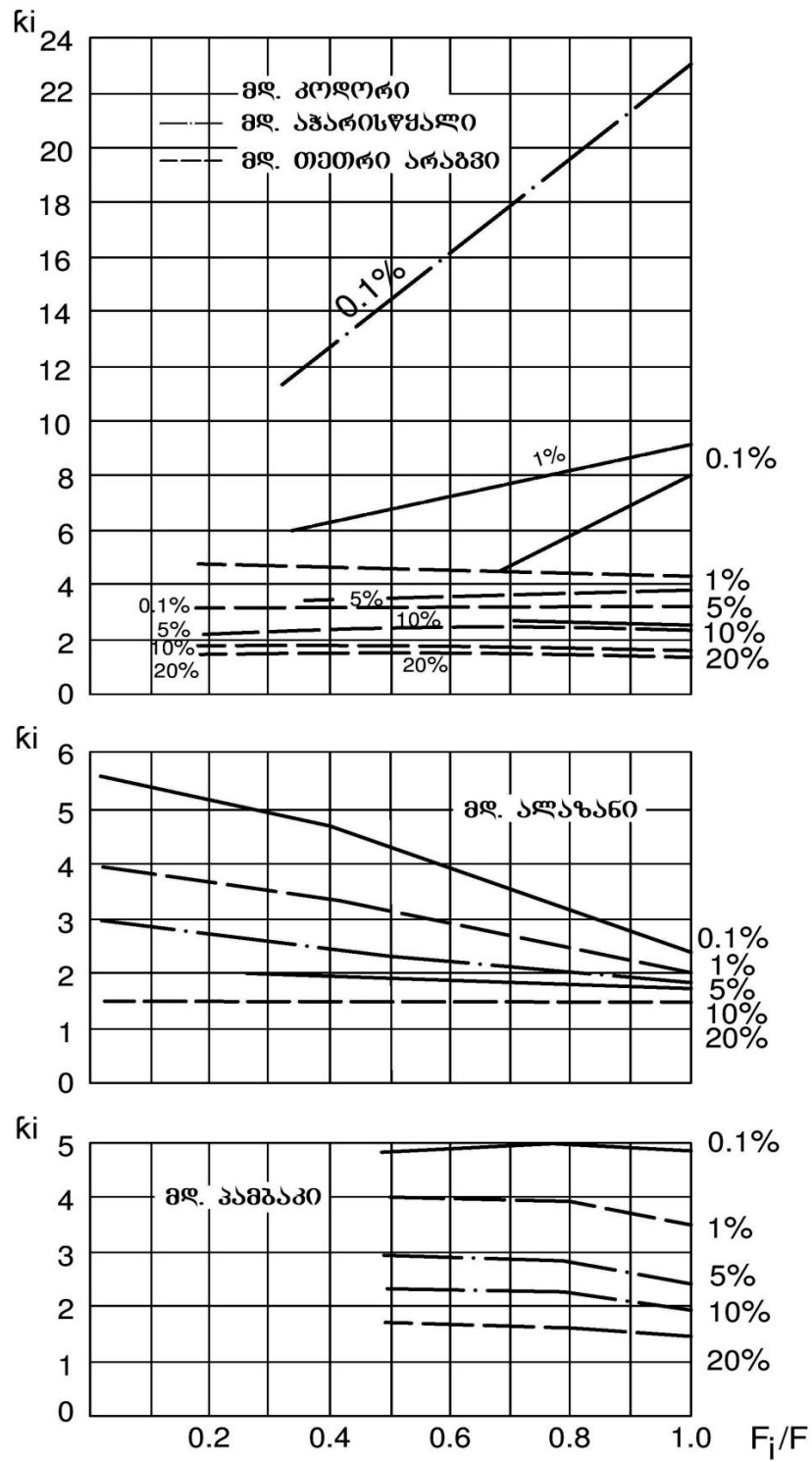




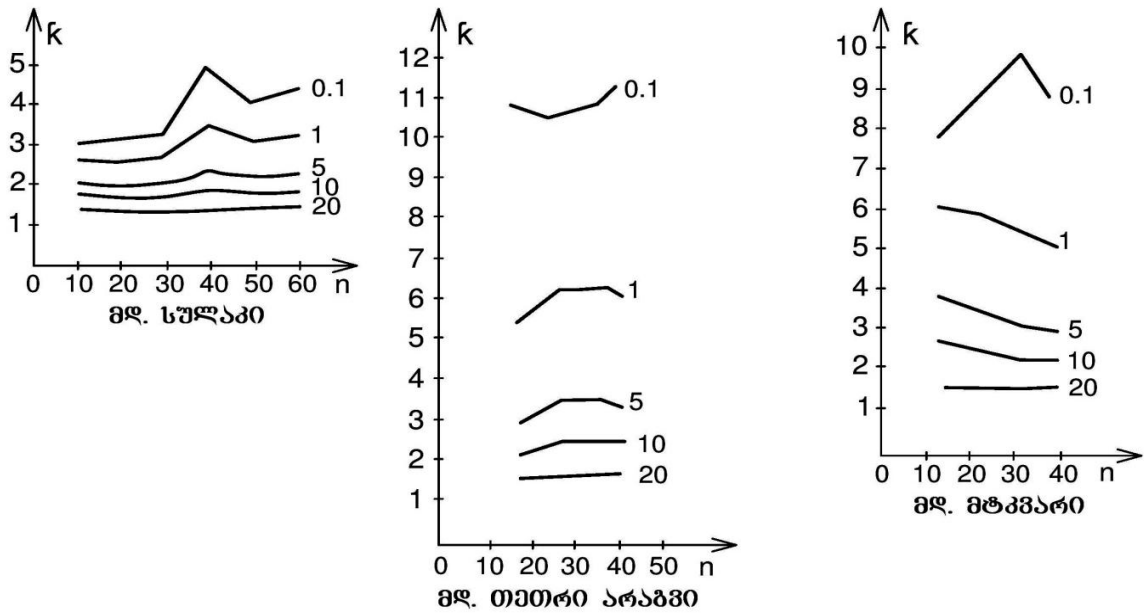
ნახ.4.10. მდ. რონის ტიპტივა ნატანის საშუალო წლიური ხარჯის უზრუნველყოფის თეორიული მრუდი 1 და • ნატურული წერტილები



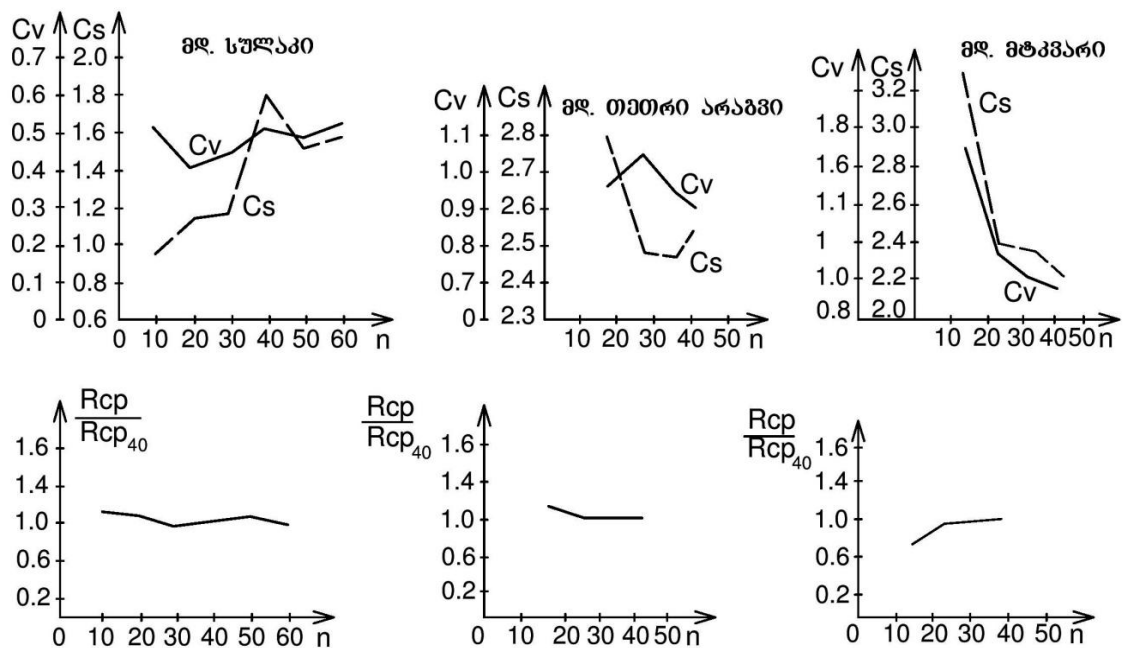
ნახ. 4.11. ტივტივა ნატანის ხარჯის მოდულური კოეფიციენტები კოეფიციენტები და წყალშემკრები ფართობების დამოკიდებულებების მრული



ნახ.4. 12 ტიპის ნატანის ხარჯის მოდულური კოეფიციენტებისა და წყალშემკრები ფართობების დამოკიდებულებების მრუდები



ნახ. 4.13. ტივტივა ნატანის ხარჯების მოდულური კოეფიციენტების საწყისი რიგის სიგრძესთან დამოკიდებულების მრუდი



ნახ. 4.14. ტივტივა ნატანის საშუალო წლიური ხარჯების მოდულური კოეფიციენტების, ასიმეტრიისა და ვარიაციის კოეფიციენტების საწყისი რიგის სიგრძესთან დამოკიდებულების მრუდი

ნახ. 4.15-ზე და ნახ. 4.16.-ზე წარმოდგენილია მდ.რიონის ფსკერული ნატანის გრანულომეტრიული შემადგენლობა რიონჰესის წყალსაცავისა და ვარცისის წყალსაცავების მონაკვეთზე. მუყაოს ფურცელი წარმოადგენს მასშტაბს და სინჯის აღების ნომერს. პასტით შემოხაზული მართკუთხედის გვერდის ნამდვილი ზომაა 10 სმ. ამ სურათით შეიძლება ფიტოგრაფული მეთოდით განვსაზღვროთ 32 სინჯის გრანულომეტრიული შემადგენლობა.



ნახ. 4.15. მდ. რიონის გრანულომეტრიული შემადგენლობა



ნახ. 4.16. მდ. რიონის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

## თავი 5. მრავალმიზნობრივი დანიშნულების წყალსამეურნეო წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდები

### 5.1. წყალსაცავების სისტემების მოლამვის წინააღმდეგ ბრძოლის მეთოდი

წყალსაცავის გარეცხვა დალექილი მყარი ნატანისაგან რთული პროცესია. იგი გაჟღენთილი ნაკადის კონცენტრაციაა, ხოლო გარეცხილი მასალის რაოდენობა შეფასდება წყალსაცავში ფსკერიდან გარეცხვის პროცესში ატივტივებული დალექილი მყარი ნატანის მასით.

წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის მყარი ნატანის ნალექისაგან გასათავისუფლებლად ახდენენ წყალსაცავის ჰიდრაულიკურ გარეცხვას, რომელიც მიმდინარეობს დონის მკვეთრი დაწევით და წყალსაცავის დაცლით.

სურ.5.1-5.4-ზე წარმოდგენილია 2016 წლის 21-23 მაისი გუმათჰესისა და რიონჰესის წყალსაცავების გარეცხვის მიმდინარეობის დროს კალაპოტური პროცესები. გუმათის წყალსაცავის გარეცხვის დროს კალაპოტში არსებული ორი კუნძულიდან ერთი წაირეცხა მთლიანად, მეორე კი ნაწილობრივ. წყალსაცავის ფსკერი დავიდა 180 ნიშნულზე, რაშიც დიდი დამსახურება მიუძღვის სიღრმით გამრეცხვებს. რიონჰესის წყალსაცავის გარეცხვის დროს ძირითადად გაირეცხა მდინარის კალაპოტი.



სურ. 5.1. გუმათის წყალსაცავის გარეცხვის პირველი დღე



სურ. 5.2. გუმათის წყალსაცავის გარეცხვის მესამე დღე.



სურ. 5.3. რიონჰესის წყალსაცავის გარეცხვის მეორე დღე.



ნახ. 5.4. რონჰესის წყალსაცავის გარეცხვის მეორე დღე.

წყალსაცავის გარეცხვის პროცესზე დაკვირვებასთან დაკავშირებით ვიღებთ შემდეგ საანგარნიშო მოდელს: პრაქტიკულად ნატანისაგან თავისუფალი წყალი შედის მართკუთხა კვეთის კალაპოტში და აატივტივებს ფსკერიდან მყარ ნატანს მანამდე, სანამ არ გაიჟღენთება. ამოცანის ამოსახსნელად ვიყენებთ დიფუზიის განტოლებას.

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial(\omega C)}{\partial c} - \frac{\partial C}{\partial t} \quad (5.1)$$

სადაც  $\omega$  და  $C$  - დროში გასაშუალოებული ჰიდრავლიკური სიმსხო და მყარი ნატანის კონცენტრაციაა;

$K_x$  და  $K_y$  - დიფუზიის კოეფიციენტებია  $x$  და  $y$  მიმართულების შესაბამისად;

$U$  - დროში გასაშუალოებული ადგილობრივი სიჩქარეა.

თუ იგულისხმება, რომ სიჩქარე  $U$  თანაბრად არის განაწილებული მთელ კვეთში და ჰიდრავლიკური სიმსხო მთელ კვეთში მუდმივია, ხოლო დიფუზიას  $x$ -ის მიმართულებით უგულებელვყოფთ,  $K_x = 0$ , მაშინ:

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \omega \frac{\partial C}{\partial y} \quad (5.2)$$

ტურბულენტური გაცვლის კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგნაირად:



$$Ky = \beta \alpha y u_* \cdot \left(1 - \frac{y}{h}\right) \quad (5.3)$$

სადაც  $h$  - ნაკადის სიღრმეა;

$i$  - ფსკერის ქანობი;

$\alpha$  - კარმანის კოეფიციენტი;

$y$  - მანძილი საანგარიშო ფენამდე;

$\beta$  - მყარი ნატანის დიფუზიის კოეფიციენტის ფარდობა მოძრაობის რაოდენობის გადატანის კოეფიციენტთან;  $u_* = \sqrt{ghi}$

(5.1) განტოლებაში უგანზომილებო პარამეტრების შეტანით:

$$C = \frac{c}{C_a}; \quad Y = \frac{y}{a}; \quad \varepsilon = \frac{\beta \alpha u_*}{U}; \quad \frac{\varepsilon x}{h} = X; \quad \frac{\omega}{\beta \alpha u_*} = \lambda \quad (5.4)$$

და მარტივი გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \lambda \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ y(1-y) \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right]$$

(5.5)

აქ  $C_a$  - კონცენტრაციის მნიშვნელობაა  $y = a$  სიღრმეზე.

სასაზღვრო პირობებია:  $x = 0; \quad C = 0. \quad x \geq 0; \quad y = 1; \quad C = 0.$

$$x < 0; \quad y = A = \frac{a}{h}; \quad C = 1.$$

აქ  $a$  - ნაკადის ფსკერის ფენის სისქეა და მიიღება ჩვეულებრივად  $0,05h$ -ის ტოლი.

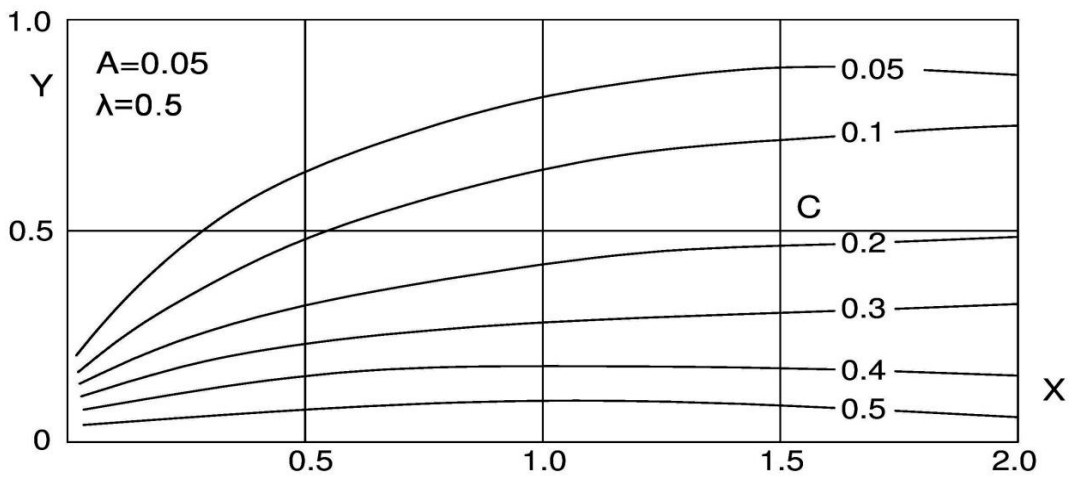
ზემოთქმულიდან ჩანს, რომ ასეთნაირად დასმული ამოცანის ამოხსნა შეიძლება გამოყენებულ იყოს მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების გარეცხვის პროცესის ანგარიშისათვის.

ამოხსნის მისაღებად ამერიკელმა ინჟინრებმა ალენ ხინფლელტმა და ჩარლზ სენანმა გამოიყენეს შტურ-დიუვილისა და კომპლექსურად განცალკავების მეთოდები. ზოგადი ამოხსნა გამოსახულ იქნა ჰიპერგეომეტრიული ფუნქციის სახით. კერძო ამონახსნები მიღებული იყო ნატანით გაჟღენთილი და დაუტვირთავი ნაკადისათვის. ამით მათ მიეცათ ამოხსნების რიცხვითი ანგარიშებისათვის მოსახერხებელი ფორმით წარმოდგენის, მანქანაზე ანგარიშისა და შედეგების ანალიზის საშუალება.

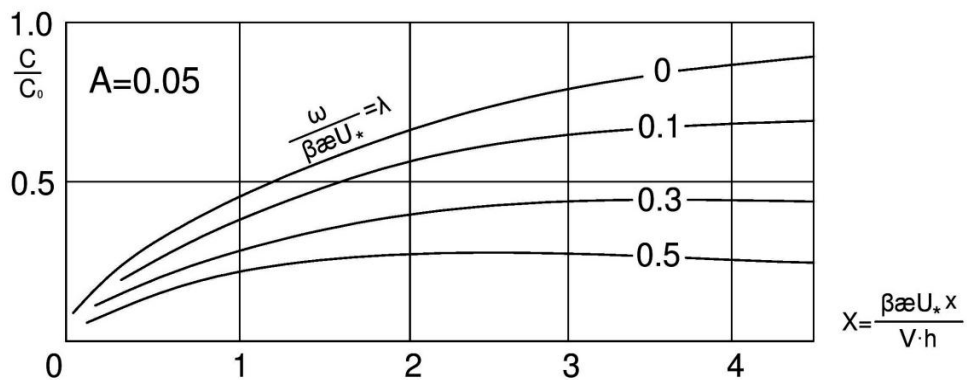
ნახ.5.5-ზე წარმოდგენილია კონცენტრაციის განაწილება სიღრმისა და მანძილის მიხედვით. აქ მრუდები, რომლებიც შეესაბამება კონცენტრაციის სხვადასხვა მნიშვნელობას  $C = c/C_a$ , კოორდინატა ღერძის დასაწყისში მიმართული არიან თითქმის ვერტიკალურად, ხოლო დასაწყისიდან რაღაც მანძილზე ხდებიან ჰორიზონტალურები. ეს ის წერტილებია, სადაც ნაკადის ესა თუ ის შრე იჟღენთება ნატანით.

ზოგიერთი ანგარიშისათვის, როდესაც არ არის საჭირო კონცენტრაციის განაწილების დაზუსტება სიღრმის მიხედვით, მოცემულია მრუდები (ნახ. 5.6) მანძილის მიხედვით, უგანზომილებო საშუალო კონცენტრაციის განსასაზღვრად.

ნახ. 5.7-ზე მოცემულია მრუდი, რომლის მეშვეობითაც დგინდება მანძილი, რომელზედაც დამყარდება წონასწორობის კალაპოტი P % სიზუსტით.



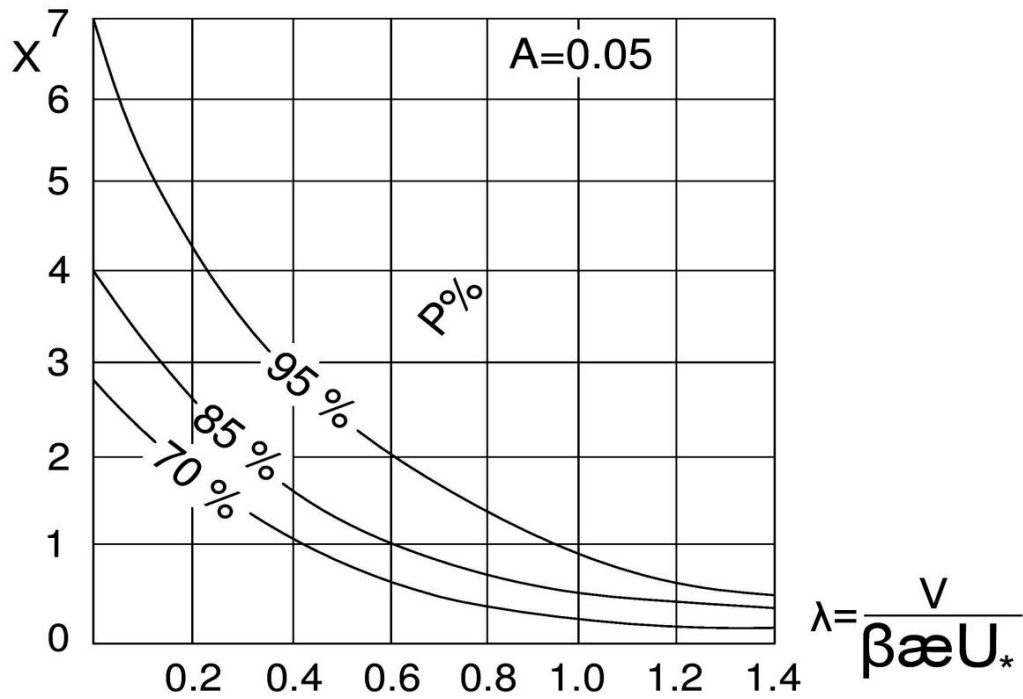
ნახ.5.5 კონცენტრაციის განაწილება სიღრმისა და მანძილის მიხედვით



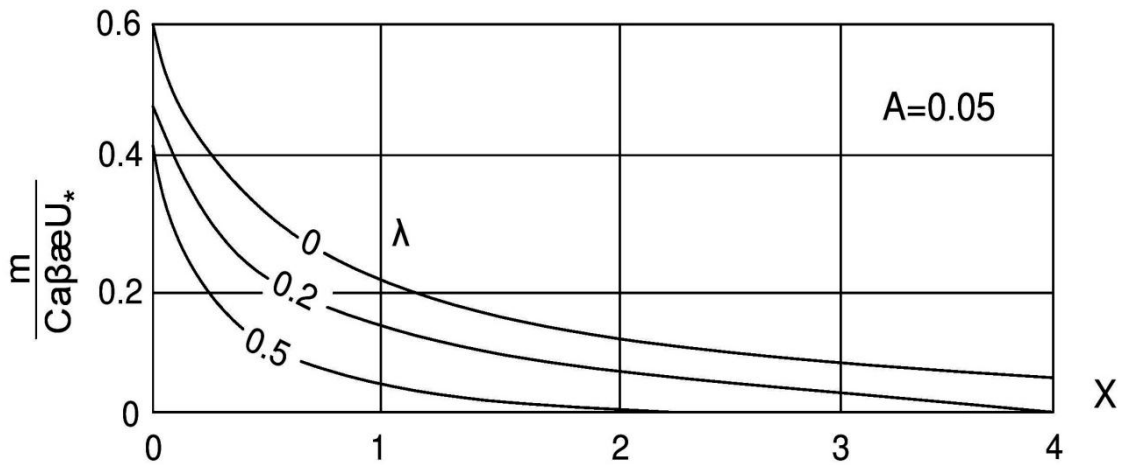
ნახ.5.6 უგანზომილებო საშუალო კონცენტრაციის განსასაზღვრავად

ნახ. 5.8 მრუდების საშუალებით დგინდება კალაპოტის გარეცხვის სიჩქარე ანუ ნაკადის ნატანით დატვირთვის ინტენსიურობა, რომელიც განისაზღვრება როგორც

ნაწილაკების ის მასა (m), რომელიც ატივტივდება ზედაპირიდან დროის ერთეულში, (t).



ნახ. 5. 7 მოცემულია მრუდი, რომლის მეშვეობითაც დგინდება მანძილი, რომელზედაც დამყარდება წონასწორობის კალაპოტი P % სიზუსტით.



ნახ. 5. 8. მრუდის საშუალებით დგინდება კალაპოტის გარეცხვის სიჩქარე ანუ ნაკადის ნატანით დატვირთვის ინტენსიურობა.

ამ ნახაზებით ანგარიშის ჩატარება მოითხოვს გამრეცხი ხარჯის გატარების დროს კალაპოტში დამყარებული  $h$  სიღრმის დადგენას და ნაკადის ფსკერული ფენის ზედაპირზე  $C_a$  კონცენტრაციის ცოდნას. კალაპოტის წონასწორობის მდგომარეობა განისაზღვრება  $u_* / v$  და  $\omega / u_*$  სიდიდეებით. ყოველივე ამ სიდიდეების დადგენის

შემდეგ გრაფიკების გამოსაყენებლად აუცილებელია  $\beta$  და  $\alpha$  სიდიდეების ცოდნა.

ჩატარებულმა დაკვირვებებმა წყალსაცავების გარეცხვის პროცესზე ცხადყო, რომ გამრეცხი ნაკადი პულპას წარმოადგენს და ამიტომ მისი ანგარიშისას უნდა მივიღოთ  $\beta = 1$ .

მაგალითად: ლაჯანურის წყალსაცავში ერთ-ერთი გარეცხვის დროს ტრანსპორტირებული მყარი ნატანის საშუალო დიამეტრი იყო 0.006 მმ, ხოლო კონცენტრაცია 100 გ/ლ, გამრეცხი ნაკადის სიმღვრივის 50 %-ს შეადგენს მცირე ზომის ნაწილაკები დიამეტრით  $d < 0.005$  მმ, რაც ადასტურებს ზემოთქმულს.

რაც შეეხება კარმანის კოეფიციენტის მნიშვნელობას როგორც აჩვენა კუტავაიას ცდებმა,  $\alpha$  დამოკიდებულია  $\frac{C\omega}{u_*} \cdot \frac{\gamma_2 - \gamma}{\gamma}$  სიდიდეზე,  $u_*$  - დინამიკური სიჩქარეა,  $\gamma_2$  - მღვრიე ნაკადის კუთრი წონაა,  $\gamma$  - წყლის კუთრი წონაა. ჰიდრავლიკური სიმსხოს მცირე მნიშვნელობისათვის ეს სიდიდე საკმაოდ მცირეა, ასეთ შემთხვევაში კი  $\alpha$  -ს მნიშვნელობა 0.4-ის ტოლია.

ზემოთ ჩამოყალიბებული მეთოდიკით განვსაზღვრავთ რიონის კასკადის წყალსაცავებში გამრეცხი ნაკადის გარეცხილი მასალებით გაჟღენთვის ადგილს. წყალსაცავების გათვალისწინებული გარეცხვის მონაცემების მნიშვნელობები: ლაჯანურის წყალსაცავისათვის - 30 მ<sup>3</sup>/წმ; ალპანის კვეთისათვის - 70 მ<sup>3</sup>/წმ; გუმათის წყალსაცავისათვის 100 - მ<sup>3</sup>/წმ; ვარციხე ჰესის წყალსაცავისათვის - 180 მ<sup>3</sup>/წმ.

გამრეცხი ტრანშეის ფსკერის ქანობი შეადგენს ლაჯანურის წყალსაცავში  $i = \frac{10}{2000} = 0,005$ ; გუმათის წყალსაცავში  $i = \frac{199 - 194}{7000} = 0,0007$  და ვარციხის წყალსაცავში  $i = \frac{48}{2000} = 0,002$ . გამრეცხი ნაკადის სიგანე Takasu (იაპონიას) მიხედვით მთის წყალსაცავებისათვის შემდეგი რიგისაა.

$$B = (5 + 7)Q^{\frac{1}{2}}$$

სიმქისის კოეფიციენტი  $n = 0.025$ , ვინაიდან მყარი ნატანის ნალექის უმეტესი ნაწილი თიხისა და ლამისაგან შედგება, დამატებითი წინააღმდეგობის წარმოქმნა რელიეფის გამო მოსალოდნელი არ არის. გამრეცხი ნაკადის სიღრმე შეზის ფორმულის მიხედვით უდრის:

$$Q = B \cdot h \cdot C \sqrt{hi}; \quad C = \frac{1}{n} h^{\frac{1}{6}} \quad (5.6)$$

მყარი ნატანის საშუალო ჰიდრავლიკური სიმსხო

ლაჯანურის წყალსაცავისათვის ( $d=0,006$  მმ) ტოლია  $0.00003$  მ/წმ;

გუმათის წყალსაცავისათვის ( $d=0,08$  მმ),  $\omega = 0,005$  მ/წმ.

ვარციხის წყალსაცავისათვის ( $d=0,02$  მმ),  $\omega = 0,007$  მ/წმ.მ/წმ.

გამრეცხი ნაკადის პარამეტრების ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრილში:

ცხრილი 5.1

გამრეცხი ნაკადის პარამეტრების ანგარიშის შედეგები

წყალსაცავი	Q მ <sup>3</sup> /წმ	i	B, მ	h, მ	v, მ/წ	$\omega$ , მ/წმ	d, მმ	u*მ/წმ	$\varepsilon$	$\lambda$
ლაჯანური	30	0,005	27	0,6	2	0,00003	0,006	0,17	0,034	0,0004
გუმათი	100	0,0007	50	1,4	1,45	0,005	0,08	0,1	0,028	0,12
ვარციხე	180	0,002	67	1,2	2,0	0,0007	0,028	0,155	0,031	0,011

გრაფიკის გამოსაყენებლად (ნახ.5.3)  $\varepsilon$  და  $\lambda$  მნიშვნელობები მოყვანილია 5.1 ცხრილის ბოლო სვეტებში  $\varepsilon = \beta \alpha u_* / \nu$  და  $\lambda = W / \beta \alpha u_*$   $\lambda = \omega / \beta \alpha u_*$ . ამ სიდიდეების მიხედვით 5.3 გრაფიკზე  $X = 3$  შესაბამისად, მანძილი, რომელზედაც გაჟღენთვა მიაღწევს 70 %-ს .

$$x = \frac{X \cdot h}{\varepsilon} = 53 \text{ მ}$$

ანალოგიურად 85 % გაჟღენთვას ნაკადი მიაღწევს 70 მ მანძილზე; 95 %-ს კი 123 მ მანძილზე. გუმათის წყალსაცავისათვის შესაბამისად მიღებულია შემდეგი მანძილები.

$$X_{70\%} = 110; \quad X_{85\%} = 160 \text{ მ}; \quad X_{95\%} = 250 \text{ მ}.$$

ვარციხისათვის კი:

$$X_{70\%} = 116 \text{ მ}; \quad X_{85\%} = 155 \text{ მ}; \quad X_{95\%} = 270 \text{ მ}.$$

ყველა ეს მანძილები გაცილებით მცირეა, ვიდრე გამრეცხი ნაკადის სიგრძე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ გამრეცხი ნაკადი აღწევს გაჟღენთვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ან გამრეცხი ნაკადის სიმღვრივე გარეცხვის დროს მაქსიმალურია. დროთა განმავლობაში გამრეცხი ნაკადის გარეცხილი მასალებით გაჟღენთვის კვეთი

კაშხალისაკენ გადაადგილდება და მიაღწევს რა კაშხალის კვეთს, წყდება გარეცხვა და სიმღვრივე მცირდება. ასეთი კანონზომიერება დასტურდება ჩემს მიერ ჩატარებული გაზომვებით.

## 5.2 მდინარე რიონის აუზის წყალსაცავების კასკადებისის ჰიდრავლიკური გარეცხვის ანგარიშის წარმოების და შესასრულებელი ოპერაციების კვლევა

წყალსაცავების ღრმა ჰიდრავლიკური გარეცხვის მიზნით შეიქმნა აუცილებლობა ისე ჩატარებულიყო გარეცხვა, რომ მოხერხებულიყო მყარი ნატანის მაქსიმალური გატანა წყალსაცავიდან. ამისათვის ლაჯანურის წყალსაცავის დაცლის დროს არ ხდება გამრეცხების გახსნა, რომ შედარებით სუფთა წყლით გაირეცხოს გუმათის, რიონის და ვარციხის წყალსაცავები. შემდგომ კი როცა წყალსაცავი დაიცლება და გაიხსნება ლაჯანურის გამრეცხები, წყალსაცავის გარეცხვის მასალები ტრანზიტით გაივლის ქვემოთმდებარე წყალსაცავებს, მყარი ნატანის ნალექებში წარმოქმნილ კალაპოტში.

ტივტივა ნატანის განხილვის დროს გარდა საშუალო სიმღვრივისა, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა ენიჭება აგრეთვე ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობას, ან იმ მაქსიმალურ (ზღვრულ) სიმღვრივის განზომილებას, რომელიც ნაკადს შეუძლია ჰქონდეს მოცემულ ჰიდრავლიკურ პირობებში.

ლიტერატურაში ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობის გამოთვლის მრავალი ემპირიული ფორმულა არსებობს (ე. ზამარინის, ვ. გონჩაროვი, ა. გოსტუნსკის, პ. მიხევეის).

გამრეცხი ნაკადის სიმღვრივის დასადგენად ჩემს მიერ შემოთავაზებულია შემდეგი ფორმულა:

$$\rho = 8.97 \frac{v^3}{R \cdot \omega} , \quad (5.7)$$

სადაც,  $v$  - ნაკადის დინების საშუალო სიჩქარეა; მ/წმ

$R$  - ჰიდრავლიკური რადიუსი, მ

$\omega$  - ტივტივა ნატანის ჰიდრავლიკური სიმსხოს საშუალო შეტივნარებული სიდიდე, მ/წმ, რომელიც თავის მხრის გამოითვლება ფორმულით:

$$\omega = \frac{\sum \omega_i P_i}{100}$$

სადაც  $P_i$  - ტივტივა ნატანში შემავალი ცალკეული ფრაქციის (წონით აღებული) პროცენტული რაოდენობა:

$\omega_i$  - ნატანში შემავალი ცალკეული ფრაქციის ნაწილაკების საშუალო ჰიდრავლიკური სიმსხოა.

ლაჯანურის წყალსაცავში მიღებულია მყარი ნატანის შემდეგი შემადგენლობა:  $\bar{d} = 0.005$  მმ - 50 %;  $\bar{d} = 0.01$  მმ - 25 %;  $\bar{d} = 0.055$  მმ - 25 %. შესაბამისად ჰიდრავლიკური სიმსხობის  $\omega = 0.00003$ ; 0.0003 და 0.003 მ/წმ. საშუალოშეწონილი  $\omega_{საშ} = 0.0008$  მ/წმ. (5.7) ფორმულის მიხედვით:

$$\rho = 8.97 \cdot \frac{8.026756}{0.6 \cdot 0.0008} = 150000 \text{ გ/მ}^3$$

ან 150 გ/ლ-ში. ნაკადის ასეთი სიმღვრივე მიღებული იყო ნ.პ. შმალცელის მიერ [141], ლაჯანურის წყალსაცავის 30 მ<sup>3</sup>/წმ-ში ხარჯით გარეცხვის დროს.

გამრეცხი ნაკადის მდინარე რიონში შესვლის ადგილას ხდება ორი ნაკადის შეერთება და სიმღვრიე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\rho = \frac{\rho_{\text{გ}} \cdot Q_{\text{გ}} + \rho_{\text{რ}} \cdot Q_{\text{რ}}}{Q_{\text{გ}} + Q_{\text{რ}}} \quad (5.8)$$

თუ მდინარე რიონში სიმღვრივე იყო 1 გ/ლ, ხოლო ხარჯი 70 გ/წმ, მაშინ მივიღებთ:

$$\rho = \frac{150 \cdot 30 + 1 \cdot 70}{30 + 70} = \frac{450 + 70}{100} = 45 \text{ გ/ლ}, \quad (5.9)$$

ვარციხის წყალსაცავში მყარი ნატანის ნალექის საშუალო დიამეტრი  $d = 0.25$  მმ, ჰიდრავლიკური სიმსხო  $\omega = 0.0007$  მ/წმ. (5.7) ფორმულის თანახმად

$$\rho = 85 \text{ გ/ლ}$$

ასეთი სიმღვრივე მრავალჯერ იყო აღრიცხული ვარციხის წყალსაცავის გარეცხვის დროს [4,5].

გარეცხვის პროგრამის შესადგენად აუცილებელია განისაზღვროს ალპანიდან გუმათში და გუმათიდან ვარციხეში მისვლის დრო. მანძილი ალპანიდან გუმათამდე

37 კმ-ია, ხოლო მათ შორის საშუალო სიჩქარე გრაფიკის მიხედვით 100 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯის დროს 1.5 მ/წმ, ხოლო 150 მ<sup>3</sup>/წმ ხარჯის დროს – 1.9 მ/წმ, ამიტომ თუ არსებული ხარჯის დროს გუმათამდე მისვლის დრო შეადგენდა 7 საათს, მაშინ ლაჯანურის წყალსაცავის დაცლისას და ამით ხარჯის გაზრდის გამო ეს დრო 6 საათის ტოლი იქნება. თითქმის ასეთივე დრო დაჭირდება წყლის ტალღას ვარციხის წყალსაცავამდე მისასვლელად. თუმცა მანძილი გუმათიდან ვარციხემდე 25 კმ-ია, სიჩქარე ქანობის შემცირების გამო მცირდება 1.5-ჯერ და 170 მ<sup>3</sup>/წმ-ში ხარჯისათვის ამ მანძილის გასავლელად საჭიროა 5 საათი.

სანამ მოვიყვანდეთ რიონის კასკადის გარეცხვის სქემას, წარმოვადგენთ ცხრილის სახით წინათ ჩატარებული გარეცხვების გამოცდილების შედეგებს (ცხრილი 5.2).

ამ შედეგების გათვალისწინების გამო გარეცხვების მეთოდოლოგია რამდენჯერმე იყო შეცვლილი. წინა გარეცხვებიდან განსხვავებით ახლანდელ გარეცხვის სქემაში მიღებულია გუმათის წყალსაცავის გარეცხვა ჯერ არსებული ხარჯით, ხოლო შემდეგ კი ლაჯანურის დაცლის გამო გაზრდილი ხარჯით.

ცხრილი 5.2

ჩატარებული გარეცხვების გამოცდილების შედეგები

წყალსაცავი	$\frac{\rho_{max}}{\rho_{საშ}}$ კგ/მ <sup>3</sup>	$\frac{Q_{max}}{Q_{საშ}}$ მ <sup>3</sup> /წმ	$\frac{W_{გარეცხ}}{W_{საშ}}$ მლნ.მ <sup>3</sup>	B, მ
ლაჯანური	425/150	80/30	1,8/0,24	45/25
გუმათი	195/50	420/134	0,3/0,06	100/40
ვარციხე	80/30	350/180	1/0,5	300

მანამდე, სანამ გუმათამდე მიაღწევდნენ ლაჯანურის გარეცხვის მასალები, აქ უკვე იქმნება გარეცხილი ტრანშეა, რომელზედაც ტრანზიტით გაივლის გარეცხილი ნალექი ლაჯანურიდან. ამიტომ ლაჯანურის სასარგებლო მოცულობის 24 საათიანი დაცლის დროს გამრეცხი არ არის გაღებული, სამაგიეროდ ისინი გახსნილია გუმათისა და ვარციხის წყალსაცავებში გარეცხვის დაწყების პირველი საათიდან, რომ მომზადდეს მღვრიე ნაკადის ტრანზიტით. გარეცხვა ხორციელდება ქვემოთ მოყვანილი პროგრამით.



მდინარე რიონის კასკადის წყალსაცავების ჰიდრავლიკური გარეცხვის  
ექსპერიმენტის წარმოების დროს დაღვრილი წყლის მოცულობის ზოგადი  
დახასიათება

№ რი გზ ე	წყალსაცავების დასახელება	წყლის ხარჯი, მ <sup>3</sup> /წმ	წყალსაცავში წყლის სავარაუდო მოცულობა, მ ლნ. მ <sup>3</sup>	ჰიდრავლიკუ რი გარეცხვის წარმოების დრო, სთ	წყალსაცავის დაცლის დრო, სთ	წყალსა ცავის მოცულ ობა გაიზარ და, მლნ. მ <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7
1	ლაჯანურის	30	6,0	108	24,0	1,0
2	გუმათი I	ალპანას კვეთში, 70. გუმათის კვეთში, 100.	1,5	67	2,0	0,5
3	გუმათი II	70	1,2	67	2,0	
4	რიონის წყალსაცავი	100	1,0	66	ჰესი გაჩერებულია	
5	ვარციხის	180	1,6	74	ჰესი გაჩერებულია	0,5

1. სავარაუდო საანგარიშო (საშუალო მრავალწლიური) მონაცემები აღნიშნული პერიოდისათვის:

- ა) მდ. ცხენისწყლისა და მდ. ლაჯანურის წყალსაცავში შემავალი ხარჯი შეადგენს 30 მ<sup>3</sup>/წმ
- ბ) მდ. რიონის ხარჯი ალპანის კვეთში - 70 მ<sup>3</sup>/წმ
- გ) მდ. რიონის ხარჯი გუმათჰესის კვეთში - 100 მ<sup>3</sup>/წმ
- დ) მდ. რიონის ხარჯი ვარციხის კაშხალის კვეთში - 180 მ<sup>3</sup>/წმ

ეს სიდიდეები გარეცხვის წინ ზუსტდება ჰიდრომეტსამსახურის მონაცემებით.

ამ პერიოდში წყალსაცავებში წყლის სავარაუდო მოცულობებია:

- ლაჯანურში - 6 მლნ მ<sup>3</sup>
- გუმათში - 1.5 მლნ მ<sup>3</sup>
- რიონჰესში - 1.0 მლნ მ<sup>3</sup>
- ვარციხეში - 1.6 მლნ მ<sup>3</sup>

ზემოთ მოყვანილი სქემით რიონის წყალსაცავის გარეცხვისას მათი მოცულობები გაიზარდება შესაბამისად ლაჯანურის დაახლოებით 1 მლნ მ<sup>3</sup>; გუმათის

დაახლოებით 0.5 მლნ მ<sup>3</sup> და ვარციხის დაახლოებით 0.5 მლნ მ<sup>3</sup>-ით. აღდგენილი (გარეცხილი) მოცულობების დალამვის ვადა და შესაბამისად გარეცხვის ინტენსივობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_{\text{ღ}} = \frac{V_{\text{წ}} + V_{\text{ა}}}{V_{\text{წ}}} W_{\text{ბღ}} \left( 1 - e^{-\frac{U_w}{W_{\text{ბღ}}} t} \right) - W_{\text{ბ}} \sum_{k=1}^n f(t-t_k) e^{-\frac{U_w}{W_{\text{ბღ}}(t-t_k)}} \quad (5.10)$$

სადაც  $W_{\text{ღ}}$  - დალამვის მოცულობაა;

$W_{\text{ბღ}}$  - დალამვის ზღვრული მოცულობაა;

$V_{\text{წ}}, V_{\text{ა}}$  - მყარი ნატანის წვრილმარცვლოვანი და მსხვილმარცვლოვანი საშუალოწლიური მოცულობებია;

$W_{\text{ბ}}$  - ჰიდრავლიკური გარეცხვის მოცულობაა;

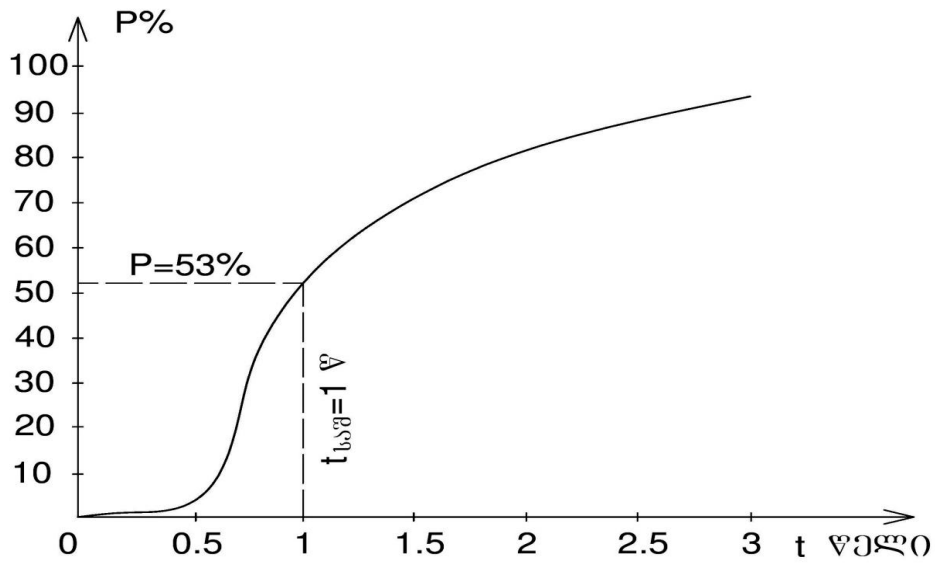
$t$  - დროა;

$t_k$  - წყალსაცავის გარეცხვის დასაწყისი;

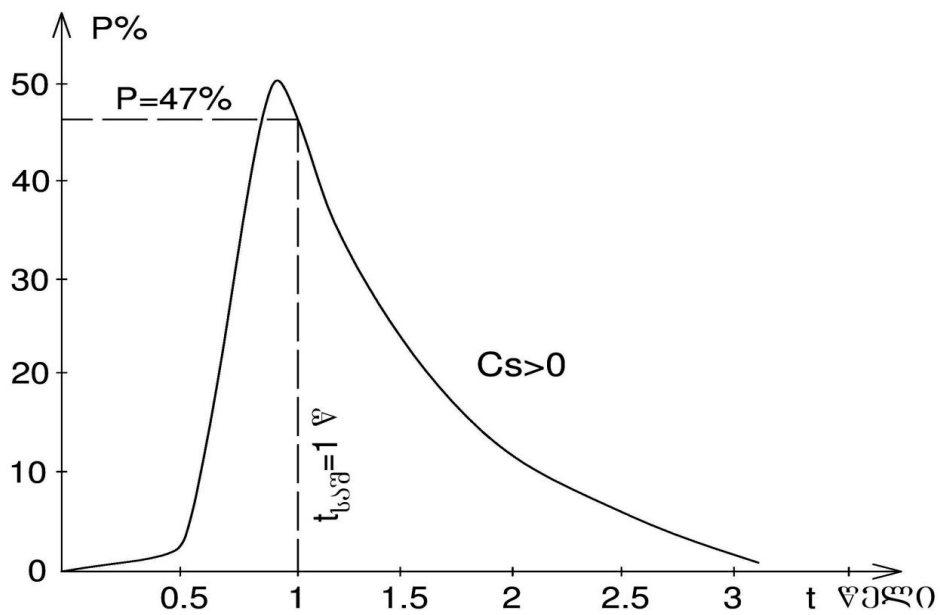
ამ ფორმულაში შესაბამისი მონაცემების ჩასმის შემდეგ ვღებულობთ, რომ გარეცხილი მოცულობის დალამვის ვადა გუმათის წყალსაცავში არის 1 წელი. წყალსაცავის დალამვის ეს ვადები წარმოადგენენ საშუალოწლიურ სიდიდეებს, მაშინ, როცა მყარი ნატანის ჩამონადენის წლიური ცვალებადობის გამო დალამვის ვადა შეიძლება აღმოჩნდეს მეტი ან ნაკლები. ამის გამო საჭიროა შესრულდეს დალამვის ანგარიში ტივტივა ნატანის ჩამონადენის მრავალწლიური ცვალებადობის გათვალისწინებით.

იმის გამო, რომ აღნიშნული წყალსაცავის კვეთებში ყველაზე რეპრეზენტატიული ჰიდროლოგიური რიგები გვაქვს მდ. რიონზე ნამახვანის კვეთში, სამაგალითო ანგარიშს ვაწარმოებთ გუმათის წყალსაცავისათვისაც. ტივტივა ნატანის ხარჯების საწყისი რიგის საფუძველზე ვაფორმირებთ 1000 წლის ხანგრძლივობის ხელოვნურ ჰიდროლოგიურ რიგს. ვინაიდან გუმათის წყალსაცავში გარეცხილი მოცულობა 0.5 მლნ მ<sup>3</sup> კვლავ დაილამება 1 წელიწადში, აღნიშნული ხელოვნური რიგის თითოეული წევრისათვის ანუ ტივტივა ნატანის ხარჯებისათვის (5.10) ფორმულით ვსაზღვრავთ სავარაუდო დალამვის ვადებს. მიღებული შედეგების საფუძველზე ვაგებთ დალამვის ვადების უზრუნველყოფისა და ალბათური განაწილების მრუდებს (ნახ.5.9 და ნახ.5.10).

ამ მრუდების ანალიზი გვიჩვენებს აღნიშნული მოცულობის დალამვის საშუალო და მასზე ნაკლები ვადების უზრუნველყოფას, რომელიც შეადგენს 53 %-ს, ხოლო საშუალოზე მეტი ვადებისა - 47 %. დალამვის ყველაზე სავარაუდო ვადა, რომელიც უზრუნველყოფილია 97.5%-ით შეადგენს 3.1 წელს, ხოლო ყველაზე ნაკლებ სავარაუდო ვადაა 0.5 წელი, რომელიც უზრუნველყოფილია 2.5 %-ით დალამვის ვადების რიგის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ეს რიგი ხასიათდება დადებითი ასიმეტრიით, რაც იმას ნიშნავს, რომ დალამვის საშუალო ვადაზე ნაკლები სიდიდეები ხშირად გვხვდება, ვიდრე მეტი (ნახ.5.10).



ნახ.5.9. გარეცხილი მოცულობის დალამვის ვადების უზრუნველყოფის მრუდი



ნახ.5.10. გარეცხილი მოცულობის დალამვის ალბათური ვადების უზრუნველყოფის მრუდი

მაშასადამე, ვასკვნით, რომ გუმათის წყალსაცავში აღდგენილი მოცულობის 0.5 მლნ მ<sup>3</sup>-ის დალამვის საშუალო ვადაა 1 წელი. მდ. რიონის მყარი ჩამონადენის ცვალებადობის გათვალისწინებით სავსებით სავარაუდოა ამ მოცულობის საშუალო ვადაზე ადრე დალამვა. ამიტომ, აღნიშნული მოცულობის სტანდარტულად შენარჩუნების მიზნით რეკომენდირებულია წელიწადში არანაკლები ერთი ჰიდრავლიკური გარეცხვის განხორციელება, რომლის მოცულობა შეადგენს 0.5 მლნ. მ<sup>3</sup>.

### 5.3 ჰიდრომასის ტრანსპორტირება ჰიდრავლიკურად (ჰიდროტრანსპორტი)

რელიეფის მდებარეობის ცვლილების დამოკიდებულების მიხედვით და მრავალ სხვადასხვა პირობებში ჰიდროტრანსპორტი შეიძლება იყოს უდაწნევო და დაწნევიანი. გრუნტის ფიზიკური ჰიდროტრანსპორტირება შეიძლება აღვწეროთ, როგორც ტურბულენტურ ნაკადში წყლის ტალღებით, შესაძლებლობებით მყარი ნაწილაკების შეწონილ მდგომარეობაში გადატანით.

მ. ა. ველიკანოვის და სხვათა მიერ დადგენილია, რომ შეტივნარეული ნატანი (ვეტიკალური სიჩქარე) შეადგენს 10-20 % ნაკადის საშუალო გრძივ სიჩქარეს, ხოლო ტურბულენტობის ხარისხს განსაზღვრავს ნაწილაკების განაწილების მახასიათებლები ნაკადში.

ჰიდრომასის საშუალო სიჩქარე ნაკადში, რომელზედაც იწყებს ნაწილაკი დალექვას ფსკერზე, ეწოდება კრიტიკული სიჩქარე. ეს სიჩქარე დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე (ნაწილაკის ჰიდრავლიკურ სიმსხოზე, ჰიდრომასის მოცულობით წონაზე, ნაკადის გეომეტრიულ პარამეტრებზე და სხვა).

ჰიდრომასის (პულპის) მოძრაობა შეიძლება განხორციელდეს:

1. კრიტიკულ სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით, როდესაც მთელი გრუნტი ტრანსპორტირდება შეტივნარეულ მდგომარეობაში.
2. კრიტიკულ სიჩქარესთან ახლო სიჩქარით, როდესაც გრუნტი ტრანსპორტირება ძირითადად შეწონილ მდგომარეობაშია, მაგრამ ამ ნაწილაკების უმეტესობა მოძრაობენ ფსკერთან.
3. კრიტიკულ სიჩქარეზე ნაკლები სიჩქარით, როდესაც ნაკადს ფსკერზე აქვს

მუდმივი მოლამული ფენა (მ).

უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტირების შემთხვევაში ჰიდრომასა მოძრაობს არხში, ღარში, უდაწნეო მილსადენებში თვითდინებით, რომელთაც გააჩნია ფსკერის ქანობი, ტრანსპორტირების საჭირო სიჩქარის შესაქმნელად. ტრანსპორტირების ასეთი სახე მიიღება შედარებით ნაკლებად გამოიყენება, ვინაიდან ხშირად ადგილის მდებარეობა არ იძლევა საშუალებას შეიქმნას საჭირო ქანობი.

ცხრილი 5.4.

სხვადასხვა გრუნტის ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე.

№	გრუნტი	$v_{საშ} = m/\წმ$
1	ლამიანი და ტალახიანი	0.1-0.18
2	თიხები და თიხნარი	0.25-0.36
3	ქვიშა	0.18-0.5
4	ხრეში	0.55-1.2
5	კენჭის	1.2-2.0
6	რიყე	2.0 <sup>≠</sup> 3.2

ცხრილში 5.4. მოყვანილია საშუალო სიჩქარე  $v_{საშ}$ , რომელზედაც იწყებს მოძრაობას გრუნტის ნაწილაკები ნაკადში, რომლის სიმაღლე 0.5 მეტრამდეა.

ქვემოთ მოგვყავს უდაწნეო ჰიდროტრანსპორტის გაანგარიშების მეთოდი. ანგარიში შედგება ორი ეტაპისაგან: პირველ ეტაპზე განისაზღვრება კრიტიკული სიჩქარე და ტრანსპორტირების საიმედო სიჩქარე, მეორე ეტაპზე - მიღებული სიჩქარის შესატყვისი ღარის ქანობი.

კრიტიკული სიჩქარის გამოსათვლელად ვიყენებთ ფორმულას [142]:

$$v_{კრ} = B_4 \sqrt{\frac{1}{F_r}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_b - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot \left( \frac{\gamma_{მყ} - \gamma_b}{\gamma_0} \right)^2}, \quad (5.11)$$

სადაც,  $B = 3,85$  კოეფიციენტია ქვიშა-ხრეშიანი გრუნტისათვის და  $B = 2,86$  მსხვილნატეხებიანი მასალისათვის.

$\gamma_b, \gamma_0, \gamma_{მყ}$ , - მოცულობითი წონა შესაბამისად ჰიდრომასისათვის, წყლის და მყარი ტანისათვის.

$$F_r = \frac{\omega^2}{gd} \quad (\text{ფრუდის რიცხვი}),$$

სადაც  $\omega$  - ტრანსპორტირებული ნაწილაკის ჰიდრალიკური სიძსხოა.

$$U_b = K_b \cdot U_{gr} \quad (5.12)$$

სადაც,  $K_b = 1,1 \div 1,3$  საიმედოობის კოეფიციენტი.

ქანობები  $i_{gr}$  და  $i_b$ , შესაბამისი სიჩქარეები  $U_{gr}$  და  $U_b$  გამოითვლება

ფორმულით

$$i = \lambda' \frac{l}{R} \cdot \frac{\gamma_0}{\gamma_8} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5.13)$$

სადაც  $\lambda' = \lambda_0 + \delta(m\omega + n\delta - q)$

$\delta = \gamma_8 / \gamma_0$  - ჰიდრომასის ფარდობითი მოცულობითი წონაა.

$m, n, q$  - მუდმივის სიდიდეებია, დამოკიდებულია ჰიდროტრანსპორტის რეჟიმზე;

$R$  არის ღარის ან უდაწნევო მილსადენის ჰიდრავლიკური რადიუსი.

**სადაწნევო ჰიდროტრანსპორტირება:** გრუნტის მოძრაობის ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში. ამ დროს მილსადენის განიკვეთი მთლიანადაა შევსებული და ჰიდრომასა გადაადგილდება წნევის ქვეშ.

სადაწნევო ჰიდროტრანსპორტირება შეიძლება განხორციელდეს კრიტიკული სიჩქარეზე მეტი სიჩქარით, მის ტოლი და კრიტიკულ სიჩქარეზე ნაკლები სიჩქარით. ყველაზე ხშირად გრუნტის ტრანსპორტირება მიმდინარეობს პირველი რეჟიმის დროს.

სადაწნევო ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ: წყალსაცავში გასაწმენდი გრუნტის ნაწილაკების საშუალო სიმსხო, საშუალო ჰიდრავლიკური სიმსხო, ჰიდრომასის კონსისტენცია და კონცენტრაცია, მილსადენის სტანდარტული დიამეტრი, მიწისმწოვის მახასიათებლები (მწარმოებლობა, დაწნევა), ტრანსპორტირების მანძილი, ნიშნულების გეოდეზიური სხვაობები.

სადაწნევო ჰიდროტრანსპორტირების გაანგარიშება წარმოებს დაწნევის საერთო დანაკარგების განსაზღვრით, რომელიც წარმოიქმნება მონიტორის მუშაობის დროს, მოცემულ კონკრეტულ პირობებში.

ჰიდრომასისათვის, როდესაც მოცულობითი წონაა  $\gamma_8 \geq 1,05$  ტ/მ<sup>3</sup>,

კრიტიკული სიჩქარის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ ა.პ. იუფინის ფორმულას:

$$v_{\text{გრ}} = 7,5 \sqrt[3]{\frac{\omega D}{\sqrt{gd}} \left( \frac{\gamma_{\delta}}{\gamma_0} - \frac{\gamma_0}{\gamma_{\text{მყ}}} \right)} \text{ მ/წმ} \quad (5.14)$$

სადაც  $D$  - მილსადენის დიამეტრია (მ),  $d$  - მყარი ნაწილის საშუალო შეწონილი დიამეტრი (მ),  $\omega$  - ნაწილაკის ჰიდრავლიკური სიმსხო მ/წმ,  $\gamma_{\delta}$  - ჰიდრომასის (პულპის) მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>,  $\gamma_0$  - წყლის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>,  $\gamma_{\text{მყ}}$  - მყარი მასალის მოცულობითი წონა ტ/მ<sup>3</sup>.

ცხრილი 5.4

მიწისმწოვი მანქანების მახასიათებლები

მილსადენი	მაჩვენებელი	მიწისმწოვის ტიპები					
		8H3	100-40k	12-P-7	300-40	500-60	1000-80
შემწოვი	სიგრძე, მ	16	23,57	15	25	33,5	37
	დიამეტრი, მ	0,25	0,4	0,4	0,5	0,7	0,95
მცურავი	საერთო სიგრძე, მ	122	120	125	300	500	500
	დიამეტრი, მ	0,3	0,35	0,4	0,5	0,7	0,8
	ბმულების რაოდენობა, ც	20	20	20	50	50	50
მაგისტრალი	დიამეტრი მ	0,25	0,3-0,35	0,35	0,6	0,8	0,9

გაანგარიშების დროს დიდ ინტერესს იწვევს კრიტიკულ სიჩქარესთან ახლოს ტრანსპორტირების რეჟიმები. ამიტომ წნევის დანაკარგი გამოისახება მასალების ჰიდროტრანსპორტირების გამოსახული კრიტიკული რეჟიმის სახით.

დაწნევის დანაკარგის გაანგარიშებისათვის (ჰიდრალიკური ქანობი) ამ რეჟიმისათვის რეკომენდირებულია ფორმულა [142]:

$$i_{\text{გრ}} = 0,63 \delta \sqrt{\delta - 1} \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\sqrt[3]{gd}} \quad (5.15)$$

სადაც  $\delta = \frac{\gamma_{\delta}}{\gamma_0}$  - ჰიდრომასის ფარდობითი კუთრი წონა.

ა.პ. იუფინი იღებს ტრანსპორტირებულ მასალას სხვადასხვა მარცვლიან ნაწილაკების ფარდობით 90% და 10%. დიამეტრით  $K_{\frac{90}{10}} = \frac{d_{90}}{d_{10}}$ ; ავტორის პირობის

მიხედვით: ერთგვაროვნად თვლის გრუნტს, რომელსაც  $K_{\frac{90}{10}} \leq 3$ , ხოლო

აბსოლუტურად ერთგვაროვნად, როდესაც  $K = 1$ .

წნევის დანაკარგი ერთგვაროვანი გრუნტის ჰიდროტრანსპორტირებისას ( $K \leq 3$ )

სიჩქარის დროს გამოითვლება ფორმულით:

$$i_{\text{გროგ.}} = i_0 + \left[ i_{\text{გრ}} - i_0 \left( \frac{v_{\text{გრ}}}{v} \right)^2 \right] \cdot \frac{v_{\text{გრ}}}{v} , \quad (5.16)$$

სადაც,  $i_0$  წნევის დანაკარგია მილსადენში, რომლის დიამეტრია  $D$ , მასში სუფთა წყლის  $v$  სიჩქარით მოძრაობის დროს. ეს დანაკარგი განისაზღვრება დარსი-ვეისბახის ცნობილი ფორმულით:

$$i_0 = \lambda_0 \frac{v^2}{2gD} , \quad (5.17)$$

სადაც  $\lambda_0$  - ჰიდრავლიკური წინაღობის კოეფიციენტი.

ახალი გაპრიალებული ლითონის მილსადენებისათვის  $\lambda_0$  რეკომენდირებულია განისაზღვროს ფორმულით:

$$\lambda_0 = \frac{1}{(1,8 \lg \text{Re} - 1,5)^2} , \quad (5.18)$$

სადაც,  $\text{Re}$  - რეინოლდსის რიცხვია.

წნევის დანაკარგის განსაზღვრისათვის არაერთგვაროვანი გრუნტების ტრანსპორტირებისათვის რეკომენდირებულია ფორმულა:

$$i_{\text{არაგროგ.}} = i_0 + (i_{\text{გროგ.}} - i_0) \cdot \Delta_0^{0,22} \quad (5.19)$$

სადაც,  $i_{\text{გროგ.}}$  - წნევის დანაკარგია ერთგვაროვანი გრუნტის ჰიდროტრანსპორტირების დროს,  $\Delta_0$  - პირობითი არა ერთგვაროვნება ტოლია:

$$\Delta_0 = \frac{3d_{10}}{d_{90}} ,$$

$i_{\text{ჰ.ა.}}$  წნევის დანაკარგი ჰიდრომასის მოძრაობის დროს გამოითვლება ორწევრიანი ფორმულით:

$$i_{\text{ჰ.ა.}} = i_0 + \Delta i \quad (5.20)$$

სადაც,  $\Delta i$  - წნევის დამატებითი დანაკარგია, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta i = K'_0 i_0 \varphi , \quad (5.21)$$

სადაც,  $K'_0$  - ჰიდრომასის მოცულობითი კონცენტრაციაა;

$\varphi$  - ცვლადი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ტრანსპორტირების პარამეტრზე. ერთგვაროვანი გრუნტისათვის



$$\varphi = b \cdot \left( \frac{v^2}{gD} \sqrt{C_\varphi} \right)^{-1,4}, \quad (5.22)$$

სადაც  $b = 165$  კოეფიციენტი;

$v$  - ჰიდრომასის საშუალო სიჩქარე მ/წმ;

$D$  - მილსადენის დიამეტრი მ;

$C_\varphi$  - ნაწილაკის გვერდითი გასაშუალოებული წინააღმდეგობა, განიხილება, როგორც ბურთები, რომელიც დამოკიდებულია  $a_c^*$  პარამეტრზე. თავის მხრივ  $a_c$ -ს ვპოულობთ ფორმულით:

$$a_c = \frac{a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n}{100} \quad (5.23)$$

სადაც  $a_1, a_2, \dots, a_n$  - კოეფიციენტი, რომელიც გრუნტის ფრაქციის სიმსხოზე დამოკიდებული.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  - გრუნტის გრანულომეტრიული შემადგენლობაში ფრაქციის პროცენტული შემადგენლობა.

ჰიდრომასის წნევის დანაკარგის განსაზღვრა ერთეულ მანძილზე ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$i_{3\Phi} = i_0 \left[ 1 + 165 K'_0 \left( \frac{v^2}{gD} \cdot \sqrt{C_\varphi} \right)^{-1,4} \right] \quad (5.24)$$

კრიტიკული სიჩქარის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ ფორმულას:

$$v_{კრ} = 6,5 K_0'^{0,36} \cdot \frac{\sqrt{gD}}{C_\varphi^{0,25}} \quad \text{მ/წმ} \quad (5.25)$$

მოცემული დიამეტრის მილსადენისათვის კრიტიკული სიჩქარე შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$v_{კრ} = v_{კრ,1} \sqrt{D} \quad \text{მ/წმ} \quad (5.26)$$

სადაც,  $v_{კრ,1}$  -1 მეტრიანი დიამეტრის მილსადენისათვის კრიტიკული სიჩქარეა.

$D$  - მილსადენის დიამეტრი. მ

კრიტიკული ხარჯი გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{კრ} = v_{კრ} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{მ}^3/\text{წმ} \quad (5.27)$$

თუ  $Q_{კრ}$  კრიტიკული ხარჯი ნაკლებია ჰიდრომასის ტრანსპორტირების ხარჯზე  $Q_{მოც}$ , შეიძლება ჩავთვალოთ ჰიდროტრანსპორტის არამოლამვადია, ხოლო თუ  $Q_{კრ} > Q_{მოც}$  გვექნება მოლამვის რეჟიმი. არამოლამვის რეჟიმის დროს შეიძლება წნევის დანაკარგი განვსაზღვროთ ფორმულით (5.24), ხოლო მოლამვის რეჟიმის დროს განისაზღვრება ფორმულით:

$$i_{კმ} = i_{კრ} \cdot K \quad (5.28)$$

სადაც  $i_{კრ}$  - წნევის დანაკარგი,  $K$  - შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია თანაფარდობაზე  $Q_{კრ}/Q_{მოც}$ .

#### 5.4. წყალსაცავებში მოლამული მასალის გარეცხვის

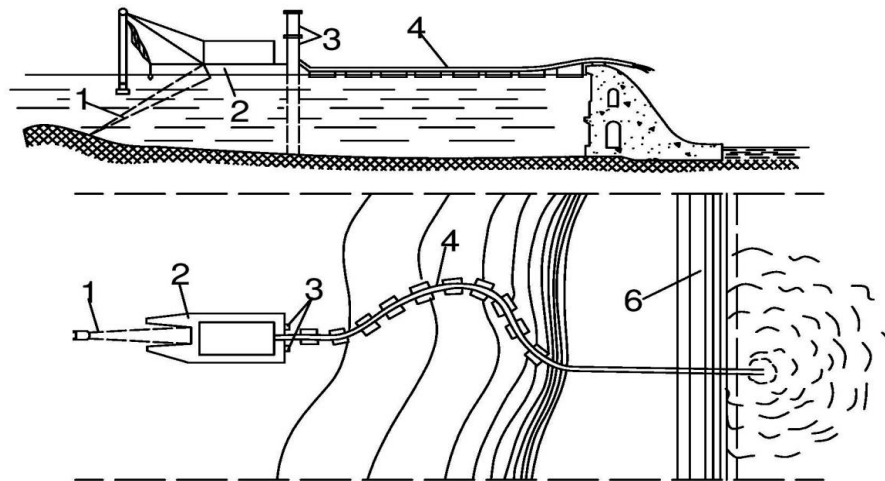
##### ჰიდრომექანიზაციული მეთოდი

მსოფლიოს წყალსაცავების უმეტესი ნაწილი განიცდის ნატანი მასალის დაგროვების პრობლემებს. მოლამული ნატანი მასალა აფერხებს ჰესების ნორმალურ მუშაობას. წყალსაცავში შემცირებულია წყლის სასარგებლო მოცულობა, წყალმიმღების მოლამვის გამო განიცდის ნორმალურ ფუნქციონირების შეზღუდვებს. აღნიშნული პრობლემების გადასაწყვეტად გამოიყენება წყალსაცავების გაწმენდის რამოდენიმე მეთოდი, რომელთა გამოყენება არა ეკონომიურია და იწვევს ნატანთან ერთად წყლის მოცულობის დიდ ხარჯს.

ჰესების წყალსაცავების ნატანი მასალისაგან გაწმენდის ეკონომიურ და ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს წყალსაცავების მოლამური მასალისაგან გაწმენდის ჰიდრომექანიკური მეთოდი, რომელიც შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი პროცესებით: გრუნტების ჰიდრომექანიზებული დამუშავება ხორციელდება ჰიდრომონიტორული ან მიწასაწოვი დანადგარების მეშვეობით.

ჰიდრომონიტორული დანადგარი შედგება ჰიდრომონიტორების (რომლებიც სანგრევშია განლაგებული), სატუმბი სადგურის-წყალსაღები მოწყობილობის და ღარებისაგან პულპის (ჰიდრომასის) თვითდინებით ტრანსპორტირებისათვის. პულპის წნევით ტრანსპორტირების დროს დამატებით ეწყობა მიწასაწოვი სადგურები და წნევით პულპსატარები.

პირველ შემთხვევაში დანადგარები ჰიდრომონიტორულ-სატუმბად იწოდება, მეორეში – ჰიდრომონიტორულ სატუმბ – მიწასაწოვებად (ნახ 5.11). წნევითი სატუმბო სადგური (წნევით 4-12 ატმოსფერო) წყალს აწვდის ჰიდრომონიტორებს, რომლებიც წყალსაცავში წყლის ჭავლით ფსკერულ ნატანს წარეცხავს, აქცევს მას ჰიდრომასად.



ნახ. 5.11. გრუნტის ჰიდრომონიტორით დამუშავება პულპის მიწასაწოვით ტრანსპორტირებით:

1. სატუმბო სადგური; 2. მილსადენი წყლის მისაწოდებლად; 3. ჰიდრომონიტორი; 4. მიწისაწოვი სადგური; 5. წნევითი პულპსადენი; 6. დასალექი უბანი.

გრუნტის ჰიდრომონიტორით წარეცხვა ორი ხერხით ხორციელდება: შემხვედრი სანგრევით ქვემოდან ზემოთ და თანამგზავრული სანგრევით ზემოდან ქვემოთ. პირველი ხერხის შემთხვევაში ჰიდრომონიტორი სანგრევის (ფსკერულ ნატანს) ფსკერზე მდებარეობს და რეცხავს სანგრევის ფსკერს მისი ზედა (უმაღლესი) ნაწილის გადმონგრევამდე. გადმონგრეული გრუნტი ასევე წყლით წაირეცხება და პულპის (ჰიდრომასის) სახით დახრილი ღარებით ან წყალგამყვანი მილსადენებით დანიშნულების ადგილისაკენ მიედინება. ჰიდრომონიტორის ერთი სადგომიდან სანგრევის დამუშავება წარმოებს მანამ, სანამ ჭავლის ძალა არა საკმარისი გახდება გრუნტის გარეცხვისათვის, რის შემდეგაც ჰიდრომონიტორი გადაადგილდება იქვე სანგართან ახალ პოზიციაზე. გრუნტის ზემოდან ქვემოთ (თანამგზავრული) დამუშავებისას ჰიდრომონიტორი სანგრევზე ზემოდან იდგმება ასეთ შემთხვევაშიც ჰიდრომონიტორი თავდაპირველად რეცხავს (თხრის) ღერძულ არხს, რომელიც სანგრევიდან პულპის გაყვანისათვისაა დანიშნული, ხოლო შემდეგ თანდათანობით

აფართოებს მას გრუნტის ერთდროულად ჩამოჭრით და ჩამონგრევით. სანგრევში გრუნტის წარეცხვის მიხედვით ხორციელდება ჰიდრომონიტორის ახალ პოზიციაზე გადადგომა.

შემხვედრი სანგრევის დამუშავების ხერხი უფრო ეფექტურია, რადგანაც ამ შემთხვევაში გრუნტის წარეცხვა სანგრევის ზედაპირისადმი მართი კუთხით მიმართული ჭავლით ხორციელდება, რაც გრუნტის დიდი მასის ჩამონგრევით დამუშავების საშუალებას იძლევა. მეორე ხერხის გამოყენება უპირატესად ეფექტურია შეუკავშირებელი გრუნტის დამუშავებისას. ასეთ შემთხვევაში მუშაობის პირობები მსუბუქდება, რადგანაც ჰიდრომონიტორი და მუშები გამორეცხვის ზონის გარეთ იმყოფებიან და გარდა ამისა, ჭავლის თანამგზავრული ქმედება აადვილებს გამორეცხილი გრუნტის დინებას.

მიწასაწოვი შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეთვე როგორც დამოუკიდებელი დანადგარი წყალქვეშა სანგრევის დამუშავებისათვის. წყალთან ერთად გრუნტის შეწოვით (მკვრივი გრუნტების ერთდროული გაფხვიერებით) და პულპის პულპსატარებში შედგომი ტრანსპორტირებით. ასეთი გადასაადგილებელი მიწასაწოვი დანადგარები, რომლებიც დამონტაჟებულია პონტონზე, გემებზე, და სხვა, მიწათსაწოვ აღჭურვილობებად (მოწყობილობებად) იწოდება. ეს უკანასკნელები ფართოდ შეიძლება გამოვიყენოდ წყალსაცავების ფსკერიდან ქვიშის და ხრეშის ამოღებაზე.

რიონის კასკადის წყალსაცავები პრაქტიკულად დალექილია და ისინი ძირითადად მუშაობენ მდინარის ჩამონადენზე. აქედან გამომდინარეა მდ. რიონის აუზის წყალსაცავებმა დაკარგეს წყლის მოცულობის შენახვის უნარი, მაგრამ შეინარჩუნეს წყლის დონე.

წყალსაცავების წყლის შენახვის უნარის გამოყენება შეიძლება წყალდიდობის წყლის რეგულირების მიზნით. წყალსაცავებს მდინარეებზე მოსალოდნელი წყალდიდობის პერიოდისათვის უნდა ქონდეს მისი სასარგებლო წყლის მოცულობის მინიმუმი და მზად უნდა იყვნენ წყალდიდობის წყლის ხარჯის შეგროვებისათვის. ამის გათვლებით წყალდიდობის წყლის ხარჯი შეინახება წყალსაცავებში შემდგომში ელექტროენერჯის გამოსამუშავებლად და პარალელურად, მდინარის კალაპოტის ბარის მონაკვეთზე წყალდიდობის ხარჯის გატარება არ გამოიწვევს ზედმეტ პრობლემებს. აღნიშნული მეთოდით წყალდიდობის წყლის მართვა ზღვის

შესართავის ნაპირის ფუნქციონირებას ნაკლებად დააზიანებს.

მდინარეთა წყალდიდობის რეგულირებისა და წყალსაცავების მასზე დაკისრებული ფუნქციების შესასრულებლად აუცილებელია წყალსაცავებს დაუბრუნდეს საპროექტო მოცულობა.

მდ. რიონის აუზის წყალსაცავებში დაგროვილი ტონობით ნატანი მასალა წლების წინ უნდა ჩასულიყო შავი ზღვის ქ. ფოთის სანაპიროზე. ნატანის დეფიციტი გამოწვეულია მდინარის კალაპოტში აშენებული კაშხლების მიზეზით. ეკოლოგიური დარღვევების შემცირებისა და აღდგენის ღონისძიება მოითხოვს წყალსაცავების გათავისუფლებას დაგროვილი მასალისაგან მისი შემდგომი ტრანსპორტირების მიზნით. მდ. რიონის აუზის წყალსაცავებზე ნატურაში დაკვირვებები საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ჰიდრომექანიკური გაწმენდის მეთოდი, რომელიც შეიძლება ჩამოვაცალიბოთ შემდეგი სახით: მიწისმწოვი მექანიზმებით ნატანი მასალა გადმოვიტანოთ ზედა ბიეფიდან კაშხალის ქვედა ბიეფში და შემდეგ წყალდიდობის ნაკადით იგი გადაადგილდეს მდინარის მიმართულებით.

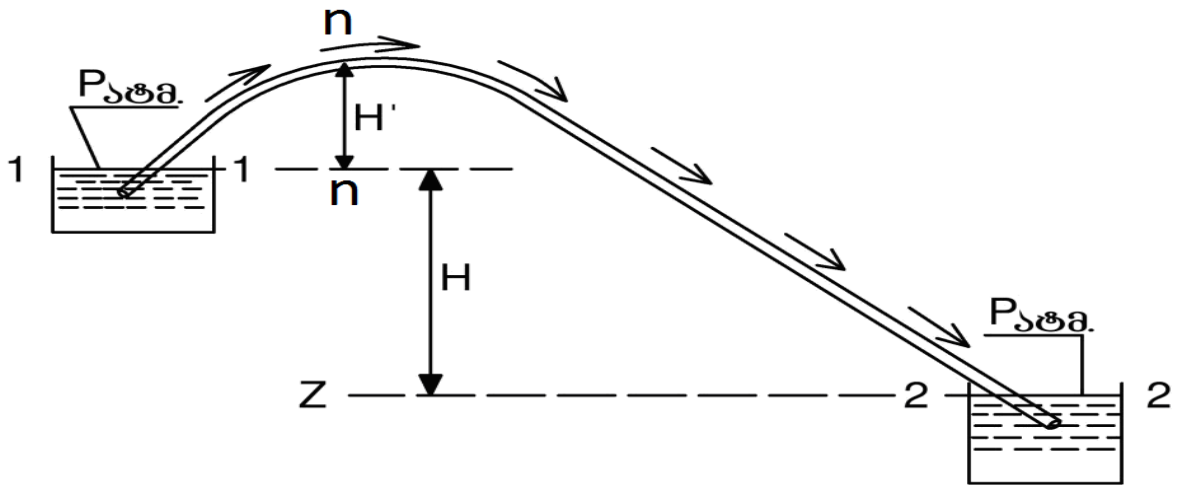
## 5.5. წყალსაცავებში მოლამული მასალის

### გარეცხვის სიფონური მეთოდი

წყალსაცავის გარეცხვის მეტად მნიშვნელოვან მეთოდს წარმოადგენს სიფონური მეთოდი. ამ მეთოდის მუშაობა დამყარებულია სიფონის მუშაობის პრინციპზე. მოკლე მილსადენების ჯგუფს მიეკუთვნება სიფონური მილსადენი, რომელიც, გარდა მოკლე სიგრძისა, ხასიათდება იმით, რომ დინების რომელიმე უბანში უთუოდ იქმნება ვაკუმი. ამ ვაკუმის სიდიდე რისთვისაც გამოვიყენებთ ბერნულის განტოლებას კვეთებისათვის 1-1 და 2-2 კვეთებისათვის ასე გამოისახება:

$$\frac{P_{\text{აგმ}} - P}{\rho g} = H' + \frac{v_n^2}{2g}(a + \xi)$$

სადაც,  $P_{\text{აგმ}} - p/\rho g$  - ვაკუუმის სიდიდეა და იგი აღვნიშნოთ სიდიდით  $H_{\text{ვაკ}}$  ამრიგად განტოლება ასე გამოისახება:



ნახ. 5.12. სიფონის გაანგარიშების სქემა

$$H_{\text{ვაკ}} = H' + \frac{v_n^2}{2g}(a + \xi) \quad (5.15)$$

სადაც,  $H'$  - სიდიდე ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ აბსოლუტური წნევა კვეთში  $n-n$  იყოს თავისუფალი ორთქლის წნევაზე მეტი, ე. ი. უნდა დავიცვათ უტოლობა:

$$(H_{\text{ვაკ}})_{\text{მაქს}} = \frac{P_{\text{აგმ}} - P_{\text{თ. ო}}}{\rho g} \geq H' + \frac{v_n^2}{2g}(a + \xi)$$

აქედან სიფონის აწევის მაქსიმალური სიმაღლე ზედა დონიდან

$$(H')_{\text{მაქს}} \leq \frac{P_{\text{აგმ}} - P_{\text{თ. ო}}}{\rho g} - \frac{v_n^2}{2g}(a + \xi)$$

წყლისათვის  $P_{\text{აგმ}}/\rho g = 10$  მეტრს. თუ წყლის ტემპერატურაა  $15^\circ C$ , მაშინ

$P_{\text{თ. ო}} = 0,13$  ატმ., ე.ი. 0,13 მ; აქედან გამომდინარე, ზედა დონიდან სიფონის აწევის

მაქსიმალური სიმაღლე

$$(H')_{\text{მაქს}} \leq 8,7\text{მ} - \frac{v_n^2}{2g}(a + \xi).$$

პრაქტიკულად  $(H')_{\text{მაქს}}$  6 მეტრზე ნაკლებია; წინააღმდეგ შემთხვევაში  $n-n$

დაიწყება ცივი დულილი, ე. ი. სითხიდან დაიწყება ჰაერის გამოყოფა, რის გამოც ამ კვეთში ნაკადის მთლიანობა დაირღვევა, ნაკადი გაწყდება და სიფონი შეწყვეტს მუშაობას.

ნაშრომში განხილულია წყალსაცავების სისტემების ფუნქციონირების იმიტაციური მოდელი. (ამ მიმართულაბით გამოირჩევა არჩილ გეგუჩაძის შრომები). მილსადენების საშუალებით მოლამული მასალის გადატანა ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში ხდება წყლის ხარჯისა და სიფონში შექმნილი ვაკუმით.



ნახ. 5.13. წყალსაცავის გარეცხვის იმიტაციური მოდელი

### 5.5.1 წყალსაცავის გაწმენდა მოლამული მასალისაგან

დაკვირვებებმა წყალსაცავზე ექსპლოატაციის დროს აჩვენა, რომ მყარი ნატანის გატანა წყალსაცავიდან მცირე ხარჯებით გარეცხვის მეშვეობით ნაკლებად ეფექტურია. კარგ და მოხერხებულ მეთოდს წარმოადგენს ჰიდრომექანიზაციის გამოყენება წყალსაცავის ნატანი მასალისაგან გაწმენდის საქმეში.

წასარეცი ნატანი მასალის სიმაღლისა ( $h$ ) და დასამუშავებელი გრუნტის სახის მიხედვით ვადგენთ წყლის საჭირო ხვედრით ხარჯს ( $q$ ) და დაწნევის სიმაღლეს ( $H_0$ ) მონიტორის ნაცმთან სპირაჯოს მოცულობა, რომელიც მუშავდება მიწასაწოვის ერთ პოზიციაში დგომის დროს და გამოითვლება ფორმულით:

$$W_{\text{სპ}} = b \cdot h \cdot l_{\text{გად}} \quad \text{მ}^3 \quad (5.29)$$

სადაც  $b$  არის წყალსაცავში წასარეცი ნატანი მასალის სიგანე, მ;

$h$  - წყალსაცავში წასარეცხი ნატანი მასალის სიმაღლე, მ;

$t_{\text{გაფ}}$  - მიწასაწოვის გადაადგილების ბიჯი, მ.

ვსაზღვრავთ მიწასაწოვის მუშაობისას ერთ პოზიციაში დგომისას დროის მონაკვეთში

$$t_{\text{მოწ}} = W_{\text{ს3}} / \Pi \quad \text{დღე-ღამე} \quad (5.30)$$

სადაც  $\Pi$  არის მოცემული დღე-ღამური მწარმოებლობა გრუნტის მიხედვით, მ<sup>3</sup>.

მიწასაწოვის საშუალო დროის გამოყენების კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$K_{\text{დრო}} = \frac{t_{\text{მოწ}}}{t_{\text{მოწ}} + t_{\text{გაფ}}} \quad (5.31)$$

აქ  $t_{\text{გაფ}}$  არის მიწასაწოვის გადაადგილებისა და დაყენების დრო დღე-ღამეში.

მიწასაწოვის საჭირო მწარმოებლობა პულპის მიხედვით

$$Q_3 = \frac{\Pi(1-m+q)}{n \cdot K_{\text{დრო}}} \quad \text{მ}^3/\text{სთ} \quad (5.32)$$

სადაც  $n$  - არის სამუშაო საათების რიცხვი დღე-ღამის განმავლობაში. მივიღოთ  $n = 15$  სთ (ვგულისხმობთ, რომ პროფილაქტიკურ რემონტზე იხარჯება 0.7-4 სთ, მიწასაწოვის გაწმენდაზე 1-5 სთ, სხვა გაცდენაზე 1-3 სთ).

$m$  - გრუნტის ფორიანობა.

$q$  - წყლის ხვედრითი ხარჯი.

ამ ფორმულით გამოთვლილი  $Q_3$  გაანგარიშებული უნდა იქნეს ლ/წმ-ში. რისთვისაც  $Q_3$  მნიშვნელობას ვამრავლებთ კოეფიციენტზე  $1000/3600 \approx 0,28$ .

პულპის გადაადგილების მინიმალური (კრიტიკული) სიჩქარეს ( $v$ ) და პულპასადენის შესაბამის დიამეტრს ( $D$ ) დავადგენთ ცხრილიდან გრუნტის სახისა და  $Q_3$  ზევით გამოთვლილი მნიშვნელობის მიხედვით.

პულპის ხვედრითი წონა  $\gamma_3$  გამოითვლება იმ პირობიდან, რომ გრუნტისა და წყლის ჯამური წონა უნდა იყოს პულპის წონის ტოლი:

$$W_{\text{წყ}} \cdot \gamma_{\text{წყ}} + W_{\text{გრ}} \cdot \gamma_{\text{გრ}} = [W_{\text{წყ}} + W_{\text{გრ}}(1-m)] \gamma_3 \quad (5.33)$$

სადაც  $W_{\text{წყ}}$  და  $W_{\text{გრ}}$  - წყლისა და გრუნტის მოცულობებია.

$\gamma_{\text{წყ}}$  და  $\gamma_{\text{გრ}}$  მათი მოცულობითი წონები.



თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $W_{\text{ფი}}/W_{\text{გრ}} = q$  გვექნება:

$$q \cdot \gamma_{\text{ფი}} + \gamma_{\text{გრ}} = (q+1-m)\gamma_3 \quad (5.34)$$

საიდანაც

$$\gamma_3 = \frac{q\gamma_{\text{ფი}} + \gamma_{\text{გრ}}}{q+1-m} \quad (5.35)$$

თუ მივიღებთ, რომ  $\gamma_{\text{ფი}} = 1$ , პულპის ხვედრითი წონა გამოითვლება ფორმულით

$$\gamma_3 = \frac{q + \gamma_{\text{გრ}}}{q+1-m} \quad (5.36)$$

მიწასაწოვის საჭირო დაწნევას პულპის მიხედვით ვანგარიშობთ ფორმულით:

$$H_3 = h_3 \cdot \gamma + 1,1K \cdot i \cdot L_3 + 2 \text{ მ წყლის სვეტი.} \quad (5.37)$$

სადაც  $h_p$  არის სხვაობა სანგრევისა და პულპის გადაშვების დონეების გეოდეზიური ნიშნულებს შორის, მ-ობით.

$K$  -შესწორების კოეფიციენტი დანაკარგების საანგარიშოდ პულპსადენში.

$i$ -დაწნევის დანაკარგებია პულპსადენში მ-ობით პულპსადენის 100 მ-ზე ( $100 \cdot i$ ) ცხრილიდან;

$L_3$  - პულპსადენის მთლიანი სიგრძე, მ-ობით; 2 მ წყლის სვეტი ითვალისწინებს დაწნევის დანაკარგებს შეწოვის დროს.

მიწასაწოვის საჭირო სიმძლავრე

$$N = H_3 \frac{Q_3}{367\eta} \text{ კვტ} \quad (5.38)$$

აქ  $\eta$  არის მიწასაწოვის მქვ ( $\eta = 0,7$ )

ვანგარიშობთ ჰიდრომონიტორის წყალმწარმოებლურობას  $Q'_a$  ვგულისხმობთ, რომ ერთი მონიტორის გადაადგილების დროს მუშაობს მეორე, ამიტომ ჰიდრომონიტორის მუშაობის ხანგრძლივობა დღე-ღამეში ( $n$ ) და მის დროში გამოყენებული კოეფიციენტი ( $K_{\text{დრ}}$ ) მიიღება იგივე, როგორც მიწასაწოვის.

$$Q'_a = \frac{\Pi \cdot q}{n \cdot K_{\text{დრ}}} \text{ მ}^3/\text{სთ.} \quad (5.39)$$

$Q'_a$  გადავიანგარიშოთ ლ/წმ-ში.

შევარჩევთ მონიტორის ჰიდრომონიტორების ტექნიკური მახასიათებლები

ცხრილიდან. ჰიდრომონიტორის გამოთვლილი წყალმწარმოებლობის ( $Q'_a$ ) და მონიტორის ნაცმთან დაწნევის სიდიდის ( $H_0$ ) მიხედვით ცხრილებიდან ვირჩევთ ნაცმის დიამეტრს ( $d_0$ ) მმ-ში და ვამოწმებთ მის შესაბამისობას შერჩეული მონიტორისათვის გათვალისწინებული ნაცმის შესაძლო დიამეტრთან.

ვსაზღვრავთ ნარჩენი მონალექის პროცენტსა ( $\eta_{\text{მონ}}$ ) და მოცულობას ( $W_{\text{მონ}}$ ).

$$\eta_{\text{მონ}} = \frac{100 \cdot i_a \cdot i_{\text{გაღ}}}{2h} \% \quad (5.40)$$

$$W_{\text{მონ}} = \frac{\eta_{\text{მონ}} W_{\text{სკ}}}{100} \text{ მ}^3 \quad (5.41)$$

სადაც  $i_a$  არის სანგრევის ძირის ქანობი, რომელიც განისაზღვრება მონიტორის წყალმწარმოებლობისა ( $Q'_a$ ) და დასამუშავებელი გრუნტის სახის მიხედვით ცხრილიდან. მონიტორის მინიმალური და მაქსიმალური დაშორება სანგრევიდან განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_{\text{min}} = \varphi' h \text{ მ} \quad (5.42)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც ცხრილში არა გვაქვს მონაცემები საჭირო დიამეტრის ნაცმებისათვის,  $Q'_a$  გამოითვლება ფორმულით:

$$Q'_a = 1000 \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH_0} \text{ ლ/წმ} \quad (5.43)$$

სადაც  $\mu$  არის ხარჯის კოეფიციენტი და მიიღება 0.945:

$\omega$  - ნაცმის გამოსავალი ხვრეტის ფართობი

$$\omega = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \text{ მ}^2 \quad (5.44)$$

$g$  - თავისუფლად ვარდნილი სხეულის აჩქარება. ( $g = 9,81 \text{ მ/წმ}^2$ );

$H_0$  - დაწნევაა ნაცმის წინ, მ.

1000 კოეფიციენტი მ<sup>3</sup>-ის გადასაყვანად ლ-ში.

$$L_{\text{max}} = 0,4 \cdot H_0 \text{ მ} \quad (5.45)$$

$\varphi'$  არის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ქანის ხასიათზე და მიიღება ცხრილებიდან.

## 5.6. გუმათის წყალსაცავის მოლამული მასალისაგან გაწმენდის გაანგარიშების პერსპექტივა

გუმათის წყალსაცავის გაწმენდა შეიძლება ვაწარმოოთ შემდეგი მონაცემების მიხედვით: დღე-ღამური გასაწმენდი ნატანი მასალა გრუნტის მიხედვით მ<sup>3</sup>/დღე-ღამეში; დასამუშავებელი და სატრანსპორტირებელი გრუნტის სახე - მძიმე ქვიშნარი; გეოდეზიურ ნიშნულთა სხვაობა სანგრევისა და პულპის გადაშვების მაქსიმალურ დონეთა შორის  $h = 23$  მ; პულპასადენის მთლიანი სიგრძე მ; სამუშაო საათების რიცხვი დღე-ღამეში  $n = 15$  სთ; მიწისაწოვის მქვ  $\eta = 0,7$ ; გრუნტის ფორიანობა  $m = 0,19$ ; გრუნტის სიმკვრივე  $\gamma_{გრ} = 1.85$  ტ/მ<sup>3</sup>; დანალექის სიმაღლე  $h = 13$  მ; სანგრევის სიგანე  $b = 50$  მ; მიწასაწოვის გადაადგილებისა და დაყენების ხანგრძლივობა  $t_{გაღ} = 5$  დღე-ღამე; გადაადგილების ბიჯი  $l_{გაღ} = 38$  მ. სანგრევის სიმაღლისა ( $h$ ) და დასამუშავებელი გრუნტის სახის მიხედვით ცხრილებიდან ვსაზღვრავთ წყლის საჭირო ხვედრით ხარჯს  $Q' = 8$  და დაწნევის სიდიდეს მონიტორის ნაცმთან  $H = 70$  მ. ვსაზღვრავთ დასამუშავებელ მოცულობას, რომელიც შეიძლება დამუშავდეს მიწასაწოვის ერთ პოზიციაში დგომის დროს.

$$W_{სა} = b \cdot h \cdot l_{გაღ} = 50\text{მ} \cdot 13\text{მ} \cdot 38\text{მ} = 24700 \text{ მ}^3 \quad (5.46)$$

მიწასაწოვის მუშაობის ხანგრძლივობა ერთ პოზიციაში დგომის დროს გამოითვლება ფორმულით:

$$t_{მოწ} = \frac{W_{სა}}{\Pi} = \frac{24700}{2350} = 10,5 \text{ დღე-ღამე} \quad (5.47)$$

ვანგარიშობთ მიწასაწოვის სამუშაო დროის გამოყენების კოეფიციენტს

$$K_{ღრ} = \frac{t_{მოწ}}{t_{მოწ} + t'_{გაღ}} = \frac{10,5}{10,5 + 5} = 0,676 \quad (5.48)$$

მიწასაწოვის საჭირო მწარმოებლობა პულპის მიხედვით :

$$Q_3 = \frac{\Pi(1 - m + q)}{n \cdot K_{ღრ}} = \frac{2350 \cdot (1 - 0,19 + 8)}{15 \cdot 0,676} = 2050 \text{ მ}^3/\text{დღე-ღამე} \quad (5.49)$$

$$Q_3 = 2350 \cdot 0,28 = 576 \text{ ლ/წთ} \quad (5.50)$$

ანუ  $Q_3 = 576$  ლ/წთ და გრუნტის სახის მიხედვით ცხრილიდან დავადგენთ პულპის

გადაადგილების მინიმალურ სიჩქარეს  $v = 2,9$  მ/წმ და პულპასადენის დიამეტრს  $D = 500$  მმ.

ვანგარიშობთ პულპის ხვედრით წონას:

$$\gamma_3 = \frac{q + \gamma_{გრ}}{q + 1 - m} = \frac{8 + 1,85}{8 + 1 - 0,19} = \frac{9,85}{8,81} 1,12 \text{ ტ/მ}^3 \quad (5.51)$$

ვსაზღვრავთ მიწასაწოვის საჭირო დაწნევის სიდიდეს პულპის მიხედვით:

$$H_3 = h_3 \cdot \gamma + 1,1K \cdot i \cdot L_3 + 2 = 23 \cdot 1,12 + 1,1 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot \frac{15}{100} \cdot 450 + 2 = 42,7 \text{ მ} \quad (5.52)$$

სადაც  $K = 1,4$  არის შესწორების კოეფიციენტი დანაკარგების საანგარიშოდ პულპასადენში, მიიღება წყლის ხვედრითი ხარჯის ( $q$ ) მიხედვით ცხრილიდან.

$$l = \frac{2,15}{100} \text{ მ} - \text{დაწნევის დანაკარგებია პულპასადენში } 100 \text{ მ-ზე. მიიღება } Q_3 = 576$$

ლ/წმ და პულპასადენის დამეტრისაგან ( $D$ ) დამოკიდებულებით.

მიწასაწოვის საჭირო სიმძლავრე გამოითვლება ფორმულით:

$$N = H_3 \cdot \frac{Q_p}{367\eta} = 42,7 \cdot \frac{575}{367 \cdot 0,7} = 96,2 \text{ კვტ} \quad (5.53)$$

ჰიდრომონიტორის წყალმწარმოებლურობას ვსაზღვრავთ ფორმულით:

$$Q'_a = \frac{\Pi \cdot q}{n \cdot K_{გრ}} = \frac{2350 \cdot 8}{15 \cdot 0,676} = 1850 \text{ მ}^3/\text{დღე-ღამე} \quad (5.54)$$

$$\text{ანუ } Q'_a = 1850 \cdot 0,28 = 516 \text{ ლ/წთ.}$$

ვირჩევთ ГМСД – 300 მონიტორს, რომლისთვისაც გამოყენებული ნაცმის დიამეტრი ცვალებედობს 100-140 მმ საზღვრებში.

თუ დღე-ღამეში მიწასაწოვით გუმათის წყალსაცავის ზედა ბიეფიდენ ქვედა ბიეფში გადავიტანთ  $Q'_a = 2050$  მ<sup>3</sup> მაშინ ერთი წლის განმავლობაში წყალსაცავიდან გაწმენდილი იქნება

$$Q'_a = 2050 \text{ მ}^3 \cdot 360 \text{ დღე-ღამე} = 738000 \text{ მ}^3/\text{წელი.} \quad (5.55)$$

გუმათჰესის წყალსაცავის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭიროა ორი აღნიშნული აგრეგატი. ორი აგრეგატის მიერ შესრულებული სამუშაოს მოცულობა ტოლი იქნება  $Q'_a = 1476$  მლნ.მ<sup>3</sup>.

## 5.7 მდ. რიონის წყალსაცავების სასარგებლო მოცულობის მიერ გამოძუშავებული ელექტროენერგია

ლაჯანურჰესის წყალსაცავის სრული მოცულობა ტოლია 25 მლნ. მ<sup>3</sup>, ხოლო სასარგებლო მოცულობა 18მლნ.მ<sup>3</sup>. 1 კვტ.სთ ელექტროენერგიის გამოძუშავებისათვის საჭირო წყლის ხარჯი ტოლია 3.2 მ<sup>3</sup>. აქედან გამომდინარე სასარგებლო მოცულობის მიერ წარმოებული ელექტროენერგია ტოლი იქნება: 18 მლნ. მ<sup>3</sup> გაყოფილი 3.2 მ<sup>3</sup>, რაც გვაძლევს 5.625 მლნ. კვტს ელექტროენერგიას.

გუმათჰესი I წყალსაცავის სასარგებლო ფენის მოცულობა 18 მლნ. მ<sup>3</sup>, ხოლო წყალსაცავის მკვდარი ფენის მოცულობა 26 მლნ. მ<sup>3</sup>. წყლის ხვედრითი ხარჯი 1კვტ-ზე, 17.5 მ<sup>3</sup>. აქედან გამომდინარე გუმათისჰეს-ის სასარგებლო მოცულობის მიერ წარმოებული ელექტროენერგია ტოლი იქნება: 18 მლნ. მ<sup>3</sup> გაყოფილი 17.5 მ<sup>3</sup>, რაც გვაძლევს 1.03 მლნ. კვტს ელექტროენერგიას.

გუმათჰესი II წყლის ხვედრითი ხარჯი 1კვტს-ზე ტოლია 34.2 მ<sup>3</sup>. აქედან გამომდინარე სასარგებლო მოცულობის მიერ წარმოებულ ელექტროენერგია ტოლი იქნება 18 მ<sup>3</sup> გაყოფილი 34.2 მ<sup>3</sup>, რაც გვაძლევს 0.53 მლნ. კვტს ელექტროენერგიას.

რიონჰესის წყალსაცავი სასარგებლო მოცულობა 3.0 მლნ. მ<sup>3</sup>. წყლის ხვედრითი ხარჯი 1 კვტს-ზე 7.9 მ<sup>3</sup>. აქედან გამომდინარე რიონჰესის წყალსაცავის მიერ წარმოებული ელექტროენერგია ტოლი იქნება: 3.0 მლნ. მ<sup>3</sup> გაყოფილი 7.9 მ<sup>3</sup>, რაც გვაძლევს 0.38 მლნ.კვტს.

ვარციხჰესის კასკადის წყალსაცავის სრული მოცულობა 14.6 მლნ. მ<sup>3</sup>, ხოლო სასარგებლო მოცულობა 2.4 მლნ მ<sup>3</sup>. წყლის ხვედრითი ხარჯი 1კვტს-ზე 27.3 მ<sup>3</sup>. აქედან გამომდინარე ვარციხის კასკადის წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის მიერ წარმოებული ელექტროენერგია ტოლი იქნება: 2.4 მლნ. მ<sup>3</sup> გაყოფილი 27.3 მ<sup>3</sup>, რაც გვაძლევს 0.09 მლნ. კვტს. ოთხივე ჰესისათვის ტოლი იქნება 0.35 მლნ.კვტს.

გუმათჰესი I წყალსაცავის 2016 წლის 21-23 მაისის გარეცხვის დროს დაკარგული ელექტროენერგიის რაოდენობა ტოლია:  $44 \text{ მგვტ} \cdot 72 \text{ სთ} = 3168 \text{ მგვტ.სთ}$ .

გუმათჰესი II წყალსაცავის 2016 წლის 21-23 მაისის გარეცხვის დროს დაკარგული ელექტროენერგიის რაოდენობა ტოლია:  $21,5 \text{ მგვტ} \cdot 72 \text{ სთ} = 1548 \text{ მგვტ. სთ}$ .

რიონჰესის წყალსაცავის 2016 წლის 21-23 მაისის გარეცხვის დროს დაკარგული ელექტროენერგიის რაოდენობა ტოლია:  $48 \text{ მგვტ} \cdot 72 \text{ სთ} = 3456 \text{ მგვტ.სთ}$ .

ჰიდრომექანიკური მეთოდით გუმათის წყალსაცავის ნატანი მასალის გაწმენდის მიმდინარე პროცესების წარმოებისათვის საჭირო ელექტროენერგია ტოლია: 96,2 კვტ. სთ, რაც გუმათის სადგურის სიმძლავრისათვის შეადგენს მცირე სიდიდეს (44 000 კვტ.სთ). ანალოგიურად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ლაჯანურის, რიონის და ვარციხის წყალსაცავების გაწმენდისათვის ჩემს მიერ შერჩეული მიწასაწოვი დანადგარები.

## ძირითადი დასკვნები

1. მდ. რიონზე კვლევის მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე ვასკვნი, რომ უხვნატანიან მდინარეებზე წყალსაცავების ნორმალური ექსპლუატაციის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს წყალსაცავებიდან მყარი ნატანის სისტემატიური გატანა ან შერევა მდინარის წყალშემკრებ ფართობზე.
2. წარმოდგენილია ლაჯანურის, გუმათის, რიონჰესის და ვარციხის წყალსაცავის კვეთში მდ. რიონის უხვწყლიანი წელი 1987 წ., და მცირე წყლიანი 1986 წ. წყლის ხარჯები და საშუალო დეკადური სიმღვრიეები.
3. წარმოდგენილია სიმღვრივეთა საშუალო დეკადური, მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები მდ. ყვირილა-ზესტაფონის საგუმავოსა და მდ. რიონი-საკოჩაკიდის საგუმავოს კვეთში გ/მ<sup>3</sup> უხვწყლიანი 1987 წლის მონაცემებით.
4. შემუშავებულია მდ. რიონის აუზის წყალსაცავების მოლამული მოცულობის დადგენის მეთოდიკა. ამ მიზნით ნაშრომის შესრულების დროს გამოთვლები ვაწარმოე 7.6 კმ-ის სიგრძეზე. ყოველ პროფილზე განვსაზღვრე მოლამვის ფართობი (მ<sup>2</sup>) და მათ კვეთებს შორის მანძილის ნამრავლით მივიღე მონაკვეთის მოლამული მოცულობა, მონაკვეთების აჯამვით საერთო მოლამული მოცულობა. ჩემი გამოთვლებით 2016 წლის 21-23 მაისი გარეცხვამდე გუმათის წყალსაცავის მოლამული მოცულობა შეადგენს 39.2 მლნ. მ<sup>3</sup>.
5. მიღებული შედეგების საფუძველზე ლაჯანურის, გუმათის, რიონჰესის და ვარციხის წყალსაცავის კვეთში აგებულია მოლამვის ინტეგრალური მრუდები.
6. დადგენილია მდ. რიონის აუზის მთელ სიგრძეზე გრანულომეტრიული შემადგენლობისა და სიმკვრივის მნიშვნელობები. ნაწილაკების შემადგენლობა % და დიამეტრები მმ. (რიონის საგუმავოები: უწერა, ონი, ხიდიკარი, ნამახვანი, საკოჩა-

კიძე. ლაჯანური–ორბელი, ყვირილა– ზესტაფონი, ძირულა–წევა)

7. დადგენილია მდ. რიონის წყალშემკრები აუზის ფართობის მთელ სიგრძეზე მოძრავი ნატანი მასალის მოცულობის ცვლილების მნიშვნელობა. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ შავი ზღვის შესართავთან ნატანი მასალის მოძრავი მასის ინტენსიური მოცულობა აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას.
8. კომპიუტერული პროგრამის Mathcad 15 ბაზაზე სტატისტიკური მიდგომის მეთოდის გამოყენებით დავადგინე მდ. რიონის წყალსაცავების მოლამული მასის მოცულობა.
9. წარმოდგენილია გუმათჰესის წყალსაცავის მონაკვეთზე ღია კალაპოტის მოლამვის დიაგნოსტიკა. მოლამვის მოცულობის დასადგენად გამოვიყენეთ ბლანტი უკუმშველი სითხის მოძრაობის განტოლება ნავიე-სტოქსის სამი განტოლების სისტემის  $\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial u_i}{\partial x_\alpha} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_\alpha^2}; \alpha, i = 1, 2, 3.$  და სიჩქარის სამი გეგმილის  $(u_1, u_2, u_3)$  დახმარებით.
10. მოდელირების მეთოდით დადგენილია მყარი ნატანის საანგარიშო მახასიათებლები, რაც გულისხმობს განსახილველი მდინარის შესწავლილი და საანგარიშო კვეთების წყალშემკრები აუზების თანაფარდობის მიხედვით მყარი ნატანის ხარჯების თანაფარდობის განსაზღვრას.
11. გამრეცი ნაკადის სიმღვრივის დასადგენად ჩემს მიერ შემოთავაზებულია შემდეგი ფორმულა:

$$\rho = 8.97 \frac{\nu^3}{R \cdot \omega}$$

12. პირველად არის წარმოდგენილი ჰიდრომექანიკური მეთოდით გუმათის წყალსაცავის მოლამული მასალისაგან გაწმენდის ანგარიში. თუ დღე-ღამეში მიწასაწოვით გუმათის წყალსაცავის ზედა ბიეფიდან ქვედა ბიეფში გადავიტანთ  $Q'_a = 2050$  მ<sup>3</sup> მაშინ ერთი წლის განმავლობაში წყალსაცავიდან გაწმენდილი იქნება

$$Q'_a = 2050 \text{მ}^3 \cdot 360 \text{დღე-ღამე} = 738000 \text{მ}^3/\text{წელი}$$

გუმათჰესის წყალსაცავის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭიროა ორი აღნიშნული აგრეგატი. ორი აგრეგატის მიერ შესრულებული სამუშაოს მოცულობა ტოლი იქნება  $Q'_a = 1476$  მლნ.მ<sup>3</sup>.

13. გაანალიზებულია წყალსაცავის გარეცხვის მეტად გავრცელებული ჰიდრავლიკური გარეცხვის მეთოდის დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ამ მეთოდის მუშაობის პრინციპი დამყარებულია წყლის დიდი მოცულობის გამოყენებაზე და წყალსაცავის მთელი მოცულობის დაცლაზე, რის შედეგადაც ჰესი გაჩერებულია სამი დღე-ღამის განმავლობაში.
14. შესწავლილია და დადგენილია წყალსაცავის მოლამული მოცულობის გაწმენდის ჰიდრომექანიკური და სიფონური მეთოდები. შესწავლილი და გაანალიზებულია წყალსაცავის გარეცხვის ჰიდრომექანიკური მეთოდის დადებითი და უარყოფითი მხარეები. წყალსაცავის გაწმენდა ხორციელდება ჰიდროელექტროსადგურის მუშაობის პარალელურად, რაც ჰიდრომექანიკური მეთოდით გაწმენდის დადებით მხარეს წარმოადგენს. უარყოფით მხარედ ჩაითვლება დანადგარის გადაადგილების დრო.

პირველადაა წარმოდგენილი სიფონური მეთოდით წყალსაცავის გაწმენდის მეთოდი, რომელიც დამყარებულია სიფონის მუშაობის პრინციპზე, რომლის დროსაც ხდება წყალსაცავის ფსკერიდან გრუნტის ამოწოვა და მისი სიფონური მილსადენით ტრანსპორტირება კაშხლის ქვედა ბიეფში ან მოსალექ ადგილამდე. აღნიშნული მეთოდის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს სიფონის მუშაობის დაწყება.
15. ნაშრომში შემოთავაზებულია გაანგარიშების პრინციპები და მდ.რიონის წყალსაცავების მოლამვის კვლევისა და მის წინააღმდეგ ბრძოლის მიღებული მეთოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მოქმედი ან ახლადმშენებარე წყალსაცავების ანალოგიური ჰიდროკვანძებისა და ჰესების მშენებლობისა და პროექტების დროს.



## ლიტერატურა

1. გ.გიგიბერია. დაღამვის პროცესები ჟინვალის წყალსაცავში. /ჟურნალი „ენერჯია“, № 3 (51). - თბილისი, 2009. - გვ 82-89.
2. ჯ.ბიჭიაშვილი, მ.ადეიშვილი, რ. იმედაძე. სატრანსპორტო-სამშენებლო მანქანები. - თბილისი: განათლება, 2002. - 429 გვ.
3. ვ.მამასახლისი., ჯ.ნოსელიძე, შ.მომცემლიძე. მდ. ჭოროხის ნაპირდამცავი ნაგებობების ექსპლუატაციის ანალიზი. /„მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი, №4-6. - თბილისი, 2011. - გვ.73-77.
4. ჯ.ნოსელიძე, ო.შაუთიძე, შ.მომცემლიძე. მდ.რაჩხის გამოყენება ქ.ქუთაისისა და კურორტ წყალტუბოს სასმელი წყლით მომარაგების მიზნით (წინასწარი კვლევის შედეგები). /„მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი, №4-6. - თბილისი, 2011. - გვ.70-72.
5. გ.სვანიძე, ო.ხმალაძე. მ.ალავერდიშვილი, დ.ქოჩიაშვილი. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა ნატანის ჩამონადენის გაანგარიშება ენერგეტიკული პრინციპების გამოყენებით. //II რესპუბლიკური კონფერენციის მასალები. - თბილისი, 1990.
6. საქართველოს სახელმწიფო წყლის კადასტრის ფონდი, ჰიდრომეტდეპარტამენტი. - თბილისი, 1926-1998 წწ.
7. ი.ხომერიკი, გ.მეტრეველი, ნ.კუჭუაშვილი. მდინარე რიონის ქვედაწელში დონეების რყევის თავისებურებათა ანალიზი. //II რესპუბლიკური სამეცნიერო კონფერენციის მასალები. - თბილისი, 1990.
8. ო.ხმალაძე, მ.ალავერდიშვილი , დ.ქოჩიაშვილი , ჯ.ქურდოშვილი. დასავლეთ საქართველოს ზოგიერთი მდინარის შეტვიწმარებული ნატანის წლიური ჩამონადენის რყევადობა. //II რესპუბლიკური კონფერენციის მასალები. - თბილისი, 1990.
9. ო.შაუთიძე, ჯ.ნოსელიძე, შ.მომცემლიძე. ბორცვისებრი ფსკერული ნატანის მოძრაობა მდ. რიონის ქვედა წელში (სოფ. ზემო ჭალადიდთან). /„მეცნიერება და

- ტექნოლოგიები“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი, №1-3. - თბილისი, 2011. - გვ.52-55.
10. ჯ.ნოსელიძე, ვ.მამასახლისი, შ.მომცემლიძე. არა წარეცხვადკალაპოტიანი მდინარეების კრიტიკული შევიწროების სიდიდის განსაზღვრა ნაპირების ცალმხრივი გამაგრებისას. /„მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის სამეცნიერო-რეფერირებული ჟურნალი, №4-6. - თბილისი, 2012. - 65-69 გვ.
  11. ნ.კერესელიძე. მდინარე რიონის ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის წყალსაცავების გარეცხვის მეთოდისა და დალექილი მასალის გამოყენების ღონისძიებები. სესკ ინსტიტუტი. თემა № 4. - თბილისი , 1992.
  12. Абальяиц С.Ч. Движение взвеси в открытых потоках. //Труды САНИИР, вып.366, 1968.
  13. Авакян А., Шапанов В.А. Водохранилища и гидроэлектростанции СССР. – М.: Госэнергоиздат, 1962.
  14. Алавердашвили М.Ш. Условия формирования и методика расчета стока наносов рек Западной Грузии. Автореферат дисс к.т.н. – Тбилиси: Тбилисский Гос. Университет, 1989. - 22 с.
  15. Алтунин В.С., Курганович А.А., Петров Н.Н. Современное состояние проблемы местного размыва у преград. /Журнал «Гидротехническое строительство», № 6, 1977, с. 25-31.
  16. Алтунин С.Т. Регулирование русел рек. - М.: Сельхозгиз, 1962. - 271 с.
  17. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. - М.: МГУ, 1998. - 202с.
  18. Ананян А.К. Прогнозирование устойчивой формы продольного профиля реки. //Сб. «Результаты в исследовании по Севанской проблеме», №2, Русловые процессы, АН Арм. ССР. – Ереван, 1962.
  19. Артаманов К.Ф., Крошкин А.Н. Поэтапное регулирование пойменных отложений наносов при водозаборе. /Журнал «Вопросы водного хозяйства», вып. №2. - Фрунзе: Киргизстан, 1968. - с.2-17.
  20. Базилевич В.А. Экспериментальные исследования расхода влекомых наносов. /Журнал «Водные ресурсы», № 1, 1984, с.10-19.

21. Бандзеладзе Б.Р., Момцемлидзе Ш.А. Диагностика заиливания открытого русла реки Риони вблизи Гуматской ГЭС. /Georgian engineering news, No.2 (vol.66), 2013. GFID GEN LTD, p. 94- 98.
22. Бандзеладзе Б.Р. К вопросу заиливания речных русел статистическим подходом на базе компьютерной программы MathCAD 15. /Georgian engineering news, No.4 (vol.68), 2013. GFID GEN LTD, p. 93- 96.
23. Баренблат Г.Н. О движении взвешенных частиц в потоке.– М.: ПМИ, Вып. 3, № 17. 1963.
24. Барышников Н.Б. Русловые процессы. - Л.: РГГМУ, 2008.. - 41 с.
25. Бахметев Б.А. Гидравлика открытых русел. - М.: ОГИЗ Гостройиздат, 1934. - 331 с.
26. Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. - М.: ГЕОС, 2001. - 164 с.
27. Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернова А.В. Экологическое русловедение. - М.: ГЕОС, 2000. - 332 с.
28. Билчук А.С. Гидравлические сопротивления русел рек Украинских Карпат. Автореферат дисс. д.т.н. - Л.: ГГИ, 1969. - 16 с.
29. Боголюбова И.В. Результаты полевых исследований и расчета стока влекомых наносов р. Мзымта. – Л.: Труды ГГИ. Гидрометиздат, 1966, с. 39-63.
30. Богомалов А.И., Алтунин В.С., Петров Н.А., Прудовский А.М., Киони В.А. Местный размыв у незатопленных преград. /Журнал «Гидротехническое строительство», № 7, 1975.
31. Бурлай И.Ф. Связь между законами и параметрами распределения размеров зерен наносов. //Труды Одесского Гидрометеорологического института, вып. 24, 1961.
32. Бухин М.Н. Методические указания по прогнозированию переформирования русел предгорных участков рек при регулировании их регуляционными сооружениями типа полузапруд. - Киев: Урожай, 1974.
33. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. – М.: Гостехиздат, 1954, т.1, 322 с; 1955, т 2, 323 с.
34. Великанов М.А. Русловой процесс. - М.: Физматгиз, 1958. - 396 с.
35. Виноградов В.И. Экспериментальные исследования полей скоростей и концентрации, равномерных в взесенесущих потоков. Дисс. на соискание ученой стерни кандидата технических наук. - М., 1962.
36. Воилевич В.А. Расчет деформации дна и берегов гравийно-галечных русел. /Журнал «Гидротехническое строительство», № 11, 1976, с.11-17.

37. Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Ломтатидзе В.Г. К определению глубины местного размыва русел за горизонтальным водобоем. /Сообщение АН ГрузССР, т.21, №1, 1958.
38. Гвелесиани Л.Г. Режим наносов р. Риони. //Известия ТНИСГЭИ, № 3. - Тбилиси, 1950.
39. Гвелесиани Л.Г., Шмальцев. Н.П. Заиление водохранилищ гидроэлектростанций. - М.: Энергия, 1968. - 86 с.
40. Гончаров В.Н. Движение наносов в равномерном потоке. – Л.: Гидрометеиздат, 1960.
41. Гвелесиани Л.Г. К вопросу исследований придонных наносов. – М.: Журнал Метрология, 1939, № 6, с.4-8.
42. Глушков В. Г. Вопросы теории и методы гидравлических исследований. -М.: Изд-во АН СССР, 1961ю -416 с.
43. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. - 374 с.
44. Гостунский А.Н. Взвешивающая способность. - Ташкент, Изд-во АН УзССР, №3, 1963.
45. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1979. - 312 с.
46. Грешаев А.Д. Исследование переноса водным потоком взвешенных частиц. – М.: Автореферат дисс. д.т.н. – Л., 1958.
47. Гиргидов А.В. Механика жидкости и газа (Гидравлика). – Санкт-Петербург: Изд-во СПб ГПУ, 2002. 544 с
48. Гринвальд Д.И. Турбулентность русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1974.- 166 с.
49. Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление естественных русел. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. - 179 с.
50. Данелиа Н.Ф. Водозаборные сооружения на реках с обильными донными наносами. – М.: Колос, 1964. - 335 с.
51. Дохнадзе Г.П. Уравнение устойчивого продольного профиля русла водотока, сложенного из связанных грунтов при переменном значении коэффициента шероховатости. //Труды Груз НИИГиМ, вып.28. – Тбилиси, 1971. - с. 77-81.
52. Дульнев В.Б. Установившееся неравномерное движение жидкости с переменным расходом в открытых руслах. //Известия АН СССР ОНТ, 1955.
53. Егиазаров И.В. Моделирование горных потоков, влекущих донные наносы. //Докл. АН Арм. СССР, № 5, 1948, с.193-202.
54. Знаменская Н.С. Донные наносы и русловые процессы. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 191 с.
55. Ибад-заде Ю.А. Движение наносов в открытых руслах. – М.: Стройиздат, 1974. - 191 с.

56. Иорданишвили И.К., Иорданишвили К.Т. Вопросы эволюции горных водохранилищ Грузии. – Тбилиси: Универсал, 2012. - 186 с.
57. Каганов И.А. Русловые переформирование при регулировании рек горно-предгорной зоны. – Львов: Высшая школа, 1981. - 117 с.
58. . Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 272 с.
59. Кафтан А.Н. Типы русел рек Украинских Карпат. /В книге: Научные исследования по гидротехнике. – Л.: Энергия, 1976. - с.54-56.
60. Кварацхелия Л.Д. К вопросу о местном размыве за креплением нижнего бьефа гидроузлов. /Известия ТНИСГЭИ, т.15. – Тбилиси, 1968.
61. Кереселидзе И.Б., Кутевая В.И., Цагарели О.А. Заиление и промыв горных водохранилищ на примере Рионского каскада ГЭС. ГТС. № 9, 1985.
62. Кирианов Д. Mathcad 15/ Mathcad Prime 1.0. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012.
63. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Лабораторные исследования кинематической структуры турбулентного потока с сильно шероховатым дном. /Труды ГГИ, вып.209. - Л.: 1973. - с.67-89.
64. Кнороз В.С. Образование естественной отмстки при размыве русла /Журнал «Гидротехническое строительство», вып.20, 1956, с.17-19.
65. Коганов Я.И. Русловые переформирования при регулировании рек горно-предгорной зоны. – Львов: Изд-во Львовского государственного университета им. И. Франко, 1977.
66. Кондитеров Н.У., Попов И.В. О связи изменений плановых и высотных характеристик речных русел. //Труды ГГИ, вып.136. - Л.: 1966.
67. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Снищенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. - 272 с.
68. Кромер Р.К. Режим тверд стока рек юга Казахстана. /Журнал «Водные ресурсы», № 6, 1985, с.105-110.
69. Копалиани З.Д., Цхададзе В.С. Типы речных русел Западной Грузии. – Л.: «Труды ГГИ», вып. 136, 1966, с. 231-269.
70. Копалиани З.Д., Шаутидзе О.Д., Носелидзе Д.В., Хмаладзе О.Г. Гидравлическое моделирование руслового процесса для предгорных участков рек. ВЕСТНИК Бакинского университета ISSN 1609-0586 № 2, 2002, с. 207-213.
71. Копалиани З.Д. Лабораторные исследования грядового движения крупных наносов. - //Труды ГГИ, вып.204. – Л.: Гидрометеиздат,1972. - с. 61-74.

72. Копалиани З.Д., Жук М.М., Першин С.К. Донные отложения русла рек участков Байкало-Амурской магистрали. /В книге «Вопросы гидрологии суши». – Л.: Гидрометеиздат, 1978, с.109-123.
73. Копалиани З.Д., Ромашин В.В. Проблемы русловой динамики горных рек. //Труды ГГИ, вып.183. – Л.: 1970, с. 81-98.
74. Копалиани З.Д., Твалавадзе О.А., Носелидзе Д.В. Гидравлическое моделирование руслового процесса р.Утулик на участке мостовых переходов. //Труды ГГИ, вып.337. - Л., 1990. - с. 138-163.
75. Копалиани З.Д., Твалавадзе О.А., Носелидзе Д.В. Методика и результаты исследований русловых деформаций неискажённой модели р.Хара-Мурын. //Труды ГГИ, вып. № 301. - Л., 1986. - с. 68-79.
76. Крошкин Д.Н., Каличенко Г.В. К вопросу транспорта влекомых наносов на горных реках. /Вопросы водного хозяйства. Вып. 2. - Фрунзе: Изд-во Киргизистан, 1968, с.69-72.
77. Лаптенков В.С. Прогнозирование русловых деформаций бьефы речных гидроузлов. - Л.: Гидрометеиздат, 1979.
78. Латишенков А.М. Вопросы гидравлики искусственно сжатых русел. - М.: Госстройиздат, 1960. - 261 с.
79. Леви И.И. Инженерная гидрология. - М.: Высшая школа, 1969. - 198 с.
80. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР. - М.: Географиздат, 1952. - 504 с.
81. Лохтин В.М. О Механизме речного русла. – Казань, 1903.
82. Магомедов А.В. Учет разнородности грунта при расчете русловых деформаций. //Труды ГрузНИИГиМ. Вып. 25. -Тбилиси, 1967.
83. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. - 264с.
84. Мандыч А.Ф. Твёрдый сток рек Западной Грузии. Автореферат дисс. к.т.н. – М.: МГУ, 1967. - 24 с.
85. Мажидов Т.Ш. Экспериментальные исследования влияния состава наносов на характеристики потока и русла. //Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. Том 10. Книга 2. № 42. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 40-47с.
86. Мачарадзе Г. Т. Опыт промыва горных водохранилищ и рекомендации по повышению эффективности промыва. //Сб. научных трудов Груз НИИЭГС, 1989.
87. Магамедов З.А. Исследование гидравлической очистки от речных наносов водохранилищ на горных реках. Автореферат дисс. к.т.н. – Тбилиси, 1985.

88. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русла. - Л.: Гидрометеоздат, 1988. - 304 с.
89. Натишвили О.Г. Некоторые инженерные вопросы взвесенесущих русловых потоков и результаты лабораторных исследований движения селей. Автореферат дисс. д.т.н. – М., 1968.
90. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. – Киев: АН УССР, 1963.
91. Носелндзе Д.В., Шаутидзе О.Д. Натурные исследования динамики заиления водохранилища Гумати ГЭС. /Материалы всероссийской научно-технической конференций «Современные проблем исследований водохранилищ». - Пермь, 2005. - с.289-291.
92. Носелндзе Д.В., Шаутидзе О.Д., Момцемлидзе Ш.А. Исследование гранулометрического состава донных отложений по длине р.Риони. //Труды VII конференции Российского университета дружбы народов: «Прибрежные зоны морей». - М., 2009. - с. 151-156.
93. Носелндзе Д.В., Шаутидзе О.Д., Момцемлидзе Ш.А. Заиление водохранилища Ладжанурской ГЭС и методы борьбы. //Труды Международной научно-практической конференции: «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», том I. 28–30 мая 2013. – Пермь, 2013.
94. Носелидзе Д.В., Шаутидзе О.Д., Момцемлидзе Ш.А. Заиление водохранилища Гумати ГЭС и борьба с ними. //Труды Международной научно-практической конференции: «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», том I. 26-28 мая 2009 г. – Пермь, – с.108-111.
95. Носелидзе Д.В. Методы исследований донных наносов на участке мостовых переходов рек горно-предгорной зоны. //Труды КГТУ, вып. 2(11). – Кутаиси, 2002 - с.64-68.
96. Носелидзе Д.В., Бандзеладзе Б.Р. Момцемлидзе Ш.А., Каладзе Д.З. Заиление водохранилища Варцихской ГЭС. /საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. „მდგრადი ენერგეტიკა: ”გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“. - ქუთაისი აწსუ-ს გამომც.,. 2015. 61-66 გვ.

97. Образовский А.С. К вопросу о механизме взвешивания наносов равномерным турбулентным потоком. //Труды гидравлической лаборатории ВОДГЭО, вып. 5. – М/, 1957.
98. Одилавадзе Т.В. Исследование кинематической структуры открытых потоков. Автореферат дисс. к.т.н. – М., 1971.
99. Плетнев Е.В., Поло-заде А.П., Штеренлихт Д.В. Связь гидрологических сопротивлений со статистическими характеристиками рельефа дна. /Журнал «Гидротехника и мелиорация», вып. 5, 1980, с.25-28.
100. Плоткина Г. Исследование заиления и фильтрационной составляющей водного баланса горных водохранилищ балансно-статистическом методом. Дисс. к.т.н. – Тбилиси, 1994.
101. Поздняков Ш.Р., Романовский В.В. Исследование и расчет расхода влекомых наносов горных рек. //Тр. IV всесоюзного гидрологического съезда.. Т. 10. Книга 2. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. – с. 54-61.
102. Попов И.В. Деформация речных русел и гидротехническое строительство. – Л.: гидрометеиздат, 1969. – 363 с.
103. Проскуряков А.К. вопросу о двух теориях переноса взвешенных наносов. /Сб. «Проблема русловых процессов». –М.: ГИМИЗ, 1953.
104. Пурцеладзе Л.Д. Оценка сопротивляемости размыву глинистых грунтов с использованием факторного анализа. //Докл. ВАСХНИЛ, т.4. – М., 1980.
105. Пушкарев В.Ф. Движение влекомых наносов. //Труды ГГИ, вып. 8(62). – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – с. 93-109.
106. Ржаницын Н.А., Ибад-Заде Ю.А. Деформации аллювиальных русел, сложенных из неоднородных материалов. /Журнал «Гидротехническое строительство», №9, 1973.
107. Романовский В.В. Влияние формы крупных частиц наносов и их ориентации в потоке на гидродинамическое сопротивление. //Труды ГГИ, ,вып. 175, 1969, с.108-118.
108. Ромашин В.В. К оценке поступления речных наносов на пляжи г.Сочи. //В сб. «Вопросы совершенствования методов берегозащиты». – 1980. 216 с.
109. Россинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. – М.: Наука.,1980. – 214 с.



110. Румянцев И.С. Исследование кинематической структуры потоков и переформирований дна на участках подводных переходов дюкерного типа. Автореферат дисс. к.т.н. - М., 1970.
111. Руслевой режим рек Северной Евразии. /Под ред. Р.С.Чалова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. - 336 с.
112. Рухадзе Н.В. Динамические особенности русловых процессов горно-предгорных участков рек. Автореферат дисс. к.т.н. - М., 1983, - 16 с.
113. Саноян В.Г., Ананян А.К. К вопросу о движении наносов в турбулентном потоке. //Сб. «Исследования максимального стока волнового воздействия и движения наносов». Известия АН СССР. - М., 1960.
114. Сванидзе Г.Г., Киласония А.Н., Алавердашвили М.Ш. Гидрология р.Бзыбь. - Тбилиси: ТГУ, 1981. - 144 с.
115. Сванидзе Г.Г., Хмаладзе О.Г. и др. Анализ формирования и расчет твердого стока рек Черноморского побережья Абхазии. /Тез. докл. II всесоюз. конф. „Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев“. Т.1. - М., 1984. - с. 241-242.
116. Сванидзе Г.Г. Основы расчета регулирования речного стока методом Монте-Карло. -М., 1964.
117. Смищенко Б.Ф., Копалиани З.Д. О скорости движения песчаных гряды лабораторных условиях. //Труды ГГИ, 1978., вып. 252. - с.20-37.
118. Соловьев Н.Я. О пульсации перемещения влекомых наносов в горных реках. //Труды ГГИ, вып.175. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - с.119-123.
119. Сток наносов, его изучение и географическое распределение. /Под ред. А.В.Караушева. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 240 с.
120. Талмаза В.Ф. К вопросу о транспортирующей способности рек горно-предгорной зоны. //Изв. АН КиргССР, серия «Естественные и техн. науки». Т.IV, вып. 5. - Фрунзе, 1962.
121. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н. Гидроморфологические характеристики горных рек. - Фрунзе: (Кыргызистан), 1968. - 203 с.
122. Терцоги К. Теория механики грунтов. Пер. с нем. /Под. ред. А.Н. Цытовича. - М.: Госториздат, 1961. - 482с.

123. Умаров А. Ю. Наносный режим реки Каран-куль. //В сб.: «Вопросы энергетики и горного дела». –Ташкент: Изд-во АМ УЗСССР, 1961. – 72 с .
124. Фидман Б.А. Об уравнениях гидромеханики для многокомпонентной турбулентной среды. –Новосибирск. Известия СО АН СССР, серия техн. наук. Вып.1. 1965.
125. Франкль Ф.И. О системе уравнений взвешенных наносов. //Сб. «Исследования максимального стока волнового воздействия и движения наносов». – М.: Изд-во АН СССР, 1960.
126. Хаскинд М.Д. К теории наносов. – М.: Изд-во АН СССР, ОТН, №11, 1956.
127. Хачатурян А.Г. Насыщение потока наносами и динамика их осаждения. /Журнал «Гидротехника и мелиорация», № 6, 1954.
128. Херхеулидзе И. И. Определение максимальных расходов и объемов твердого стока горных пртоков. ”Гидротехника и мелиорация“ № 4. Селхозгизб 1954.
129. Цветикова Н.Ф. Методика расчета осаждения взвешенных наносов в турбулентном потоке. //Сб. «Русловые процессы».- М.: Изд-во АН СССР, 1958.
130. Цитович Н.А. Механика грунтов. Изд. 2-е. - М.: Госстройиздат, 1963. - 636 с.
131. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. - М.: Изд-во ЛКИ, 2008. - 608 с.
132. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.2 Морфодинамика речных русел. - М.: МГУ, 2011. - 960 с.
133. Чалов Р.С., Виноградова Н.Н., Зайцев А.А. Практические работы по курсам «Воднотехнические изыскания» и «Русловые процессы». - М.: Изд-во ун-та., 2003. - 128 с.
134. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. - М.: Изд-во МГУ, 2004. - 371с.
135. Чернов А.В. География и геоэкономическое состояние русел и пойм рек Северной Евро - Азии. – М.: ООО «Крона», 2009.
136. Чанишвили А.О. Гидравлические крупности в условиях взаимодействия между частицами. - М.-Л.: Известия ТНИСГЭИ, т. 11. 1958.
137. Чоговадзе Г.И. Гидроэлектростанции Грузии. - М.: Энергия. 1971. - 273 с.
138. Шатберашвили П.А. О русловых процессах на обвалованных реках Колхиды. //Труды ГрузНИИГиМ. Вып. 21. – Тбилиси, 1960.

139. Шаутидзе О.Д. Русловой процесс р. Риони. Автореферат дисс. к.т.н.- Тбилиси, 1985. - 269 с.
140. Шамов Г.И. Речные наносы. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. - 378 с.
141. Шмальцев Н.П. Исследование заиления и занесения верных бьефов водохранилищ ГЭС на горных рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1967.- 135 с.
142. Эристов В. С.; Абхази В. И.; Волнин Б. Г.; Ефимов С. Г.; Навроцкий П. А.; Третьяков А. К.; Чаплигин Д. В.; Чураков А. И.; Производство гидротехнических работа. М.: издательство литературы по строительству - 1970, 560 с.
143. Ahmad M. Experiments on Mesign and Behavior of spur-dikes, Proc. Int. Assoc. of Hydra. Res. Minuessota, 1953.
144. Alvares M., Bridieska S. Socavacion y protection al pied pilafs de Puente. Ingenerate Hider. En Mexico. v. 20, №20, 1966.
145. Baker C.J. Theretcalapproactpreoiction of local scour around bridge piers Journal of Hydraulic research precherцыes Hydraulic volume 18, №1. 1980.
146. Bogardi J. Sediment transport in alluvial Streams. Academia Ki ado. - Budapest, 1974.
147. Bredly J. and Peterka A. Hydraulic jams on a horizontal apron P.A.C.E., vol.83., № 5, 1957.
148. Barthel V., Zhang Ji. Hybrid Modelinling Technigues in River Engineering. Proceedings of the international sumposium Vol. 1. UNESCO, Paris, 1994, p. 61-70.
149. Blench T. Regime Behavior of Canals and River. Butterworth Scientific Publication, London, 1957.
150. Chitale S. Discussion to Scour at bridge crossings by E. Laussen. /Journ. Of Hydraulic. Div. Pr. ASCE, vol. 86, № HY 9, 1960.
151. Chian min Wu. Hydraulic properties of reservoir abseiling. XXIII Cong. JAHR, Ottawa. Conada. August, 21- 25, 1989. -587.
152. Chian min Wu. Hydraulic properties of reservoir abseiling. XXIII Cong. JAHR, Ottawa. Conada. August, 21- 25, 1989. -587.
153. De Vries D. Solving. River problems by hydraulic and mathematical models Polish Academe of Hydro-Engineering, Cdansk, 1969.

154. Collen T.Hgelmfelt and chooses W.fenau. Honequi Librium tin spat of suspended Sediment joun of hydro. Div Proc.am society civ e.g. Iul 1970.
155. Dressler, R. Resisanceeffectc on Hydraulic. Communes Purr and Appl. Math. Vol. 6, 1953.
156. Du Guohan Zhang Zhong Zhengiu The erosion of cohesive Sediment in retrogressive erosion on reservoirs. XXIII congress august 21-25 1989 pp. B 399-B404.
157. Engels H. Festschrift des Osterreichischen ingenious and Architected -Verdeans, When, 1907.
158. Fan S. An Interagency Evaluation of Computer Sedimentation models. Proceedings of the international symposium. Yol. 1. UNESCO, Paris, 1994, p. 135-142.
159. Garde R., Subramanya K., Nambadripad K. Study of scour around Spur-dikes. Hydro. Diva. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. № 6, vol. 87, 1964.
160. Grishanin K.V. Statistical stability of plain River channels. Proceedings of the international symposium Yol. 1. UNESCO, Paris, 1994, p. 23-33.
161. hancu S. Sur le calcul des affonillementslocauxdans la zone piles du Pont. Proceedings Fourteenth Congress of the International Association for Hydraulic Research. vol. №3, 1971.
162. Iwasa X. The criterion in stability of study uniform flows in open channel. Sac. Tng. Kyoto, Univ. 16, №4, 1954.
163. Izarde C. and bredly I. piled Verification of Model Test on Flow Through Hinge Way Bridges and Cnlverts Proceedings Seth Hydro/Con. Jowl, 1957.
164. Kalinske A. Movement of Sediment and Bed-load in rivers. Transactions of America. Union, vol.28, №4, 1947.
165. Karasseff J.F. Conceptual aspects to study River-bed deformations. Proceedings of the international symposium Yol.1. UNESCO, Paris.1994, p.43-50.
166. Keutner K. stromunpebs vorgangean Stromfeilervon Verschfedenen Crundriss forenoon there Tinwork hung audio Flusshie. Boutech, 1932.
167. Khmaladze O. G., Shautidze O.D. Changes of channel morphology of the Rioni river , Central Caucasus. IHP-V Technical Documents in Hydrology No. 10 UNESCO, 1997, p.361-367.

168. Klaven A.B. Hydro morphological aspect of channel process modeling. Erosion of cohesive materials. Paris: IHP\_V Technical Documents in Hydrology. No. 10. UNESCO, 1997, p. 361-367.
169. Komura Saburo. Equilibrium depth of scour in long constructions. Her. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 92, № 5, 1966.
170. Kopaliani Z.D., Tvalavadze O.A., Noselidze D.V. Methodology for Hydraulic of river channels in mountain-piedmont zone.
171. Lane e. and Borland W. River Bed Scour during floods. Transactions ASCE, vol.119, 1959.
172. Larras i. Profondeurs maximales d erosion des Fonds Mobiles autor des Piles en Rivieres. Ann. Ponts et Chaussees. Vol. 133, № 4, 1963.
173. **Интернет-ресурсы:**  
[www.waterinfo.ru](http://www.waterinfo.ru) (Министерство природных ресурсов Российской Федерации. Федеральное агентство водных ресурсов, ФГУП «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений и государственного водного кадастра»);  
[rims.unh.edu](http://rims.unh.edu) – **Arctic RIMS** (Региональная гидрологическая система мониторинга Арктических бассейнов);  
[www.r-arcticnet.sr.unh.edu](http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu) – **R-ArcticNet** (Региональные гидрографические данные сети постов Арктического региона);  
[www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net) (Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии);  
[www.gisa.ru](http://www.gisa.ru) (ГИС-Ассоциация России);  
[www.scanex.ru/en](http://www.scanex.ru/en) (Инженерно-технологический центр Сканекс);  
[www.ngdc.noaa.gov](http://www.ngdc.noaa.gov) (Международный центр геофизических данных);  
[www.webgeo.ru](http://www.webgeo.ru) («География – электронная земля»)