

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მანონი კოდუა

მდინარეთა შესართავ უბნებში  
წარმოქმნილი ჰიდროსაინჟინრო პრობლემები და  
მათი გადაჭრის გზები საქართველოს  
შავიზღვისპირა რეგიონებში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

**ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი**

სადოქტორო პროგრამა: ჰიდროინჟინერია, შიფრი 0406

თბილისი, 2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
სამშენებლო ფაკულტეტზე  
ჰიდროინჟინერიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: შალვა გაგოშიძე, ტ მ დ, პროფესორი.

რეცენზენტები: დიმიტრი ნამგალაძე, ტ მ დ, პროფესორი  
გიორგი ზალიკაშვილი, ტ მ კ, ასოც. პროფესორი

დაცვა შედგება 2016 წლის 29 ივნისს, 15<sup>00</sup> საათზე;

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის  
სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე  
კორპუსი I, აუდიტორია 222<sup>ა</sup>  
მისამართი: 0171, თბილისი, კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ავტორეფერატის – სამშენებლო ფაკულტეტის ვებგვერდზე.

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი:

ტ მ დ, პროფესორი

-----

## შესავალი

შავი ზღვა წარმოადგენს ევროპისა და აზიის კონტინენტების დამაკავშირებელ საზღვაო-სატრანსპორტო აუზს. მის პერიმეტრზე განლაგებულია რამდენიმე მსხვილი პორტი, რომლებსაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ აღმოსავლეთ ევროპისა და მცირე აზიის ქვეყნების ეკონომიკურ განვითარებაში. ამავე დროს შავი ზღვის თითქმის მთელი სანაპირო ზოლი წარმოადგენს სარეკრეაციო ზონას აქ არსებული მრავალი საერთაშორისო მნიშვნელობის საკურორტო ქალაქითა და დასახლებულ პუნქტით.

შავი ზღვის პორტების გამართულ მუშაობას, გარდა შტორმული ვითარებისა და ზამთრობით ზოგიერთი პორტის მოყინვისა, მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მის შენაკად მდინარეებზე ჰიდროენერგეტიკული თუ სხვა ხასიათის მშენებლობა. ამ მშენებლობების შედეგად მკვეთრად შეიცვალა მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმები, რამაც შავი ზღვის აუზის ექვსივე ქვეყანაში განაპირობა სანაპირო ზოლისა და მდინარეთა შესართავი უბნების მნიშვნელოვანი გეომორფოლოგიური ცვლილებები.

ამგვარი ცვლილებები განსაკუთრებით შეეხო და პრობლემატური აღმოჩნდა საქართველოს შავიზღვისპირეთისთვის, რომლის 312 კილომეტრიანი სანაპირო ზოლის 47% იკვებება დასავლეთ საქართველოს უმსხვილესი მდინარეების - რიონის, ენგურისა და ჭოროხის ნატანით (მყარი ჩამონადენით). ამ მდინარეებზე გასულ საუკუნეში გაშლილმა ჰიდრომშენებლობამ და მათი ჰიდროლოგიური რეჟიმების ხელოვნურად შეცვლამ მნიშვნელოვანი ზეგავლენა მოახდინა შავი ზღვის სანაპირო ზოლის მდგრადობასა და შესართავი უბნების კალაპოტურ პროცესებზე. უკვე წლებია ირეცხება საქართველოს შავიზღვისპირეთის უნიკალურ პლაჟები; ისილება და სისტემატურ გაღრმავებას საჭიროებს საქართველოს მთავარი საზღვაო კარიბჭის - ფოთის პორტის შესასვლელი არხი; ასეულობით მეტრითაა წარეცხილი ქალაქ ფოთის ნაპირი; ავარიულ

მდგომარეობაშია და ვერ ასრულებს ქალაქ ფოთის ნაპირადდგენით დანიშნულებას მდ. რიონზე აგებული წყალგამანაწილებელი ჰიდროკვანძი.

მდ. ენგურზე თაღოვანი კაშხლის აგების შემდეგ ანალოგიურ მოვლენებთან გვაქვს საქმე მდინარის შესართავ აკვატორიაში, კურორტ ანაკლიასთან. ხოლო თურქეთის ტერიტორიაზე, მდინარე ჭოროხის ზედა წელში, დერინერისა და სხვა ჰიდროელექტროსადგურების კასკადის მშენებლობის გამო უახლოეს მომავალში მოსალოდნელია აჭარის სანაპირო ზოლის კატასტროფული წარეცხვები.

**აქტუალობა.** სანაპირო ზოლის დაცვის მიზნით საქართველოში მრავალი წლის განმავლობაში წარმოებდა ფართომასშტაბიანი სამუშოები, რასაც ჯერ-ჯერობით არ მოჰყოლია სასურველი შედეგები (ხშირ შემთხვევაში გატარებულ საინჟინრო ღონისძიებათა დაუსაბუთებლობის გამო).

შექმნილი მძიმე ვითარების ზემოთმოყვანილი მოკლე დახასიათებიდან ცხადია, თუ რამდენად აქტუალურია სანაპირო არეებში გარემოზე ჰიდრომშენებლობით განპირობებული უარყოფითი შედეგებისა და თვით ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზების გამოკვლევა. ცხადია აგრეთვე, რომ შექმნილი ვითარების მიზეზები უნდა ვეძიოთ არა მხოლოდ საზღვაო და სამდინარო ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობების ხარისხში, არამედ ამ ნაგებობების პროექტირებისას დაშვებულ შეცდომებსა და გაანგარიშების არსებული მეთოდების სიზუსტეში.

**ნაშრომის მთავარი მიზანია** მდინარეთა შესართავ უბნებში კალაპოტური პროცესებისა და ტალღურ მოძრაობათა ჰიდრავლიკური გაანგარიშების არსებული მეთოდების დახვეწა და მათი შეცვლა უფრო მაღალი სიზუსტის და ამავე დროს ინჟინრებისთვის ადვილად მისაწვდომი ანალიზური მეთოდებით.

ავტორს მიაჩნია, რომ საზღვაო და სამდინარო ჰიდროტექნიკური ნაგებობების პროექტირებისას დისერტაციაში შემუშავებული

განგარიშების მეთოდებითა და რეკომენდაციებით სარგებლობა ხელს შეუწყობს ამ ნაგებობების ხანგრძლივ და საიმედო ექსპლუატაციას.

**დისერტაციის კვლევის ობიექტებია:**

1. მდ. ენგურის შესართავი კალაპოტი და ანაკლიის სანაპირო ზოლი;
2. ქალაქ ფოთის სანაპირო ზოლი ქალაქის არხის შესართავიდან პორტის სამხრეთ მოლომდე;
3. მდ.რიონის წყალგამყოფი ჰიდროკვანძის ქვედა ბიეფები;
4. მდ. ჭოროხის შესართავი უბანი და მასთან მიმდებარე ზღვის სანაპირო ზოლი.

**კვლევის მეთოდები და მეცნიერული სიახლე.** სადისერტაციო ნაშრომში დასმული თეორიული ამოცანები ძირითადად წყდება, პროფესორ შ. გაგოშიძის მიერ შემუშავებული მიდგომების საფუძველზე, რაც მდგომარეობს ტალღური ჰიდროდინამიკის სამგანზომილებიანი ამოცანების ამოხსნისას მათემატიკური ანალიზის მიახლოებითი და ასიმპტოტური მეთოდების გამოყენებაში. კერძოდ, დისერტაციაში ძირითადად გამოყენებულია ნობელის პრემიის ლაურეატ კანტოროვიჩის პირდაპირი და ვენტცელ-კრამერს-ბრიულენის ასიმპტოტური WKB მეთოდები.

რაც შეეხება დისერტაციაში მოყვანილ ჰიდროლოგიური და ჰიდრაულიკური ხასიათის ნატურული დაკვირვებებისა და ექსპერიმენტალური კვლევების მასალებს, ისინი ეფუძნება სხვადასხვა დროს, სხვადასხვა ორგანიზაციებისა და თვით ავტორის უშუალო მონაწილეობით რუსთაველის სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებულ რამდენიმე საგრანტო პროექტის ფარგლებში განხორციელებულ სავსე ექსპედიციების შედეგებს მდინარეების ენგურის, რიონის და ჭოროხის შესართავ უბნებში.

**ნაშრომის ძირითადი შედეგები.** კვლევის ობიექტების ირგვლივ წარმოქმნილ ჰიდროსაინჟინრო პრობლემებთან დაკავშირებით, სადისერტაციო ნაშრომში შესრულებულია შემდეგი სახის სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები:

- მოპოვებულია მდინარეების ენგურის, რიონისა და ჭოროხის შესართავი უბნების კალაპოტური პროცესებისა და ზღვის მიმდებარე სანაპირო ზოლის ჰიდრომეტეოროლოგიური და ჰიდროლოგიური მონაცემები და ნატურული დაკვირვებების მასალები;

- აღწერილი და გამოკვლეულია მდინარეების ენგურის, რიონისა და ჭოროხის შესართავი უბნების კალაპოტური პროცესებისა და ზღვის მიმდებარე სანაპირო ზოლის გეომორფოლოგიური ცვლილებები, განპირობებული ამ მდინარეებზე განხორცილებული ჰიდროტექნიკური მშენებლობით;

- შემუშავებულია მდინარეთა შესართავ აკვატორიებში, არათანაბარ დინებებზე ზედდებული გრძელი ტალღების გაანგარიშების თეორია;

- სამკუთხა და ტრაპეციულ არხებში ნაპირგასწვრივ ტალღურ მოძრაობათა თეორიის საფუძველზე შემუშავებულია გაანგარიშების მეთოდოლოგია;

- დამუშავებულია სანაპირო ფერდობების მდგრადობისა და გამაგრების საკითხები მათი ნაპირგასწვრივი ტალღური ნაკადით გარსდენისას;

- ჰიდრაულიკურად გამოკვლეულია ქალაქ ფოთთან მდ. რიონის წყალგამყოფი ჰიდროკვანძის კაშხლის ქვედა ბიეფის ნგრევის მიზეზები;

- დასახულია მდინარეების რიონის, ენგურისა და ჭოროხის შესართავ უბნებში ჰიდროსაინჟინრო პრობლემების გადაჭრის გზები.

**გამოყენების სფერო.** დისერტაციის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ჰიდროსაინჟინრო პროფილის საზღვაო-სამდინარო და სატრანსპორტო დანიშნულების საპროექტო და სამეცნიერო-კვლევითი ორგანიზაციების მიერ. იგი განსახილველად და დასანერგად გადაეცემა სს

„საქწყალპროექტს“; შპს „ჰიდროპროექტს“, სს „საქნაპირდაცვას“, შპს „ჰიდროსფეროს“, „თბილწყალგეოს“ და სხვა სამშენებლო და საპროექტო ორგანიზაციებს და აგრეთვე, ფოთის, ბათუმის, ყულევის და ანაკლიის ადგილობრივი მართველობისა და საზღვაო პორტების საპროექტო - სამშენებლო სამსახურებს.

**ნაშრომის აპრობაცია და პუბლიკაციები.** დისერტაციის თემაზე ავტორს გამოქვეყნებული აქვს შვიდი ნაშრომი (იხ. გვ.25).

დისერტაციაში მიღებული შედეგებით ავტორი მონაწილეობას იღებდა შემდეგ საერთაშორისო კონფერენციებსა და კონგრესებზე:

- „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები“-ის მე-3, მე-4 და მე-5 საერთაშორისო კონფერენციებში (ბორჯომი, თბილისი, 2013-2015 წ.წ.);
- ევროკავშირის პროგრამა „BLACK SEA BASIN 2007-2013“ (ICME Project)-ს სემინარებზე – „საზღვაო საპორტო რეგიონებში გარემოსდაცვითი პრობლემების გაერთიანებული მონიტორინგი და მათი გადაჭრის გზები“ - (ტრაბზონი, თურქეთი, 2014; ერევანი, სომხეთი, 2015)
- ევროპის გეოფიზიკოსთა კავშირის გენერალურ ასამბლეაზე - EGU 2016 (ვენა, ავსტრია, 2016).

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია შვიდი ნაშრომი.

**დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავალის, 5 თავის, დასკვნებისა და 89 დასახელების ლიტერატურული წყაროსგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 139 გვერდს 35 ნახაზისა და 23 ცხრილის ჩათვლით.

## **სადისერტაციო ნაშრომის მოკლე შინაარსი**

**ნაშრომის პირველ თავში** ისტორიულ ჭრილში, მოყვანილია მდინარეების ენგურის, რიონისა და ჭოროხის ძირითადი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები ამ მდინარეებზე ჰიდროენერგეტიკული მშენებლობების განხორციელებამდე და განხორციელების შემდგომ; განსაზღვრულია

სანაპირო ზოლში ზღვის ტალღური რეჟიმების ძირითადი მახასიათებლები; მიმოხილული და გაანალიზებულია ამ მდინარეთა შესართავ უბნებთან წარმოქმნილი ჰიდროსაინჟინრო და გარემოსდაცვითი ხასიათის პრობლემები.

აქ ძალზე მოკლედ შევჩერდებით სადისერტაციო ნაშრომის პირველ თავში მიმოხილულ იმ ჰიდროსაინჟინრო და გარემოსდაცვითი ხასიათის პრობლემებზე, რომლებიც შექმნილია მდინარეების ენგურის, რიონისა და ჭოროხის შესართავ აკვატორიებში:

**მდინარე ენგურზე** მალღივი თაღოვანი კაშხლის აგების შედეგად მდინარის ძირითადი ჩამონადენი გადაგდებულ იქნა მდ. ერისწყლის კალაპოტში, რის გამოც მნიშვნელოვნად შემცირდა ხარჯების რაოდენობა მდინარის ძველ კალაპოტში.



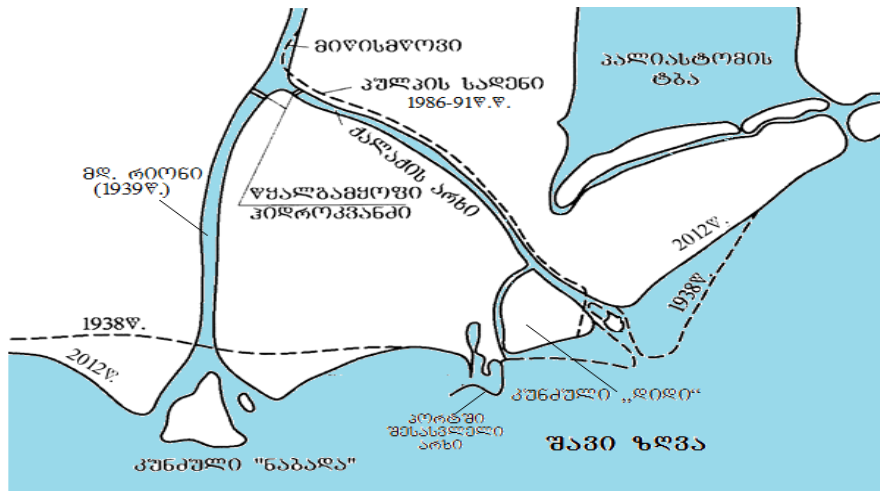
*ნახ.1. მდ. ენგურის შესართავი უბნის ხედი*

იგი ამჟამად ატარებს მხოლოდ მცირე შენაკადებისა და ენგურჰესის კაშხლიდან გადმოგდებულ სანიტარულ და ჭარბ ხარჯებს. ხარჯების კლებამ გამოიწვია მისი ფსკერის დონის აწევა, ხოლო შესართავში, ანაკლიასთან, ზღვის ტალღებმა შექმნეს დაახლოებით 2.5 კმ სიგრძისა და 100 მ სიგანის ქვიშის ზვინული (ცელი), რამაც მნიშვნელოვნად შეაფერხა წყალდიდობისა და კაშხლიდან გადმოგდებული წყლის შედარებით დიდი ხარჯების გატარების პროცესი და განაპირობა კურორტ ანაკლიის სანაპირო ზოლის წარცხვა (ნახ.1.)



აქ არსებულ გეომორფოლოგიურ ცვლილებებს, მნიშვნელოვნად განაპირობებს აგრეთვე ენგურის შესართავის სიახლოვეს ზღვის წყალქვეშა კანიონის არსებობა.

**მდინარე რიონის** ამჟამინდელი შესართავი უბნის სიახლოვეს, ქალაქ ფოთის სანაპირო აკვატორიაში, მასშტაბური ჰიდროლოგიური და გეომორფოლოგიური ცვლილებები დაიწყო მას შემდეგ, რაც 1939 წელს ფოთიდან მე-7 კმ-ზე აშენებული ჰიდროკვანძით მდინარე გაიყო ჩრდილოეთ და სამხრეთ (ე.წ. ქალაქის არხი) ტოტებად. ამ ღონისძიებამ მართალია ქალაქი იხსნა ხშირი დატბორვებისაგან, მაგრამ ქალაქის საზღვაო ნაპირზე შექმნა პლაჟწარმომქმნელი ნატანის აუნაზღაურებელი დეფიციტი და წარმოშვა მრავალი ჰიდროსაინჟინრო ხასიათის პრობლემა.



**ნახ.2.** ქალაქ ფოთის საზღვაო რეგიონში არსებული გეომორფოლოგიური და ჰიდროსაინჟინრო პრობლემების ლოკაციების რუკა

- - - საზღვაო სანაპირო ზოლი 1938 წელს; — საზღვაო სანაპირო ზოლი 2012 წელს.

დისერტაციაში განხილული ჰიდროსაინჟინრო პრობლემები ქალაქ ფოთის საზღვაო რეგიონში მოიცავენ შემდეგ ობიექტებს:

1. ფოთის პორტის შესასვლელ არხს, რომელიც 1939 წელს მდ. რიონის ახალ კალაპოტში გადაგდების შედეგად ინტენსიურად ისილება კუნძულ ნაბადას მხრიდან;

2. ქალაქ ფოთის საზღვაო ნაპირს, რომელიც ასეულობით მეტრითაა დახეული უკან, რასაც ხელს უწყობს წყალქვეშა კანიონის არსებობა პორტის სამხრეთი მოლოს გასწვრივ;

3. მდ. რიონის წყალგამყოფი კვანძის კაშხალს, რომლის ქვედა ბიევი დროთა განმავლობაში დაექვემდებარა ნგრევას და მნიშვნელოვან გამორეცხვებს. ამჟამად საფრთხეშია კაშხლის მდგრადობა, რადგან მის სარეაბილიტაციოდ გატარებულ ღონისძიებებს ან არ მოჰყოლია შედეგი, ან ატარებდა დროებით ხასიათს (მსოფლიო ბანკი - „საქწყალპროექტი“, 2006 წ.);

4. „საქალაქო არხს“ – მდ. რიონის ძველ კალაპოტს, რომელიც მნიშვნელოვნადაა მოსილული და ფაქტობრივად ვერ ასრულებს თავის მთავარ ფუნქციას – კვებოს ქალაქის საზღვაო სანაპირო ზოლი მდ. რიონის მყარი ჩამონადენით.

მდინარე ჭოროხი 1832 წლის კარტოგრაფიული მასალების მიხედვით, ზღვაში ორი ძირითადი ტოტით ჩაედინებოდა. ორივე ტოტი ქმნიდა ფართო დელტებს განშტოებებით, რაც იმდროინდელი ჭოროხის წყალუხვობასა და აქტიურ ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე მეტყველებს.

XX საუკუნის 70-იან წლებში, მდ. ჭოროხის დელტის მარცხენა ნაპირის გასწვრივ, სავარგულების დატბორვებისაგან დასაცავად მოეწყო დამბა, რომელმაც მდინარის მყარი ნატანის 90%-ზე მეტი მიმართა წყალქვეშა კანიონისკენ. ამავე პერიოდში ჭოროხის კალაპოტში ფუნქციონირება დაიწყო ინერტული მასალების ქარხანამ, რომლის წარმადობა შეადგენდა დაახლოებით 0,5 მლნ მ<sup>3</sup>/წლ, რამაც დამატებით შეუწყო ხელი ნატანის დისბალანსს ადლიის რეგიონში.



ნახ. 3. მდ. ჭოროხის შესართავი უბანი

ამჟამად ჭოროხის ზედა წელში, თურქეთის ტერიტორიაზე ამოქმედებული ჰიდროელექტროსადურების კასკადი (მათ შორის

უდიდესია დერინერის ჰიდროელექტროსადური, 249 მ სიმაღლის თაღვანი კაშხლით, 2013 წ.) და აგრეთვე საქართველოს ტერიტორიაზე, ჭოროხის ბოლო 26 კმ-იან მონაკვეთზე კალაპოტური ტიპის ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა, (რომლის შემადგენლობაში შედის კირნათის, ხელვაჩაური I-ის და ხელვაჩაური II-ის ჰესები), კატასტროფული წარეცხვებით ემუქრება აჭარის საზღვაო სანაპიროს გონიო-ბათუმის მონაკვეთს.

ამ პროცესების განვითარებაში გადამწყვეტი როლი შეასრულეს ზღვის ზედაპირულმა ტალღებმა, რომელთა საინჟინრო-დეტერმინისტული თეორიის ელემენტები მოკლედაა მიმოხილული დისერტაციის მეორე თავში. კერძოდ, გაანალიზებულია სანაპირო ფერდობებთან ტალღების ტრანსფორმაციისა და რეფრაქციის გაანგარიშების ის ენერგეტიკული მეთოდები, რომლებიც ეფუძნება წყლის რეგულარული ტალღური მოძრაობის წრფივ პოტენციალურ თეორიას.

ტალღების ტრანსფორმაციის ენერგეტიკული თეორიის შემუშავებასა და დახვეწაში გადამწყვეტი როლი შეასრულეს ჯონსონის, უნას, მიშის, ტეილორის, ლონგე-ხიგინსის, სტიუარტის, ფილიპსის, კრილოვის, თ. გ. ვოინიჩ-სიანოჟეცკის და სხვათა შრომებმა. მიუხედავად იმისა, რომ საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტისას ტალღების ტრანსფორმაციის ენერგეტიკულ თეორიას გააჩნია დიდი ოპერატიული შესაძლებლობები, ამავე დროს ერთგვარად შეზღუდულია მისი გამოყენების არე, რადგან ამ თეორიას საფუძვლად უდევს სითხის ბრტყელი ჰორიზონტალური შრის ზედაპირზე ტალღების გავრცელების წრფივი (ან არაწრფივი) ამოხსნების შედეგები, რის გამოც ზემოაღნიშნულ ავტორთა შრომებში ფსკერის დახრის კუთხე ან საერთოდ არ ფიგურირებს, ან მხოლოდ ხელოვნურადაა შეყვანილი.

ამ მხრივ გამონაკლისს წარმოადგენს პროფესორ შ. გაგოშიძის შრომები „К описанию картины волнения у берегового склона океана“. Изв. АН СССР, „Физика атмосферы и океана“, М., т. 26, №10. 1990 და „Calculation of

three-dimensional regular waves over the slope bed having arbitrary steepness“. XXIV Congr. IAHR. Madrid, Vol. B. 1991, რომლებშიც ავტორი, კანტოროვიჩის პირდაპირი და ვენტცელ-კრამერს-ბრიულენის ასიმპტოტური WKB მეთოდების გამოყენებით, ანალოგურ ამოცანას ხსნის ნებისმიერად დახრილი ფსკერის შემთხვევაში ყველა სასაზღვრო პირობის ზუსტი დაცვით და სამგანზომილებიანი ამოცანა დაჰყავს შრედიფერის ტიპის ევოლუციური განტოლების ამოხსნაზე. შედეგად ღებულობს, რომ:

- სანაპირო არეებში ტალღების რეფრაქციასა და ტრანსფორმაციას განაპირობებს არა მხოლოდ სიღრმეთა ცვალებადობა (რაც ადრე მიჩნეული იყო რეფრაქციის განმსაზღვრელ ერთადერთ პირობად), არამედ სანაპირო ფერდობის დახრის კუთხე და ტალღის ფრონტის ფარდობითი დაშორება ნაპირის ხაზიდან;

- როცა უსასრულობაში კუთხე ტალღების ქიმებსა და ნაპირის ხაზს შორის აჭარბებს  $75^\circ$ -ს, ხოლო სანაპირო ფერდობის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე  $45^\circ$ -ს, ნაპირიდან გარკვეულ მანძილებზე ტალღები ვარდებიან ე. წ. „პოტენციალურ ორმოში“. სადაც ხდება მათი ქიმების წყვეტა და ფაზის წანაცვლება (რაც დასტურდება ექსპერიმენტული კვლევებითა და ნატურული დაკვირვებებით).

**მესამე თავში** გრძელტალღოვანი თეორიის ფარგლებში, ჩვენს მიერ გადაწყვეტილია ტალღური მოძრაობის ამოცანა მდინარის შესართავ აკვატორიაში. ამავე თავში ჩვენ საინჟინრო-საანგარიშო სახემდე დაგვყავს ნაპირგასწვრივი ტალღური მოძრაობების თეორიული შედეგები ნებისმიერი დახრილობის სამკუთხა და ტრაპეციული კვეთის არხებისთვის.

მდინარეთა შესართავ აკვატორიაში გრძელი ტალღების გავრცელების ამოცანა იხსნება დეკარტის საკოორდინატო სისტემაში. ნახ.4-ზე წარმოდგენილი სქემაზე  $q$  - მდინარის დაყვანილი ხარჯია;  $U_0(x)$  და  $H(x)$  – შესართავ აკვატორიაში დამყარებული ნაკადის ცვალებადი სიჩქარე და სიღრმე;  $i_0$  - ფსკერის გასაშუალოებული ქანობი;  $\lambda(x)$  და  $a(x)$



სადაც  $H_1^{(1,2)}$  – ჰანკელის პირველი და მეორე გვარის პირველი რიგის ფუნქციებია;  $C$  – ინტეგრირების მანორმალიზებული მუდმივაა.

ამ ამონახსნის ასიმპტოტური წარმოდგენა გვაძლევს ტალღური შემფოთებით განპირობებულ წყლის ნაწილაკების სიჩქარის გამოსათვლელ შემდეგ დამოკიდებულებას:

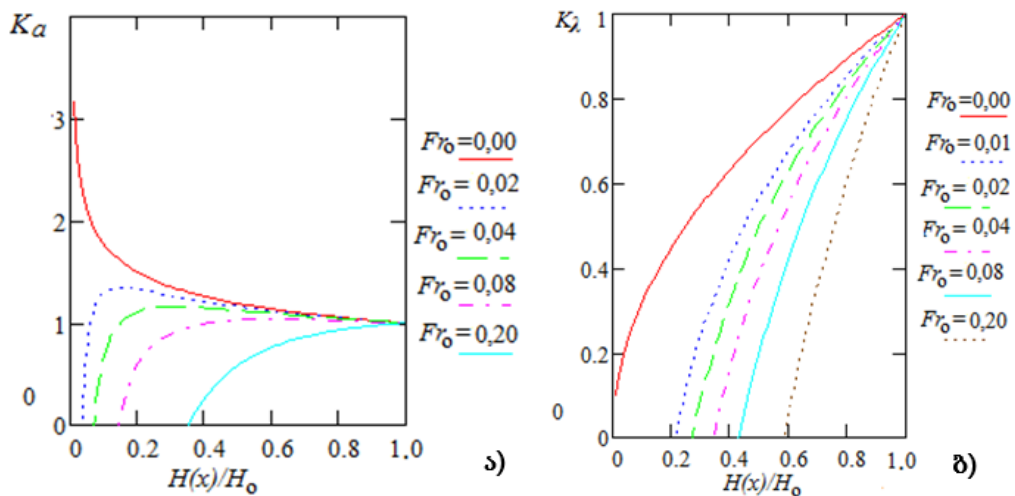
$$u(x,t) = C \sqrt{\frac{1}{\pi}} \cdot \sqrt[4]{\frac{gi_0}{\sigma^2}} \cdot x^{-3/4} \cdot \cos\left(\sigma - \frac{\sigma q}{gi_0^2} \cdot \frac{1}{x} + 2\sqrt{\frac{\sigma^2 x}{gi_0}} - \frac{3}{4}\pi\right). \quad (6)$$

ანალოგიურად განისაზღვრება ტალღური ზედაპირის ვერტიკალური  $\xi(x,t)$  კოორდინატიც. აღნიშნული ასიმპტოტური ამონახსნით, შესართავში ტალღების ამპლიტუდისა ( $K_a$ ) და სიგრძის ( $K_\lambda$ ) ტრანსფორმაციის კოეფიციენტების საანგარიშოდ მიიღება შემდეგი დამოკიდებულებები (იხ. აგრეთვე ნახ.5 ა, ბ):

$$K_a = \frac{a_x}{a_0} = \sqrt[4]{\frac{H_0}{H_x}} \cdot \frac{1 - Fr_0^{3/2} (H_0/H_x)^{3/2} - Fr_0 (H_0/H_x)}{1 - Fr_0^{3/2} - Fr_0}; \quad (7)$$

$$K_\lambda = \frac{\lambda_x}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{H(x)}{H_0}} \left[ \frac{1}{1 - \sqrt{Fr_0}} - \frac{\sqrt{Fr_0}}{1 - \sqrt{Fr_0}} \left(\frac{H_0}{H(x)}\right)^{3/2} \right]. \quad (8)$$

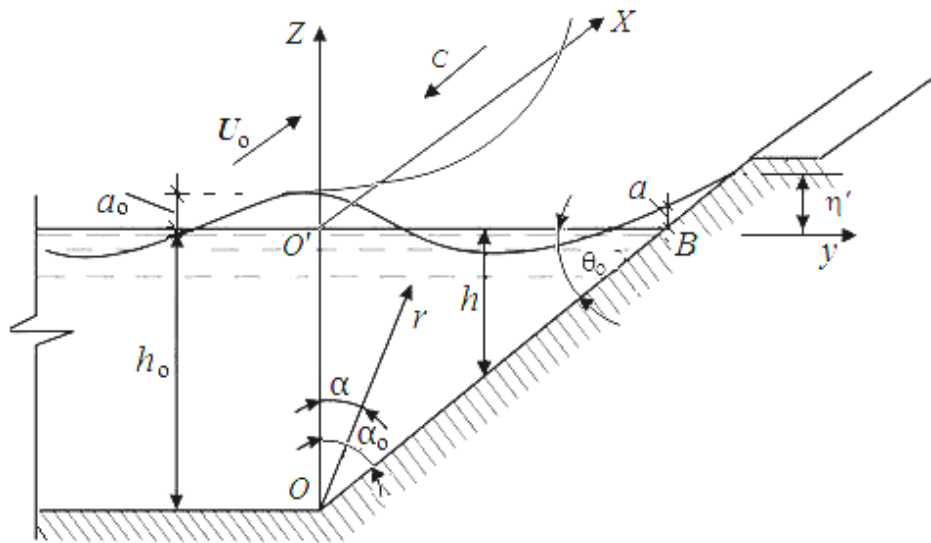
(7) და (8)-ში  $\lambda_0$  და  $Fr_0 = q^2 / gH_0^3$  შესაბამისად ტალღის სიგრძე და ფრუდის რიცხვია მოცემული ნაპირიდან შორს,  $H_0$  სიღრმეზე, სადაც დინების გავლენა უმნიშვნელოა.



ნახ.5. ტალღის ამპლიტუდისა (ა) და სიგრძის (ბ) ტრანსფორმაციის კოეფიციენტები მდინარის შესართავ უბანში ფრუდის რიცხვის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

ამოხსნების შედეგები გვიჩვენებს, რომ მდინარის სიჩქარის მატება სიღრმეების შემცირების გამო აწერებს ზღვის მხრიდან შემოჭრილი ტალღების სიგრძის კლებას და ამპლიტუდის ზრდას, განპირობებულს მხოლოდ წყლის სიღრმეთა შემცირებით. ამავე დროს ტალღის სიგრძის ტრანსფორმაცია დამოკიდებული ხდება არამარტო მდინარის სიჩქარესა და შესართავ აკვატორიაში წყლის სიღრმეზე, არამედ, გარკვეულწილად, ზღვიდან მოსული ტალღების რხევათა სიხშირეზეც.

ნაპირგასწვრივი, ე.წ. „კიდურა“ ტალღები მხოლოდ ცალი მხრიდან დახრილი სიბრტყით შემოზღუდულ წყლის ზედაპირზე განიხილა ჯერ კიდევ სტოქსმა, ხოლო ჩაკეტილი განივკვეთის მქონე წყალსატარებისათვის (არხებისთვის) არსებობს კელანდისა და მაკდონალდის მხოლოდ ორი ზუსტი ამოხსნა, რომლებიც შეეხება ვერტიკალთან შესაბამისად  $45^\circ$  და  $60^\circ$ -ით დახრილი ფერდობების მქონე სამკუთხა არხებს. ნებისმიერი გამლილობის სამკუთხა და ტრაპეციულ არხების შემთხვევაში, დისპერსიული ტალღების სასაზღვრო პირობები იმდენად რთულდება, რომ გარკვეული მიახლოებების გარეშე შეუძლებელი ხდება ტალღურ მოძრაობათა განტოლებების ამოხსნა.



ნახ.6. ნაპირგასწვრივი ტალღების საანგარიშო სქემა საანაპირო ფერდობების კორიზონტთან ნებისმიერი  $0 < \theta_0 \leq \pi/2$  კუთხით დახრილ ტრაპეციულ არხში.

ნახ.6-ზე წარმოდგენილი საანგარიშო სქემისათვის ამგვარი „მიახლოებით“ ამოხსნა ხერხდება ტალღური ჰიდროდინამიკის სამგანზომილებიანი განტოლებათა სისტემის პოლარული  $\alpha$  კუთხით გასაშუალოების საფუძველზე, რასაც რამდენიმე გარდაქმნის შემდეგ, მივყავართ არხის ფერდობზე ტალღის ზრდადი ამპლიტუდისა ( $a$ ) და ტალღური ზედაპირის ( $\eta$ ) შემდეგ საანგარიშო ფორმულებამდე:

$$a = a_0 \frac{\cosh(kh_0 / \cos \alpha_0)}{\cosh kh_0} \frac{1}{\cos m\alpha_0}; \quad (9)$$

$$\eta = a_0 \exp \left[ kh_0 \left( \frac{1}{\cos \alpha} - \frac{1}{\cos \alpha_0} \right) \right] \cos m(\alpha \mp \alpha_0) \sin(\sigma - kx), \quad (10)$$

სადაც  $k$  მუდმივი  $\lambda$  სიგრძის მქონე ნაპირგასწვრივი ტალღის შესაბამისი ტალღური რიცხვია,  $k = 2\pi/\lambda$ ;  $\sigma$  აღნიშნავს ტალღურ რხევათა სიხშირეს, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი დისპერსიული დამოკიდებულებით

$$(\sigma - kU_0)^2 = gk \cos \alpha_0 \tanh(kh_0 / \cos \alpha_0); \quad (11)$$

$U_0$  - არხში ძირითადი (დამყარებული) დინების საშუალო სიჩქარეა; ინდექსებით 0 აღნიშნულია ნახ.6-ზე მოყვანილი გეომეტრიული სიდიდეები და ტალღის ამპლიტუდა  $a_0$ , მოცემული არხის ცენტრალურ მართკუთხა უბანზე (არხის სანაპირო ფერდობის ფუძეზე აღმართულ ვერტიკალზე);  $m$  აღნიშნავს ტალღურ რიცხვს ტრაპეციული არხის განივი მიმართულებით -

$$m = \left[ \frac{(kh_0 / \cos \alpha_0) \coth(2kh_0 / \cos \alpha_0) - 1/2}{1 + (2kh_0 / \cos \alpha_0) / \sinh(2kh_0 / \cos \alpha_0)} \right]^{1/2}. \quad (12)$$

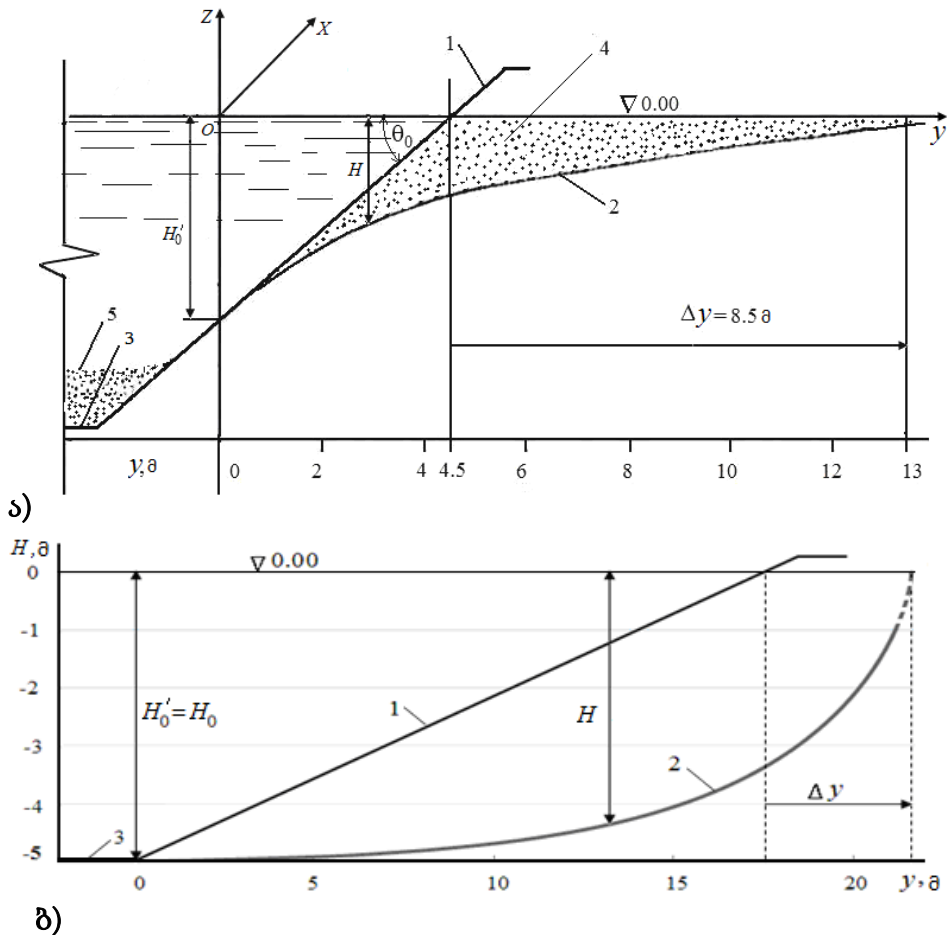
მისი საშუალებით დგინდება ნაკადის ტალღური ზედაპირის საკვანძო წირების რაოდენობა არხის განივი მიმართულებით.

დისერტაციაში მოყვანილია არხებში ნაპირგასწვრივი ტალღების პარამეტრებისა და სიჩქარეთა ველის გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითები.

მეოთხე თავი ეძღვნება სანაპირო ფერდობებზე ნაპირგასწვრივი ტალღების ზემოქმედების შესწავლას, რასაც საფუძვლად უდევს



დისერტაციის მე-3 თავში მოყვანილი შედეგები. შეკავშირებული და შეუკავშირებელი გრუნტებისგან შემდგარი ფერდობების მდგრადობა, მათი წარეცხვის მოსალოდნელი ფორმა (ნახ.7) და აგრეთვე არხის ფერდობების ქვაყრილით, ქვაფენილითა და ფილებით მოსაპირკეთებელი ელემენტების ზომები და წონა სანაპირო ფერდობის ნაპირგასწვრივი ტალღებით გარსდენისას დადგენილია ფერდობზე საანგარიშო ელემენტის სტატიკური წონასწორობის განხილვის საფუძველზე, როცა ადგილი აქვს მათზე სამგანზომილებიანი ნაპირგასწვრივი ტალღების დინამიურ ზემოქმედებას.



ნახ.7. ტრაპეციული არხის სანაპირო ფერდობის წარეცხვის ტიპური კონტურები : ა) წარეცხვის ამოზნექილი კონტური განპირობებული წყლის სიღრმესთან შედარებით მოკლე ნაპირგასწვრივი ტალღების ზემოქმედებით; ბ) წარეცხვის ჩაზნექილი კონტური განპირობებული წყლის სიღრმესთან შედარებით გრძელი ნაპირგასწვრივი ტალღების ზემოქმედებით; 1. გრუნტში გაჭრილი არხის ფერდობის თავდაპირველი კონტური; 2. სანაპირო ფერდობის წარეცხლი კონტური; 3. არხის ფსკერი. 4. ფერდობიდან ჩამორეცხილი გრუნტი; 5. არხის ფსკერზე დალექილი გრუნტი.

არხის ფერდობზე ძირითადი დინებითა და ტალღებით განპირობებულ დინამიურ ზემოქმედებას განსაზღვრავს ჯამური სიჩქარე, რომელც იანგარიშება დამოკიდებულებით

$$|\vec{V}| = [U_0^2 \pm 2U_0AG \sin(\sigma - kx) + A^2G^2]^{1/2}. \quad (13)$$

სადაც შემოღებულია აღნიშვნები

$$A = a \exp(-kH/\sin \theta_0); \quad (14)$$

$$G = (gk/\sin \theta_0)^{1/2}. \quad (15)$$

ეს სიჩქარე აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას  $|\vec{V}| = U_0 + AG$  ტალღის ქიმის გავლისას (ანუ, როცა  $\sin(\sigma - kx) = 1$ ) და იწვევს გრუნტის ნაწილაკის ან ქვაყრილის საანგარიშო ელემენტის ძვრას სხვადასხვა მიმართულებით, (რომლებიც დისერტაციაში დეტალურადაა განხილული). მაგრამ, თუ არხის ფერდობების მოპირკეთება ხორციელდება ბეტონის ფილებით, მაშინ ყველაზე სახიფათო შეიძლება აღმოჩნდეს არა ტალღის ქიმის, არამედ ტალღის ღრმულის გავლა საანგარიშო ფილის თავზე. ამ შემთხვევაში, (ანუ, როცა  $\sin(\sigma - kx) = -1$ ), თუ შეწონილ მდგომარეობაში ფერდობის საფარი ფილის წონა არ გადააჭარბებს იმპულსურად წარმოქმნილ ჭარბ ფილტრაციულ უკუწნევას ფილის ძირზე, ფილა შეიძლება ამოვარდეს თავის ბუდიდან. ასე რომ არ მოხდეს, საჭიროა მისი სისქე  $d$  სანაპირო ფერდობის ნებისმიერ  $H$  ჩაღრმავებაზე ( $0 \leq H \leq H_0$ , სადაც  $H_0$ -არხში წყლის მაქსიმალური სიღრმეა) გაანგარიშებულ იქნას დამოკიდებულებით

$$d = \frac{\gamma}{\gamma'_s \cos \theta_0} a \exp\left(-k \frac{H - d \cos \theta_0}{\sin \theta_0}\right) - \frac{c}{\gamma'_s \cos \theta_0}, \quad (16)$$

სადაც  $\gamma'_s = \gamma_s - \gamma$  ფილის მოცულობითი წონაა შეწონილ მდგომარეობაში;  $\gamma$  - წყლის ხვედრითი წონა,  $a$  ტალღის ამპლიტუდაა ნაპირის ხაზის გასწვრივ,  $\theta_0$  - ჰორიზონტთან სანაპირო ფერდობის დახრის კუთხე;  $c$  - ფილის ფერდობთან შეჭიდულობის კოეფიციენტი, რაც ფილის ჩაანკერების შემთხვევაში შეგვიძლია გავუტოლოთ ანკერის გაჭიმვაზე

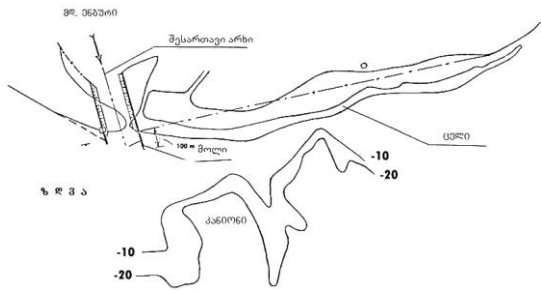
დასაშვებ ძაბვას ან გვერდითი ზედაპირის ჩაცემენტების შემთხვევაში – ძვრაზე დასაშვებ ძაბვებს, როცა ფილა ან ბლოკი თავისუფლად დევს შეუკავშირებელი გრუნტის ფერდობზე  $c = 0$ .

**მეხუთე თავში** გაანალიზებულია მდინარეების რიონის, ენგურისა და ჭოროხის შესართავ უბნებში ჰიდროსაინჟინრო პრობლემების აღმოსაფხვრელად სხვადასხვა სამეცნიერო, საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციების აქამდე განხორციელებული სამუშაოები, დასახულია ამ პრობლემათა გადაჭრის გზები.

**მდინარე ენგურის შესართავ უბანზე** წარმოქმნილი პრობლემების მოწესრიგების მიზნით 1981-86 წლებში ენერგეტიკის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში პროფესორების ვახტანგ საყვარელიძისა და შალვა გაგოშიძის ხელმძღვანელობით ტარდებოდა ლაბორატორიული კვლევები (ნახ.8) მათ მიერ შემუშავებულ იქნა მდ. ენგურის შესართავში არხის გაჭრის სქემა (ნახ.9).



**ნახ.8. ლაბორატორიული კვლევები ენერგეტიკულ ნაგებობათა ს.კ. ინსტიტუტში (1984-1985წ.წ.)**

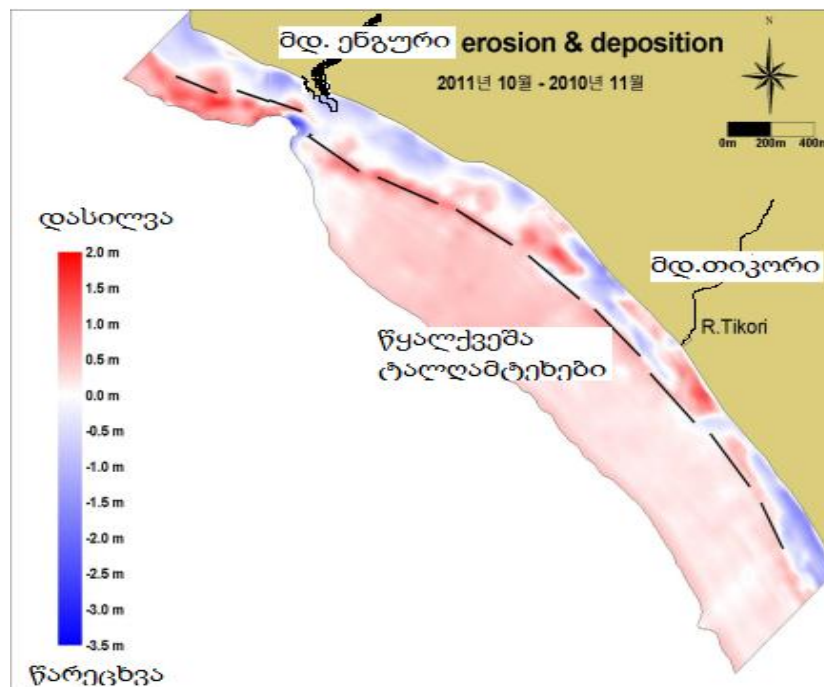


**ნახ.9. მდ. ენგურის შესართავში არხის გაჭრის სქემა**

ამავე პერიოდში „საქზღვანაპირდაცვამ“ და „ჰიდროპროექტმა“ გამოიკვლიეს და წარმოადგინეს სხვადასხვა წინადადებები, მაგრამ არც ისინი განხორციელებულა.

2011-2013 წლებში კორეულმა ფირმამ „DOHWA ENGINEERING“-მა დაიწყო მის მიერ შემუშავებული ანაკლიის დაცვის პროექტის განხორციელება, რომელიც გულისხმობდა ორ ეტაპად 4.5 კმ სიგრძის ზღვის სანაპირო ზოლის დაცვას ანაკლიის ნაპირიდან დაახლოებით 200-250 მ მანძილზე ტეტრაპოდებისაგან შექმნილი ათი წყალქვეშა ტალღამტეხი

ბარიერის მოწყობით (ნახ.10). ანაკლიასთან დაგეგმილი პორტის მშენებლობის გამო ეს პროექტიც შეჩერებულ იქნა. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ ამ პროექტს გააჩნდა სერიოზული ნაკლოვანი მხარეები, რაც დისერტაციაში დეტალურადაა აღწერილი. ზემოთ აღნიშნული პროექტების ანალიზის საფუძველზე ჩვენ მხარს ვუჭერთ 80-იან წლებში ენერგეტიკის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში შემუშავებული წინადადების განხორციელებას, რაც გულსხმობს წყალქვეშა კანიონამდე მდინარის ორგანიზებულ შეყვანას ზღვაში 500 მ სიგრძისა და ფუძეში 145 მ სიგანის ტრაპეციული არხის მეშვეობით.



**ნახ.10. „DOHWA Engineering“ -ის წყალქვეშა ნაპირდამცავი ბანკეტების მოწყობის მათემატიკური მოდელირების შედეგები.** წითელ ფერში აღნიშნულია მოსიღვის, ხოლო ლურჯ ფერში - ეროზიის პროცესები, რაც უშუალოდ ანაკლიის სანაპირო ზოლში მნიშვნელოვნად აჭარბებს მოსიღვებს და მიგვითითებს აღნიშნული პროექტის არაეფექტურობაზე.

ამავე დროს ანაკლიის ნაპირის დაცვა უნდა განხორციელდეს მხოლოდ ინერტული მასალის დაყრით სანაპირო ზოლში, „საქზღვანაპირდაცვის“ რეკომენდაციების შესაბამისად;

ფოთის სანაპირო ზოლის დაცვის მიზნით 80-იან წლებში სხვა სამეცნიერო-კვლევით ორგანიზაციებთან ერთად მონაწილეობას იღებდნენ

საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის „ჰიდრაულიკისა და ჰიდრომანქანების“ კათედრის თანამშრომლები, რომლებმაც პროფესორების გ. რურუას და ნ.დანელიას ხელმძღვანელობით შეიმუშავეს ფოთთან მდ. რიონის წყალგამყოფი ჰიდროკვანძის ექსპლუატაციის ისეთი რეჟიმები, რომელსაც უნდა აღმოეფხვრა ზემოაღნიშნული (I თავი) ნეგატიური პროცესები. ეს რეჟიმები გულისხმობდა ქალაქის არხში მდინარის წყალდიდობის ნატანით გაჯერებული ხარჯების გატარებას მაშინ, როცა ზღვა იმყოფება წყნარ მდგომარეობაში. რადგან მხოლოდ ამ პირობებშია შესაძლებელი ნატანის აკუმულაცია სანაპირო ზოლის სიახლოვეს. წინააღმდეგ შემთხვევაში, ანუ როცა ზღვა ღელავს, მდინარის მიერ ზღვაში შეტანილი ნატანი ილექება ნაპირიდან დიდ მანძილებზე და არ ხმარდება სანაპირო ზოლის აღდგენას.

აღნიშნული რეკომენდაციები განხორციელებულ იქნა 80-იან წლებში და ფოთის საზღვაო ნაპირმა მართლაც იწყო სტაბილური ზრდა, მაგრამ შემდგომ, სხვადასხვა მიზეზით ვერ მოხერხდა წყალგამანაწილებელი რეგულატორის ფარების მანიპულირების რეჟიმების დაცვა. ფოთის საზღვაო ნაპირის აღდგენა გაგრძელდა პულპასადენის მეშვეობით (წინადადების ავტორი ვ.საყვარელიძე), რაც აგრეთვე მალე გამოვიდა მწყობრიდან. უნდა აღინიშნოს, რომ პროფესორ გ. რურუას ზემოთ აღწერილმა მიგნებამ სრული დასაბუთება ჰპოვა ჩვენ მიერ III თავში მიღებულ თეორიული შედეგების სახით.

რაც შეეხება უშუალოდ მდ. რიონის წყალგამყოფი ჰიდროკვანძის კაშხლის ქვედა ბიეფს, ჰიდრაულიკურ გაანგარიშებებზე დაყრდნობით მისი ნგრევის მიზეზების შესწავლამ (შ.გაგოშიძე) და ჩვენმა დამატებითმა გაანგარიშებებმა გვიჩვენა, რომ **კაშხლის ქვედა ბიეფის ნგრევის მიზეზები უნდა ვეძებოთ ჰიდროკვანძის პროექტირებისას (1957-59 წ.წ.) დაშვებულ ხარვეზებში.** კერძოდ:

1. რისბერმის ნიშნული კაშხლის ქვედა ბიეფში არ უნდა ყოფილიყო წყალსაცემის ნიშნულის დონეზე, ვინაიდან ამ შემთხვევაში დიდი

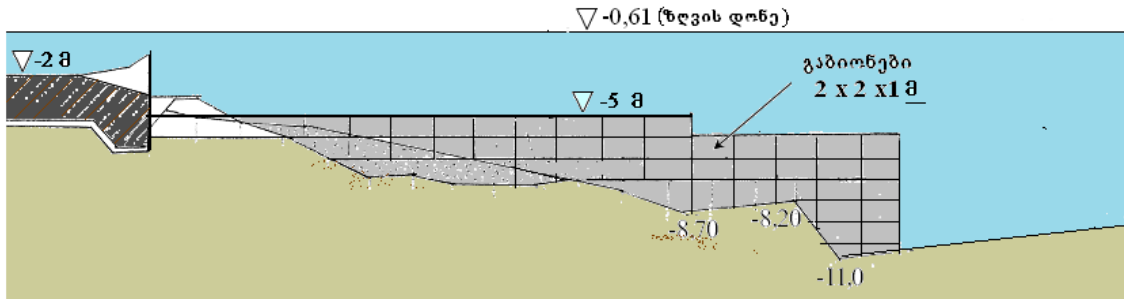
სიჩქარეები რისბერმაზე განაპირობებდა ნაკადის მხარქვევით მოძრაობას მორევებისა და გამორეცხვის დიდი ღრმულების წარმოქმნით ქვედა ბიეფის მიმდებარე კალაპოტში;

2. წყალსაცემის ფილის სისქე (0,4 მ) არასაკმარისი აღმოჩნდა, რათა რისბერმას გაედლო ხანგრძლივი პულსაციური და ტალღური დატვირთვებისათვის და არ დამსხვრეულიყო კაშხლის თითქმის მთელ სიგრძეზე;

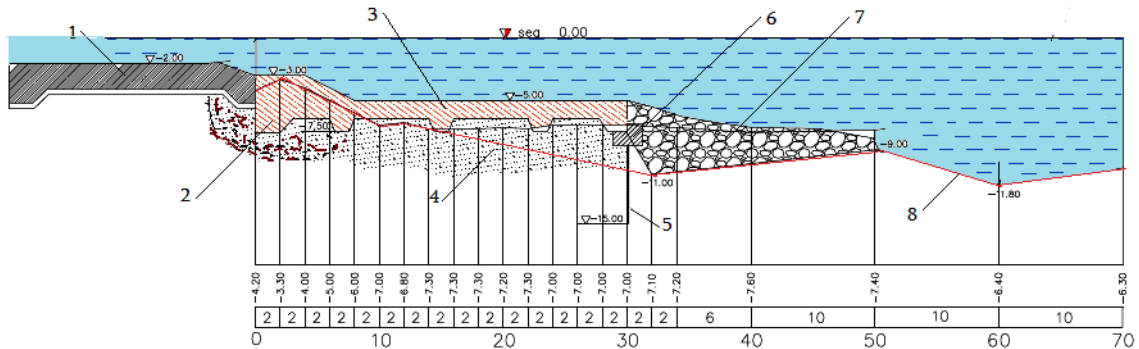
3. 1982-1983 წლებში „კოლხიდმშენის“ მიერ შესრულებული სარეაბილიტაციო ღონისძიებების გატარებამდე, შესართავის მხრიდან მდინარის ფსკერზე შემოჭრილი ზღვის შედარებით მკვრივი წყალი (ჰალოსოლი) კაშხლის წინ ქმნიდა წყლის უძრავ ფსკერულ ბალიშს და აფერხებდა ქვედა ბიეფის ფსკერის გამორეცხვის პროცესებს მდინარის შედარებით მცირე ხარჯების გატარებისას. „კოლხიდმშენის“ რეკომენდაციით კაშხლიდან 80მ-ში მდინარის განივად ლითონის ნარანდის ჩასმით ფაქტობრივად შეწყდა ნაგებობამდე ზღვის წყალის შემოდინება და კიდევ უფრო მეტად შეეწყო ხელი ნგრევით პროცესებს კაშხლის ქვედა ბიეფში;

4. კაშხლის დანგრეულ ქვედა ბიეფში გაბიონების ჩალაგებით განხორციელებული დროებითი სარეაბილიტაციო ღონისძიებები (ნახ.11), რაც მსოფლიო ბანკის დაფინანსებით შეასრულა „საქწყალპროექტმა“ 2005-2006 წლებში, განსხვავებით 1982-1983 წლებში „კოლხიდმშენის“ მიერ გატარებული სარეაბილიტაციო ღონისძიებებისგან, დადებითად უნდა იქნას შეფასებული. მაგრამ ამ ეტაპზე მიგვაჩნია, რომ აუცილებელია დაწესდეს კაშხლის ქვედა ბიეფის პერიოდული ზედამხედველობა, რაც 2006 წლის შემდეგ არც ერთხელ არ განხორციელებულა;

ჩვენ რეკომენდაციას ვუწევთ წყალსაცემი ფილის მოწყობას უფრო დაბალ - 5მ ნიშნულზე, სისქით 1,5მ. მის ბოლო კბილთან უნდა ჩაისვას ნარანდი -15მ ნიშნულამდე, რომელიც კაპიტალურად დაიცავს წყალგამყოფი კვანძის კაშხლის ტანს გამორეცხვებისგან (ნახ.12).



**ნახ. 11. მდ.რიონის წყალგამყოფი კაშხლის ქვედა ბიეფში „საქწყალპროექტი“-ის მიერ განთავსებული გაბიონები;**



**ნახ.12. მდ. რიონის წყალგამყოფი კვანძის ქვედა ბიეფის კაპიტალური რეაბილიტაციის სქემა: 1.წყალსაშივი; 2. სილრუეთა ცემენტაცია; 3. წყალსაცემი ფილა; 4. ქვიშის ფენა; 5. ნარანდი; 6. ბოლვერკი; 7. ქვიშით შევსებული ტომრები. 8. წარეცხვის კონტური (2005წ.)**

მდინარე ჭოროხის დარეგულირების შემდეგ, პლაჟარმომქმნელი მასალის განახლებადი ბუნებრივი წყაროს კატასტროფული დეფიციტის გამო, ნატანის ნაპირგასწვრივი ნაკადის ფორმირება ამჟამად ხდება მხოლოდ ჭოროხის დელტის და მიმდებარე ტრანზიტული ზონის წარეცხვის პროდუქტების ხარჯზე, რაც უახლოეს ათწლეულში აუცილებლად გამოიწვევს მნიშვნელოვან გეომორფოლოგიური ცვლილებებს აჭარის ზღვისპირეთში.

ამასთან მიუღებელია ნაპირდაცვით ღონისძიებად ჩაითვალოს ზღვის ნაპირთან ტეტრაპოდების უსისტემო დაყრა, რასაც ადგილი აქვს აჭარის სანაპირო ზოლის ზოგიერთ მონაკვეთზე.

რეკომენდაციის სახით, საჭიროდ მიგვაჩნია, რომ გონიოდან ბათუმამდე აჭარის სანაპირო ზონის წარეცხილი უბნების აღდგენა განხორციელდეს ინერტული პლაჟარმომქმნელი მასალის ხელოვნურად დაყრის გზით.

## ძირითადი დასკვნები

1. გამოკვლეულია მდინარეების ენგურის, რიონისა და ჭოროხის დარეგულირების შედეგად გამოწვეული ჰიდროლოგიური ცვლილებები და ამ ცვლილებებით განპირობებული ჰიდროსაინჟინრო პრობლემები;
2. შემუშავებულია მდინარეთა შესართავ აკვატორიებში, არათანაბარ დინებებზე ზედდებული გრძელი ტალღების გაანგარიშების თეორია;
3. გრძელტალღოვანი მიახლოების ფარგლებში თეორიულად პირველად განიხილება მდინარის ჭავლის გავლენა ზღვის მხრიდან ნაპირისაკენ ფრონტალურად მიმართულ ტალღებზე. ნაჩვენებია, რომ კლებადი სიღრმის შემთხვევაში, როცა ტალღა ვრცელდება მდინარის შესართავისკენ, მდინარის ნაკადი ინტენსიურად ამცირებს ტალღის სიმაღლეს და ამავდროულად აფერხებს მისი სიგრძის კლებას;
4. ნებისმიერი დახრილობის სანაპირო ფერდობების მქონე ტრაპეციულ და სამკუთხა არხებში წყლის ნაპირგასწვრივი ტალღური მოძრაობის ამსახველი განტოლებების პირდაპირი მეთოდით ამოხსნის შედეგად შეფასებულია მოუპირკეთებელი და მოპირკეთებული არხების სანაპირო ფერდობების მდგრადობა;
5. შემუშავებულია ზღვაში შემავალი არხების კალაპოტების მოსალოდნელ განივ დეფორმაციათა პროგნოზირების მეთოდი;
6. დახრილ ზედაპირებთან ტალღური მოძრაობის რთული პროცესები ელემენტარულ ფუნქციებში აღიწერება შედარებით მარტივი საანგარიშო დამოკიდებულებებით, რომლებიც ამავე დროს გამოირჩევა მაღალი სიზუსტით და შესაბამისობაშია არსებულ ნატურულ და ექსპერიმენტულ დაკვირვებებთან;
7. შემუშავებულია რეკომენდაციები ნაპირდაცვითი ღონისძიებების გასატარებლად მდინარეების ენგურის, რიონისა და ჭოროხის შესართავ აკვატორიებსა და ზღვის მიმდებარე სანაპირო ზოლში.



## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული პუბლიკაციები:

1. გაგოშიძე შ., ქადარია ი., ა.გოგოლაძე., გიორგაძე ც., კოდუა მ. კალაპოტური პროცესების შესახებ მდ. რიონის წყალგამყოფი კაშხლის ქვედა ბიეფში; სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“ 2012. № 1-2(13-14). გვ. 64-73.
2. გოგოლაძე ა., გაგოშიძე შ., კოდუა მ., რაზმაძე დ. კურორტ ანაკლიასთან ზღვის სანაპირო ზოლის მეწესრიგების ღონისძიებათა შესახებ. მე-3 საერთ. კონფ. „გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედროვე პრობლემები. მოხსენებათა კრებული, თბილისი-ბორჯომი,. 2013, გვ.49-53.
3. Gagoshidze Sh., Gogoladze A., Kodua M. On the action of longitudinal waves on bank slopes of the soil channels. Scientific-Technical Journal HydroEngineering. 2013. № 1-2 (15-16). p.57-60.
4. Kodua M., Gagoshidze Sh. Hydraulic calculation method for sea bottom spillway sewers, 2014, Energyonline №2(8).
5. Gvelesiani T, Tcikhelashvili Z. Berdzenashvili G, Kodua M. Iremashvili K. On research aspects of a new-type floating wave damping hydro-technical complex for protection of coastal line and open ports from storm waves. The 4rd International Scitific-Tecnical Conferece „The Modern Problems of Enviromental Protection, Architecture and construction“ , Conf. Coll. P,2014,p. 107-111.
6. Гагошидзе Ш., Кодуа М. Трансформация длинных волн в приустьевом взморье. сборник научных трудов Государственного инженерного университета Армении "ВЕСТНИК" №1(17). с. 44-50. 2014.
7. ი. სალინაძე, ი. ქადარია, მ.კოდუა. შავი ზღვის ფოთის რეგიონის ქარებისა და ტალღური რეჟიმების ძირითადი მონაცემები (რუს. ენაზე). მე-5 საერთ. კონფ. „წყალთა მეურნეობის, გარემოს დაცვის, არქიტექტურისა და მშენებლობის თანამედრ. პრობლემები. მოხსენებათა კრ. 2015. გვ.244-248.
8. Gagoshidze Sh., Kodua M. Applied Analytical Methods for Solving Some Problems of Wave Propagation in the Coastal Areas. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria 17-22 April 2016.  
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-1677-2.pdf>
9. Saghinadze I., Pkhakadze M., Kodua M. Gagoshidze Sh. Hydro-engineering and environmental problems in Poti Black Sea region and ways of their solution European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria 17-22 April 2016.  
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-1745-2.pdf>
10. კოდუა მ. გრძელი ტალღების ტრანსფორმაციის შესახებ მდინარეთა შესართავ აკვატორიებში, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ჰიდროინჟინერია“ # 1-2(21 22). 2016 წ.

**SUMMARY**  
**of the doctoral dissertation work of Manon kodua**  
**Hydro Engineering Problems of River Estuary Areas**  
**and the Ways of their Solution**

*Georgian Technical University, Hydroengineering Department*

The doctoral dissertation is concerned with the investigation of the currently existing hydro-engineering, geo-morphological and environmental problems currently existing in the estuaries and the adjoining areas of the Rioni, Inguri and Chorokhi which are the main rivers of the Black Sea coast region in Georgia. The project also indicates the ways of solving these problems and obtaining scientifically substantiated solutions.

The causes of the negative influences on the environment may lie not only in the poor quality of the building work, but also in the mistakes made in the designing stage and in the imprecision of the available applied prediction methods and calculation formulas and often even in the non-existences of such methods. Hence, it obviously follows how topical is to develop the scientifically justified methods of investigation of hydroengineering and environment protection problems which nowadays exist in the Black Sea region of Georgia, and to indicate the hydroengineering tools by means of this kind of problems can be solved.

The objective of doctoral thesis was to elaborate the mathematically justified methods of calculations of fluvial and marine riverbed processes in the coastal and estuary areas since the application of such methods makes the exploitation of hydroengineering structures long-term and ecologically safe.

For the solution of the theoretical tasks set in the doctoral thesis, the methods of mathematical physics were used. By transformation of three-dimensional hydrodynamic equations there was obtained two- and one-dimensional hydraulic differential equations with a variable coefficient, which will be solved by the exact, direct and asymptotic methods using the basic functions which engineers have. In particular, for the solution of the obtained equations the direct method of reduction of three-dimensional equations of wave hydrodynamics has been used, which is proposed by Academician L. Kantorovich, a Nobel Prize winner and also the asymptotic method of WKB (Wentzel-Kramers-Briulen), widely used in quantum mechanics.

The following activities have been performed:

- The analysis of the latest data on hydrological, meteorological and sea wave regimes in the tributary areas of the Enguri, Rioni and Chorokhi rivers will be made; also river bed processes occurring in these areas will be investigated; the factors causing the destruction of the hydroengineering structures will be identified and studied; measures of restoration of the washed-out sea coast will be indicated and the prospects of the future port construction will be considered;
- The methodology was developed taking into consideration the boundary rules of wave hydrodynamics. The methods were based on mathematical models

enabling hydraulic engineers and other interested specialists to understand the refraction and wave transformation processes occurring at any coast slope angle values. The velocity field of water particles motion is determined so that it makes possible to forecast the motion of coastal and deep-water motion of the coast forming material at any angle of slope – so far this could not be done by the existing radiation-energy technique;

- Methods of calculating the dimensions of coast protection structures will be developed; the procedure of predicting the rate of their deformation under the action of sea waves and also the rate of deformation of the slopes of trapezoidal and triangular cross-sectional channels will be described. In the existing normative documents, similar calculation methods are used only for the waves directed to the shore frontally;

- In the frame of the long-wave theory, the influence of the river flow velocity and of the river bottom configuration on the wave movement parameters in estuaries have been studied, which makes it possible to develop the cost-saving and efficiently operating water dividing rub-regulator to be used for the restoration of the washed out sea coast of the town of Poti;

- Recommendations were prepared on the design of hydroengineering structures in river estuary areas;

- The design and research organizations, schools of higher learning and other organizations of hydroengineering profile, which are concerned with the solution of irrigation, drainage, navigation and electric power production problems are considered as potential customers. The findings of the doctoral thesis will be handed over in the form of recommendations to the ports of Poti and Kulevi, Tskalproject (Water-Design) company, the group of World Bank experts who are working on the project of rehabilitation and restoration of irrigation and drainage systems, Saknapirdatsva (Georgian Coast Protection) company and other governmental and municipal organizations.

შოთა რუსთაველის ფონდის DO/77/3-109/14 და DO40/8/3-109/13  
 საგრანტო პროექტების ფარგლებში ჩატარებული  
 ექსპედიციებისა და კვლევის ობიექტების ამსახველი  
 ფოტოილუსტრაციები



*მდ. ენგურის შესართავში წარმოქმნილი ქვიშის ცელისებრი ზვინული და კუნძული*



*დაკვირვებები მდ. რიონის წყალგამყოფ კვანძთან*



*სოფ. ერგესთან მშენებარე ჰესი*



*კვლევითი სამუშაოები მდ. ჭოროხზე*