

UDC 627

SCOPUS CODE 2101

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-3-132-152>

## ჟინვალჰესის წყალსაცავის დალამვის პროცესის პროგნოზირება ბათიმეტრიული კვლევის საფუძველზე

<b>გრიგოლ ხელიძე</b>	ჰიდროენერგეტიკისა და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: g.khelidze@gtu.ge
<b>ივანე ნონიევი</b>	ჰიდროენერგეტიკისა და მაგისტრალური სამილსადენო სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: i.noniev@gtu.ge
<b>ალექსანდრე მირცხულავა</b>	შპს „ჰიდროდიაგნოსტიკა“, საქართველო, 0160, თბილისი, გაგარინის 24 E-mail: imirtskhulava@hydrodiagnostics.ge
<b>ლადო ხანდოლიშვილი</b>	შპს „ჰიდროდიაგნოსტიკა“, საქართველო, 0160, თბილისი, გაგარინის 24 E-mail: lkhandolishvili@hydrodiagnostics.ge
<b>ანა ნოზაძე</b>	შპს „ჰიდროდიაგნოსტიკა“, საქართველო, 0160, თბილისი, გაგარინის 24 E-mail: anozadze@hydrodiagnostics.ge

### რეცენზენტები:

**დ. მირცხულავა**, საქართველოს დიდი კაშხლების ეროვნული კომიტეტის (GNCOLD) თავმჯდომარე, პროფესორი, ტექნ. მეცნ. დოქტორი

E-mail: david.mirtskhulava@gmail.com

**პ. სამსონაშვილი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ასოც. პროფესორი, აკად. დოქტორი

E-mail: p.samsonashvili@gtu.ge

**ანოტაცია.** წყალსაცავების დალამვის პროცესი შესწავლილია რეგულარული ბათიმეტრიული გაზომვებით, რაც გულისხმობს წყალსაცავის ფსკერის

ფაქტობრივი ნიშნულების დადგენას, მდინარის მიერ შემოტანილი ნატანის კონტროლის მიზნით. ჟინვალჰესის წყალსაცავზე 2014 წლიდან უწყვეტად ტარდება ბათიმეტრიული გაზომვები. რეგულარუ-

ლი მონიტორინგით ხდება დალამვის პროცესის როგორც კონტროლი, ისე პროგნოზირება, რათა ღონისძიებები დაისახოს პროცესის შენელების ან შეწყვეტის მიზნით. გაზომვების ტექნოლოგია შემდეგნაირია: იგეგმება წყალსაცავის კვეთები და მათ გასწვრივ მუდმივი ინტერვალით ექოლოტის მეშვეობით იზომება სიღრმე წყალსაცავის ქვაბულის ფსკერამდე. ეს პროცესი მთლიანად ვრცელდება წყალსაცავის სარკის ზედაპირზე და შედეგების დამუშავებით დგინდება ფაქტობრივი მოცულობა და პირვანდელ (საპროექტო) მოცულობასთან მისი შედარებით მიიღება შემოტანილი ნატანის მოცულობა და წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის შემცირების დინამიკის სურათი.

მოყვანილია 2014-2022 წლებში თანამედროვე საზომი ინსტრუმენტებით შესრულებული ბათიმეტრიული მონიტორინგის მონაცემები და მათი შედეგები დამუშავების, ვიზუალიზაციისა და ანალიზის მეთოდების გამოყენებით, ასევე მოყვანილია დალამვის პროცესის დინამიკა, პროგნოზი და რეკომენდაციები.

**საკვანძო სიტყვები:** ბათიმეტრიული კვლევა; დალამვა; მკვდარი მოცულობა; მონიტორინგი; პროგნოზირება; სასარგებლო მოცულობა; წყალსაცავი.

## შესავალი

ჟინვალის კომპლექსური ჰიდროკვანძი მდებარეობს მდინარე არაგვზე (მდინარეების – არაგვის, ფშავის არაგვისა და ხორხულას შესართავში), თბილისიდან 60 კმ მანძილზე. იგი ექსპლუატაციაშია 1985 წლიდან.

წყალსაცავი ჟინვალის ჰიდროკვანძის მნიშვნელოვანი კომპონენტია, რომლისთვისაც არსებითი მნიშვნელობა აქვს დალამული მყარი ნატანის მოცულობის დინამიკის შესწავლას. პროექტის მიხედვით წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონის (ნ.შ.დ.) ნიშნულის (810 მ) შესაბამისი სრული მოცულობაა 520 მლნ. მ<sup>3</sup>, სასარგებლო მოცულობა – 370 მლნ. მ<sup>3</sup>, მკვდარი მოცულობის დონეს (მ.მ.დ) შესაბამება მკვდარი მოცულობა - 150 მლნ. მ<sup>3</sup> [8]. საქართველოში მიღებული კლასიფიკაციით [4] ჟინვალის წყალსაცავი სამთო წყალსაცავებს მიეკუთვნება.

წყალსაცავის დალამვაზე პერმანენტული დაკვირვებების ჩატარების მნიშვნელობა განპირობებულია ორი ძირითადი ფაქტორით: სასარგებლო მოცულობის კონტროლი, რომლის სიდიდე განსაზღვრავს წყალსაცავის ენერგეტიკულ რესურსს და წყალსაცავში მყარი ნატანის ინტენსიური დალექვა, რომელიც წყლის ხარისხს აუარესებს და არსებითი მნიშვნელობა აქვს თბილისისა და რუსთავის სასმელი წყლით მომარაგებისთვის, ამასთან მაღალი სიმღვრივის ნაკადი ნეგატიურ გავლენას ახდენს ჰიდროტურბინების გამდინარე ნაწილზე, აბრაზიული ცვეთის თვალსაზრისით.

## ძირითადი ნაწილი

ჟინვალის წყალსაცავში 2002 წ. იტალიელმა სპეციალისტების ჯგუფმა წყალსაცავის წყალქვეშა რელიეფი გეოფიზიკური აპარატურის მეშვეობით გადაიღო. მიღებული მასალის საფუძველზე შესრულებული გაანგარიშებით დალამული ნატანის მოცულობამ 42,3 მლნ. მ<sup>3</sup> შეადგინა, ხოლო სანაპირო

ფერდობების ჩამონაშალმა – 2,8 მლნ. მ<sup>3</sup> [1]. 1985-2002 წლებში ნატანის დალამვის ინტენსიურობა საშუალოდ 2,51 მლნ. მ<sup>3</sup> შეადგენდა წელიწადში. ამავე წყაროს მიხედვით, ჰიდრომეტცენტრის მონაცემებითა და არსებული სამეცნიერო მეთოდოლოგიის საფუძველზე გაანგარიშებული წყალსაცავის 19 წლის ექსპლუატაციის პერიოდში შემოტანილი მყარი ნატანის მასა 16,4 მლნ.ტ-ს უდრის, რომელსაც შეესაბამება 14,9 მლნ.მ<sup>3</sup> მოცულობა ანუ 784 ათასი მ<sup>3</sup> წელიწადში. აღსანიშნავია, რომ ჟინვალის წყალსაცავის პროექტით განსაზღვრული მყარი ჩამონადენის მოცულობა წელიწადში 725 ათას მ<sup>3</sup>-ს შეადგენს, ხოლო იმავე პერიოდში ჩატარებული სპეციალური გამოკვლევის შედეგად მიღებული – 1.180 მილიონ მ<sup>3</sup>-ს [1].

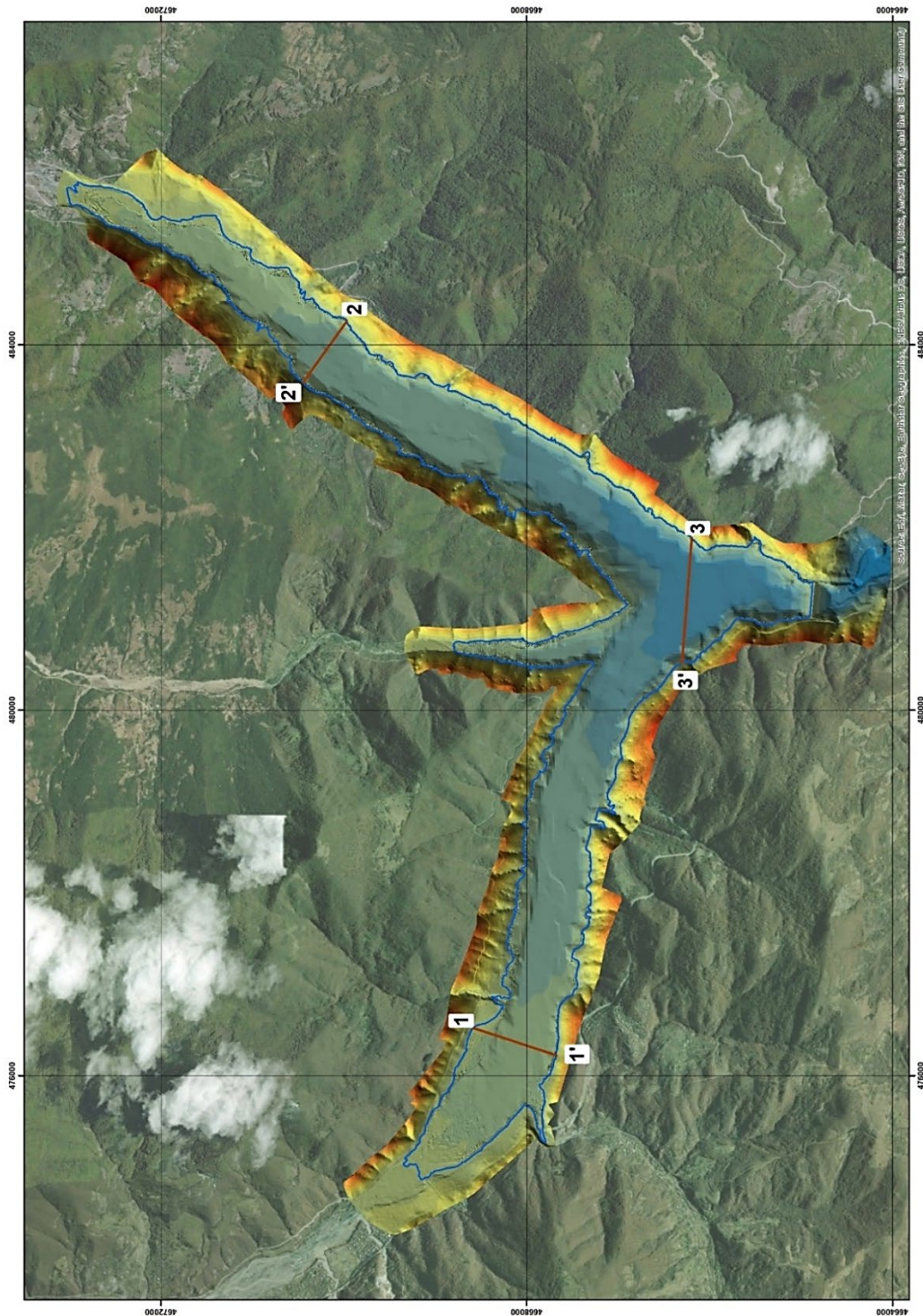
ჟინვალის წყალსაცავის დალამვის წლიური მოცულობის დადგენა უწყვეტად ხორციელდება 2014 წლიდან. საველე კვლევებსა და მონაცემთა შეგროვება-დამუშავების პროცესში დიდი წვლილი მიუძღვის ჟინვალჰესის ადმინისტრაციას, ტექნიკურ პერსონალს, შპს „ჰიდროგრაფს“ და მის წარმომადგენელს, ალექსანდრე ზედგენიძეს.

განხილული კვლევებიდან უკანასკნელი საველე სამუშაოები 2022 წლის 20, 26 და 27 აგვისტოს ჩატარდა, წყალსაცავის დონის 809,17–809,58 მ ნიშნულზე. ძრავიან ნავზე მიმავრებული ექოლოტითა და GNSS მიმღებით მოახდინეს, ჟინვალის წყალსაცავის მასაზრდოებელი მდინარეების (ფშავის არაგვის, არაგვისა და ხორხულას) კალაპოტების ბათიმეტრიული კვლევა, რომელიც საერთო ჯამში მოიცავს 1210,72 ჰა-ს.

საველე სამუშაოს შესრულებისას RTK GNSS-ს სისტემა გაიმართა შესაბამის საკოორდინატო სისტემაში, რომელიც მიღებულია საქართველოსთვის. ბათიმეტრიისთვის, წყალსაცავის კალაპოტის ასაგეგმად, გამოყენებული იყო მაღალი სიზუსტის ერთსიხშირიანი ექოლოტი, კოორდინატთა კორექციისთვის სისტემა სინქრონიზირდა RTK GNSS მიმღებთან.

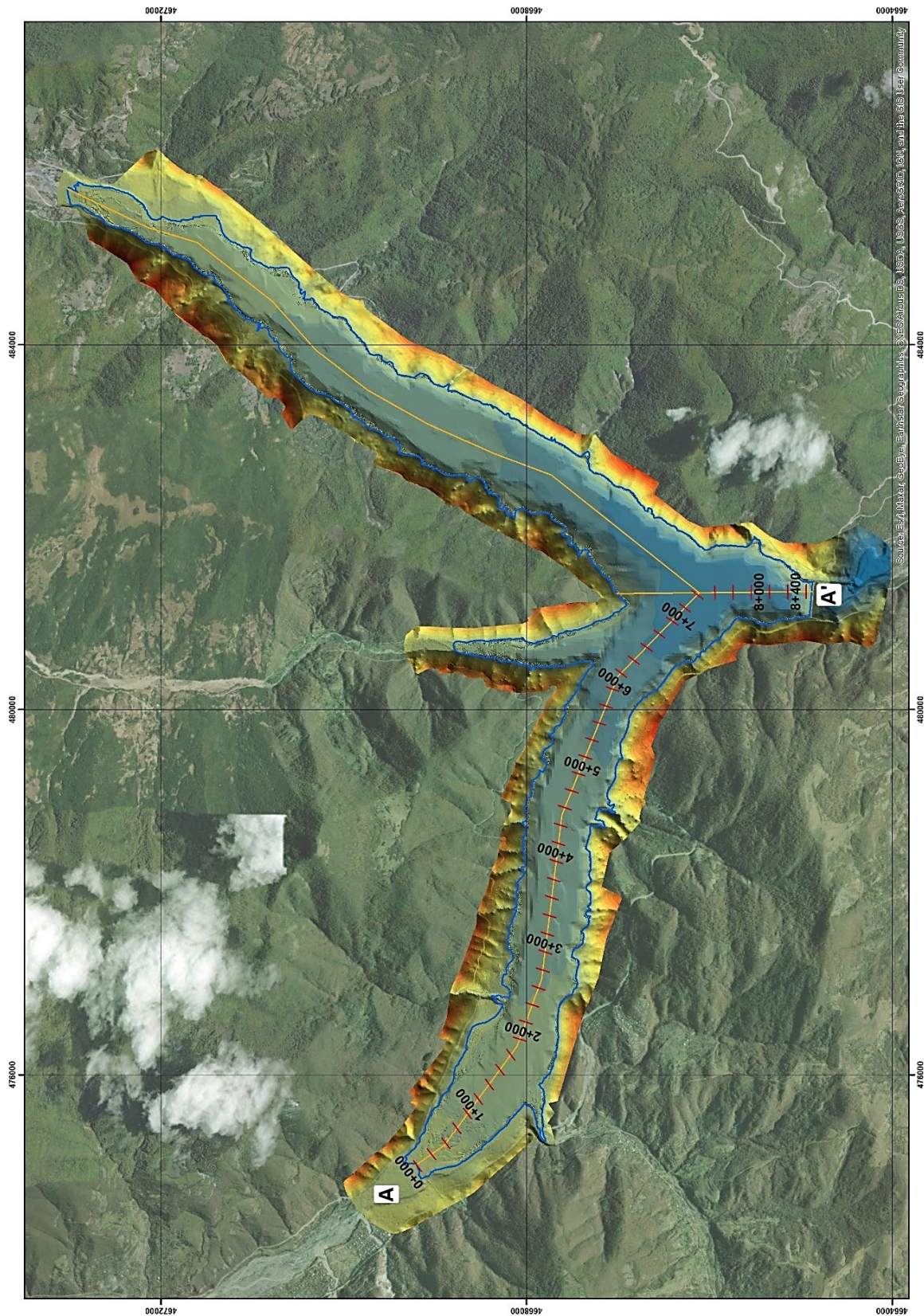
საკვლევ ტერიტორიაზე მიღებული მონაცემები შესაბამისად დამუშავდა და გაიფილტრა პროგრამა Surfer (GOLDEN SOFTWARE, LLC)-ის მეშვეობით. ამავე პროგრამაში აიგო და დამუშავდა იზობათებისთვის 1მ სიმაღლის ინტერვალით კონტურის ხაზები. მომზადდა სრული კვლევის რუკა. ზემოაღნიშნული ბათიმეტრიული კვლევიდან მიღებული 1მ-იანი კონტურებისა და 2021 წლის 28 დეკემბერს უპილოტო საფრენი აპარატით – დრონით, შესრულებული ტოპოგრაფიის 1მ-იანი კონტურების გამოყენებით, ArcMap-ის საშუალებით, TIN (Triangular Irregular Network) მეთოდის მიხედვით, აიგო წყალსაცავის ზედაპირის მორფოლოგიის 3D მოდელი, რომელიც შესაძლებელს ხდის ჟინვალის წყალსაცავის შეტბორვის ზონის მორფოლოგიის უკეთ აღქმასა და გაანალიზებას. ამასთანავე, აგეგმვის დროს წინასწარ შერჩეულ მონაკვეთებზე მონიშნა 3 განივი და 3 გრძივი ჭრილი (სურათები 1, 2, 3 და 4). კვეთები შესაბამისად გაიფილტრა და დამუშავდა Grapher (GOLDEN SOFTWARE, LLC) პროგრამის მეშვეობით





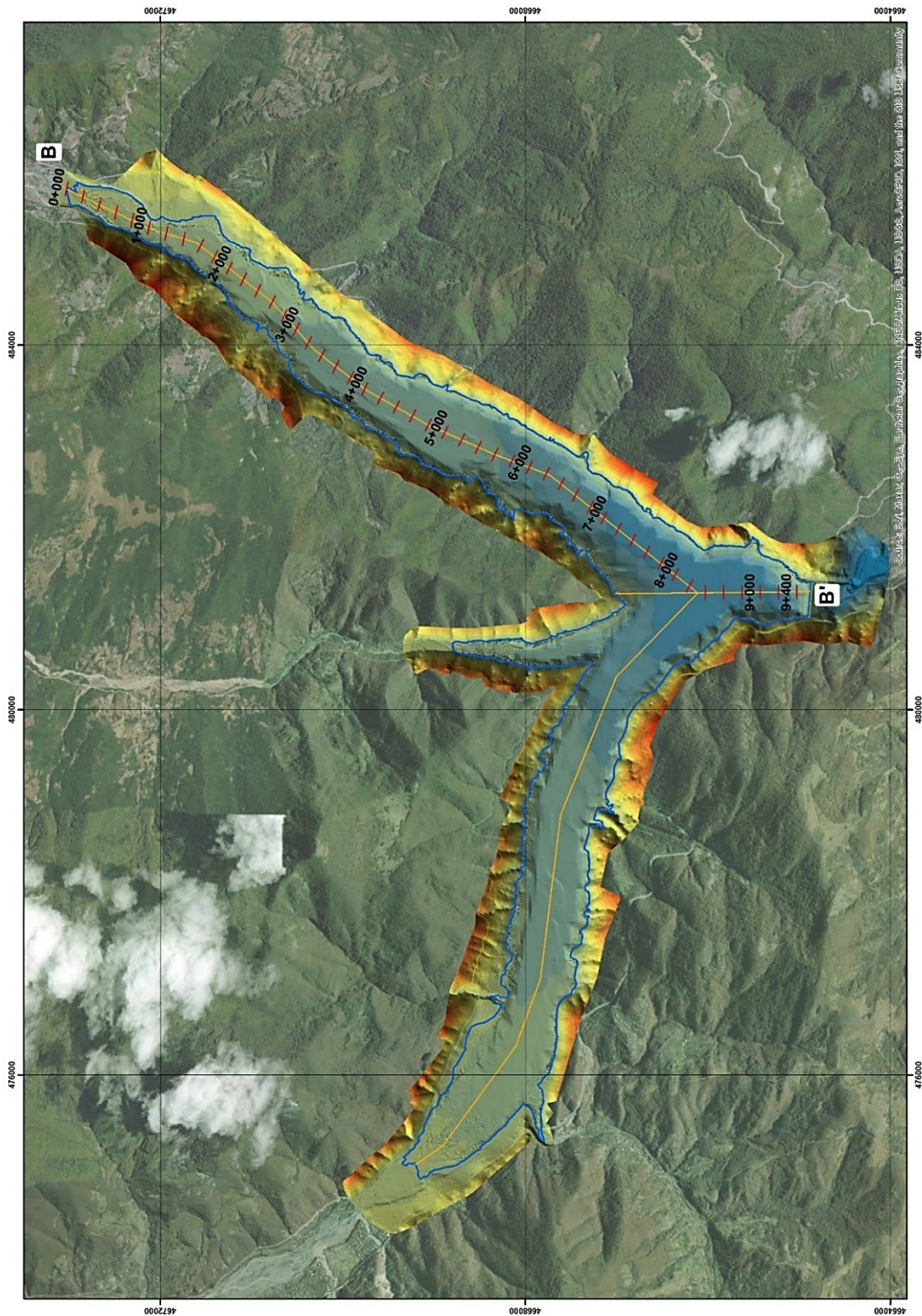
სურათი 1. გრძივი კრილების განლაგება





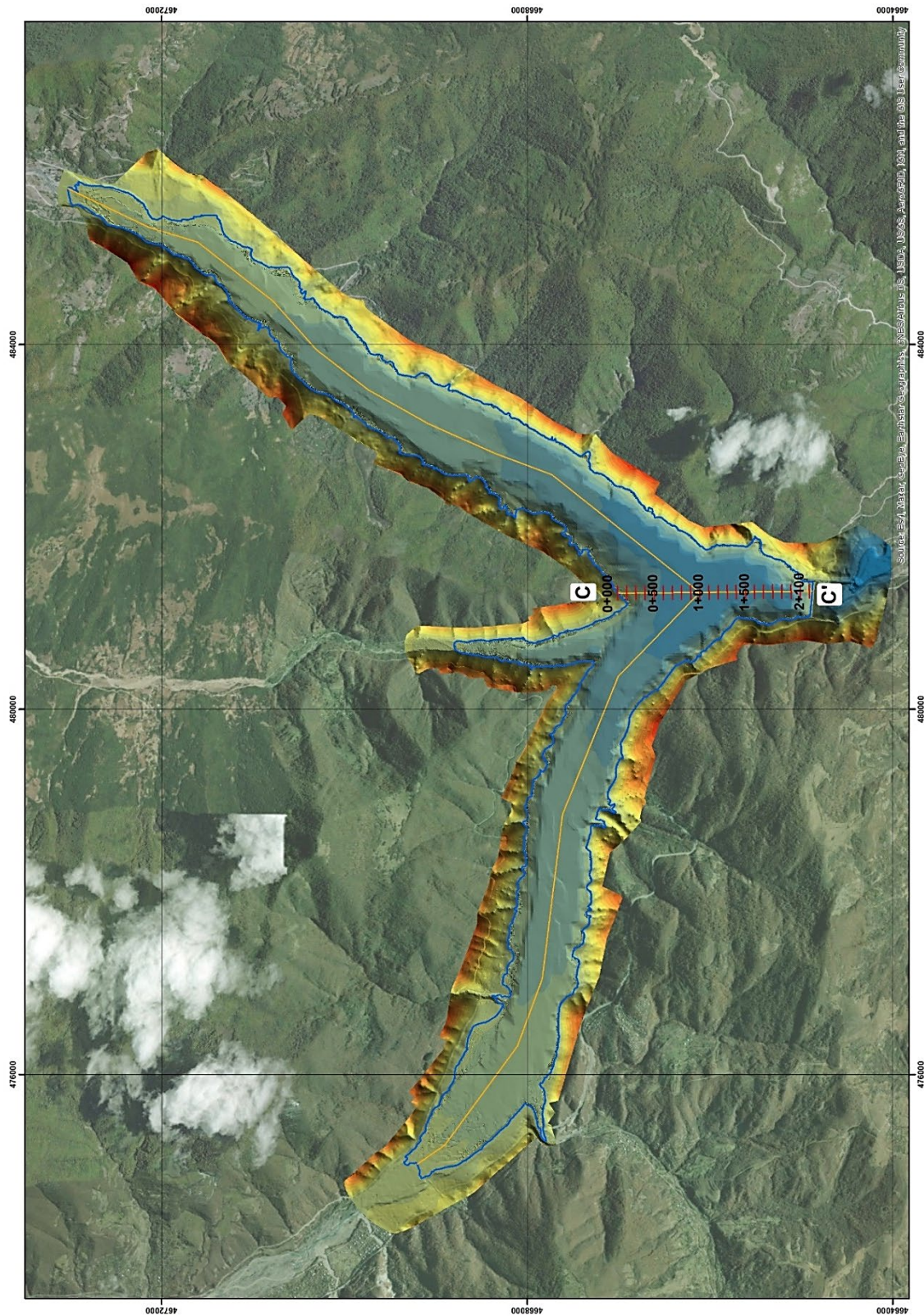
სურ. 2. A-A' გრძივი პროექტის განლაგება





სურათი 3. B-B' გრძივი პროექციის განლაგება

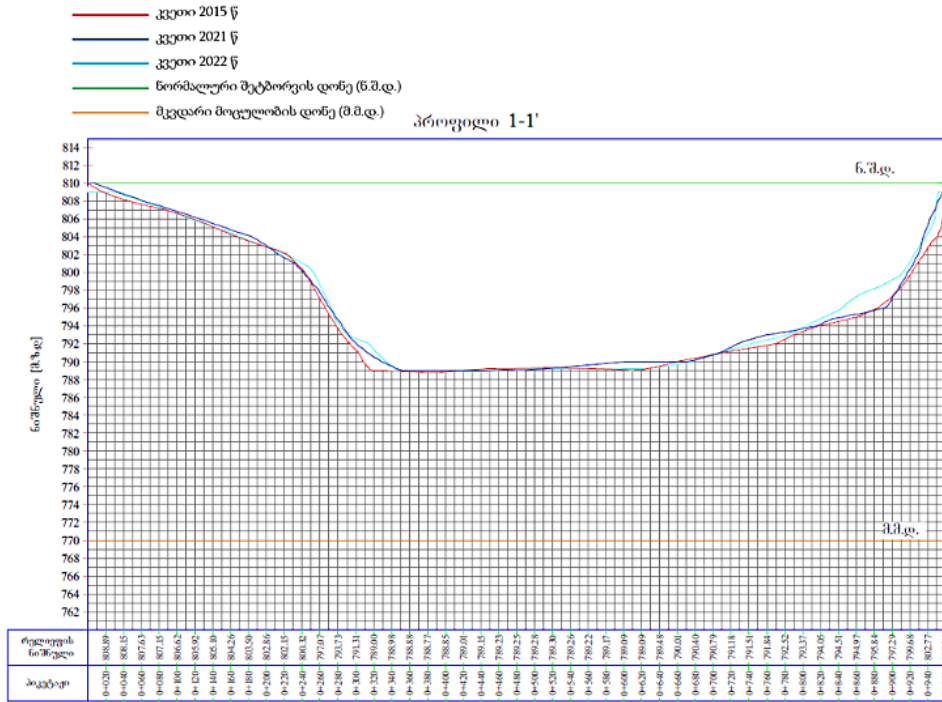




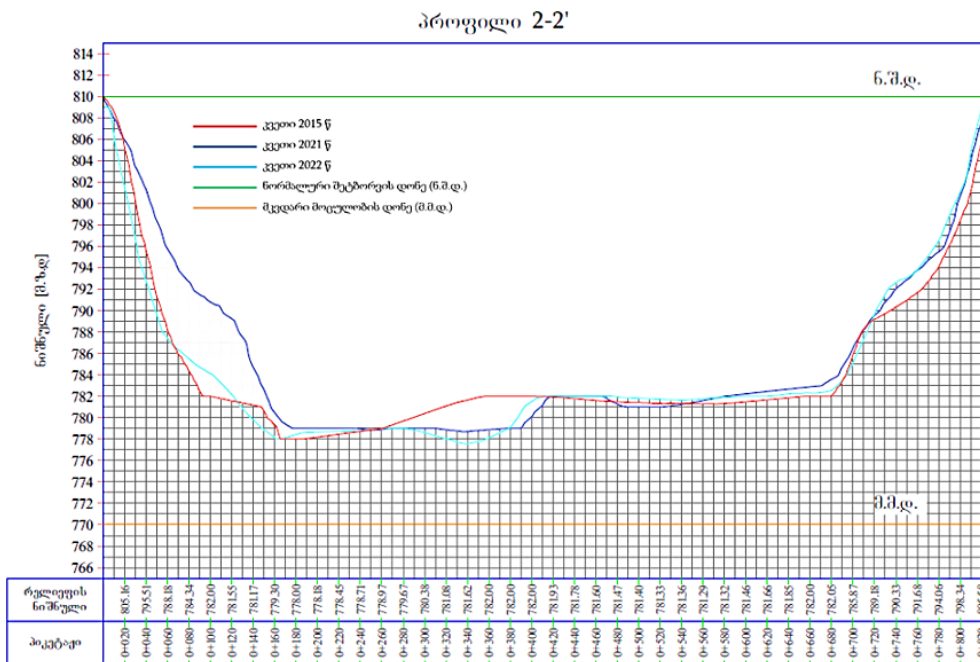
სურათი 4. C-C გრძივი კრილუმის განლაგება

ზემოხსენებული ნატურული გაზომვების მიხედვით მიღებული 1-1', 2-2' და 3-3' ფაქტობრივი განივი პროფილები 2015, 2021 და 2022 წლებისთვის მოყვანილია მე-5–7 სურათებზე, ხოლო A-A', B-B'

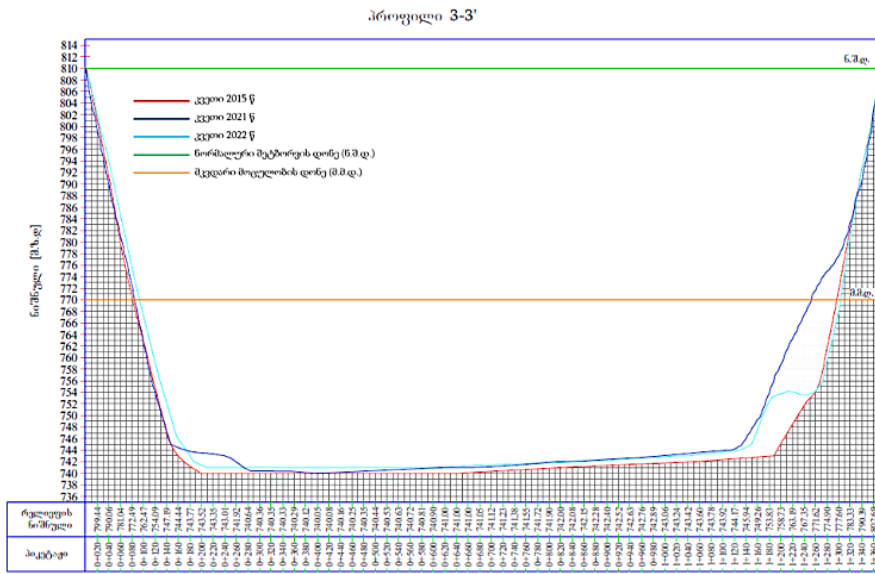
და C-C' გრძივი კვეთებისთვის – მე-7 სურათზე. ამასთან, ყველა მითითებულ სურათზე აღნიშნულია წყალსაცავის ნ.შ.დ. და მ.შ.დ ნიშნულები.



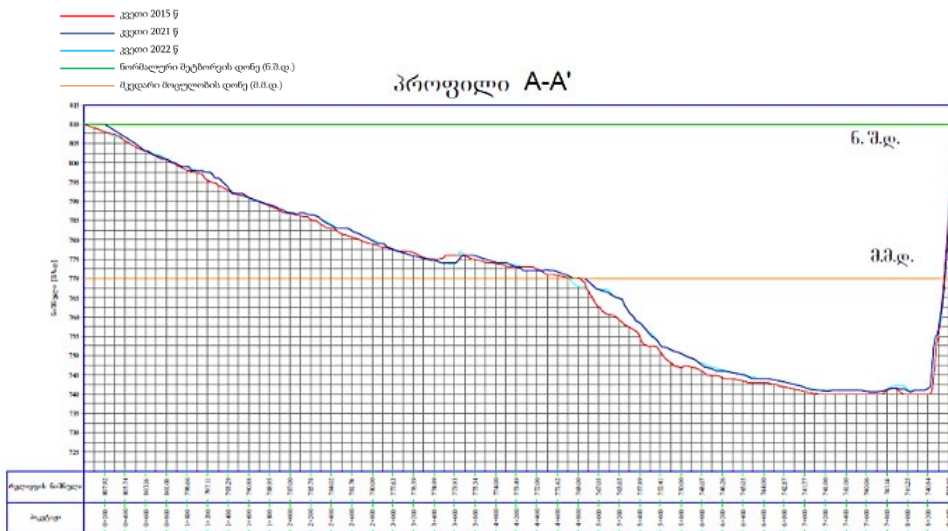
სურ. 5. განივი ჭრილი 1-1' (2015 წ. 2021წ. 2022წ.) (ვერ გავიგე)



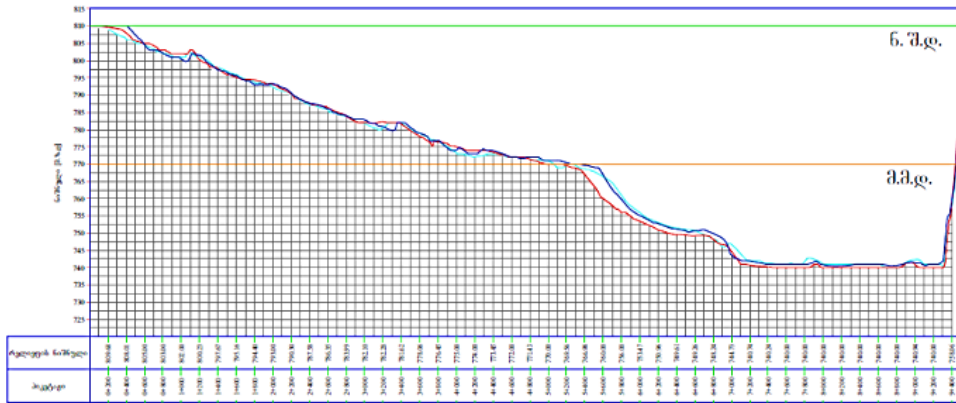




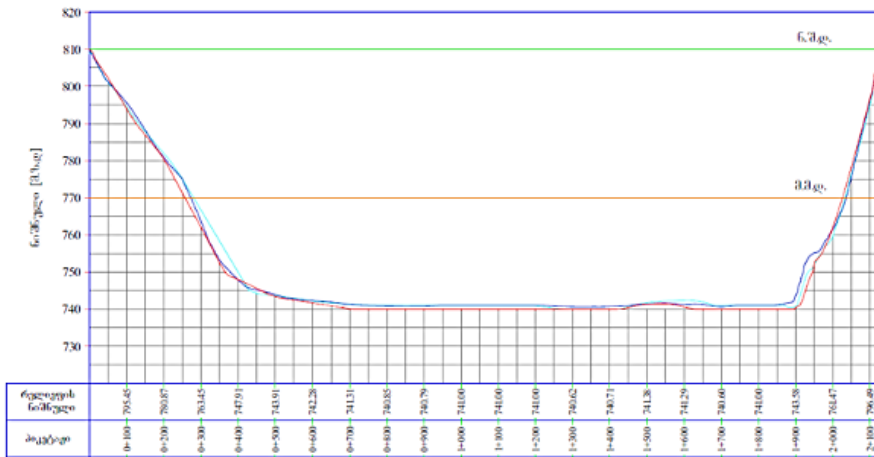
სურ. 6. განივი კრილები 2-2' და 3-3' (2015წ. 2021წ. 2022წ.)



პროფილი B-B'



პროფილი C-C'

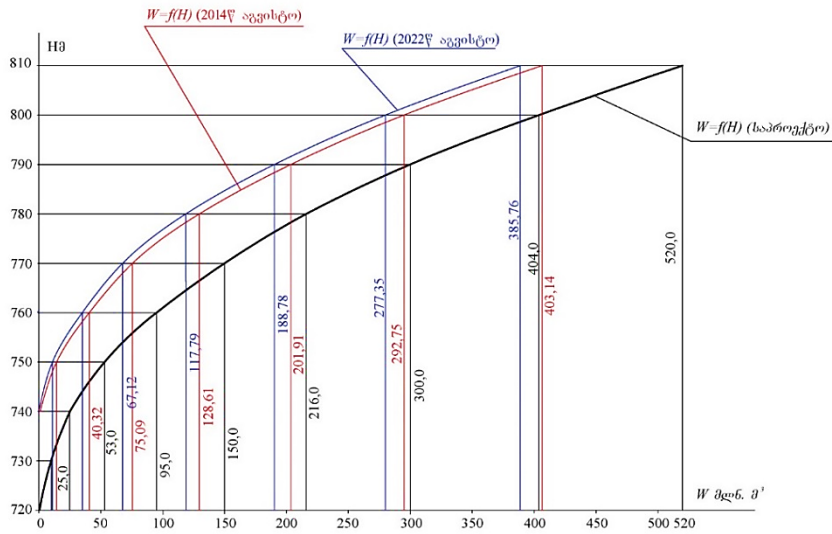


სურ. 7. გრძივი ჭრილები A-A', B-B' და C-C' (2015წ. 2021წ. 2022წ.)

წყალსაცავის ბათიმეტრიული რუკისა და ჭრილების აგების შემდგომ, პროგრამა Surfer-ის საშუალებით, დამუშავებული მონაცემების მიხედვით, რომლებიც ავსებს 2014 წლამდე არსებულ ინფორმაციას, იანგარიშება წყალსაცავში დალამული ნატანის მოცულობა (იხ. ცხრილი 1). შესაბამისად, აიგო გრაფიკი (სურ. 8), რომელიც ასახავს ჟინვალის წყალსაცავში წყლის საერთო და სასარგებლო

მოცულობათა ცვლილების დინამიკას 1985–2022 წლებში. ამასთან, შუალედური მონაცემები აღებულია 2014 წლისათვის, რომლის შემდეგაც მიმდინარეობდა უწყვეტი დაკვირვებები წყალსაცავის მოცულობის ცვლილებაზე. ჟინვალის წყალსაცავის წყლის საერთო და სასარგებლო მოცულობების ცვლილების ინტენსიურობის შესახებ მონაცემები მოყვანილია შესაბამისად ცხრილებში (2 და 3).





სურ. 8. ჟინვალის წყალსაცავში წყლის საერთო მოცულობის ცვლილების დინამიკა 1985-2022 წლებში

ცხრილი 1

ჟინვალის წყალსაცავის მოცულობათა ცხრილი

წელი	წყლის დონე წყალსაცავში გაზომვის პროცესში, მ	წყლის სრული მოცულობა (810 მ ნიშნული), მლნ. მ <sup>3</sup>	წყალსაცავში დაღამული ნატანის სრული მოცულობა, მლნ. მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის მკვდარ მოცულობაში (770 მ ნიშნული) დაღამული ნატანის მოცულობა, მლნ.მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობაში (770-810 მ ნიშნულებს შორის) დაღამული ნატანის მოცულობა, მლნ.მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის ფაქტობრივი სასარგებლო მოცულობა (770-810 მ ნიშნულებს შორის), მლნ.მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის შეუვსებელი მკვდარი მოცულობა (770 მ ნიშნული), მლნ.მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის საპროექტო სასარგებლო/მკვდარი მოცულობა, მლნ.მ <sup>3</sup>
1985	810	520	0	0	0	370	150	
2014	810	403,141	116,859	74,991	41,868	328,132	75,009	370/150 [8]
2015	810	400,856	119,144	75,049	44,095	325,905	74,951	
2016	810	398,456	121,544	75,918	45,626	324,374	74,082	
2017	810	396,708	123,292	76,805	46,487	323,513	73,195	
2018 <sup>1</sup>	796	247,883	112,117	79,972	32,145	177,855	70,028	
2019	810	393,620	126,380	79,839	46,542	323,458	70,161	
2020 <sup>1</sup>	797	252,790	118,000	82,349	35,651	185,139	67,651	
2021 <sup>1</sup>	805	330,795	129,754	82,335	47,419	263,130	67,665	
2022	810	385,756	134,244	82,876	51,368	318,632	67,124	

<sup>1</sup>2018, 2020, 2021 წლებში წყლის არასაკმარისი შემოდინების შედეგად წყალსაცავი არ შევსებულა 810 მეტრ ნიშნულამდე. შესაბამისად, ცხრილში წითლად აღნიშნული სასარგებლო/სრული წყლის საპროექტო/ფაქტობრივი

მოცულობების მონაცემები შეესაბამება არა 810 მეტრ ნიშნულს, არამედ შესაბამისი წლისთვის წყალსაცავში დაფიქსირებულ მაქსიმალურ წყლის დონეს (იგივე წყლის დონე გაზომვის პროცესში).

ცხრილი 2

**ჟინვალის წყალსაცავში წყლის სრული მოცულობის ცვლილება 1985–2022 წლებში**

წლები	წყალსაცავში წყლის სრული მოცულობა, $W_{სრული}$ მლნ. მ <sup>3</sup>	წყალსაცავში წყლის სრული მოცულობის ცვლილება $\Delta W_{სრული}$ მლნ. მ <sup>3</sup>	სრული მოცულობის ცვლილების ფარდობა სრულ (საპროექტო) მოცულობასთან $\frac{\Delta W_{სრული}}{W_{სრული (საპროექტო)}}$ , %	დროის ინტერვალი T, წელი	$\frac{\Delta W_{სრული}}{T}$ , მლნ. მ <sup>3</sup> /წელი
1985	520	117	22,5	30	3,9
2014	403				
2014	403	17	3,3	9	1,89
2022	386				
1985	520	134	25,8	38	3,53
2022	386				

ცხრილი 3

**ჟინვალის წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის ცვლილება 1985–2022 წლებში**

წლები	წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა $W_{სასარგებლო}$ მლნ. მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის ცვლილება $\Delta W_{სასარგებლო}$ მლნ. მ <sup>3</sup>	სასარგებლო მოცულობის ცვლილების ფარდობა სასარგებლო (საპროექტო) მოცულობასთან $\frac{\Delta W_{სასარგებლო}}{W_{სასარგებლო (საპროექტო)}}$ , %	დროის ინტერვალი T, წელი	$\frac{\Delta W_{სასარგებლო}}{T}$ , მლნ. მ <sup>3</sup> /წელი
1985	370	42	11,4	30	1,40
2014	328				
2014	328	9	2,4	9	1,00
2022	319				
1985	370	51	13,8	38	1,34
2022	319				

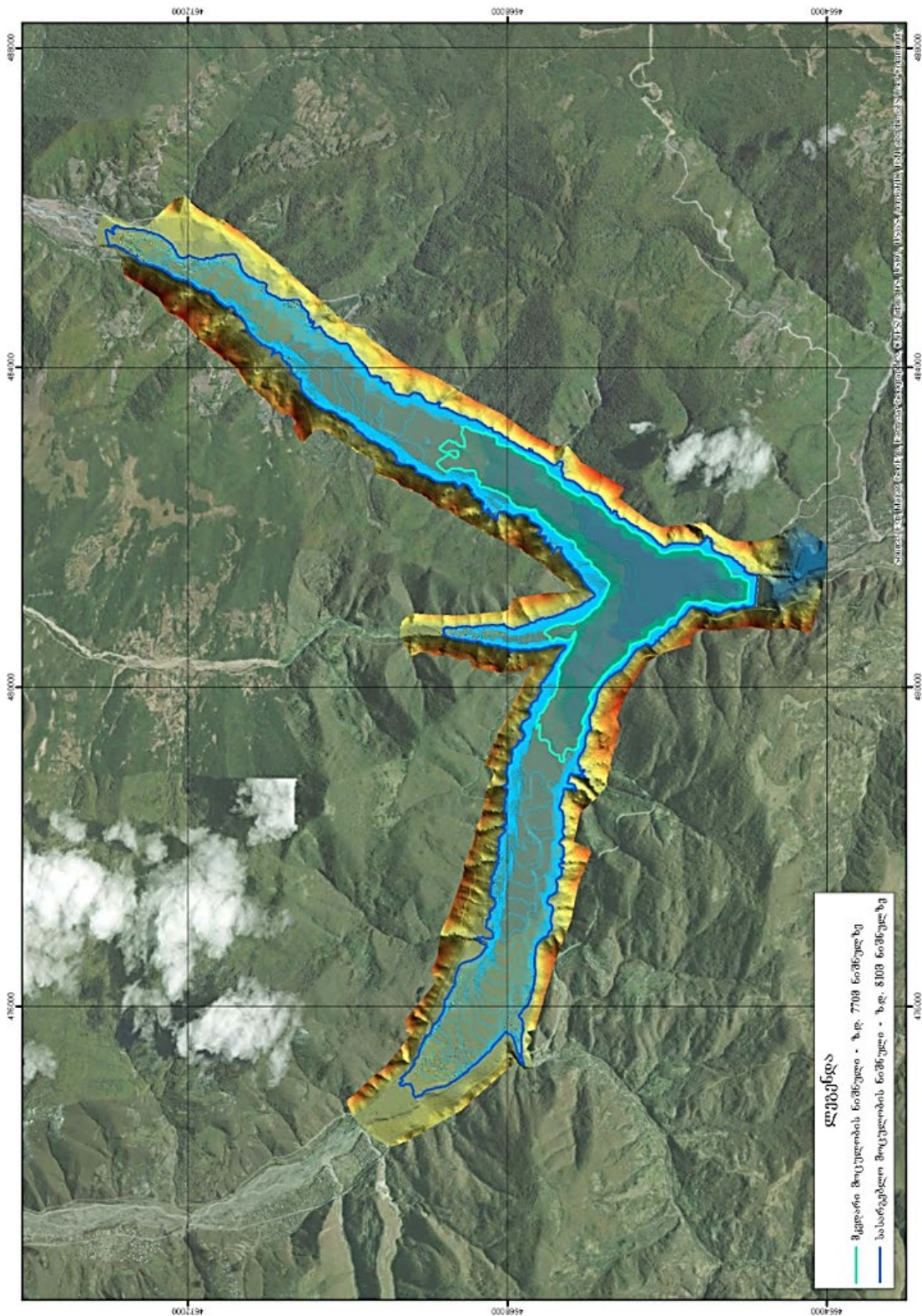


ჟინვალის წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის შევსების დინამიკა 1985–2022 წლებში

წლები	წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა $W_{\text{მკვდარი}}$ , მლნ. მ <sup>3</sup>	წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის ცვლილება $\Delta W_{\text{მკვდარი}}$ , მლნ. მ <sup>3</sup>	მკვდარი მოცულობის ცვლილების ფარდობა მკვდარი (საპროექტო) მოცულობასთან $\frac{\Delta W_{\text{მკვდარი}}}{W_{\text{მკვდარი (საპროექტო)}}$ , %	დროის ინტერვალი T, წელი	$\frac{\Delta W_{\text{მკვდარი}}}{T}$ , მლნ. მ <sup>3</sup> /წელი
1985	150	75	50,0	30	2,5
2014	75				
2014	75	8	5,3	9	0,89
2022	67				
1985	150	83	55,3	38	2,18
2022	67				

**შენიშვნა.** 1985-2014 წლებში წყალსაცავის ექსპლუატაციისას მასში წყლის მოცულობის შემცირების მაღალი ტემპი სავარაუდოდ დაკავშირებულია სანაპირო ფერდობების გადამუშავებასთან, რაც მომდევნო წლებში დასტაბილურდა.

2022 წელს ჩატარებული გაზომვების შედეგების და არსებული სიტუაციის ვიზუალიზაციის მიზნით მოგვეყვას ჟინვალის წყალსაცავის რუკა, რომელზეც მონიშნულია წყალსაცავის მკვდარი (მწვანე ფერში) და სასარგებლო (ლურჯ ფერში) მოცულობები (სურ. 9).



სურ. 9. ჭინვალის წყალსაცავის რუკა კონტურებით მკვდარი (770 მ) და სრული (810 მ) მოცულობის ნიშნულზე



აგებული განივი და გრძივი ჭრილების ანალიზით იკვეთება ჟინვალის წყალსაცავის დალამვის ხასიათი და წყალსაცავის ფსკერის გეომორფოლოგიური მახასიათებლების ცვლილება.

განვი ჭრილებზე (სურათი 5 – 6) ვიზუალურად წარმოდგენილი ინფორმაციის საფუძველზე ჩანს, რომ წყალსაცავში დალექილი ნატანის მნიშვნელოვანი ნაწილი კონცენტრირებულია ფერდობებთან, მკვდარი მოცულობის ნიშნულის 770 მ ზემოთ სასარგებლო მოცულობაში.

ამასთან, კვეთების პერიფერიულ ნაწილში (ნაპირებთან) აღინიშნება ნატანის ფენის სისქის მატება. აღნიშნული განპირობებულია კალაპოტის ცენტრალურ ნაწილში ნაკადის უფრო მაღალი სიჩქარით (ნატანის ტრანსპორტირების მაღალი უნარი), ვიდრე ნაპირებთან. 1-1' კვეთში ნატანის ფენის შედარებით დიდი სისქე განპირობებულია ფერდობის ზედაპირულ ფენაში შედარებით არამდგრადი გრუნტების არსებობით.

სამივე გრძივ ჭრილებზე (სურ. 7) ასახულია წყალსაცავის ფაქტობრივი ფსკერის პროფილი. სამივე გრძივი ჭრილის გადაკვეთის D წერტილში ერთდება ორი ძირითადი წყლის ნაკადი და აგრძელებს ჩამოტანილი ნატანის კაშხლამდე ერთობლივად გადაადგილებას. აღნიშნული ნაკადების D წერტილი (C-C' პროფილში, 1+000 პიკეტზე) ცალსახადაა წარმოდგენილი თითოეულ გრძივ პროფილზე, როგორც ფსკერის რელიეფის ყველაზე დაბალი, 740 მ ნიშნულის მქონე. ამ წერტილიდან კაშხლამდე ფსკერი პრაქტიკულად ჰორიზონტალურია, რაც შესაძლოა აიხსნას იმით, რომ წყალი ნატანს რეცხავს და გადაადგილებს კაშხლისაკენ.

იმ პირობებში, როცა ორი ნაკადი ერთდება, კვეთი პრაქტიკულად უცვლელი რჩება, ამიტომ ნაკადის სიჩქარე მატულობს, რაც ხელს უწყობს ნატანის კაშხლისაკენ გადაადგილებას. ეს პროცესი, ძირითადად, წყალუხვობის ფაზაში მიმდინარეობს. ბუნებრივია, რომ სიჩქარე კლებულობს კაშხლთან მიახლოებისას და ნატანის ძირითადი ნაწილი (წვრილი ფრაქციები) კაშხლის სიახლოვეს ილექება.

ჩატარებული ბათიმეტრიული კვლევების შედეგები წყალსაცავის დალამვის ინტენსივობის ფაქტობრივი ენერგეტიკული პოტენციალისა და წყალსაცავის საექსპლუატაციო რესურსის შეფასებისა და პროგნოზირების საშუალებას იძლევა.

კვლევების მიხედვით, 1985-2014 წლებში წყალსაცავის წყლის მოცულობა 520 მლნ. მ<sup>3</sup>-დან შემცირდა 403 მლნ. მ<sup>3</sup>-მდე (იხ. ცხრილი 2), ამასთან წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა 370 მლნ. მ<sup>3</sup>-დან 328 მლნ. მ<sup>3</sup>-მდე შემცირდა ანუ წყალსაცავში სულ დაილექა 117 მლნ. მ<sup>3</sup> ნატანი, რომლიდანაც 42 მლნ. მ<sup>3</sup> მოექცა რეზერვუარის სასარგებლო მოცულობაში (იხ. ცხრილი 2 და 3). 2014–2022 წლებში წყალსაცავის სრული მოცულობა 403 მლნ. მ<sup>3</sup>-დან შემცირდა 386 მლნ. მ<sup>3</sup>-მდე, ხოლო წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობა – 328 მლნ. მ<sup>3</sup>-დან 319 მლნ. მ<sup>3</sup>-მდე ანუ რეზერვუარის სასარგებლო მოცულობაში დაილექა 9 მლნ. მ<sup>3</sup> ნატანი, წყალსაცავში კი – ჯამურად – 17 მლნ. მ<sup>3</sup> (იხ. ცხრილი 2 და 3). შედეგად, 2022 წლისათვის ჟინვალის წყალსაცავში დალექილია 134 მლნ. მ<sup>3</sup> ნატანი, აქედან 51 მლნ. მ<sup>3</sup> ნატანი – სასარგებლო მოცულობის ფარგლებში, ხოლო 83 მლნ. მ<sup>3</sup> – მკვდარი მოცულობის ფარგლებში. ნატანის დალექვის საშუალოწლიური ინტენ-

სიურობა 1985-2022 წლებში 3,53 მლნ. მ<sup>3</sup>/წელიწადში შეადგენს ანუ წყალსაცავის დალამვა პროექტით გათვალისწინებულთან შედარებით გაცილებით სწრაფად მიმდინარეობს.

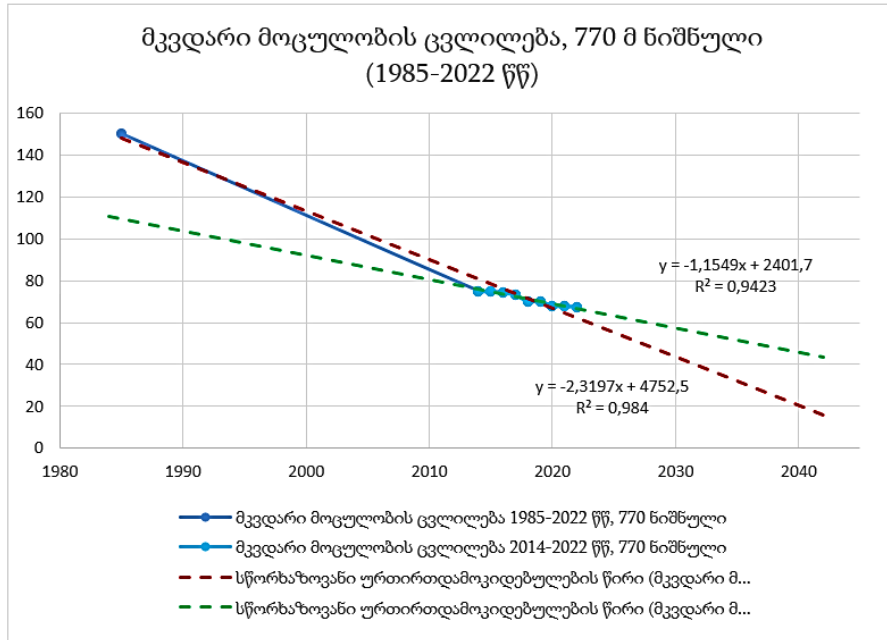
ნატანის გარკვეული ნაწილი დალექილია სასარგებლო მოცულობაში, რის გამოც ამჟამად წყალსაცავის ფაქტობრივი სასარგებლო მოცულობა 319 მლნ. მ<sup>3</sup> შეადგენს ანუ საპროექტო სასარგებლო მოცულობის (370 მლნ. მ<sup>3</sup>) 86%-ს. ე. ი. ჟინვალჰესის წყალსაცავის ფაქტობრივი ენერგეტიკული რესურსი, საპროექტოსთან შედარებით, შემცირებულია 14%-ით. რაც შეეხება მკვდარ მოცულობას, იგი შევსებულია 55%-ით (იხ. ცხრილი 4). იმ შემთხვევაში, თუ ჟინვალის წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის შევსების 2014-2022 წლებში არსებული ინტენსიურობა (0,89 მლნ. მ<sup>3</sup>/წელიწადში) შენარჩუნდება, მაშინ წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის დარჩენილი ნაწილი (67 მლნ. მ<sup>3</sup>) შეივსება 75 წელიწადში. ამავე პერიოდში სასარგებლო მოცულობა შემცირდება 1,0 მლნ. მ<sup>3</sup>-ით ყოველწლიურად (იხილეთ ცხრილი 2) ანუ 75,0 მლნ. მ<sup>3</sup>-ით და ამ დროისთვის სასარგებლო მოცულობა 319-75=244 მლნ. მ<sup>3</sup> იქნება (საპროექტო სასარგებლო მოცულობის 66%). მომდევნო პერიოდში, მკვდარი მოცულობის შევსების შემდეგ, სასარგებლო მოცულობაში ყოველწლიურად აკუმულირდება 1,89 მლნ. მ<sup>3</sup> ნატანი, რაც შეესაბამება დარჩენილი სასარგებლო მოცულობის

ყოველწლიურ შემცირებას 0,77%-ით, შედეგად სასარგებლო მოცულობის დარჩენილი ნაწილი 129 წელიწადში შეივსება.

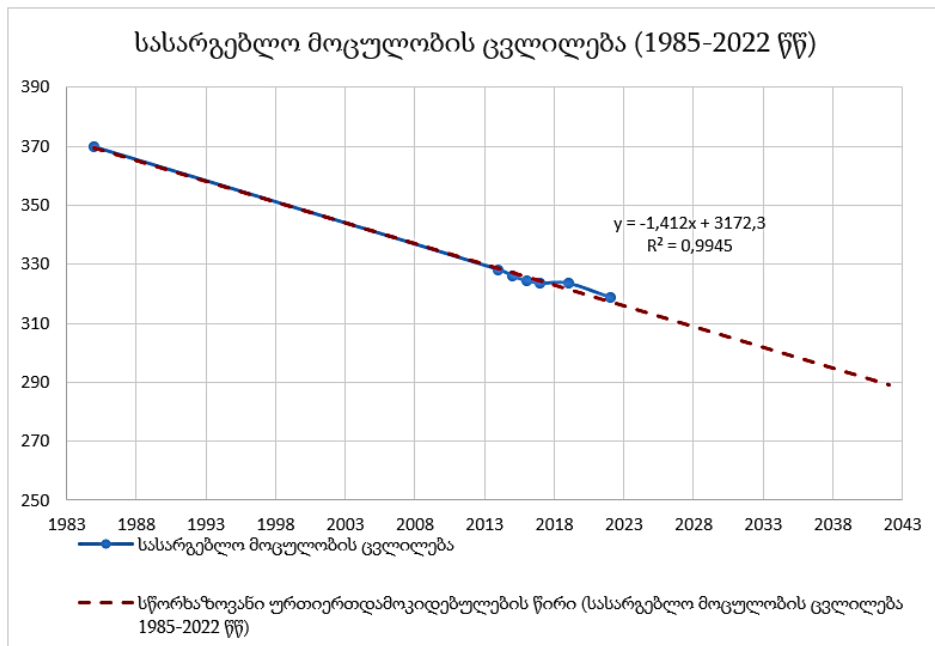
უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ვადა პრაქტიკულად შესაძლოა იყოს რამდენადმე მეტი, ვინაიდან წყალსაცავის ნატანით შევსების კვალობაზე მასში გაიზრდება ნაკადის სიჩქარე და, შესაბამისად, ნატანის ტრანსპორტირების უნარი, რაც ხელს შეუწყობს ნატანის ნაწილის გადატანას ქვედა ბიეფში, ძირითადად, ჰესის სადაწნეო ტრაქტისა და წყალსაგდების გავლით.

ბათიმეტრიული კვლევებით მიღებული შედეგების საფუძველზე აიგო წყალსაცავის მკვდარი და სასარგებლო (770 მეტრ ნიშნულზე) მოცულობების ცვლილებების გრაფიკები (გრაფიკი 1 და 2). მათი მეშვეობით, მოცულობათა მნიშვნელობებზე დაყრდნობით და უმცირეს კვადრატთა მეთოდის (LINEST) გამოყენებით მიღებულ იქნა მახასიათებელი დამოკიდებულებები წრფივი განტოლების სახით.

(R<sup>2</sup>) განტოლებით გამოთვლილ და კვლევების შედეგად მიღებულ მოცულობათა მნიშვნელობებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი ერთთან მიახლოებულია, შესაბამისად განტოლებების გამოყენება შესაძლებელია ჟინვალის წყალსაცავის სასარგებლო და მკვდარი მოცულობების ცვლილებების სამომავლო პროგნოზისთვის.

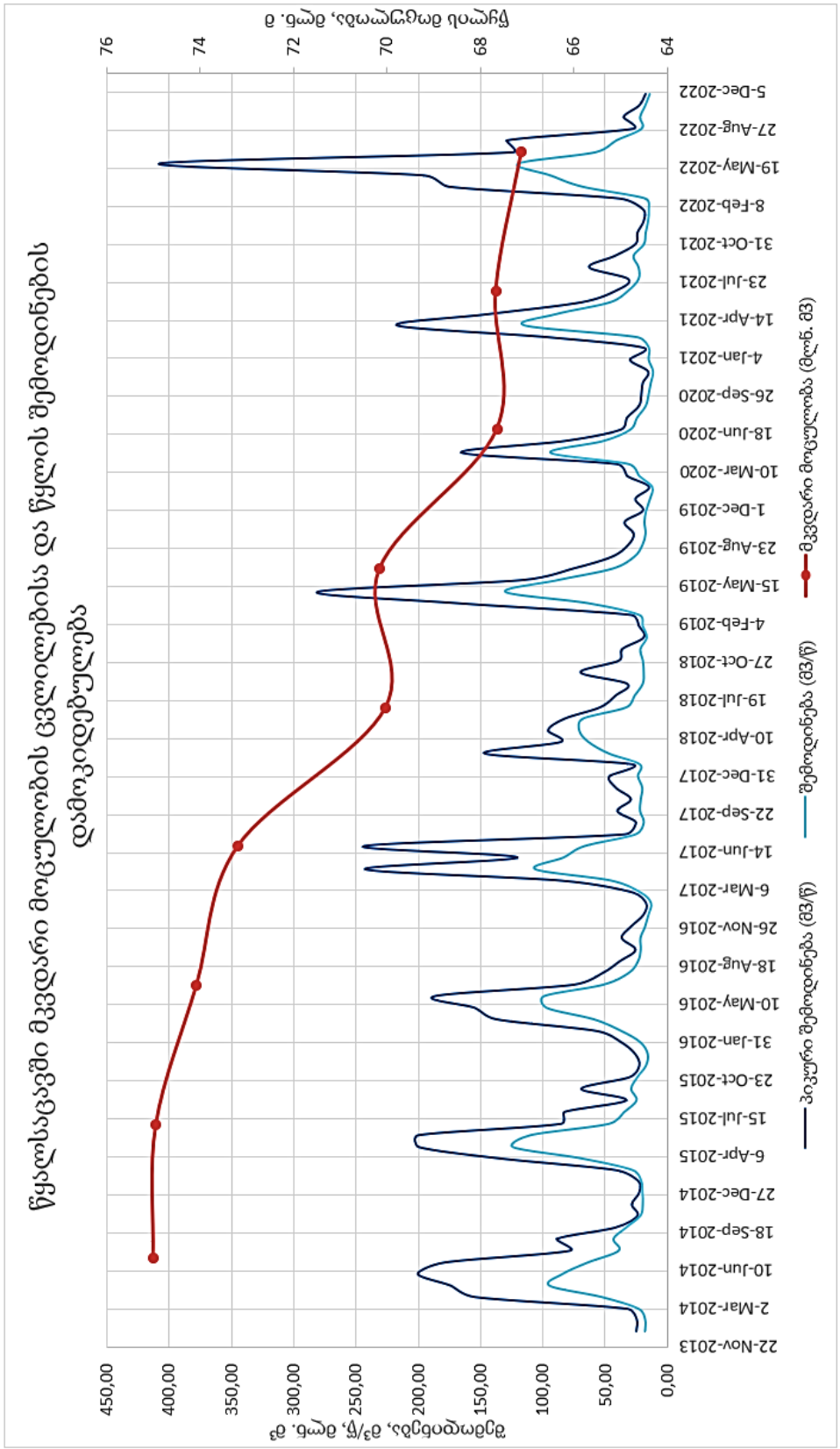


გრაფიკი 1. წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის (770 მეტრ ნიშნულზე) ცვლილების გრაფიკი 1985-2022 წლებში



გრაფიკი 2. წყალსაცავის სასარგებლო მოცულობის (770 მეტრ ნიშნულზე) ცვლილების გრაფიკი 1985-2022 წლებში





გრაფიკი 3. წყალსაცავში მკვდარი მოცულობის ცვლილების და წყლის შემოდინების დამოკიდებულება 2014-დან 2022 წლის ჩათვლით

ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის დალამვის ორი ტრენდი ჩნდება ( $y_1$  და  $y_2$ ), რაც სავარაუდოდ გამოწვეულია ექსპლუატაციის საწყის წლებში წყალსაცავის დალამვის მაღალი ტემპით ( $y_1$ ), რომელიც მომდევნო წლებში დასტაბილურდა. შესაბამისად, დამოკიდებულებას უკეთესად ასახავს  $Y_2$  წრფივი ფუნქცია (იხ. გრაფიკი 1), რომლის მიხედვითაც თუ 2014–2022 წლებში წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის მოსილვის ტრენდი არ შეიცვლება, წყალსაცავის მკვდარი მოცულობა 770 მეტრ ნიშნულამდე დაახლოებით 58 წელიწადში შეივსება.

რაც შეეხება სასარგებლო მოცულობას (იხ. გრაფიკი 2), ილუსტრირებული დამოკიდებულების საფუძველზე, დალამვის ტრენდის შენარჩუნების შემთხვევაში, იგი დაახლოებით 225 წელიწადში სრულიად შეივსება ნატანით, თუმცა ამ მოსაზრების მეტად მნიშვნელოვანი ლიმიტაციაა სასარგებლო მოცულობის მოსილვის ტრენდის ცვლილების გაუთვალისწინებლობა, მკვდარი მოცულობის სრულად შევსების შემდგომ.

მე-3 გრაფიკი წყალსაცავში წყლის პიკური შემოდინებისა და წყალსაცავის მკვდარი მოცულობის (770 მეტრ ნიშნულზე) ცვლილების დინამიკაა 2014–დან 2022 წლის ჩათვლით. გრაფიკი იძლევა წყალსაცავში მკვდარი მოცულობის დალამვისა და წყლის შემოდინების ხასიათზე დაკვირვების, ანალიზისა და ურთიერთდამოკიდებულების შესწავლის საშუალებას. წყალსაცავიდან წყლის უქმი დაღვრით მონაცემებისა და ამ გრაფიკზე წარმოდგენილი ინფორმაციის გათვალისწინებით, შესაძლებელია გამოიკვეთოს წყალსაცავში შეწონილი ნაწილაკების

დალექვისა და ტრანპორტირების ხასიათი, შემოდინებულ წყლის მოცულობაზე დაყრდნობით, რომლის მიხედვითაც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ წყალუხვ წლებში წყალსაცავში მოცულობა ნატანით ნაკლებად ივსება.

## დასკვნა

ჩატარებულია ჟინვალის წყალსაცავის მრავალწლიანი ბათიმეტრიული კვლევა, ნატანის დალექვის პროცესის თავისებურებათა შესწავლის მიზნით.

შეფასებულია ჟინვალის წყალსაცავში ნატანის დალამვის დინამიკა სასარგებლო და მკვდარ მოცულობებში და მიღებულია პროცესის მიმდინარეობის მათემატიკური გამოსახულებები, რაც საფუძველს ქმნის წყალსაცავში ნატანის აკუმულაციის პროგნოზირებისათვის.

პროგნოსტიკული მოდელის დასაზუსტებლად და იმის გათვალისწინებით, რომ წყალსაცავი კომპლექსური დანიშნულებისაა (ენერგეტიკული, წყალმომარაგების და ირიგაციის), საჭიროა ყოველწლიური სავსე კვლევების მეთოდოლოგიისა და დეტალიზაციის გაუმჯობესება, მათ შორის დამატებითი სტაციონარული მონიტორინგის ინსტრუმენტული სისტემების დანერგვა, დალამვის პროცესის შესასწავლად და დაკვირვების შედეგების ანალიზისათვის.

ჩატარებულმა გაანგარიშებებმა აჩვენა, რომ ჟინვალის წყალსაცავის ნატანით შევსების ტემპი, მათ შორის სასარგებლო მოცულობისა, აღემატება საპროექტო მონაცემებს, რაც არსებითად ამცირებს მის საპროექტო ენერგეტიკულ პოტენციალს და ენერგეტიკულ რესურსს, ასევე შესაძლოა მნიშვნე-

---

ლოვანი ნეგატიური გავლენა მოახდინოს წყალმო- სურ-საინჟინრო კვლევებისა და დალამვის ტემპის მარაგების ხარისხის გაუარესების მხრივ. შესამცირებელ საინჟინრო-ტექნიკური ღონისძიე- აღნიშნული კარნახობს დამატებითი კომპლექ- ბების შემუშავების აუცილებლობას.

---

### ლიტერატურა

1. Gigiberia, G. (2009). Dalamvis protsesi Zhinvalis tsalsacavshi. *Energy*, 3(51), pp. 82-89.
2. Qochiashvili, D., Khmaladze, O., Svanidze, G. (1981). Aragvi River's solid champnade. *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences*, 3(103).
3. Auel, C., Kantoush, S.A., Sumi, T. (2016). *Positive effects of reservoir sedimentation management on reservoir life: Examples from Japan*. 84<sup>th</sup> Annual Meeting of ICOLD.
4. Iordanishvili, I.K., Iordanishvili, K.T. (2012). Questions of eco-evolution of mountain reservoirs in Georgia. Tbilisi: Universal.
5. Kanazawa, H. (2005). International Symposium on Sediment Management and Dams. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> EADC Symposium, Tokyo*.
6. Sumi, T., & Kanazawa, H. (2006). Environmental Study on Sediment Flushing in the Kurobe River. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> ICOLD Congress, Q85 R16*. Spain: Barcelona.
7. Technical Committee on Sedimentation of Reservoirs, ICOLD. (2019, December). *Sediment Management in Reservoirs: National Regulations and Case Studies*.
8. Ministry of Energy and Electrification. (1987). *Zhinvali KSU: reservoir operation rules*.



UDC 627

SCOPUS CODE 2101

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-3-132-152>

## Forecasting of the Process of Damming of the Zhinvalhesi Reservoir on the Basis of Bathymetric Research

<b>Grigol Khelidze</b>	Department of Hydrotechnics and Main Pipeline Systems, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: g.khelidze@gtu.ge
<b>Ivane Nonievi</b>	Department of Hydrotechnics and Main Pipeline Systems, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75, M. Kostava str. E-mail: i.noniev@gtu.ge
<b>Alexandre Mirtskhulava</b>	LLC Hydrodiagnostics, Georgia, 0160, Tbilisi, 24, I. Gagarin str. E-mail: imirtskhulava@hydrodiagnostics.ge
<b>Lado Khandolishvili</b>	LLC Hydrodiagnostics, Georgia, 0160, Tbilisi, 24, I. Gagarin str. E-mail: lkhandolishvili@hydrodiagnostics.ge
<b>Ana Nozadze</b>	LLC Hydrodiagnostics, Georgia, 0160, Tbilisi, 24, I. Gagarin str. E-mail: anozadze@hydrodiagnostics.ge

### Reviewers:

**D. Mirtskhulava**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chairman at GNCOLD

E-mail: david.mirtskhulava@gmail.com

**P. Samsonashvili**, Academic Doctor, Associate Professor, Faculty of Energy and Telecommunications, GTU

E-mail: p.samsonashvili@gtu.ge

**Abstract.** For the assessment of reservoir sedimentation processes, regular bathymetric measurements are conducted for determining the reservoir terrain actual elevation model, enabling sediment influx monitoring from the rivers. Continuous surveys have been conducted at the Zhinvali reservoir since 2014. Consistent monitoring facilitates the control and prediction of sediment occurrence, allowing for timely interventions to decelerate or halt the sedimentation process. The technology involves planning cross-sections and using an eco-sounder to measure depth at consistent intervals, covering the entire reservoir area. The results determine the reservoir's actual volume, with variances from the design volume indicating accumulated sediment volume and illustrating live storage reduction dynamics.

The article presents bathymetric monitoring data from 2014-2022, using modern instruments and processing, visualization, and analysis methods. The article also provides forecasts and recommendations concerning the sedimentation process.

**Keywords:** bathymetric survey; dead volume; logging; monitoring; prediction; reservoir; useful volume.

განხილვის თარიღი 7.03.2024

შემოსვლის თარიღი 14.03.2024

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 26.09.2024