

„ჰიდროდიაგნოსტიკა“
შეზღუდული პასუხისმგებლობის საზოგადოება

HYDRODIAGNOSTICS

სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში

ხუდონის ჰიდროელექტროსადგურის წყალსაცავის
დალამვის პროგნოზული შეფასების კვლევითი სამუშაო

Forecasting the Khudoni hydropower reservoir sedimentation

(ხელშეკრულება №2/12, 26.11.2012)



თბილისი
2013

„ჰიდროდიაგნოსტიკა“
შეზღუდული პასუხისმგებლობის საზოგადოება

HYDRODIAGNOSTICS

სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში

პამტკიცება:

შპს „ჰიდროდიაგნოსტიკა“-ს დირექტორი

ლოქტორი

ი.ნონიძე

ხუდონის ჰიდროელექტროსადგურის წყალსაცავის
დალამვის პროგნოზული შეფასების კვლევითი სამუშაო

Forecasting the Khudoni hydropower reservoir sedimentation

(ხელშეკრულება №2/12, 26.11.2012)

თემის ხელმძღვანელი,

ტყეშელაშვილი დ.ლოქტორი

ბ.ხელიძე

თბილისი
2013

შ ი ნ ა ა რ ს ი

ხუდონჰესოს წყალსაცავის დალამვის პროგნოზი ენგურჰესის წყალსაცავში ჩატარებული ინსტრუმენტული გაზომვების შედეგების გათვალისწინებით 2

1. მდინარე ენგურის ტივტივა ნატანის ჩამონატანის საშუალო წლიური მოცულობის დადგენა 2

2. სუსპენზიური ფსკერული ნაკადის წარმოქმნის შესაძლებლობის დადგენა 11

3. მდ. ენგურის ფსკერული ნაკადის საშუალოწლიური ჩამონადენის მოცულობების განსაზღვრა 15

4. ხუდონჰესის წყალსაცავის დალამვის მოცულობისა და ექსპლუატაციის ვადის განსაზღვრა 19

დასკვნა 27

ლიტერატურა 28

ხუდონის წყალსაცავის დაღამვის პროგნოზი ენგურჰესის წყალსაცავში ჩატარებული
ინსტრუმენტული გაზომვების შედეგების გათვალისწინებით

1. მდინარე ენგურის ტივტივა ნატანის ჩამონატანის საშუალო წლიური მოცულობის
დადგენა

როგორც ცნობილია, მდინარეებზე წყალშემტბორი ნაგებობების მშენებლობა არსებითად ცვლის მდინარეთა ჰიდროლოგიურ რეჟიმს, რის შედეგადაც ადგილი აქვს სამდინარო ნატანის ტრანსპორტირებისა და დაღამვის პირობების შეცვლას და მის დაღამვას წყალსაცავის ქვაბულში. აღნიშნული პროცესი განსაკუთრებით ინტენსიურად უხვნატანიან მდინარეების სამთო უბნებზე მოწყობილ წყალსაცავებზე მიმდინარეობს. ამასთან ერთად, სამთო წყალსაცავების მყარი მასალით შევსების წყაროს შეიძლება წარმოადგენდეს მდინარის წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე დენუდაციური პროცესები ან წყალსაცავის შექმნასთან ერთად მის ბორტებზე გააქტიურებული მეწყერული, ღვარცოფული და აბრაზიული პროცესები, აგრეთვე ეოლური (ქარის მიერ ტრანსპორტირებული) ნატანი [1].

ჩვეულებრივ, წყალსაცავების დაღამვის უმთავრეს ფაქტორად ითვლება ნატანის ჩამონადენი, ხოლო სამთო წყალსაცავების დაღამვაში ტივტივა ნატანი ასრულებს მთავარ როლს [2], რასაც საქართველოს სამთო წყალსაცავებზე ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ნატურული დაკვირვებებიც ადასტურებს [3], [4].

წყალსაცავების დაღამვის გაანგარიშების ამოცანები შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს: 1) წყალსაცავის ექსპლუატაციის ვადის პროგნოზირება; 2) დაღამვის მოცულობის დადგენა. ამ ამოცანების გადაწყვეტას საფუძვლად უდევს წყალსაცავში შემოტანილ და იქედან გატანილ ნატანს შორის ბალნის დადგენა. ნატანის შემოტანილი ნაწილი განისაზღვრება მდინარეთა მყარი ჩამონადენის, აგრეთვე სამთო ქანების დაშლის პროდუქტების, როგორცაა: ზვავები, მეწყერები, ღვარცოფული და აბრაზიული ნარიყი, ეოლური ნატანი და სხვა, მონაცემების მიხედვით.

ნატანის გატანილი ნაწილის განსაზღვრა შესაძლებელია ან ნაკადის ტრანსპორტირების უნარის მიხედვით წყალსაცავის კაშხლისპირა კვეთში, ორტა-შამოვის ჰიპოთეზის გამოყენებით, რომლის თანახმად ქვედა ბიეფში გატანილი ნატანის რაოდენობა პირდაპირპროპორციულია წყალსაცავის დაღამვის მოცულობისა, ან სხვადასხვა გეოდინამიკური პროცესის აქტივიზაციის შედეგად წყალსაცავში მოხვედრილი მყარი მასალის დისპერსიული სისტემის სახით წარმოდგენით, რომელიც შედეგადად საშუალო ქანების დაშლის სხვადასხვა ზომის ნაწილაკებისაგან – მილიმეტრის მეათასედვიდან ათეულობით სანტიმეტრამდე. მეორე მეთოდის უპირატესობა პირველთან შედარებით არის ის, რომ ეს მეთოდი მოითხოვს მინიმალურ საწყის ინფორმაციას და ითვალისწინებს წყალსაცავში აკუმულირებული ნატანის მოცილებას ჰიდრავლიკური გარეცხვებით, ჰიდრომექანიზაციის გამოყენებით ან ფსკერული ნაკადების ქვედა ბიეფში გაშვებით. ამ მეთოდის მიხედვით საშუალო წყალსაცავების დაღამვის საპროგნოზო ანგარიშის ზოგად განტოლებას წყალსაცავში შემოტანილი ყველა სახის ფრაქციული შემადგენლობისა და მათი მოცილების პერიოდულობის გათვალისწინებით აქვს სახე [1]:

$$W_{\text{გ}} = \frac{V_{\text{გ}} + V_{\text{მს}}}{V_{\text{წ}}} W_{\text{ზღ.}} (1 - e^{-\frac{V_{\text{წ}}}{W_{\text{ზღ.}}} t}) - V_{\text{გ}} \frac{W_{\text{ზღ.}}}{V_{\text{წ}}} e^{-\frac{V_{\text{წ}}}{W_{\text{ზღ.}}} t} \times \sum_{k=1}^n f(t - t_k) (e^{\frac{V_{\text{წ}}}{W_{\text{ზღ.}}} (t_k + \tau_k)} - e^{-\frac{V_{\text{წ}}}{W_{\text{ზღ.}}}}) \quad (1)$$

სადაც $W_{\text{წ}}$ არის წყალსაცავის დაღამვის მოცულობა მ³;

$W_{\text{ზღ.}}$ - დაღამვის ზღვრული მოცულობა მ³;

$V_{\text{წ}}$ და $V_{\text{მს}}$ - შესაბამისად წყალსაცავში შემოტანილი წვრილი და მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების ჯამური საშუალოწლიური მოცულობები, მ³/წელი;

$$V_{\text{წ}} = V_{\text{ტ}} + V_{\text{მ.ზ.წ}} + V_{\text{ლ.წ}} + V_{\text{ა.წ}} + V_{\text{გ.წ}} \quad ; \quad V_{\text{მს}} = V_{\text{გ}} + V_{\text{მ.ზ.მს}} + V_{\text{ლ.მს}} + V_{\text{ა.მს}} + V_{\text{გ.მს}}$$

$V_{\text{ტ}}$, $V_{\text{გ}}$, $V_{\text{მ.ზ.}}$, $V_{\text{ლ.}}$, $V_{\text{ა.}}$, $V_{\text{გ}}$ შესაბამისად წარმოადგენენ მდინარის ტივტივა და ფსკერული ნატანის, მეწყერებისა და ზვავების, ღვარცოფების, წყალსაცავის ბორტების აბრაზიისა და ქარის (ეოლური) ზემოქმედებით წყალსაცავში შემოტანილი მყარი მასალების საშუალო წლიურ მოცულობებს (ინდექსი “წ” აღნიშნავს ამ მასალების წვრილმარცვლოვან ნაწილს, ხოლო “მს” – მსხვილმარცვლოვანს), მ³/წელი. რაც შეეხება მდინარის ნაკადთან ერთად

წყალსაცავიდან ქვედა ბიეფში გასული ნაწილაკების საშუალო წლიურ მოცულობას, იგი განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$V_{\text{წ}} = V_{\text{წ}} \frac{W_{\text{გ}}}{W_{\text{ზღ}}} \quad (2)$$

$V_{\text{გ}}$ – წყალსაცავიდან ზემოსენებული ექსპლუატაციური ხერხებით გატანილი ნატანის საშუალო წლიური მოცულობა, მ³/წელი;

$$V_{\text{გ}} = V_{\text{კ.გ.}} + V_{\text{გ.ნ.}} + V_{\text{კ.მ.}} \quad (3)$$

სადაც $V_{\text{კ.გ.}}$, $V_{\text{გ.ნ.}}$, $V_{\text{კ.მ.}}$ შესაბამისად არის ჰიდრაულიკური გარეცხვებით, ფსკერული ნაკადებითა და ჰიდრომექანიზაციის საშუალებით მოცილებული ნატანის საშუალო წლიური მოცულობები;

τ – დრო წყალსაცავის ექსპლუატაციის დაწყებიდან, წელი;

$\tau_{\text{კ}}$ – წყალსაცავის გაწმენდის დაწყების მომენტი, წელი;

$\tau_{\text{კ}}$ – წყალსაცავის გაწმენდის ხანგრძლივობა, წელი.

როგორც აღინიშნა, სამთო წყალსაცავების დაღამვისას გადამწყვეტ ფაქტორს მდინარის მყარი ჩამონადენი, კერძოდ კი ტივტივა ნატანი წარმოადგენს, ამიტომ ტივტივა ნატანის ჩამონადენის მახასიათებლის განსაზღვრას არსებითი მნიშვნელობა აქვს.

უშუალოდ ხუდონჰესის წყალსაცავს მდ.ენგურზე ესაზღვრება სამი ჰიდროპოსტი: ს.ხუბერთან (იგი ამჟამად ენგურჰესის წყალსაცავის შეტბორვის ზონაშია), ს.ხაიშთან და ს.დიხთან. ვინაიდან, ს.ხაიშის ჰიდროპოსტი მდებარეობს მდ. თხეიშის შესართავს ზემოთ, ხოლო ს.დიხისა – მდ.ნენსკრას შესართავს ზემოთ, არცერთ მათგანზე გაზომილი ტივტივა ნატანის ჩამონადენი ვერ ჩაითვლება სარწმუნო საწყის მონაცემად ხუდონჰესის წყალსაცავის დაღამვის პროგნოზირებისათვის, რადგან ისინი სრულად ვერ ითვალისწინებენ წყალსაცავში ჩადინებული მდინარეების მყარ ჩამონადენს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ხუდონჰესის წყალსაცავის დაღამვის გაანგარიშებას საფუძვლად უნდა დაედოს მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის ჩამონადენი, განსაზღვრული ს.ხუბერის ჰიდროპოსტის მონაცემებით, რომელიც ხუდონჰესის წყალსაცავისათვის აიღება მარაგით.

უნდა აღინიშნოს, რომ წყალსაცავები რეალურად უფრო სწრაფად ილამება, ვიდრე ეს გათვალისწინებული იყო პროგნოზით [3,5], ამიტომ მდინარის მყარი ჩამონადენის საშუალო წლიური მოცულობის საანგარიშო სიდიდის განსაზღვრის სიზუსტის გაზრდის მიზნით, ხშირად სარგებლობენ ექსპლუატაციაში მყოფი წყალსაცავების დალამვის ნატურული მონაცემებით.

ხუდონის წყალსაცავის დალამვის პროგნოზირებისათვის მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის ჩამონადენის საშუალო წლიური მოცულობის სიდიდის დასადგენად ვსარგებლობთ ენგურის წყალსაცავის დალამვის ნატურული მონაცემებით [6], რომლის მიხედვით 2010 წლისათვის ენგურის წყალსაცავში დალამული ნატანის მოცულობა შეადგენდა 80 მლნ.მ³. ჩვენს, ხელთ არსებული ინფორმაციით [7] 1979-1984 წლებში ენგურის წყალსაცავში დალამული იყო 31,2 მლნ.მ³ ნატანი, მათ შორის 25,36 მლნ.მ³ (79%) მდ.ენგურისა და მისი შენაკადების მყარი ჩამონადენი, ხოლო 5,84 მლნ.მ³ (21%) – ზვავებისა და მეწყერების ჩამოშლისა და ნაპირების აბრაზიული გადამუშავების პროდუქტები. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ 1984 წლიდან 2010 წლამდე ენგურის წყალსაცავის ზონაში არც მდინარის ჰიდროლოგიური რეჟიმი და არც გეოდინამიკური პროცესების მიმდინარეობა მნიშვნელოვნად არ შეცვლილა, მაშინ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ენგურის წყალსაცავში აკუმულურული ნატანის სრული მოცულობის 79%-ს შეადგენს ტივტივა ნატანი – 63,2% მლნ.მ³, ხოლო 21%-ს დენუდაციური პროცესების პროდუქტები – 16,8 მლნ.მ³-ის ოდენობით.

ენგურის წყალსაცავში 1978-2004 წლებში შემოტანილი ნატანის რაოდენობის განსაზღვრის მიზნით კომპანია “STUCKY”-ის მიერ ჩატარდა გაანგარიშებები [8], რომელთა შედეგები შესულია ხუდონის ტექნიკურ-ეკონომიკური დასაბუთების პროექტში. ამ მასალების მიხედვით ენგურის წყალსაცავში ყოველწლიურად შემოიტანება 2 მლნ.მ³ ნატანი ე.ი. 26 წელიწადში (1978-2004წწ.) შემოტანილი იქნებოდა 52 მლნ.მ³. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით 2010 წლისათვის ენგურის წყალსაცავში დაგროვილი იქნებოდა 64 მლნ მ³ მყარი მასალა.

2001-2004 წლებში კომპანია “EDF”-ის მიერ ენგურის წყალსაცავში დალამული ნატანის ფაქტობრივი რაოდენობის განსაზღვრის მიზნით, ჩატარებულმა ინსტრუმენტულმა გაზომვებმა [9] და 2012 წელს ასოციაცია „ჰიდროსფერო“-ს მიერ იგივე მიზნით ჩატარებულმა დაკვირვებამ [10] აჩვენა, რომ წყალსაცავის დალამვის საშუალო წლიური

ტემპი შეადგენს 1.8 მლნ მ³-ს, რაც კარგად ეთანადება “STYCKY“-ის [8] და იორდანიშვილის [6] კვლევებს.

უნდა აღინიშნოს რომ “EDF“-ის [8] და ასოციაცია „ჰიდროსფერო“-ს [9] ნატურული დაკვირვებები ჩატარდა კაშხლის მისაყრდენი სიღრმული ფარის აღდგენის შემდეგ და ასახავს იმ გარემოებას, რომ აღნიშნული საკეტების ფუნქციონირების პირობებში ნატანის ნაწილი გაედინება ქვედა ბიეფში.

ცხრილში 1 მოყვანილია [6], [8], [9] და [10] კვლევების ზოგიერთი მონაცემი ენგურჰესის წყალსაცავში დალექილი მყარი ნატანის შესახებ.

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, წარმოდგენილი კვლევების მიხედვით განსაზღვრული ენგურჰესის წყალსაცავის დალექვის საშუალოწლიური სიდიდეები ახლოსაა ერთმანეთთან. იმის გათვალისწინებით, რომ საზოგადოდ, მყარი ნატანის რაოდენობის თეორიული განსაზღვრის და პრაქტიკული გაზომვების მეთოდები ჯერ კიდევ სრულყოფილად არ არის დამუშავებული, შემდგომი ანგარიშებისათვის ვისჯელმძვანელოთ [6]-ში მოცემული სიდიდეებით, რომლებიც გარკვეული მარაგითაა აღებული.

ცხრილი 1.

გამოკვლევა	წყალსაცავში დალამული მყარი ნატანის მოცულობა, მლნ.მ ³	გამოკვლევებით მოცული პერიოდი, წელი	წყალსაცავის დალაშქვის საშუალოწლიური ინტენსივობა, მლნ.მ ³ /წელი
იორდანიშვილი	80,0	32	2,5
“STYCKY”	52,0	26	2,0
“EDF”	46,8	26	1,8
ასოციაცია „ჰიდროსფერო“	61,2	34	1,8

2012-2013 წლებში “გარემოს დაცვის ეკოცენტრის” [11],[12],[13] მიერ ხუდონჰესის კაშხლის კვეთში ჩატარდა მდ.ენგურის წყლის სიმღვრივის ინსტრუმენტულ გაზომვათა სერია, რომლის მიხედვით სიმღვრივის სიდიდე წყალმცირობის პერიოდისათვის შეადგენს 115 გრ/მ³, ხოლო წყალდიდობის პერიოდისათვის – 1220 გრ/მ³, რაც სახელმწიფო წყლის

კადასტრში მოცემული წყლის სიმღვრივების მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობათა დიაპაზონში თავსდება.

ს.ხუბერის კვეთში მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის ჩამონადენის საანგარიშო სიდიდის დადგენისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ს.ხუბერის ზემოთ მდ.ენგურის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით ენგურის წყალსაცავის ნატანით კვების ძირითადი წყაროა მდ.ლარაკაკა, რომლის მყარი ჩამონადენის მოცულობა შეადგენს დაახლოებით 0,2 მლნ.მ³/წელიწადში [7]. თბილქიდროპროექტის მონაცემებით 1985 წლის დასაწყისისათვის ხუდონჰესის მშენებლობისას დამუშავებული იყო დაახლოებით 1,236 მლნ.მ³ გრუნტი. თუ დაეუშვებთ, რომ ამ გრუნტის ნახევარი სხვადასხვა მიზეზით მოხვდა მდინარე ენგურში, რაც შეადგენს 0,62 მლნ.მ³-ს და ამასთან იგი მთლიანად დარჩა წყალსაცავში, მაშინ ყოველივე ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით მდ.ენგურის მყარი ჩამონადენის მოცულობა ს.ხუბერთან შეადგენს:

$$W=80-0,2 \times 32-0,62=73 \text{ მლნ.მ}^3$$

მთელი რიგი გამოკვლევები ეძღვნება მდინარის მყარ ჩამონადენში ტივტივა და ფსკერული ნატანის განაწილების დადგენის საკითხს. ასე მაგალითად, [6]-ის მიხედვით ენგურჰესის წყალსაცავი მიეკუთვნება მდინარეთა მთისწინა უბანზე განლაგებულ წყალსაცავებს, რომელთათვისაც ფსკერული ნატანის ჩამონადენის ფარდობა ნატანის საერთო ჩამონადენთან შეადგენს 5-დან 15%-მდე. [14]-ის მიხედვით ს.ჯვართან მდ.ენგურის ფსკერული ნატანის ჩამონადენი ტივტივა ნატანის რაოდენობის 7,8%-ია. სხვა წყაროების [15] მიხედვით მთის მდინარეების მყარი ჩამონადენის 10-20%-ს შეადგენს ფსკერული, ხოლო 80-90%-ს - ტივტივა ნატანი. ამ მონაცემებზე დაყრდნობა შეიძლება მივიჩნიოთ, რომ ტივტივა ნატანის მოცულობა შეადგენს ნატანის მთელი მოცულობის 90%-ს, ხოლო ფსკერული ნატანისა -10%-ს. შესაბამისად ს.ხუბერის კვეთში ტივტივა ნატანის მოცულობა მიახლოებით შეადგენს 65.7 მლნ.მ³, ხოლო ფსკერული ნატანისა - 7.3 მლნ.მ³.

ამგვარად, ტივტივა ნატანის ჩამონადენის საშუალოწლიური მოცულობის საანგარიშო სიდიდე ს.ხუბერთან შეადგენს:

$$V_{\text{ტ}}=65,7:32=2,05 \text{ მლნ. მ}^3 .$$

ამ სიდიდის წონით ერთეულებში გამოსახვისათვის საჭიროა განვსაზღვროთ დაღამული ნატანის მოცულობითი წონა, რომლის საანგარიშოდ რეკომენდებულია ფორმულა [6]:

$$\gamma = 1.8m_2 + 1.3m_3 + 1.4m_4 + 0.85m_5, \text{ ტ/მ}^3 \quad (4)$$

სადაც m_2 არის 1 ÷ 0,2 მმ; m_3 – 0,2 ÷ 0,5 მმ, m_4 – 0,05 ÷ 0,01 მმ, m_5 – 0,01 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის მქონე ნაწილაკების პროცენტული შემადგენლობა ტივტივა ნატანში.

მდ. ენგურის (ს.ხუბერი) ტივტივა ნატანის გრანულომეტრული შემადგენლობა [16]

ცხრილი 2

დიამეტრი, მმ	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01 (<0,05)	0,01-0,05 (<0,01)
წყალდიდობა, $\rho, \%$	32,6	52,4	5,2	1,2	1,1	7,5
წყალმცირობა, $\rho, \%$	0,3	1,1	2,1	9,5	2,5	84,5
დიამეტრი, მმ	1-0,2		0,2-0,05		0,05-0,01	0,01-0,005
წყალდიდობა, $\rho, \%$	85,0		6,4		1,1	7,5
წყალმცირობა, $\rho, \%$	1,4		11,6		2,5	84,5

ამ ცხრილის მონაცემების მე-(4) ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

წყალდიდობის პერიოდისათვის:

$$\gamma_1 = 1,8 \cdot 0,85 + 1,3 \cdot 0,064 + 1,4 \cdot 0,011 + 0,85 \cdot 0,075 = 1,69 \text{ ტ/მ}^3;$$

წყალმცირობის პერიოდისათვის:

$$\gamma_2 = 1,8 \cdot 0,014 + 1,3 \cdot 0,116 + 1,4 \cdot 0,025 + 0,85 \cdot 0,845 = 0,93 \text{ ტ/მ}^3.$$

[16]-ის მიხედვით, ს.ხუბერთან მდ.ენგურის წყალდიდობის (აპრილი-სექტემბერი) მყარი ნატანის საშუალო ხარჯია 145,5 კგ/წმ, ხოლო წყალმცირობის (ოქტომბერი-აპრილი) 4,3კგ/წმ, ნატანის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი 74 კგ/წმ. როგორც ჩანს, ნატანის ძირითადი ნაწილი მოდის წყალდიდობის დროს, ე.ი. $\gamma=1.69$ ტ/მ³.

ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით ტივტივა ნატანის საშუალოწლიური ჩამონადენი იქნება:

$$P_{\delta} = \gamma V_{\delta} = 2,05 \cdot 1,69 = 3,46 \text{ მლნ. ტ/წელი}$$

სახელმწიფო წყლის კადასტრის მონაცემების მიხედვით [16] ს.ხუბერთან მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის საშუალო წლიური ჩამონადენი შეადგენს $P_{\delta,კ} = 2.3$ მლნ. ტონას.

თუ ჩვენს მიერ მიღებულ სიდიდეს შევაფარდებთ $P_{\delta,კ}$ -სთან დავადგენთ, რომ ნატურული დაკვირვებების მონაცემებზე დაყრდნობით მიღებული სიდიდე რამდენად განსხვავებულია საკადასტრო მნიშვნელობისაგან, ანუ განვსაზღვრავთ შემასწორებელ კოეფიციენტს:

$$K_1 = \frac{P_{\delta}}{P_{\delta,კ}} = \frac{3,46}{2,3} = 1,50$$

თბილჰიდროპროექტის მონაცემების [17] მიხედვით მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის ჩამონადენის სიდიდე ს.ხუბერის კვეთში $V_{\delta,ბ.} = 2,66$ მლნ.მ³/წელი. ამ შემთხვევაში შემასწორებელი კოეფიციენტი იქნება:

$$K_2 = \frac{V_{\delta}}{V_{\delta,ბ.}} = \frac{2,05}{2,66} = 0,77$$

განსაზღვროთ ე.წ. დაღამვის პირველი სტადიის ხანგრძლივობა, რომლის განმავლობაშიც მდინარის ნატანი მთლიანად რჩება წყალსაცავში [4]:

$$T_{1b} = \frac{W_0 - 0,2V_{\text{ობ.}}}{V_{\text{მყ}}}, \quad (5)$$

სადაც $W_0 = 1100$ მლნ.მ³ არის წყალსაცავის მოცულობა;

$V_{\text{თბ}} = 4190 \text{ მლ.მ}^3$ - მდინარე ენგურის საშუალომრავალწლიური თხევადი ჩამონადენი ს.ხუბერთან [16];

$V_{\text{მყ}} = 2,5 \text{ მლ.მ}^3$ წყალსაცავში ყოველწლიურად საშუალოდ მოხვედრილი მყარი მასალა [6].

მაშინ,

$$T_{\text{თბ}} = \frac{1100 - 0,2 \cdot 4190}{2,5} = 104,8 \text{ წელი.}$$

ამრიგად, ენგურჰესის წყალსაცავის დაღამვის პირველი სტადიის ხანგრძლივობა შეადგენს 104,8 წელს. აღნიშნული ადასტურებს მოსაზრებას, რომ წყალსაცავში მოხვედრილი მყარი მასალა მთლიანად რჩება მასში.

2. სუსპენზიური ფსკერული ნაკადის წარმოქმნის შესაძლებლობის დადგენა

სამთო წყალსაცავებში მდინარის ნაკადის ჰიდრაულიკური პარამეტრების გარკვეული თანაფარდობისა და ტრანსპორტირებული ტივიტა ნატანის შესაბამისი გრანულომეტრული შემადგენლობისას ($d < 0,015$ მმ-ზე უნდა შეადგენდეს 50%-ს) და დიდი კონცენტრაციის (> 1000 გ/მ³) არსებობის შემთხვევაში, ზოგჯერ წარმოიქმნება ე.წ. სუსპენზიური ფსკერული ნაკადი, რომელსაც აქვს დიდი რაოდენობის წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების (ტივიტა ნატანის ჩამონადენის 5-დან 60%-მდე) წყალსაცავის ბოლოდან კაშხლამდე გადატანის უნარი. შესაბამისი წყალსაგდები მოწყობილობების არსებობისას შესაძლებელია ამ ნატანის მთლიანად გადაგდება ქვედა ბიეფში, რაც გარკვეულწილად ამცირებს წყალსაცავის დაღამვის ინტენსივობას.

ხუდონის წყალსაცავში სუსპენზიური ნაკადების წარმოქმნის შესაძლებლობის დადგენის მიზნით გაანალიზებული იქნა მასში ჩამავალი მდინარეების შესაბამისი ჰიდროლოგიური მახასიათებლები [16]-ის მიხედვით შესავალ კვეთებში, კერძოდ: მდ.ენგურის – ს.დიხთან, მდ.ნენსკრას – ს.ლახამთან, მდ.თხეიშის – ს.ხაიშთან. ანალიზმა აჩვენა, რომ მდინარეებს ნენსკრასა და თხეიშს მდ.ენგურთან შედარებით გაცილებით მცირე რაოდენობის, დაახლოებით 15-20-ჯერ ნაკლები ჩამონადენი გააჩნია. [16]-ის მიხედვით მდ.ნენსკრაზე 1000 გ/მ³-ზე მეტი სიმღვრივე საშუალოდ წელიწადში სულ 2-ჯერ აღინიშნება, ხოლო ყველაზე უხვნატანიან წელს – 13-ჯერ. აქედან, გამომდინარე და იმის გათვალისწინებით, რომ მდ.ნენსკრას და მდ.თხეიშს უფრო მცირე წყლის ხარჯები და სიმღვრივეები გააჩნია ვიდრე მდ.ენგურს, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ხუდონის წყალსაცავში ფსკერული დინებების წარმოქმნა შესაძლებელია მხოლოდ მდ.ენგურის ჩამონადენის ხარჯზე.

ცხრილში 3 მოყვანილია ს.დიხთან მდ.ენგურის სიმღვრივეთა განმეორებადობის პარამეტრები [16]-ის მიხედვით.

მდ.ენგურის (ს. დიზი) სიმღვრივეების განმეორებადობა

ცხრილი 3

წლები	სიმღვრივე S , გ/მ ³ და მეტი							
	50	100	200	500	1000	5000	10000	20000
	დღეების რაოდენობა							
საშუალო	233	180	136	70	26	1	0	0
უხვნატანიანი	365	245	192	107	55	7	2	0
მცირე ნატანიანი	35	10	4	2	1	0	0	0

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ საშუალო წელს 1000გ/მ³-ზე მეტ სიმღვრივეს ადგილი აქვს 26-ჯერ, ხოლო უხვნატანიან წელს 55-ჯერ.

ცხრილში 4 მოცემულია ს.დიზთან მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის გრანულომეტრიული შემადგენლობა [16]-ის მიხედვით.

მდ.ენგურის (ს.დიზი) ტივტივა ნატანის გრანულომეტრიული შემადგენლობა

ცხრილი 4

d , მმ	2-1	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,005	0,005-0,01	<0,01
წყალდიდობა p , %	17,5	13	35,8	19,8	6,3	7,6	-
წყალმცირობა p , %	-	0,5	0,7	4,5	19,8	23,3	51,2

რაც შეეხება ს.დიზთან ტივტივა ნატანის გრანულომეტრიულ შემადგენლობას, როგორც ცხრილი 4-დან ჩანს, წყალმცირობის პერიოდში წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების ნახევარზე მეტს (51,2%) შეადგენს 0,01 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის მქონე თხინარი ნაწილაკები.

სპეციალურ ლიტერატურაში [18] მითითებულია, რომ მყარი ფრაქციის სუსპენზიური ნაკადებით გამოტანას ადგილი აქვს კაშხლის გასწორამდე სტრაციფიცირებული ნაკადის წარმოქმნისა და არსებობის პირობებში.

სტრატეგიკაცია შენარჩუნებულია, როცა ე.წ. რინარდსონის რიცხვი აკმაყოფილებს პირობას:

$$R_i = \frac{g}{\rho_{\text{წყ}}} \cdot \frac{\Delta\rho_{\text{წყ}} \cdot h}{v^2} > 0,25 \quad (6)$$

სადაც $\rho_{\text{წყ}}, h, v$ არის წყლის სიმკვრივე (კგ/მ³), სიღრმე (მ) და ნაკადის მოძრაობის სინქარე მისი წყალსაცავში შესვლის გასწორში;

$$\rho_{\text{წყ}} = 1000 \text{ კგ/მ}^3, \quad h = 0,95 \text{ მ}, \quad v = 1,5 \text{ მ/წმ} - \text{შეესაბამება ს.დიზის კვეთში}$$

საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯს $\bar{Q} = 65,8 \text{ მ}^3/\text{წმ}$;

$\Delta\rho_{\text{წყ}}$ - მდინარის წყლისა და წყალსაცავის წყლის სიმკვრივის გრადიენტი, რომელიც ტოლია:

$$\Delta\rho_{\text{წყ}} = \Delta\rho_{\text{წყ}}(S) + \Delta\rho_{\text{წყ}}(t) \quad (7)$$

აქ $\Delta\rho_{\text{წყ}}(S)$ არის სიმკვრივეთა სხვაობა, გამოწვეული მდინარის ნაკადის სიმღვრივის გაზრდით და განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\Delta\rho_{\text{წყ}}(S) = \left(1 - \frac{\rho_{\text{წყ}}}{\rho_{\text{ნაბ}}}\right) \Delta S, \quad (8)$$

სადაც $\rho_{\text{წყ}}$ და $\rho_{\text{ნაბ}}$ წყლისა და ნატანის სიმკვრივეებია;

ΔS - მდინარისა და წყალსაცავის წყლის ნაკადში ტივტივა ნატანის მასიური კონცენტრაციების სხვაობა. როცა წყალსაცავში წყალი პრაქტიკულად სუფთაა, მაშინ $\Delta S = S$. აქ S გამოსახავს $d < 0,01$ მმ ნაწილაკების მასიურ კონცენტრაციის მდინარის წყალში. ჩვენს შემთხვევაში $\Delta S = 0,512$;

$\Delta\rho_{\text{წყ}}(t)$ - სიმღვრივეთა სხვაობა განპირობებული ტემპერატურული გრადიენტით მდინარის ცივი წყლის ტემპერატურასა და უფრო თბილი წყალსაცავის წყლის ტემპერატურას შორის.

ამრიგად,

$$R_i = \frac{9,81}{1000} \cdot \frac{\left(1 - \frac{1000}{1690}\right) \cdot 0,95 \cdot 0,512}{1,5^2} = 8,7 \cdot 10^{-4} < 0,25$$

ე.ი. სუსპენზიური ნაკადი არ წარმოიქმნება.

3. მდ. ენგურის ფსკერული ნაკადის საშუალოწლიური ჩამონადენის მოცულობების განსაზღვრა

სამდინარო წყალსაცავები ხასიათდება სიგრძეზე დინების სიჩქარის თანდათანობითი შემცირებით, რაც განაპირობებს ნატანის დაღეკვას ზედა ბიეფის გასწვრივ. იმ შემთხვევაში, როცა სამდინარო წყალსაცავებში შემოდის ნატანის მსხვილი ფრაქციები, და დაღეკვები კონცენტრირებულია ბიეფის დასაწყისში და შემდეგ თანდათანობით ნატანის დაღეკვის ზონა ინაცვლებს კაშხლისკენ სამდინარო წყალსაცავების დაღამვისას შეტბორვის გამოსოფლის ზონა გადაადგილდება დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით, რასაც თან სდევს დაღამვის სხეულის გაზრდა არა მარტო კაშხლის, არამედ მდინარის ზემოწელის მიმართულებით. სამთო წყალსაცავების დაღამვაში არსებით როლს ასრულებს ფსკერული ნატანი. ის პირველ რიგში იღეკება შეტბორვის გამოსოფლის ზონაში და შემდეგ ნატანით მოღამვის ზონა წინაცვლებს ქვემოთ. რაც შეეხება ტივტივა ნატანს, ის სამთო წყალსაცავებში იღეკება შედარებით თანაბრად მთელი ბიეფის სიგრძეზე [2].

აქვე აღსანიშნავია ის, რომ ფსკერული ნატანის ჩამონადენის განსაზღვრის მეთოდები მეტად სუსტად არის დამუშავებული, რისი მიზეზიც არის ამჟამად არსებული საზომი ხელსაწყოების არასრულყოფილება და ნატანის მოძრაობის შესწავლის სირთულე.

ხუდონის წყალსაცავის დაღამვის პროგნოზირებისათვის მდ.ენგურის ფსკერული ნატანის ჩამონადენის დასადგენად საანგარიშო კვეთს ვირჩევთ შემდეგი მოსაზრებებით: ვინაიდან, როგორც იყო აღნიშნული, სამთო წყალსაცავებში ფსკერული ნატანის დაღამვის პროცესი ჩვეულებრივ წყალსაცავის ბოლო ნაწილში მიმდინარეობს და ამასთან ხუდონის წყალსაცავის ძირითადი გვერდითი შენაკადების – მდ.ნენსკრასა და მდ.თხეიშის მყარი ჩამონადენი მდ.ენგურთან შედარებით მნიშვნელოვნად მცირეა, ამიტომ ფსკერული ნატანის ჩამონადენის საანგარიშო სიდიდეს ვადგენთ ს.დიზის კვეთისათვის.

ს.დიზის კვეთში მდ.ენგურის წყლის საშუალომრავალწლიური ხარჯი შეადგენს 65,8 მ³/წმ, ამ ხარჯის შესაბამისი ნაკადის საშუალო სიჩქარე $v=1,5$ მ/წმ, საშუალო სიღრმე $H=0,95$ მ, ხოლო სიგანე $B=27$ მ. მდინარის ფსკერის ქანობი ამ უბანზე შეადგენს 0,022.

მდ.ენგურის ფსკერული ნატანის საშუალო დიამეტრის $d_{საშ}$ დასადგენად ს.დიზთან, ვისარგებლოთ ემპირიული ფორმულით, რომელიც მიღებულია ფსკერულ ნატანზე მრავალრიცხოვანი დაკვირვებების საფუძველზე [19]:

$$d_{\text{ჰ}} = 5,5i^{0,8}, \quad (9)$$

სადაც $d_{\text{ჰ}}$ არის მდინარის მიერ ფსკერზე შექმნილი ქვაფენილის საშუალო დიამეტრი, რომელიც ფსკერული ნატანის საშუალო დიამეტრთან $d_{\text{საშ}}$ დაკავშირებულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$d_{\text{ჰ}} = 3,2d_{\text{საშ}}, \quad (10)$$

შევამოწმოთ რამდენად მიზანშეწონილია მე-(9)-ე და მე-(10)-ე ფორმულების გამოყენება. ამ მიზნით განვსაზღვროთ $d_{\text{საშ}}$ ს.ხუბერის კვეთისთვის, სადაც ნატურული დაკვირვებების მონაცემებით $d_{\text{საშ}}=43$ მმ [20].

მდინარის ამ მონაკვეთზე $i = 0,0104$. მე-(9)-ე ფორმულის მიხედვით

$$d_{\text{ჰ}} = 5,5 \cdot 0,0104^{0,8} = 0,14256$$

ხოლო მე-(10)-ე ფორმულის თანახმად

$$d_{\text{საშ}} = \frac{d_{\text{ჰ}}}{3,2} = \frac{0,14256}{3,2} = 0,0446 \text{ მ} = 44,6 \text{ მმ}.$$

ე.ი. ფსკერული ნატანის საშუალო დიამეტრის მნიშვნელობა ს.ხუბერის კვეთისთვის $d_{\text{საშ}} = 44$ მმ.

ცდომილება ნატურულ დაკვირვებათ მიღებულ $d_{\text{საშ}}$ და თეორიულად განსაზღვრულ $d_{\text{საშ}}$ -ს შორის 3,7%, რაც პრაქტიკული გაანგარიშებებისთვის სრულიად საკმარისია. მიტომ, ს.დიხის კვეთისთვის ვისარგებლოთ მე-(9)-ე და მე-(10)-ე ფორმულებით, მივიღებთ:

$$d_{\text{ჰ}} = 5,5 \cdot 0,022^{0,8} = 0,2596 \text{ მ}; \quad d_{\text{საშ}} = \frac{0,2596}{3,2} = 0,0811 \text{ მ} = 81 \text{ მმ}.$$

$d_{\text{საშ}} = 81$ მმ.

მდინარეთა სამთო უბნებზე ფსკერული ნატანის ხარჯების გასაანგარიშებლად რეკომენდებულია ფორმულების ფართო სპექტრი. ჩვენ ვისარგებლოთ, კარგად აპრობირებული “საქართველოს ენერგეტიკის ინსტიტუტში” შემუშავებული ფორმულით [21]:

$$Q = 4,18 \frac{v^{3,61}}{H^{0,6} \cdot d_{\text{საშ}}^{0,2}} = 4,18 \frac{1,5^{3,61}}{0,95^{0,6} \cdot 0,081^{0,2}} = 30,8 \text{ კგ/წმ.} \quad (11)$$

ფსკერული ნატანის საშუალოწლიური ჩამონადენი ტოლი იქნება

$$G_{\text{ფ}} = Q \cdot T = 30,8 \cdot 10^{-3} \cdot 31,5 \cdot 10^6 = 0,97 \text{ მლნ.ტ.}$$

სადაც $31,5 \times 10^5$ არის წამების რაოდენობა წელიწადში.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ მდ.ენგურის ტივტივა ნატანის საშუალოწლიური ჩამონადენის საანგარიშო სიდიდე შეადგენს $P_{\text{ფ}} = 3,46 \text{ მლნ.ტ.}$ -ს, მაშინ მყარი ნატანის ჯამური ჩამონადენი იქნება

$$V_{\text{ჯ}} = P_{\text{ფ}} + G_{\text{ფ}} = 3,46 + 0,97 = 4,43 \text{ მლნ.ტ.}$$

ფსკერული ნატანის საშუალოწლიური ჩამონადენი შეადგენს ჯამური ჩამონადენის 22,5%, რაც ახლოსაა [6]-ში მოყვანილ ზედა ზღვართან.

[18]-ის ცხრილი 6.7-ის მიხედვით $d_{\text{საშ}} = 81 \text{ მმ}$ შეესაბამება ნატანის მოცულობით წინა $\gamma = 2 \text{ ტ/მ}^3$, მაშინ ნატანის მოცულობა იქნება:

$$V_{\text{ფ}} = \frac{G_{\text{ფ}}}{\gamma} = \frac{0,97}{2} = 0,485 \text{ მლნ.მ}^3$$

თბილჰიდროპროექტის მონაცემებით მდ.ენგურის ფსკერულ ნატანში წვრილმარცვლოვანი ფრაქცია ($d < 1 \text{ მმ}$) შეადგენს დაახლოებით 15%-ს. ამგვარად, ამ ფრაქციის შესაბამისი ჩამონადენი იქნება:

$$V_{\text{ფწ}} = 0,15 V_{\text{ფ}} = 0,15 \cdot 0,485 = 0,073 \text{ მლნ.მ}^3$$

ეს ნატანი წყალსაცავში მოხდება ატივარებულ მდგომარეობაში და შესაბამის პირობებში ტივტივა ნატანთან ერთად გადაიტანება ქვედა ბიეფში.

ამრიგად, ფსკერული ნატანის მსხვილმარცვლოვანი ნაწილის მოცულობა, რომელიც ყოველწლიურად დარჩება წყალსაცავში იქნება:

$$V_{\text{ფმს}} = V_{\text{ფ}} - V_{\text{ფწ}} = 0,485 - 0,073 = 0,412 \text{ მლნ.მ}^3.$$

4. ხუდონის წყალსაცავის დაღამვის მოცულობისა და ექსპლუატაციის ვადის განსაზღვრა

საპროექტო მონაცემების [17] მიხედვით, ხუდონის კაშხალი დისლოცირებულია მდ.ენგურზე მოქმედი ენგურის კაშხლიდან 32 კმ-ის დაშორებით და ს.ხაიშის ქვემოთ 4 კმ მანძილზე. ხუდონის კაშხალი ქმნის წყალსაცავს, რომლის აკვატორია ვრცელდება მდ.ენგურის, მისი მარჯვენა შენაკადის მდ.ნენსკრას და მარცხენა შენაკადის მდ.თხეიშის ხეობებში. წყალსაცავის სიგრძე მდ.ენგურის გასწვრივ არის 9,2 კმ, მდ.ნენსკრას გასწვრივ – 3,8 კმ, ხოლო მდ.თხეიშის გასწვრივ – 2 კმ. წყალსაცავის სანაპირო ზოლის მთლიანი სიგრძე შეადგენს 36 კმ-ს.

წყალსაცავის ნორმალური შეტბორვის დონის (ნ.შ.დ.) შესაბამისი ნიშნულია 700მ, ხოლო ამ დონის შესაბამისი წყალსაცავის მოცულობა $W_0 = 364,5$ მლნ.მ³-ია, მისი სარკის ზედაპირის ფართობი – 5,22 კმ², საშუალო სიგანე – 580 მ, მაქსიმალური – 800 მ, საშუალო სიღრმე – 88 მ, ხოლო მაქსიმალური სიღრმე – 177 მ. წყალსაცავის საერთო მოცულობიდან მდ.ენგურის ხეობაზე მოდის 282,36 მლნ.მ³, მდ.ნენსკრას ხეობაზე – 39,44 მლნ.მ³, მდ.თხეიშის ხეობაზე – 42,7 მლნ.მ³.

ხუდონის წყალსაცავის გეგმიური მოხაზულობა განსაზღვრავს დაღამვის თავისებურობას: მდ.ენგურის მყარი ჩამონადენით იღამება მხოლოდ წყალსაცავის მდ.ენგურის ხეობაში მდებარე ნაწილი, ხოლო წყალსაცავის ის ნაწილი, რომელიც მდ.ნენსკრასა და მდ.თხეიშის ხეობებშია დისლოცირებული შესაბამისად იღამება მხოლოდ ამ მდინარეების მყარი ჩამონადენით, რომელიც მდ.ენგურის ჩამონადენთან შედარებით გაცილებით მცირეა და თბილქიდროპროექტის მონაცემებით [17] შეადგენს მდ.ნენსკრასის $V_{\delta 6} = 0,0755$ მლნ.მ³, ხოლო თხეიშისათვის $V_{\delta 6} = 0,062$ მლნ.მ³.

ჩვენს მიერ მიღებული იყო ჩამონადენის მოცულობის შემასწორებელი კოეფიციენტი ენგურის წყალსაცავში ფაქტობრივად დალექილი ნატანის მოცულობის გათვალისწინებით – 0,77. თუ მას მივიღებთ მხედველობაში, მაშინ მდ.ნენსკრასათვის მყარი ჩამონადენის საშუალო წლიური მნიშვნელობა იქნება $V_{\delta 6} = 0,058$ მლნ.მ³, ხოლო მდ.თხეიშისათვის $V_{\delta 6} = 0,048$ მლნ.მ³. ცხადია, რომ ხუდონის წყალსაცავის დაღამვის

ანგარიში უნდა ჩატარდეს $W_0' = 282,4$ მლნ.მ³ მდ.ენგურის ხეობაში მდებარე მოცულობისთვის, ხოლო წყალსაცავის დანარჩენი მოცულობა (82,1 მლნ.მ³) პრაქტიკულად არ დაილაშქვება.

მთის ხეობის ტიპის წყალსაცავებისათვის, რომელსაც მიეკუთვნება ხუდონის წყალსაცავის მონაკვეთი ს.ხაიშამდე, ნაპირების გადამუშავება გამოიხატება აბრაზიული და ზვავურ-მეწვერული პროცესებით. წყალსაცავის ს.ხაიშის ზემოთ მდებარე ნაწილისათვის, რომელიც კანიონის ტიპს მიეკუთვნება, დამახასიათებელია ფერდობების ზვავურ-მეწვერული გადამუშავება. თბილქიდროპროექტის მონაცემების [22] მიხედვით წყალსაცავის სანაპირო ზოლის არანაკლებ 70% გაივლის პიტალო ან მცირე სისქის ნატანის ფენით დაფარულ კლდეებზე, სადაც ნაპირების გადამუშავება პრაქტიკულად შეიძლება უგულვებელყოფით. სანაპირო ზოლის 25% უჭირავს ფხვიერი მეოთხეული ქანებით დაფარულ მონაკვეთებს, ხოლო 5%-მეწვერების ორ დიდ კერას: ერთი მათგანი მდებარეობს კაშხლის საპროექტო კვეთიდან 1 კმ-ის მანძილზე მდინარის დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით ხეობის მარცხენა ბორცვზე, მეორე – მდ.ნენსკრას შესართავის ზემოთ მდ.ენგურის ხეობის ორივე ნაპირზე.

ნაპირების გადამუშავების ჯამური მოცულობა წყალსაცავის ექსპლუატაციის პირველი 5 წლის განმავლობაში შეადგენს 4 მლნ.მ³, ხოლო 10 წლის განმავლობაში – 5,6 მლნ.მ³, რაც ადასტურებს ნაპირების გადამუშავების ინტენსივობის მნიშვნელოვან კლებას აღნიშნულ პერიოდში და საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ წყალსაცავის ექსპლუატაციის დაწყებიდან 15-20 წლის შემდეგ დამყარდება ნაპირების დინამიკური წონასწორობა და იმავდროულად მეწვერული პროცესების განვითარებას ბუნებრივ წინააღმდეგობას შეუქმნის წყალსაცავის მდინარის ნატანით ამოვსება.

მაშასადამე, ნაპირების აბრაზიულ-მეწვერული გადამუშავების საშუალო წლიური მოცულობა ზემოთ მოყვანილი მონაცემების გათვალისწინებით იქნება

$$V_{\text{ს.ა.}} = 5,6 : 10 = 0,56 \text{ მლნ.მ}^3 / \text{წელი}$$

ვინაიდან, საინჟინრო-გეოლოგიური სამუშაოების განხორციელების ამ ეტაპზე არსებული მონაცემების საფუძველზე შეუძლებელია აბრაზიულ-მეწყერული გადამუშავების პროდუქტების გრანულომეტრიული შემადგენლობის ზუსტად დადგენა, პირობით მთელ ამ მოცულობას ვღებულობთ როგორც მსხვილფრაქციულს, რაც გარკვეულ მარაგს ქმნის წყალსაცავის დალამვის ვადის განსაზღვრისას.

თბილჰიდროპროექტის მონაცემებით [22] ხუდონის წყალსაცავის აკვატორიას არ ერთვის არც ერთი მნიშვნელოვანი დვარცოფული შენაკადი, რომელიც სერიოზულ ზეგავლენას მოახდენს წყალსაცავის მყარი ნატანით შევსებაზე. ე.ი. $V_{\text{გ}} = 0$.

ამგვარად, დავადგინეთ რა ყველა სახის მყარი მასალის საშუალოწლიური ჩამონადენების სიდიდეები, ანგარიშის მომდევნო ეტაპზე განვსაზღვრავთ წყალსაცავის დალამვის პირობით მაჩვენებელს, რომელიც წარმოადგენს წყალსაცავის სრული დალამვის ვადას (წლებში) იმ დაშვებით, რომ მყარი ჩამონადენი მთლიანად რჩება წყალსაცავში. არსებული რეკომენდაციების თანახმად, თუ $t_3 > 200$ წელზე, წყალსაცავის დალამვის პროგნოზი ამით შემოიფარგლება, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი ანგარიში წარმოებს წყალსაცავიდან ნატანის ნაწილობრივი გატანის გათვალისწინებით [18]:

$$t_3 = \frac{W_o - 8,33\omega_j}{V_{\text{მყ}}} \quad (12)$$

სადაც $W_o = 282,36$ მლნ.მ³ არის წყალსაცავის ენგურის ხეობაზე მოსული მოცულობა;

ω_j - მთლიანად დალამული წყალსაცავის ფარგლებში მდინარის მიერ ფორმირებული კალაპოტის მოცულობა, რომელიც წყალსაცავის სიგრძისა და კალაპოტის განივკვეთის ფართობის (ω) (კალაპოტის მაფორმირებელი ხარჯის პირობებში) ნამრავლის ტოლია:

$$\omega_j = l_{\text{წყ}} \cdot \omega = 9200 \times 120 = 1104000\text{მ}^3 = 1,104\text{მლნ.მ}^3.$$

$V_{\text{მყ}}$ - მყარი მასალის ჯამური საშუალოწლიური ჩამონადენი:

$$V_{\text{მყ}} = V_{\text{ფ}} + V_{\text{გ}} + V_{\text{ს.ა.}} = 2,05 + 0,41 + 0,56 = 3,022 \text{ მლნ.მ}^3$$

მაშინ პირობითი მაჩვენებელი:

$$t_3 = \frac{282,36 - 8,33 \cdot 1,104}{3,022} = 90,4 \text{ წელი.}$$

ვინაიდან, $t_3 = 90,4 \text{ წ} < 200 \text{ წ}$ ამიტომ ვაგრძელებთ ანგარიშს.

უნდა დავადგინოთ გააჩნია თუ არა წყალსაცავს დაღამვის პირველი სტადია, როცა მთელი ნატანი მასში რჩება. ამ სტადიის ხანგრძლივობა გავიანგარიშოთ ფორმულით [21]:

$$T_{1\text{სტ}} = \frac{W_o - 0,2V_{\text{თხვევ}}}{V_{\text{მყ}}} \quad (13)$$

სადაც $V_{\text{თხვევ}}$ არის მდენგურის საშუალომრავალწლიური თხვევადი ჩამონადენის სიდიდე $V_{\text{თხვევ}} = 4190 \text{ მლნ.მ}^3$ [16];

$V_{\text{მყ}} = 4,132 \text{ მლნ.მ}^3$ - მყარი ნატანის საშუალოწლიური ჩამონადენი.

$$\text{მაშინ } T_{1\text{სტ}} = \frac{282,36 - 0,2 \times 4190}{3} < 0$$

რაც იმას მიშნავს, რომ წყალსაცავს დაღამვის პროცესის პირველი სტადია არ გააჩნია და იგი მეორე სრადიდან იწყება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ექსპლუატაციის პირველი წლიდანვე ტივტივა ნატანის გარკვეული ნაწილი ქვედა ბიეფში გადაიტანება, მდინარის ნაკადის მიერ.

წყალსაცავის დაღამვის ქრონოლოგიური მომდინარეობის ანგარიში დაღამვის მეორე სტადიაზე წარმოებს (1) გამოსახულების მიხედვით, მაგრამ არ ვითვალისწინებთ ექსპლუატაციური მეთოდებით ნატანის მოცილების ღონისძიებებს. ე.ი. (1) განტოლებაში მარჯვენა ნაწილის მეორე წევრს მხედველობაში არ ვიღებთ. მაშინ (1) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$W_{\text{გ}} = W_{\text{ხლ}} \frac{V_{\text{წ}} + V_{\text{მს}}}{V_{\text{წ}}} \left(1 - e^{-\frac{V_{\text{წ}}}{V_{\text{ზღ}}} t} \right) \quad (14)$$

დაღამვის ზღვრული მოცულობა $W_{\text{ხლ}}$ განისაზღვრება ფორმულით:

$$W_{\text{ხლ}} = W_0 - \omega_j = 282,36 - 1,1 = 281,26 \text{ მლნ.მ}^3.$$

წვრილმარცვლოვანი ნაწილაკების საშუალოწლიური ჯამური ჩამონადენი შეადგენს:

$$V_{\text{წ}} = V_{\text{ტ}} + V_{\text{ფნ}} = 2,05 + 0,073 = 2,123 \text{ მლნ.მ}^3/\text{წელი}$$

მსხვილმარცვლოვანი ნაწილაკების საშუალოწლიური ჯამური ჩამონადენი:

$$V_{\text{მს}} = V_{\text{ფმს}} + V_{\text{ს.ა.}} = 0,412 + 0,56 = 0,972 \text{ მლნ.მ}^3/\text{წელი}$$

ეს უკანასკნელი სიდიდე ანგარიშებში გამოიყენება ექსპლუატაციის პირველი 10 წლის განმავლობაში, სანამ მიმდინარეობს აბრაზიულ-მეწყერული პროცესები. ამის შემდგომ ანგარიშებში მიღებულია, რომ $V_{\text{ს.ა.}} = 0$. ანგარიშის შედეგები მოყვანილია მე-5 ცხრილში.

ხუდონის წყალსაცავის დაღამვის ანგარიში

ცხრილი 5

რიგითი №№	დრო t, წელი	დაღამვის მოცულობა $W_{ღ}$, მლნ.მ ³	დაღამვის ინტენსივობა $\Delta W = W_i - W_{i-1}$, მლნ.მ ³	$\frac{W_{ღ}}{W_{სტ}}$, %
1	2	3	4	5
1	1	3,08		0,84
2	5	15,19		4,17
1	2	3	4	5
3	10	29,82		8,18
4	20	47,07		12,91
5	50	111,89		30,7
6	51	113,72	1,83	31,2
7	75	153,85		42,21
8	76	155,37	1,52	42,63
9	100	188,59		51,74
10	101	189,85	1,26	52,09
11	125	217,36		59,63
12	126	218,40	1,04	59,92
13	150	241,18		66,17
14	151	242,04	0,82	66,39
15	175	260,90		71,58
16	176	261,62	0,72	71,78
17	185	267,81		73,47
18	190	271,07		74,37
19	207	281,27		77,19

ამ ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ წყალსაცავის მთავარი ნაწილი მდ.ენგურის ხეობაში მოცულობით 281,26 მლნ.მ³ ნატანით შეივსება 207 წლის განმავლობაში. შევსებული მოცულობა წყალსაცავის სრული მოცულობის ($W_{\text{სრ}}=364,5\text{მლნ.მ}^3$) 77%-ს შეადგენს.

განვსაზღვროთ მდ.ნენსკრასა და მდ.თხეიშის ხეობებში მდებარე წყალსაცავის ნაწილების ნატანით შევსების ვადა იმ პირობით, რომ ამ მდინარეების ნატანი მთლიანად დარჩება მათსავე ხეობებში მოთავსებული წყალსაცავის ნაწილში. მდ.ნენსკრასათვის დაღამვის ვადა ტოლია;

$$t_{\text{ნენსკრა}} = \frac{W_{\text{ნენსკრა}}}{V_{\text{ტ.ნ.}}} = \frac{39,44}{0,058} = 680\text{წელი}$$

მდ.თხეიშისათვის:

$$t_{\text{თხეიში}} = \frac{W_{\text{თხეიში}}}{V_{\text{ტ.თ.}}} = \frac{42,7}{0,048} = 889,6\text{წელი}$$

ზემოთ მოყვანილი ციფრები ადასტურებს, რომ ძირითადად ხუდონჰესის წყალსაცავის მდ.ენგურის ხეობაში მდებარე ნაწილი იღამება ტივტივა ნატანით 207 წლის განმავლობაში, ხოლო მდ.ნენსკრასა და მდ.თხეიშის ხეობებში მდებარე ხუდონჰესის წყალსაცავის ნაწილებში პრაქტიკულად არ იღექება ნატანი.

მე-5 ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ ხუდონჰესის წყალსაცავში მისი ექსპლუატაციის კვალობაზე ნატანის დაღამვის ინტენსივობა თანდათან კლებულობს და 100-125 წლის შემდეგ დაღამვის ყოველწლიური ტემპი საშუალოდ დაახლოებით 1,15 მლნ.მ³ იქნება წელიწადში, რომლის მოცილება ცნობილი საექსპლუატაციო მეთოდებით და მითუმეტეს 100 წლის შემდეგ არ იქნება რთული.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ფსკერული ნატანი თავდაპირველად იღექება წყალსაცავის შეტბორვის გამოსოფლის ზონაში და შემდეგ ნატანით მიეღამვის ზონა წაინაცვლებს ქვემოთ, კაშხლის მიმართულებით. ამასთან, ფსკერული ნატანის მსხვილმარცვლოვანი ნაწილის მოცულობა, რომელიც ყოველწლიურად დარჩება რეგრესიული აკუმულაციის ზონაში იქნება 0,412 მლნ.მ³/წელიწადში, რასაც შეუძლია

გამოიწვიოს მდინარის ფსკერის აწევა, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს მისი წყლის დონის აწევას და შესაბამისად წყალდიდობას შემთხვევაში შექმნის მანამდე დატბორვის ზონის გარეთ მყოფი ტერიტორიების წყლით დაფარვის საშიშროებას. რეგრესიული აკუმულაციის ზონაში დაღეკილი ფსკერული ნატანის რაოდენობის შემცირება შესაძლებელია მისი პერმანენტულად ამოღების გზით, რაც სავსებით შესაძლებელია თანამედროვე ტექნიკური საშუალებებით.

დასკვნა

გაანგარიშებისას გამოყენებულ იქნა ენგურჰესის წყალსაცავში დაღეჭილი ნატანის ფაქტობრივი რაოდენობის დადგენის მიზნით 2001-2012 წლებში ჩატარებული ინსტრუმენტული გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები. გაანგარიშებამ აჩვენა რომ:

1. დაღამვას, ძირითადად, ექვემდებარება მდ.ენგურის ხეობაში განლაგებული ხუდონჰესის წყალსაცავის ნაწილი მოცულობით 282,4 მლნ.მ³, რაც სრული მოცულობის 77%-ია. მდინარე ენგურის ტივტივა ნატანით ხუდონჰესის წყალსაცავის დაღამვის სავარაუდო ვადა შეადგენს 207 წელიწადს. ამასთან, "მკედარი" მოცულობა (141,0 მლნ.მ³) ნატანით შეივსება დაახლოებით 67 წლის განმავლობაში.

2. ხუდონჰესის წყალსაცავის ის ნაწილი, რომელიც მდებარეობს მდ.ენგურის შენაკადების: მდ.ნენსკრასა და მდ.თხეიშის ხეობებში, ჯამური მოცულობით 82,1 მლნ.მ³, პრაქტიკულად არ იღამება, ვინაიდან, როგორც ზემოთ იყო ნახვენები, ამ მდინარეების მყარი ჩამონადენის მოცულობა გაცილებით მცირეა მდ.ენგურის მყარი ჩამონადენის მოცულობასთან შედარებით.

3. ფსკერული ნატანის აკუმულაცია განხორციელდება ხუდონჰესის წყალსაცავის რეგრესიული აკუმულაციის ზონაში და მისი საშუალოწლიური ინტენსივობა შეადგენს 0,412 მლნ.მ³/წელიწადში.

ლიტერატურა

1. Macharadze G.T. Zailenie i promyv gornykh vodoxранилищ s uchetom izmenchivosti tverdogo stoka. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand.техн. наук. Tbilisi, 1988, 140 s.
2. Karayev A.V. Teoriya i metody rascheta rechnykh nanosov, L.; Gidrometeoizdat, 1977, 272 s.
3. Gvlesiანი L.G., Shmaltseლ N.P., Zailenie vodoxранилищ gidroelektrostantsiy, M.; Energiya, 1968, 86 s.
4. Kereselidze N.B., Kutavaya V.I., Tsagareli K.A. Zailenie i promyv gornykh vodoxранилищ na primere Riонского каскада ГЭС // Gidroteхническое stroitelstvo, 1985, №9, s.50-54.
5. გ.გიგობერია. დალამვის პროცესი უნგალის წყალსაცავში, "ენერჯია", თბილისი, 2009, №3(51) გვ. 82-89.
6. Iordaniшvili I.K., Iordaniшvili K.T. Voprosy ekoevolutsii gornykh vodoxранилищ Gruzii. Izd-vo "Univerсал", Tbilisi, 2012, 186 s.
7. Svanidze G.G., Varazashvili N.G., Subkhanulova G.S. Dinamika zaileniya kotlovin gornykh vodoxранилищ i osnovnye zadachi ee prognoza. //Tруды ЗакНИИ. Вып. 85(92). Voprosy gidroprognozov, gidrofiziki i meliorativnoy gidrologii. M.; Gidrometeoizdat, 1986, 112-121 s.
8. Rapport Enguri Dam (Georgia) –Bathymetric survey upstream the bottom gates,EDF Branche production ingenierie. Auteurs:Andrieu Jean –Pierre,Chevalier Philippe, November 2004.
9. ენგურჰესის წყალსაცავისა და ჩამქრობი ჭის ბათიმეტრიული კვლევა. თბილისი, „ჰიდროსფერო“ 2012.
10. . Khudoni Hydro Power Project .Detailed Project Report,volume -1.Trans Elekrika Ltd. 2013.
11. “გარემოს დაცვის ეკოცენტრი“-ს სამეცნიერო ანგარიში “მდინარე ენგურზე ხუდონის კაშხლის საპროექტო კვეთში ჰიდროლოგიური კვლევების განხორციელება და მათი ლაბორატორიული გამოკვლევა”, თბილისი, 2013.
12. ცნობა – ინფორმაცია მდინარე ენგურზე ხუდონის კაშხლის საპროექტო კვეთში

ჰიდროლოგიური კვლევების განხორციელება და მათი ლაბორატორიული გამოკვლევა.
“გარემოს დაცვის ეკოცენტრი” 28.02.2012.

13. ცნობა – ინფორმაცია მდინარე ენგურზე ხუდონის კაშხლის საპროექტო კვეთში
ჰიდროლოგიური კვლევების განხორციელება და მათი ლაბორატორიული გამოკვლევა.
“გარემოს დაცვის ეკოცენტრი” 10.07.2012.

14. Хмаладзе Г.Н. К вопросу о соотношении расходов влекомых и взвешенных наносов. Труды IV
Всесоюзного гидрологического съезда. т.10. Русловые процессы, Л.; Гидрометеиздат, 1976, с.164-
171.

15. Хмаладзе Г.Н. Некоторые соображения о соответствии между расходами влекомых и взвешенных
наносов //Труды ЗакНИГМИ, 1970, Вып.37(43), Л.; Гидрометеиздат, с.76-84.

16. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных
вод суши. Т.VI ГССР, 1987, 416 с.

17. Худони ГЭС на р.Ингури. Проект, Том II. Книга 1. Гидрологические и климатические условия.
Тбилгидропроект. Тбилиси, 1982.

18. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ. Л.;
Гидрометеиздат, 1983, 284 с.

19. Виноградова В.И., Рухадзе Н.В. Русловая шероховатость и транспорт наносов по докладом на XII
конгрессе МАГИ. //Труды ЗакНИИ Вып.30(36), Л.; Гидрометеиздат, 1968, с.68-78.

20. Исследование гидравлических режимов водохранилищ Ингури и Худони ГЭС и занесения
концевого участка водохранилища Ингури ГЭС. ГрузНИИЭГС, тема №70, Тбилиси, 1980, 97 с.

21. Григорян О.М. Гидравлические методы расчетов зоны регрессивной аккумуляции горных
водохранилищ. Диссертация на соискание ученой степени канд.техн. наук. Тбилиси, 1987, 151 с.

22. Худони ГЭС на р.Ингури. Проект Том II. Книга 3. Инженерно-геологические условия.
Тбилгидропроект. Тбилиси, 1982.

გარემოს დაცვის ეკოცენტრი



ვ ა მ თ კ ი ც ე ბ:
ეკოცენტრის დირექტორი

გვიგარდასვილი
ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი
15 მაისი, 2013

სამეცნიერო ანგარიში

*მდინარე ანგარიშის უსაფრთხოების სპროექტის კვეთის ტიპის ჰიდროლოგიური
კვლევის განხორციელება და მათი ლაბორატორიული გამოკვლევა*

თბილისი
2013

Temis xel mZRvanel i da Semsrul ebl ebi:

- givi gavardaSvil i -** samecniero Temis xel mZRvanel i,
teqnkis mecnierebaTa doqtori,
profesori
- goga Caxaia -** samecniero Temis Semsrul ebel i,
teqnkis akademiuri doqtori,
asocirebul i profesori
- robert diakonize -** samecniero Temis Semsrul ebel i,
geografiis akademiuri doqtori,
asocirebul i profesori
- zurab varazaSvil i -** samecniero Temis Semsrul ebel i,
geol ogiis akademiuri doqtori
- I evan wul ukize -** samecniero Temis Semsrul ebel i,
teqnkis akademiuri doqtori
- inga iremaSvil i -** samecniero Temis Semsrul ebel i,
teqnkis akademiuri doqtori
- Sorena kupreiSvil i -** samecniero Temis Semsrul ebel i,
teqnkis akademiuri doqtori,
asocirebul i profesori
- Tamriko supataSvil i -** samecniero Temis Semsrul ebel i
qimiis magistri, doqtoranti

Si naarsi

	gv
1. Sesaval i	4
2. mdinare engurze xudonis kaSxl is mSenebl obis kveTSi da mdinare nenskraze I aboratoriul i kvI evis ganxorciel ebis meTodi ka.	8
3. samecniero savel e kvI evebis ganxorciel eba	10
3.1. mdinare enguris kal apotSi kvI evebis ganxorciel eba da I aboratoriul i kvI evis Sedegebi	10
3.2. mdinare nenskras kal apotSi kvI evebis ganxorciel eba da I aboratoriul i kvI evis Sedegebi	15
4. daskvna	19

1. Sesaval i

ენგური — მდინარეა დასავლეთ საქართველოში, კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედის სამხრეთ კალთაზე და კოლხეთის ბარში. სათავე აქვს მცინვარ ენგურზე, ზღვის დონიდან 2614 მ-ზე. სოფ. ანაკლიასთან ერთვის შავ ზღვას. სიგრძე 213 კმ, აუზის ფართობი 4060 კმ². მთავარი შენაკადებია - მარჯვენა ადიშისჭალა, ხალდეჭალა, მულხრა, დოღრაჭალა, ნაკრა, ნენსკრა; ხოლო მარცხენა: თხეში, ხუმფრერი, ლასილი, მაგანა, ჯუმი და სხვა. ენგური ზემოთში კვეთს სვანეთის ქვაბულს, შემდეგ კი ღრმა და ვიწრო ხეობაში მიედინება. ზემო წელსა და შუა დინებაში მდინარის კალაპოტი ზოგან ქორომიანია. ქალაქ ჯვართან მდინარე გამოდის კოლხეთის დაბლობზე, ქმნის ფართო ხეობას და იტოტება. სოფ. რუხთან იყოფა ორ ტოტად, რომელთა შორის მოთავსებულია 12 კმ სიგრძისა და 0,5-2,0 კმ სიგანის კუნძული. მასზე გაშენებულია სოფ. შამგონა.

ენგური შერეული საზრდოობის მდინარეა; ზედა წელში წლიური ჩამონადენის 66%-ს შეადგენს თოვლისა და მცინვარის წყალი, 22%-ს გრუნტის წყალი, 12%-ს წვიმის წყალი, ქვედა წელში შესაბამისად - 18%, 26% და 56%-ს. საშუალო წლიური ხარჯი სოფ. ხაიშთან 109 მ³/წმ-ს უდრის, შესართავთან - 170 მ³/წმ-ს. წყალდიდობა იცის გაზაფხულსა და ზაფხულში, წყალმცირეა ზამთარში. სოფ. ლახამულიდან სოფ. შამგონამდე ენგურს იყენებენ ხე-ტყის დასაცურებლად, ქვედა წელში - სარწყავად ენგურ-გალის სარწყავი არხის საშუალებით. ქალაქ ჯვართან აშენდა ენგურის ჰიდროელექტროსადგური. სოფ. ტობართან დაპროექტებულია 750 ათ.კვტ სიმძლავრის ტობარჰესის მშენებლობა .ენგურის გასწვრივ გადის სამეგრელოსა და აფხაზეთის რეგიონების ადმინისტრაციული საზღვარი.

საქართველოს მდიდარი ჰიდროელექტრორესურსების გამოყენებაზე ფიქრი პირველად დიდმა პუბლიცისტმა და საზოგადო მოღვაწემ ნიკო ნიკოლაძემ დაიწყო. ამ მიზნით მან თავისი შვილიც კი გამოიწვია პეტერბურგიდან საქართველოს მდინარეებზე პროფესიული ანალიზის ჩასატარებლად საბოლოოდ ყურადღება ენგურზე შეაჩერეს და მისი შესწავლა გადაწყვიტეს.

ნიკო ნიკოლაძის მიერ მოწვეულმა ცნობილმა პეტერბურგელმა ინჟინრებმა ფიოდორ როპმა და ბორის ბახმეტევმა მისი რჩევით ჰიდროელექტრო-სადგურის ასაშენებლად ენგური აირჩიეს. მიზეზთა გამო, რაც უკავშირდებოდა მშენებლობის სიძვირესაც, პირველ მსოფლიო ომსაც და მოწვეული ინვესტორების

ყოყმანსაც, ამ საკითხვისთვის თანხის დაბანდების მცდელობა უშედეგოდ დასრულდა. ნიკო ნიკოლაძემ ენგურის ჰიდრორესურსების გამოყენებისათვის ბრძოლას 20 წელი შეაღია, მაგრამ მისი იდეის ხორცშესხმა იმ დროისთვის შეუძლებელი აღმოჩნდა.

1913–1914 წლებში იტალიელმა სპეციალისტებმა გამოთქვეს აზრი ენგურზე მცირე სიმძლავრის ჰესის მოწყობის შესახებ, მაგრამ არც ამ პროექტს ეწერა განხორციელება. 1926–1927 წლებში დამუშავდა სქემა, რომლის მიხედვითაც მდინარე ენგურზე, სოფელ ვალხორიდან ანაკლიამდე, 233 მგვტ ჯამური სიმძლავრის 13 ჰესი უნდა აგებულიყო, რაც ასევე განუხორციელებელი დარჩა.

მხოლოდ 1930 წელს აიგო გრძივი პროფილი სოფელ ლახამულიდან ჯვრამდე, რის შედეგადაც გამოიკვეთა ენერგეტიკული სიმძლავრის მომცემი ეფექტიანი უბნები.

მდინარე ენგურზე ჰიდროელექტროსადგურის აგების რეალიზაციისთვის პირველი ნაბიჯები XX საუკუნის 50–იანი წლების მეორე ნახევარში გადაიდგა, საქართველოს მთავრობის გადაწყვეტილების საფუძველზე. სსრკ–ს "ჰიდროპროექტის" საქართველოს განყოფილებამ დაიწყო მუშაობა ენგურის ჰიდროელექტროსადგურის სამიეზო და საპროექტო–სახარჯთღრიცხვო დოკუმენტაციაზე.

1954 წელს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ენერგეტიკის ინსტიტუტმა დაამუშავა ენგურზე ჰესების კასკადის მშენებლობის სქემა. ამ სქემის მიხედვით ზამთრის პერიოდისათვის გარანტირებული სიმძლავრე მხოლოდ 200 მეგავატი იყო, რაც პროექტის ნაკლად შეფასდა.

1960 წელს "ჰიდროპროექტმა" დაამუშავა მდინარე ენგურის ენერგეტიკული მიზნებისათვის გამოყენების სქემა. ენგურჰესის კასკადის მშენებლობა სწორედ ამ სქემის მიხედვით დაიწყო. საბოლოოდ ენგურჰესის მთლიანი პროექტი შეიქმნა 1965–1970–იან წლებში, მშენებლობა კი 1971 წელს დაიწყო.

ენგურჰესის მშენებლობა ქართული ტექნიკური აზროვნების ისტორიაში ყველაზე თამამი ჩანაფიქრის განხორციელება იყო. ეს იდეა ითვალისწინებდა უნიკალური ტექნიკური და საინჟინრო ნაგებობის ურთულესი კომპლექსის აგებას, რასაც ბევრი სპეციალისტი ეჭვით უყურებდა. პროექტის დასაბუთებისა და დამტკიცებისათვის უდიდესი წინააღმდეგობის გადალახვა გახდა საჭირო. სკეპტიკოსები ამგვარი ტიპის მშენებლობას ფანტასტიკურ ჩანაფიქრად და უტოპიად მიჩნევდნენ. ოპტიმისტებს მშენებლობის მამტაბურობა და რელიეფის სირთულე

აფრთხოვდა, იდეის მომხრეებს მომავალი თაღოვანი კაშხლის გრანდიოზულობა და ადგილის სეისმომდგრადობის პრობლემა უკარგავდა მოსვენებას.

1955 წლის პირველ ნახევარში კომპლექსურმა ექსპედიციამ ჩაატარა ენგურისა და მისი შენაკადების ხეობების ბუნებრივი პირობების ჰიდროენერგეტიკული და საინჟინრო-გეოლოგიური გამოკვლევები. ჰიდროგეოლოგიურმა კვლევითმა ექსპედიციამ 50 კაცის შემადგენლობით ფეხით მოიარა სვანეთის მთების ციცაბო კალთები, ენგურისა და მისი შენაკადების კლდოვანი კალაპოტები. მათი მთავარი მიზანი ნიადაგურ-კლიმატური და გეოლოგიურ-ტოპოგრაფიული სამუშაოების ჩატარება იყო. გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ რელიეფის არაერთგვაროვნება, სეისმომდგრადობის რისკი, გრუნტისა და ნიადაგის მრავალფეროვნება ჰიდრომშენებლობისადმი განსაკუთრებულ, არაორდინალურ მიდგომას მოითხოვდა. ენგურჰესის ობიექტი ათასამდე კვადრატულ კილომეტრზეა გადაჭიმული ქალაქ ჯვარიდან შავ ზღვაზე.

ენგურჰესის კომპლექსი სხვადასხვა დროს უცხოეთის ქვეყნების მრავალმა დელეგაციამ მოინახულა. მათ შორის იყვნენ პროფესიონალი ჰიდროლოგებიც, რომლებიც სპეციალურად ენგურჰესის სანახავად ჩამოვიდნენ აშშ-იდან, საფრანგეთიდან, იტალიიდან, ინგლისიდან და ა. შ. დელეგაციის წევრები გაოცებულები იყვნენ და აღფრთოვნებებს ვერ მალავდნენ მშენებლობის გრანდიოზული მაშტაბის გამო.

მნახველზე გამოგონებელ შთაბეჭდილებას ახდენდა ცად ატყორცნილ მთებს – ტულიშსა და წულიშს შორის აგებული რკინაბეტონის თაღოვანი კაშხალი, რომლის საერთო სიმაღლე 271.5 მ-ია, განივი სიგძე 728 მ, საძირკველთან – 90 მ, შუა წელში – 52 მ, ქიმთან კი - 10 მ-ია. გიგანტური და შთამბეჭდავია კაშხლის 605 მ-იანი თხემი მარჯვენა და მარცხენა ბურჯებით, რომელთა სიგრძე - 123 მ-ია.

კაშხალი ჰიდროტექნიკური ნაგებობაა, რომელიც გადატიხრავს მდინარეს დინების ზემო ნაწილში წყლის დონის ასაწევად, ნაგებობის მდებარეობის ადგილზე წყლის დაწნევის კონცენტრირებისა და წყალსაცავის შექმნის მიზნით იგი აიგო ქალაქ ჯვარიდან 5 კილომეტრზე, მდინარე ენგურზე. ვერტიკალური ღერძის მქონე ბეტონის თაღოვანი ნაგებობა ეყრდნობა ხეობის ნაპირებსა და ფუძეს.

კაშხალს ცის თალის ფორმა აქვს და რკალივითაა მოხრილი. მის ფორმას ინჟინრებმა ორთაღოვანი მრუდი უწოდეს, ვინაიდან სფეროს ამოხნეფილი ნაწილი

ზევით წყალსაცავისკენაა მიმართული, ხოლო ფსკერი და მხრები კედლებს ებჯინება. ასეთი ფორმა ზრდის წყლის მდინარეების წინაღობის ძალას. საყრდენი ნაწილი უნაგირის ფორმისაა და თაღოვანი კაშხლისაგან პერიმეტრული ნაკერითაა გამოყოფილი. უნაგირის სიმაღლე ფერდობიდან 15–20 მ-ია, ხეობის ქვედა წელში - 60 მ.

ჯვრის მაღლივი თაროვანი კაშხალი (იხ. სურ. 1.1) 1977 წლის 22 დეკემბერს გადაეცა საექსპლუატაციოდ. კაშხლის აშენებამ და ენგურის გადაკეტვამ წარმოშვა ჯვრის (ენგურის) წყალსაცავი, რომლის მოცულობა მილიარდ ას მილიონ კუბურ მეტრს შეადგენს.

ამჟამად, ძრის შესრულებას დასრულებულია ენგურის ხეობის ტაროვანი კაშხლის მშენებლობის სამუშაოები, რომლის განხორციელებასაც დასრულებულია ახალი რიგის საკითხების დასაწყისი, მათ შორის არის ენგურის ხეობის კაშხლის ზედა ნაწილის წყალსაცავის აკვადუქციის ნაგებობის დასრულებულია.



სურ. 1.1. ენგურის თაღოვანი კაშხლის საერთო ხედი

**M2. mdinare engurze xudonis kaSxl is mSenebl obis kveTsi
da mdinare nenskraze l aboratoriul i kvl evis
ganxorciel ebis meTodi ka**

a(a)ip garemos dacvis ekocentrsa da Sps „trans el ekrika j orj ia” –s Soris 2012 wl is 1 Teberval s gaformebul i memorandumis Tanaxmad, roml is mizania mdinare enguris kal apotSi xudonis TaRovani kaSxl is zeda da qveda biebsi samecniero-sainJinro kvl evebis ganxorciel eba, aseve zemoT aRniSnul organizaciebs Soris 2012 wl is 2 Teberval s gaformebul i momsaxureobis xel Sekrul ebis Tanaxmad, 2013 wl is 19 april idan 5 maisamde ganxorciel da savel e-sarekognoscirebo kvl evebi.

kvl evis mizans wadmoadgenda mdinare engurbe xudonis kaSxl is samSenebl o kveTsi mdinaris ganivi profil is gadaReba eqol otis gamoyenebiT, Sesabamisi koordinatebis dafiqsireba GPS–is gamoyenebiT da wyl is sinj ebis aReba baTometrus gamoyenebiT.

pirvel suraTze naCvenebia mdinare engurbis da mdinare nenskraze SerCeul i is kveTebi, sadac ganxorciel da savel e gazomvebi (ix. sur. 1), xol o me-2 suraTze ki baTometrus saerto xedi, ris saSual ebiTac mimdinareobda mdinaris kveTidan wyl is sinj ebis aReba.

wyl is sinj is amRebi e.w. mal Canovis baTometri (FP - 18) wadmoadgens mowiyobil obas (ix. sur. 2), romel ic Sedgeba minis ori cil indrisagan, romel ic damagrebula l itonis dgarTan da Sesabamisi Camketebisagan. baTometrus cil indris mocul oba Seadgens 4 l itrs, saerto woniT 7,7 kg da gamoiyeneba 40 metramde mdinaris siRmeebidan sinj is asaRebad.



sur. 1. md. engurze xudonis kaSxl is samSenebl o kvETis zeda biefis topografiul i gegma



sur. 2. baTometris saerTo xedi

3. samecniero-savel e kvl evebis ganxorciel eba

3.1. mdinare enguris kal apotSi kvl evebis ganxorciel eba და ლაბორატორიული კვლევის შედეგები

mdinare enguris kal apotSi xudonis kaSxl is mSenebl obis kveTSi
I aboratoriul i kvl evebis ganxorciel ebisatvis SerCeul i iyo am teritoriis
mimdebare adgil ze I iTonis xidi, roml is saerTo xedi naCvenebia suraTze (ix.
sur. 3.1).



sur. 3.1. mdinare enguris kal apotis saangariSo
kveTis saerTo xedi

mdinare enguris kal apotis ganivi Wril is profil i naCvenebia 3.2
suraTze, roml is ricxviTi maCvenebel ebic mocemul ia cxril Si (ix. cxr. 3.1),
sadic xidis mal is koordinatebia $X = 268002$, $Y = 477912$, absol oturi
simaRI is niSnul i zRvis donidan $H = 538$ m, xol o xidis sigrZe ki tol ia
29,0 m. simaRI e xidis mal idan wyl is zedapiris Tavisufal niSnul amde - 5,5 m.

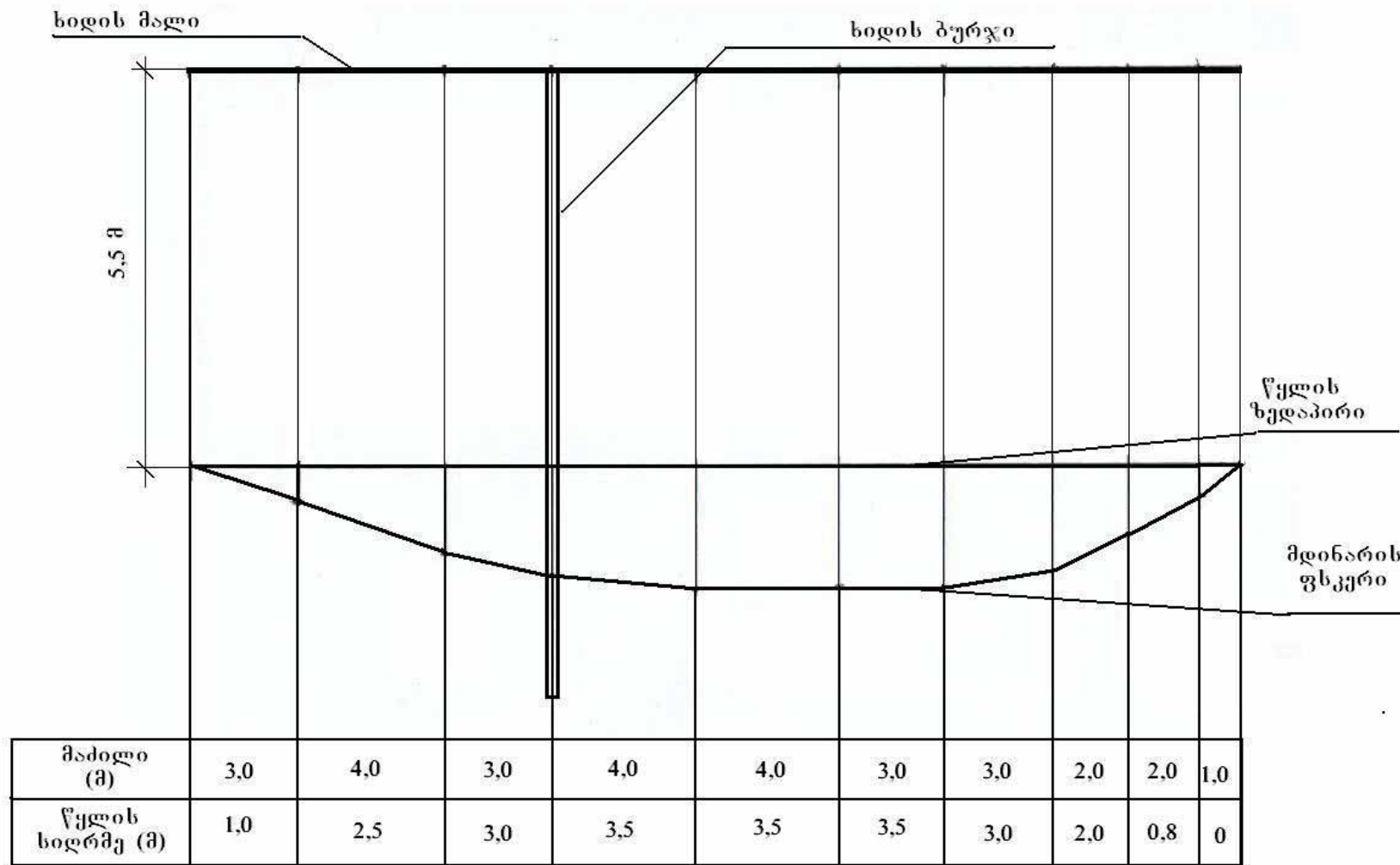
cxრილი 3.1
მდინარე ანგურის კალაპოტის განვიწილის პროფილის რიცხვითი მაჩვენებლები ხიდის კვეთსი

ვერტიკალური ნომერი (მარცხნიდან მარჯვნივ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
მანძილი (მ)	3,0	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0
ვერტიკალური სიღრმე (მ)	1,0	2,5	3,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,0	0,8

მდინარე ანგურზე ვერტიკალური სიღრმის დადგენის მიზნით ხიდიდან ზედა ბიფის მიმართულებით გადამოწმდა იქნა მანძილი სიგრძით 40 მ და ვამზომისა და ტიპის გამოყენებით დადგინდა ზემოთ აღნიშნული მანძილის გავლის დრო, რიცხვითი მაჩვენებლები მოყვანილია ცხრილში (იხ. ცხრ. 3.2).

ცხრილი 3.2
მდინარე ანგურზე საანგარიშო კვეთსი სასაშუალო სიღრმის საანგარიშო მონაცემები

#	მანძილი (მ)	დრო (წმ)	სიღრმე (მ/წმ)
1	40,0	12	3,33
2	40,0	12	3,33
3	40,0	12	3,33
4	40,0	12	3,33
5	40,0	13	3,07
6	40,0	13	3,07



sur. 3.2. მდინარე enguris განივი კვეთის პროფილი (X = 268002, Y = 477912)

Catarebul i eqsperimentebisa da gamoTvl ebis gaTval iswinebiT mdinare engurze wyl is nakadis saSual o siCqare saangariSo kveTsi tol ia 3,24 (m/wm).

am periodisaTvis mdinare engurze mowyobil i hidrometriul i saguSagos onformaciiT mdinare engurze fiqsirdeboda wyl is nakadi xarj iT 261,0 (m³/wm) sididiT.

suraTebze 3.3, 3.4 da 3.5 naCvenebia mdinare enguridan baTometri∞ wyl is sinj ebis aReba da maTi wyl is WurWI ebSi gadatana.



sur. 3.3. mdinare engurze wyl is sinj is aReba



sur. 3.4. mdinare enguris wyl is sinj iT Sevsebul i baTometri



sur. 3.5. baTometridan wyl is sinj is gadatana siTxis rezervuarSi

mdinare enguris kal apotidan aRebul i wyl is sinj ebis I aboratoriul i gamokvl evis Sedegebi moyvanil ia 3.3 cxril Si.

cxროლო 3.3

mdinare enguris kal apotis Setivnarebul i natanis monacemebi

#	nimuSis dasaxel eba	nimuSis მოცულობა	nimuSis aRebis ადგილის კოორინატები	natanis raodenoba (gr/ml I)	1 m ³ - Si natanis raodenoba (kg)
1	2	3	4	5	6
1	xudonis kaSxl is kveTSi (xi didan marj vniv)	1 l	X = 0267983 Y = 4757922	1,14	1,14
2	xudonis kaSxl is kveTSi (xi didan marcxniv)	1 l	X = 0268019 Y = 4757911	1,30	1,30
3	Wuberis gadasaxvevi (mar to md. enguri)	1 l	X = 0271289 Y = 4760149	1,46	1,46

amrigad, Tu gamoviyenebT mdinare enguris kal apotSi hidrometriul i sadguris monacems, როცა 2013 wl is 2 maiss md. Eengurze fiqsirdeboda wyl is saSual o xarj i - 261 (m³/wm), maSin Cveni gamoTvl ebis შედეგები Setivnarebul i natanis xarj is ricxviTi monacemebis შესახებ moyvanil ia cxril Si (ix. cxr. 3.4).

cxროლო 3.4

**mdinare enguris kal apotSi wyl is nakadSi
Setivnarebul i myari natanis xarj is monacemebi**

##	nimuSis dasaxel eba	1 m³ - Si Nnatanis raodenoba (kg)	Setivnarebul i natanis saSual o xarj i K(kg/wm)
1	xudonis kaSxl is kveTSi (marj vena)	1,14	297,54
2	xudonis kaSxl is kveTSi (marcxena)	1,30	339,30
3	Wuberis gadasaxvevi	1,46	-

**M3.2. mdinare nenskras kal apotSi kvl evebis ganxorciel eba
da l aboratoriul i kvl evis Sedegebi**

mdinare nenskraze savel e kvl evebi ganxorciel da sofel l uxidan 3-4 km mandil iT daძობებულ l iTonis bagirebiT dakidul droebiTo xidis mal ze, roml is koordinatebia X = 0270437 da Y = 4763041.

mdinare nenskras kal apotis ganivi Wril is profil i naCvenebia 3.6 suraTze, roml is ricxviti maCvenebl ebic mocemul ia cxril Si (ix. cxr. 3.5),

cxრილი 3.5

**mdinare nenskras kal apotis ganivi profil is
ricxviti maCvenebl ebi xidis kveTSi**

wertil is nomeri (marcxnidan marj vniv)	1	2	3	4	5	6	7	8
manZil i (m)	2,0	3,0	5,0	4,0	5,0	5,0	2,5	2,5
wyl is siRrme (m)	1,0	1,5	1,89	2,0	2,0	1,8	0,75	0,65

mdinare nenskras kal apotidan sinj ebis aRebis foto-masal a naCvenebia suraTgძვე (ix. sur. 3.6 da 3.7) xol o mdinare nenskras kal apotidan aRebul i sinj ebis geografiul i mdebareobis ricxviti maCbenebl ebi naCvenebia cxril Si (ix. cxr. 3.6).

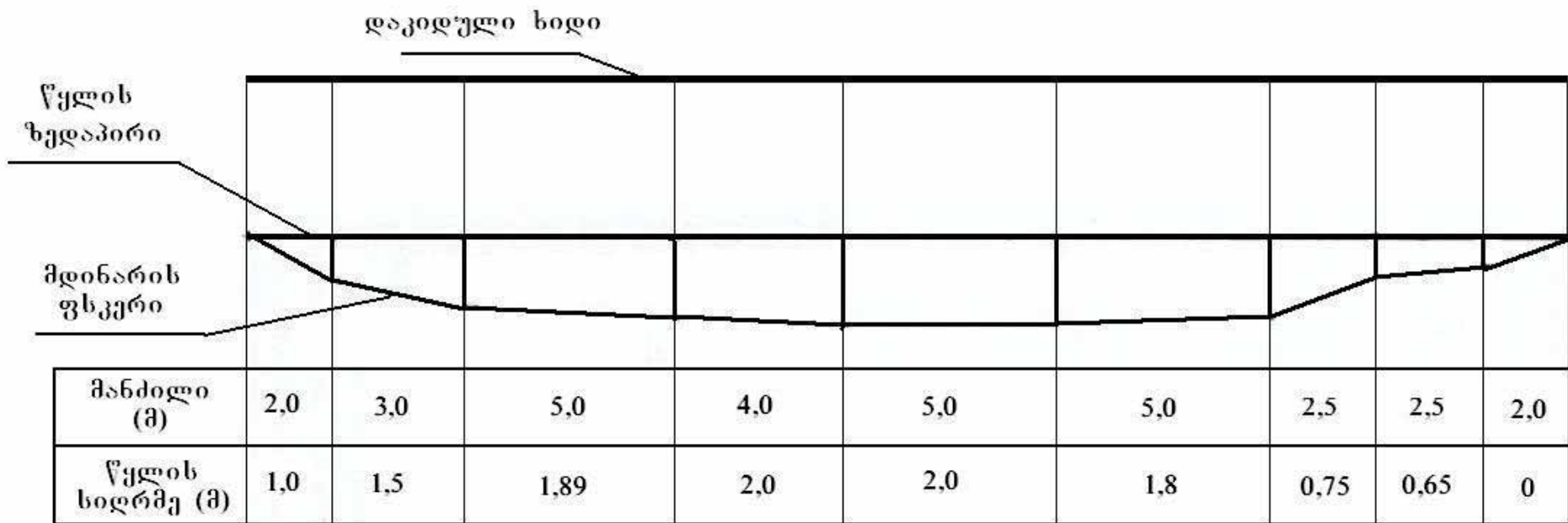
vel ze ganxorciel ebul i kvl ebebis damuSavebiT aseve agebul iqna md. nenskras ganivi profil i sakvl ev kveTSi (ix. xur. 3.8).



sur. 3.6. md. nenskras kal apotidan aRebul i wyl is sinj i



sur. 3.7. md. nenskras kal apotidan aRebul i sinj is baTometridan wyl is rezervuarSi gadatana



sur. 3.8. md. nenskras ganivi profil i sakvl ev kveTSi (X = 0270437; Y = 4763041)

mdinare nenskraze wyl is saSual o siCqaris dagenis mizniT xididan zeda biefis mimaᵇTul ebiT gadazomil iqna manZil i sigrZiT 40 m da wamᵇzomisa da tivtivᵇs gamoyenebiT dadgᵇnᵇᵇᵇ zemoT aRniSnul i manZil is gavl is dro, ricxviTi maCvenebl ebi moyvani l ia cxril Si (ix. cxr. 3.6).

cxril i 3.6
mdinare nenskraze saangariSo kveTSi saSual o siCqaris saangariSo monacemebi

#	manZil i (m)	dro (wm)	siCqare (m/wm)
1	40,0	13	3,07
2	40,0	13	3,07
3	40,0	13	3,07
4	40,0	10	4,00
5	40,0	11	3,64

md. nenskras saSual o siCqare saangariSo kveTSi tol ia 3,37 m/wm -Si mdinare enguris kal apotidan aRebul i wyl is sinjebis l aboratoriul i gamokvl evis Sedegebi moyvani l ia 3.7 cxril Si.

cxril i 3.7
mdinare nenskras kal apotis Setivnarebul i natanis monacemebi
(X = 0270437 da Y = 4763041)

##	nimuSis dasaxel eba	nimuSis მოცულობა	nimuSis aRebis ადგილის koordinatebi	natanis raodenoba (gr/ml l)	1 m ³ - Si natanis raodenoba (kg)
1	2	3	4	5	6
1	md. nenskra (marj vena)	1 l	X = 0270428 Y = 4763038	1,03	1,03
2	md. nenskra (marcxena)	1 l	X = 0270432 Y = 4763037	0,84	0,84

4. d a s k v n a

2013 wl is april -maisis TveSi mdinare engurisa da md. nenskras kal apotebSi Catarebul i samecniero-savel e kvl evebis I laboratoriuI i gamokvl evebis safuZvel ze SeiZl eba Camovayal iboT Semdegi zogadi daskvnebi:

1. mdinare enguris kal apotSi xudonis kaSxl is mSenebl obis kveTSi wyl is nakadis mier transportirebul i Setivnarebul i myari natanis xarji icvl eba wamSi 1,14 - 1,30 kg/m³, roml is Sesabamisi koordinatebia X = 0267983, Y = 4757922 da X = 0268019, Y = 4757911, xol o mdinare enguris md. nenskras SeerTebamde Setivnarebul i myari natanis xarji - wamSi 1,46 kg/m³, Sesabamisi koordinatiT - X = 0271289 da Y = 4760149;
2. mdinare nenskras wyl is nakadis mier transportirebul i Setivnarebul i myari natanis xarji icvl eba wamSi 1,03 - 0,84 kg/m³, roml is Sesabamisi koordinatebia X = 0270428, Y = 4763038 da X = 0270432, Y = 4763037.

ც ვ ო ბ ა

ინფორმაცია მდინარე ენგურზე ხუდონის კაშხლის საპროექტო კვლევაში აღებული
წყლის სინჯის ლაბორატორიული გამოკვლევის შედეგებ

№	ნიმუშის აღების თარიღი	ნიმუშის აღების კოორდინატები	ნიმუშის რაოდენობა (ლიტრი)	ფრაქციის რაოდენობა (გრ/მლ)	1 კუბ.მ - ში ფრაქციის რაოდენობა (კგ)
1	2	3	4	5	6
1	28/02/2012	X = 0267983 Y = 4757922	1,0	0,11	0,11
2	28/02/2012	X = 0268019 Y = 4757911	1,0	0,12	0,12
3	28/02/2012	X = 0271289 Y = 4760149	1,0	0,14	0,14

ვარემოს დაცვის კოცენტრის დირექტორი
ტყეპის მენეჯერებთან დოქტორი,
პროფესორი



ბივი ბავარდაშვილი

ვარემოს დაცვის კოცენტრის
სამეცნიერო-კვლევითი ჯგუფის
ხელმძღვანელი, ტყეპის აკადემიური
დოქტორი, ასისტენტ პროფესორი

გოგა ჩახაია

ც ნ ტ ბ ა

ინფორმაცია მდინარე ენგურზე ხუდონის კაშხლის საპროექტო კვლევაში აღებული წყლის სინჯის ლაბორატორიული გამოკვლევის შედეგებზე

№	ნიმუშის აღების თარიღი	ნიმუშის აღების კოორდინატები	ნიმუშის რაოდენობა (ლიტრი)	ფრაქციის რაოდენობა (გრ/მლ)	1 კუბ.მ - ში ფრაქციის რაოდენობა (კგ)
	2	3	4	5	6
1	10/07/2012	X = 0267983 Y = 4757922	1,0	1,06	1,06
2	10/07/2012	X = 0268019 Y = 4757911	1,0	1,20	1,20
3	10/07/2012	X = 0271289 Y = 4760149	1,0	1,35	1,35

გარემოს დაცვის ეკოცენტრის დირექტორი
ტყეხიკის მეცნიერებათა დოქტორი,
პროფესორი



გივი ბაგარდაშვილი

გარემოს დაცვის ეკოცენტრის
სამეცნიერო-კვლევითი ჯგუფის
ხელმძღვანელი, ტყეხიკის აკადემიური
დოქტორი, ასისტენტ პროფესორი

ზ. ჯ. ჯ.

გოგა ჩახაია