

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნიკა აბელაშვილი

ლაბორატორიათაშორისი შედარების საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური  
მოდელის დამუშავება, გამოკვლევა და გამოცდის მეთოდის შექმნა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მართვის სისტემები, ავტომატიზაცია  
და ტესტ-ინჟინერინგი  
შიფრი 0403

თბილისი 0175, საქართველო  
„-----“, 2018 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ნიკა აბელაშვილის

მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით:  
**ლაბორატორიათაშორისი შედარების საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური  
მოდელის დამუშავება, გამოკვლევა და გამოცდის მეთოდის შექმნა**

და ვაძლევთ რეკომენდაციას -----

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას -----

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

თარიღი „-----“ „-----“, 2018 წელი

ხელმძღვანელი ზაალ აზმაიფარაშვილი

რეცენზენტი -----

რეცენზენტი -----



## რეზიუმე

საქართველოში ბოლო დროს განვითარებულმა ეკონომიკური და პოლიტიკური ინტეგრაციის პროცესებმა მნიშვნელოვნად დააჩქარა, განვითარებული ევროპული და მსოფლიო თანამეგობრობის სხვა ქვეყნების სივრცეში ქვეყანაში მოქმედი საკანონმდებლო და სხვა სახის, მათ შორის ეკონომიკური და სავაჭრო მარეგულირებელი დოკუმენტების ჰარმონიზაციის მოთხოვნა. ამის ნათელი დადასტურებაა საქართველოსა და ევროკავშირის წევრ სახელმწიფოებს შორის ხელმოწერილი ასოცირების ხელშეკრულება. ამ ხელშეკრულების მეოთხე კარის მესამე თავი ტექნიკური ბარიერები ვაჭრობაში მიძღვნილია სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიის, აკრედიტაციისა და შესაბამისობის შეფასებასთან დაკავშირებული საკითხების ურთიერთ ჰარმონიზაციისადმი. ხელშეკრულების მიხედვით ორმხრივი თანამშრომლობის ფარგლებში უნდა შექმნან პირობები „საქართველოში სტანდარტიზაციის, მეტროლოგიის, აკრედიტაციის, შესაბამისობის შეფასებისა და ბაზრის ზედამხედველობის სისტემისათვის ხარისხის ინფრასტრუქტურის განვითარების სტიმულირებისათვის“. გარდა ამისა ხელშეკრულება ავალდებულებს საქართველოს, რომ:

- საკუთარი პრიორიტეტების გათვალისწინებით, ეტაპობრივად დაუახლოვოს საკუთარი კანონმდებლობა ევროკავშირის მხარის შესაბამის კანონმდებლობას;

- მიაღწიოს და შეინარჩუნოს ადმინისტრაციული და ინსტიტუციონალური ეფექტიანობის იმ დონეს, რომელიც საჭიროა ქმედუნარიანი და გამჭვირვალე სისტემის უზრუნველსაყოფად.

- ეტაპობრივად მიიღოს ევროპული (EN) სტანდარტების ნაკრები ეროვნულ სტანდარტებად, ჰარმონიზებული ევროპული სტანდარტების ჩათვლით, რომელთა ნებაყოფლობითი გამოყენება იძლევა საქართველოს კანონმდებლობაში გადმოტანილი ევროკავშირის კანონმდებლობასთან შესაბამისობის პრეზუმფციას.

მიზანი, რომელიც საქართველოს პოლიტიკური და ეკონომიკური განვითარების სტრატეგიითაა ნაკარნახევი ნათლადაა ჩამოყალიბებული ამ ხელშეკრულების ფარგლებში, სადაც როგორც ვნახეთ, მეტროლოგიას, სტანდარტიზაციას, აკრედიტაციისა და შესაბამისობის შეფასებასთან დაკავშირებულ საკითხებს ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი როლი განეკუთვნება. აღნიშნულ სფეროში გადასაჭრელ ამოცანათა ჯგუფიდან ჩვენს მიერ გამოყოფილი საკითხი „ლაბორატორიათაშორისი შედარების საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური მოდელის დამუშავება, გამოკვლევა და გამოცდის მეთოდის შექმნა“ სრულად პასუხობს, როგორც ევროკავშირის მოთხოვნას ჰარმონიზებული ინფრასტრუქტურების შექმნასთან დაკავშირებით, ასევე აქტუალურია საქართველოში აღნიშნული მიმართულების განვითარებისა და როგორც შედეგი ამ სფეროში უსაფრთხოების, საიმედოობისა და დაცულობის მაღალი სტანდარტების მიღწევისათვის, რაც საბოლოო ჯამში შესრულებული სამუშაოების ხარისხის გაუმჯობესებაში აისახება.

ექსპერიმენტული შემოწმების მიზნებს სრულად გადმოგვცემენ ISO/IEC 17043:2013, ISO 5725-3:1994 სტანდარტები, რომლთა მიხედვითაც ლაბორატორიების შემოწმების შედეგი - „ლაბორატორიის შედეგის წანაცვლება“ შესაძლებელია შეფასებული იყოს შედარების ნიმუშებზე გაზომვების ჩატარების გზით ამ სტანდარტებში მოცემული პროგრამებისა და პროცედურების მიხედვით.

საკვალიფიკაციო ტესტირების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისას მიღებული შედეგების მიმართ გამოყენებული შეფასების კრიტერიუმები რომლებიც ISO 13528-2010 „სტატისტიკური მეთოდები. კომპეტენტურობაზე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმებისას გამოყენებული ლაბორატორიათაშორისი შედარებითი გამოცდებით მიღებული შედეგებისათვის“ სტანდარტითაა მოცემული, საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ სახიფათო სიტუაციები და წინასწარ მივიღოთ გამაფრთხილებელი ღონისძიებები მათ აღმოსაფხვრელად.

ნაშრომში განხილულია კრიტერიუმები რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს შერჩეული საგამოცდო პროგრამის მიხედვით ლაბორატორიათაშორის შედარების საკონტროლო ნიმუში. ასევე გამოცდებში მონაწილე ლაბორატორიების მიერ მიღებული შედეგების შეფასების კრიტერიუმები. განხილულია რეალური მაგალითები ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების შედეგების შეფასებებზე, როგორც დადებითი ასევე უარყოფითი შედეგების მქონე ლაბორატორიებისათვის. ასეთი ლაბორატორიებისათვის მოცემულია შედეგების ანალიზისა და პრევენციულ ღონისძიებათა ჩატარების სარეკომენდაციო საკითხები.

კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების სფეროდ ლაბორატორიათაშორისი გამოცდებისათვის შერჩეულია ელექტრული პარამეტრები, კარძოდ საკონტროლო ობიექტს დამცავი დამიწების საკონტროლო ნიმუში წარმოადგენს. ნაშრომში განხილულია დამიწების პროცესის ფიზიკური არსი, მოცემულია მათი ძირითადი მახასიათებლები სხვადასხვა გავლენის ფაქტორების (ნიადაგის სტრუქტურა, შემადგენლობა, მარილების კონცენტრაცია, ტენიანობა და ტემპერატურა) ზემოქმედების პირობებში, ასევე ელექტროდების მასალასა და მათ გეომეტრიულ ზომებზე დამოკიდებულებით. აქვე მოყვანილია დამიწების წინააღმდეგობის გამოთვლის ნომოგრამა. დისერტაციაში ასევე განხილულია დამცავი წინააღმდეგობის გაზომვის პრინციპები, მეთოდები და პროცედურები. ნაჩვენებია ეფექტური წინააღმდეგობის გადაფარვის და არ გადაფარვის ზონების გავლენა გაზომვის შედეგზე, ნაჩვენებია დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვის 62%-იან მეთოდი. განხილულია დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვის აპარატურა და მათი ჩართვის სქემები. აქვე განიხილება დამიწების წინააღმდეგობის შემცირების ეფექტური მეთოდები და ნაჩვენებია ელექტროდების გრუნტში ჩაშვების სიღრმის, მათი რაოდენობის და ქიმიური დამუშავების გავლენის მახასიათებლები წინააღმდეგობის მნიშვნელობაზე.

განხილული საკითხების გათვალისწინებით, ღია გრუნტში შეიქმნა დამცავი დამიწების კონტური და მისი მეტროლოგიური პარამეტრების აღწარმოებადობის, განმეორებადობის და მონაცემთა ერთგვაროვნების

მახასიათებლების გამოსაკვლევად ერთი დღის განმავლობაში, ხუთი სხვადასხვა ტიპის გამზომი ხელსაწყოთი ჩატარდა ექსპერიმენტების 3 სერია (სერიების ხანგრძლივობა 0,5 სთ, სერიებს შორის ინტერვალი 1,5 სთ.), რამაც საშუალება მოგვცა მიგველო ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები:

- a. გაზომვათა ერთგვაროვნების კრიტერიუმის შესაფასებლად;
- b. მონაცემები სტაბილურობის კრიტერიუმის დასადგენად;
- c. მონაცემები აღწარმოებადობის პარამეტრის შესაფასებლად;
- d. მონაცემები განმეორებადობის პარამეტრის შესაფასებლად;

ექსპერიმენტებით მიღებულმა შედეგებმა დააკმაყოფილა საკონტროლო ნიმუშისადმი წაყენებული კრიტერიუმის მოთხოვნები, რამაც უფლება მოგვცა კონტური გამოგვეყენებინა ლაბორატორიათაშორისი გამოცდებისათვის საკონტროლო ნიმუშად.

ევროკავშირის პროგრამით ესპანეთის სტანდარტიზაციისა და სერტიფიკაციის (AENOR)-ის, საფრანგეთის ექსპერტიზის საერთაშორისო კონსულტანტების (SL ACE, Expertise France), და გაერთიანებული სამეფოს აკრედიტაციის სამსახური (UKAS)-ის ერთობლივად განხორციელებული პროექტით სსიპ აკრედიტაციის ერთიან ეროვნულ ორგანო - აკრედიტაციის ცენტრთან და ტექნიკური უნივერსიტეტის მეტროლოგიის, სერტიფიკაციის და სტანდარტიზაციის სამეცნიერო ცენტრთან თანამშრომლობით, საქართველოში 2016 წლის 22 დეკემბერს ჩატარდა საკვალიფიკაციო პროფესიული ტესტირება (ლაბორატორიათაშორისი გამოცდა) ელექტრული გაზომვების სფეროში კერძოდ დამიწების წინააღობის გაზომვის კუთხით, რომელსაც ამ სფეროში აკრედიტებული 15 ლაბორატორია გამოეხმაურა. ლაბორატორიებს დაეგზავნათ პროფესიული ტესტირების პროგრამა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის პროგრამა EN ISO / IEC 17043: 2010-სა და ISO 13528: 2010 მიხედვით ასევე მონაწილეთა მონაცემების შეფასების წესი, რაც რობასტული საშუალოს გამოთვლის მეთოდით შეფასებას გულისხმობდა z და  $\xi$ -კოეფიციენტების კრიტერიუმების გამოყენებით.

მიღებული შედეგების მიხედვით მომზადდა დასკვნა კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების შესახებ, რაც ერთობლივ სხდომაზე იქნა წარმოდგენილი და დასკვნის სახით გადაეცა თითოეულ ლაბორატორიას.

საკონტროლო ნიმუშზე დაკვირვებამ გამოავლინა მისი მახასიათებლების არასტაბილურობა გრძელვადიან შუალედში, რაც გარე ზემოქმედების ფაქტორების გავლენით იყო გამოწვეული, ამის გამო დღის წესრიგში დადგა დამიწების წინააღობის საკონტროლო ლაბორატორიული დანადგარის შექმნის, დამზადებისა და გამოკვლევის აუცილებლობის საკითხი.

სადისერტაციო ნაშრომში წარმოდგენილია მსგავსების თეორიაზე დაფუძნებული ლაბორატორიული ფიზიკური მოდელის შექმნის თეორიული დასაბუთება ელექტრული აბაზანის ბაზაზე. თეორიულად აღწერილი, პრაქტიკულად აგებული და ექსპერიმენტული კვლევებით დადგენილია აბაზანაში და რეალურ გრუნტში მიმდინარე პროცესების ურთიერთ ადეკვატურობა, შექმნილია, დამზადებული და გამოცდილია დამიწების წინააღობის გამზომი დანადგარის როგორც ანალოგური ასევე კომპიუტერული საზომი საშუალების საცდელი ნიმუშები. საზომი საშუალებები და საკონტროლო

ნიმუში დაკალიბრებულია, რაც მისი პარამეტრების სტაბილურობის გარანტიას იძლევა.

ნაშრომში წარმოდგენილია ავტორის მიერ შექმნილი გაზომვის შედეგების სტატისტიკური დამუშავებისა და A და B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამა LabVIEW პროგრამული უზრუნველყოფის სივრცეში. პროგრამა ასევე ითვალისწინებს კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის შედეგების ავტომატურ დამუშავებას 15 მომწილე ლაბორატორიისათვის, მათი შეფასების კრიტერიუმების დადგენასა და საერთო შედეგების წარმოდგენას გრაფიკული და ციფრული ფორმით.

## Abstract

The recent economic and political integration processes in Georgia have significantly accelerated the harmonization requirements of legislative, and other forms of economic and trade regulatory documents active in the country, in the area of developed European and other Commonwealth countries. The clear confirmation of the mentioned is the Association Agreement between Georgia and EU Member States. The third chapter of the fourth article of this Agreement - the technical barriers to trade is dedicated to standardization, metrology, accreditation and the mutual harmonization of issues related to conformity assessment. According to the Agreement, within the frames of bilateral cooperation they must create conditions for "stimulation of infrastructure quality development for standardization, metrology, accreditation, conformity assessment and market supervision system in Georgia". In addition to this, the Agreement obliges Georgia to:

- To make its own legislation closer to the relevant EU legislation step by step, considering its own priorities,;
- To achieve and maintain the level of administrative and institutional efficiency required to ensure a capable and transparent system.
- To gradually adopt European (EN) set of standards as national standards, including harmonized European standards, voluntary use of which gives the presumption of compliance of EU legislation brought to Georgian legislation.

The goal, which is dictated by the political and economic development strategy of Georgia, is clearly established within this agreement, where, as we have found, one of the most important roles is taken by issues related to metrology, standardization, accreditation and conformity assessment. The issue separated by us out of group of tasks to be solved in the mentioned field - "interlaboratory comparison, a control sample of a physical model of development, research and creation of testing methods" fully meets the requirements of EU harmonized infrastructure, and it is also relevant for the development of mentioned directions in Georgia and as a result for achieving of high standards in security, reliability and safety, which will ultimately be reflected in the improvement of quality of the performed work.

ISO / IEC 17043: 2013, ISO 5725-3: 1994 Standards fully share aims of experimental checking on the basis of which the laboratory examination results - "changing places of the laboratory results" can be assessed by measuring of the comparison samples according to the programs and procedures provided in these standards.

Evaluation criteria applied to the results obtained during the interlaboratory examinations of qualification testing which are ISO 13528-2010 "Statistical Methods. For the results obtained through the interlaboratory comparative test used during the experimental examination of the qualification of competency are given by means of standards, allowing us to identify dangerous situations and to take warning measures in advance to eliminate them. These criteria which, according to the selected examination program should be met by the control pattern of



interlaboratory comparison are reviewed in the present work. As well as assessment criteria of results obtained by laboratories participated in the examination. The real examples on the basis of interlaboratory examination results are considered for laboratories with both, positive and negative results. The recommendation issues for analysis of results and preventive measures are given for such laboratories.

Electricity parameters are selected for interlaboratory testing as the field of experimental checking of competency, in particular the control object is represented by protective grounding control sample. The work deals with the physical essence of the process of grounding, here are the main characteristics of them in the condition of different influencing factors (soil structure, composition, concentration of salt, moisture and temperature), also the electrode material and its geometric sizes. Here is also mentioned the nomogram calculating grounding resistance. The dissertation also discusses the principles, methods and procedures of protective resistance measuring. The impact of covering and non-covering zones of effective resistance on measuring results is shown herein, 62% method of measuring of the grounding resistance. The equipment of measuring the grounding resistance and their switching on systems are discussed. Here are some of the effective methods of reduction of grounding resistance, and the characteristics of the depth of insertion of the electrodes into the soil, their quantity and the characteristics of chemical processing impact on resistance index.

Considering the issues discussed, the protective grounding contour has been created in the soil and for the purposes of researching of the characteristics of ability to produce, periodicity and characteristics of homogeneity of data of its metrological parameters, during one day 3 series of experiments were conducted by means of five different measuring equipment (duration of series 0.5 hr., interval between series 1.5 hr.), which gave us the opportunity to gain the results of experimental research:

- a. Measuring for assessment of criteria of homogeneity;
- b. Data for determination of stability criteria;
- c. Data for assessment of parameter of ability to produce;
- d. Data for assessment of parameter of periodicity;

The results obtained by the experiments satisfied the criterion requirements for the control sample, which allowed us to use the contour as a control sample for interlaboratory examinations.

Under the joint program conducted by the Spanish Standardization and Certification (AENOR), the International Consultants of Expertise of France (SL ACE, Expertise France), and the United Kingdom Accreditation Service (UKAS), LEPL Accreditation Joint National Authority, in collaboration with Accreditation Center and Technical University Metrology, Certification and Standardization Research Center, on 22th of December, 2016 the professional qualification testing (interlaboratory test) in the field of electrical measurement, particularly in terms of measuring of grounding resistance which was responded by 15 accredited laboratories. The laboratories were sent the program of professional testing and the program presenting the measurement results according to the EN ISO / IEC 17043: 2010 and ISO 13528: 2010 also the rules of assessment of participants' data which

implored the assessment by method of calculation of robust average number with the use of  $z$  and  $\xi$ -coefficients criteria.

Based on the results obtained, the conclusion on the interlaboratory examination of the qualification experimental assessment has been prepared which was presented at the joint session and was submitted to each laboratory in the face of a conclusion.

The observation on the control sample showed the instability of its characteristics in the long term, which was caused by the influence of external influences, due to this the issue has been submitted on the agenda for the purposes of creation, preparation and examination of the laboratory plant controlling the grounding resistance.

In the dissertation is presented the theoretical justification of the creation of a laboratory physical model on the base of electric bathroom based on the theory of similarity. The mutual adequacy in the bathroom and the in actual soil is theoretically described, practically built and experimentally studied, the experimental patterns of both analogical and computer measurement means of grounding resistance measurement plant are created, designed and tested. Measuring means and control pattern are calibrated, which guarantees the stability of its parameters.

In the work the program of statistical processing of measurement results and A and B type indefinitely calculation program created by the author in the area of LabVIEW software are presented. The program also envisages automated processing of interlaboratory examination results of the qualification experimental assessment for 15 participant laboratories, determination of their assessment criteria and presentation of common results in graphic and digital form.

## შ ი ნ ა ა რ ს ი

შ ე ს ა ვ ა ლ ი.....	18
<b>თავი 1. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების     ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების როლი ლაბორატორიების     კომპეტენტურობის დადგენაში.....</b>	<b>25</b>
1.1. საგამოცდო და დასაკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შემოწმება .....	25
1.1.1. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდები როგორც ლაბორატორიის კომპეტენტურობის დადგენის საშუალება .....	26
1.1.2. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების ორგანიზაცია და მოთხოვნები საკონტროლო ნიმუშისადმი .....	31
1.1.3. ლაბორატორიების კომპეტენტურობის შეფასების კრიტერიუმები.....	33
1.2. ზოგადი ცნობები დამცავი დამიწების შესახებ.....	42
1.2.1. დამიწების პროცესის ფიზიკური არსი და განსაზღვრებები.....	42
1.2.2. დამიწების წინააღობის გაზომვის პრინციპები , მეთოდები და პროცედურები .....	48
1.2.3. დამიწების წინააღობის გაზომვის აპარატურა .....	53
1.2.4. დამიწების წინააღობის შემცირების ეფექტური მეთოდები .....	57
<b>თავი 2. დამცავი დამიწების კონტურის საკონტროლო ნიმუშის მოწყობა ღია     გრუნტში .....</b>	<b>62</b>
2.1. ღია გრუნტში მოწყობილი დამცავი დამიწების კონტურის საკონტროლო ნიმუშის აღწარმოებადობის, განმეორებადობის და მონაცემთა ერთგვაროვნების მახასიათებლების გამოკვლევა.....	65
2.1.1. დამიწების საკონტროლო ნიმუშის გამოკვლევა დამცავი დამიწების საზომი ხელსაწყოს M-416-ის გამოყენებით .....	69
2.1.2. დამიწების წინააღობის გაზომვა რეოქორდული ბოგირის P38-ის გამოყენებით .....	73
2.1.3. დამიწების წინააღობის გაზომვა FLUKE 1623-2 საშუალებით.....	76
2.1.4. დამიწების წინააღობის გაზომვა FLUKE 1623-2 საშუალებით (მარწუხის რეჟიმი) .....	78
2.1.5. დამიწების წინააღობის გაზომვა LabVIEW DAQ სისტემით .....	81
2.2. ღია გრუნტში მოწყობილ საკონტროლო ნიმუშზე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის ჩატარების ორგანიზაცია და შედეგები .....	87
<b>თავი 3. დამიწების ფიზიკური და მათემატიკური მოდელები.....</b>	<b>94</b>
3.1. დამიწების ელექტროდების ელექტრული ველის მათემატიკური და ფიზიკური მოდელირება ელექტრულ აბაზანაში .....	95
3.2. დამცავი დამიწების ლშგ-ის საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური მოდელის რეალიზაცია მსგავსების თეორიის საშუალებით .....	108
3.2.1. დამამიწებლების მოდელირება მსგავსების თეორიის საშუალებით ..	116
<b>თავი 4. დამიწების წინააღობის კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების     ლაბორატორიული დანადგარი.....</b>	<b>123</b>
4.1. დამიწების წინააღობის საკონტროლო ლაბორატორიული დანადგარის შექმნა, აღწერა და გამოკვლევა .....	125

4.2. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების დამიწების წინააღობის საკონტროლო ნიმუში. გამოცდისა და კალიბრების შედეგები .....	138
4.3. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდებისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა LabVIEW გარემოში .....	146
დასკვნები .....	153
გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა .....	154

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1 კუთრი წინაღობის მნიშვნელობები სხვადასხვა ტიპის ნიადაგებისთვის. ....	45
ცხრილი 2 ინგლისურ-ამერიკულ ერთეულების შესაბამისობა SI ერთეულებთან. ....	53
ცხრილი 3 ელექტროდის დიამეტრის წინაღობაზე დამოკიდებულების შედეგები სხვადასხვა ლაბორატორიებისათვის .....	58
ცხრილი 4 გაზომვათა სერია M-416 ტიპის ხელსაწყოთი. ....	70
ცხრილი 5 დაკვირვების 10 სერიის განუსაზღვრელობები.....	71
ცხრილი 6 P38 ხელსაწყოს დაკვირვებების 10 სერიის შედეგები .....	74
ცხრილი 7 დაკვირვებების 10 სერიის განუსაზღვრელობები .....	75
ცხრილი 8 FLUKE 16233-2 დაკვირვებათა შედეგები გაზომვათა ათი სერიისათვის.....	76
ცხრილი 9 FLUKE 1623-2 ხელსაწყოს საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობები.....	77
ცხრილი 10 FLUKE 1623-2 (მარწუხის რეჟიმი) გაზომვის შედეგები. ....	79
ცხრილი 11 საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობების მონაცემები.....	80
ცხრილი 12 LabVIEW DAQ სისტემით 10 სერიის გაზომვის მონაცემები. ....	82
ცხრილი 13 საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობის მონაცემები.....	83
ცხრილი 14 ხუთი საზომი საშუალებით გაზომილი შედეგები.....	85
ცხრილი 15 ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების შედეგები.....	90
ცხრილი 16 მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების შედეგები.....	91
ცხრილი 17 წინაღობის გაზომვის შედეგები.....	93
ცხრილი 18 გრუნტის სხვადასხვა პარამეტრების მნიშვნელობები გარემოსა და წყლიანი ავზისათვის.....	119
ცხრილი 19 გამოკვლევა ჰორიზონტალურ ელექტროდებიანი მოწყობილობით. ....	132
ცხრილი 20 გამოკვლევა ვერტიკალურ ელექტროდებიანი მოწყობილობით. ....	133
ცხრილი 21 სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებში წინაღობისა და გამტარობის მნიშვნელობები.....	134
ცხრილი 22 UT-522 და LabVIEW DAQ შედარებითი გამოცდის მონაცემები .....	143

ცხრილი 23 კალიბრების სერტიფიკატის მონაცემები. ....	143
ცხრილი 24 UT-522 და LabVIEW DAQ გაზომვის შედეგები შედარებისათვის .....	145

სურათების ნუსხა

სურ. 1 სტატისტიკური მეთოდების გამოყენების ბლოკ-სქემა .....27

სურ. 2.დამიწების ღეროს წინაღობის მდგენელები .....43

სურ. 3 ელექტროდის დიამეტრის დამოკიდებულება დამიწების წინაღობაზე  
.....44

სურ. 4 დამიწების წინაღობის დამოკიდებულება ელექტროდის სიგრძეზე.44

სურ. 5 კუთრი წინაღობის დამოკიდებულება ტენიანობისაგან.....45

სურ. 6კუთრი წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.....46

სურ. 7 წყლის მილის დამიწების წინაღობის სეზონური ცვლილება .....46

სურ. 8 დამიწების წინაღობის დამოკიდებულება ნიადაგში მარილების  
კონცენტრაციისგან .....47

სურ. 9 დამიწების წინაღობის გამოთვლის ნომოგრამა .....48

სურ. 10 დამიწების წინაღობის 3 წერტილიანი გამზომი სისტემის  
პრინციპული სქემა .....49

სურ. 11 ეფექტური წინაღობის ზონების გადაფარვის ილუსტრირებისათვის  
.....50

სურ. 12 . ეფექტური წინაღობის ზონების არ გადაფარვის  
ილუსტრირებისათვის .....50

სურ. 13 დამიწების წინაღობის გაზომვის 62%-იან მეთოდი .....51

სურ. 14 62% გაზომვის მეთოდი ეფექტური ზონების გადაფარვის  
შემთხვევაში.....52

სურ. 15. 62% გაზომვის მეთოდი ეფექტური ზონების არ გადაფარვის  
შემთხვევაში.....52

სურ. 16 დამიწების გამტარის გამტარობის გაზომვა .....54

სურ. 17 ორ წერტილიანი გაზომვის მეთოდი.....54

სურ. 18 გრუნტის კუთრი წინაღობის გაზომვის ოთხ წერტილიანი სქემა ....55

სურ. 19 დამიწების კონტურის წინაღობის მარწუხით გაზომვის სქემა .....56

სურ. 20 მარწუხით გაზომვის ექვივალენტური სქემა .....56

სურ. 21 დამიწების წინაღობის ცვლილება ჩაშვების სიღრმისგან  
დამოკიდებულებით.....57

სურ. 22 დამიწების წინაღობის დამოკიდებულება ელექტროდის  
დიამეტრზე.....59

სურ. 23 დამიწების ელექტროდების რაოდენობის გავლენა ჯამურ  
წინაღობაზე.....59

სურ. 24 დამიწების წინაღობის მნიშვნელობა სეზონურობის მიხედვით .....60

სურ. 25 ელექტროლიტური დამიწების მოწყობილობა .....60

სურ. 26. ელექტროდის სამონტაჟო სქემა და მონტაჟის თანმიმდევრობა .....64

სურ. 27 დამიწების გამტარის განლაგება გრუნტში.....64

სურ. 28 ლშგ-ს საკონტროლო ნიმუშის ორ კონტურიანი დამიწების სქემა...65

სურ. 29 დამიწების წინაღობის გაზომვა M-416 ტიპის ხელსაწყოთი .....69

სურ. 30 რეოქორდული ბოგირის P38-ის წინა პანელისა და გაზომვის  
პრინციპული სქემა .....73

სურ. 31დამიწების წინაღობის გაზომვის პრინციპული სქემა,.....81

სურ. 32 კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორის გამოცდის მიმდინარეობის პროცესი .....	89
სურ. 33 მონაწილე ლაბორატორიების.....	92
სურ. 34 მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები $\zeta$ -score კრიტერიუმის მიხედვით.....	92
სურ. 35 დამამიწებელი ელექტროდებიდან აბაზანის კედლებამდე გაჟონვის დენის გამტარობის (წინაღობის) გამოთვლის თეორიული ინტერპრეტაცია .....	96
სურ. 36 ამოცანათა სამი ტიპი გამტარობის (წინაღობის) გამოსათვლელი სქემისათვის. ა. ღეროსა და აბაზანის კედელს შორის; ბ. ორ შეერთებულ ღეროსა და აბაზანას შორის; გ. ორ ღეროს შორის. ....	97
სურ. 37 სუპერ კოზიციის პრინციპისათვის .....	98
სურ. 38 პოტენციური კოეფიციენტების $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{22}$ გამოთვლისათვის .....	100
სურ. 39 სარკული ასახვით განსაზღვრული, სფერული დამამიწებელის....	104
სურ. 40 ღეროს ფორმის დამამიწებელი, როგორც სფერული დამამიწებლების ნაკრები (სადაც $0 < Z_0 < 1$ ).....	104
სურ. 41 ღეროვანი დამამიწებელის ელექტრო სტატიკური ველი .....	106
სურ. 42 ძაბვის ცვლილება გრუნტის ზედაპირზე ღეროს სიგრძის ცვლილებისას.....	106
სურ. 43 ბიჯური ძაბვის ცვლილება დამამიწებელიდან დაშორებისას.....	107
სურ. 44 ძაბვის ცვლილება გრუნტის ზედაპირზე ღეროს სიგრძის და დიამეტრის ცვლილებისას.....	107
სურ. 45 მექანიკური კვანძისა (ა) და მისი ელექტრულით (ბ) ჩანაცვლების სქემა .....	109
სურ. 46 . ელექტრო-ჰიდროდინამიკური მოდელი.....	111
სურ. 47 . სუსტი გამტარობის გარემოში ორ ელექტროდს შორის დენის გაჟონვის მოდელირებული ველი .....	111
სურ. 48 ელექტრო-ჰიდროდინამიკური მოდელის გარდამავალი.....	112
სურ. 49 მსგავსებისა და მოდელირების მეთოდების კლასიფიკაცია .....	113
სურ. 50 დამცავი დამიწების წინაღობის გაზომვის სამ ელექტროდიანი სქემა.....	121
სურ. 51. ა. გრუნტის ტენიანობის; ბ. ნიადაგის ტემპერატურის; გ. დამიწების წინაღობის მონიტორინგის შედეგები .....	124
სურ. 52. ელექტრული ავზის პრინციპული სქემა.....	125
სურ. 53 დამიწების ფიზიკური მოდელი - ელექტრული აბაზანა.....	126
სურ. 54 კუთრი ელექტროგამტარობის გასაზომიმი მოწყობილობების პრინციპული სქემა. ა. ჰორიზონტალური ბ. ვერტიკალური ელექტროდებით .....	128
სურ. 55 გამტარობის საზომი მოწყობილობები.....	129
სურ. 56 გაჟონვის დენის მიმართ, $R_{ab}$ , წინაღობის გაზომვის ბოგირული სქემა .....	130
სურ. 57 წყლის (ელექტროლიტის) გამტარობის გაზომვის პრინციპული სქემა და გაზომვის პროცესი.....	131



სურ. 58 დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვა M-416 და UT 522 ხელსაწყოებით.	134
სურ. 59 ელექტროლიტის გამტარობის ( $\gamma$ ) და წინააღმდეგობის ( $R$ ) დამოკიდებულება ხსნარის კონცენტრაციისგან.....	135
სურ. 60 ხსნარის წინააღმდეგობის დამოკიდებულება ელექტროდის დიამეტრისგან სხვადასხვა გამტარობის ხსნარებისათვის 1. $\gamma_1=0,0095$ , 2. $\gamma_2=0,0165$ , 3. $\gamma_3=0,034$ , 4. $\gamma_4=0,05$ , 5. $\gamma_5=0,278$ , 6. $\gamma_6=0,285$ .....	136
სურ. 61 გაჟონვის დენის დამოკიდებულება ელექტროდის სიგრძის მნიშვნელობაზე. სხვადასხვა გამტარობის ხსნარებისათვის 1. $\gamma_1=0,0095$ , 2. $\gamma_2=0,0165$ , 3. $\gamma_3=0,034$ , 4. $\gamma_4=0,05$ , 5. $\gamma_5=0,278$ , 6. $\gamma_6=0,285$ .....	136
სურ. 62 წინააღმდეგობის გაზომვითი მნიშვნელობის დამოკიდებულება ელექტროდების მასალისაგან. 1. სპილენძი; 2. თითბერი; 3. ალუმინი; 4. ფოლადი.....	137
სურ. 63 გაზომვითი წინააღმდეგობის დამოკიდებულება ელექტროდების მასალაზე ექსპერიმენტის მრავალჯერადი გამეორებისას. 1. თითბერი; 2. ალუმინი.....	138
სურ. 64 ლაბორატორიული დანადგარისა და ელექტრული აბაზანის ჩართვის სქემა.....	138
სურ. 65 LabVIEW-ს ბაზაზე შექმნილი გამზომი სქემის წინა პანელი .....	140
სურ. 66 LabVIEW-ს ბაზაზე შექმნილი გამზომი სქემის ბლოკ-დიაგრამა ...	140
სურ. 67 სიგნალის არხის გაწყობა ა. ძაბვის, ბ. დენის გაზომვისათვის.....	141
სურ. 68 ლაბორატორიული დანადგარი სამუშაო რეჟიმში .....	141
სურ. 69 A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი LabVIEW გარემოში.....	148
სურ. 70. A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის ბლოკ-დიაგრამა LabVIEW გარემოში.....	148
სურ. 71 B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი LabVIEW გარემოში.....	149
სურ. 72 B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის ბლოკ-დიაგრამა LabVIEW გარემოში .....	149
სურ. 73 საკვალიფიკაციო ტესტირების პროგრამული უზრუნველყოფის პროვაიდერის გვერდი.....	151
სურ. 74 საკვალიფიკაციო ტესტირებაში მონაწილე ლაბორატორიის გვერდის წინა პანელი.....	152
სურ. 75 საკვალიფიკაციო ტესტირებაში მონაწილე ლაბორატორიის გვერდის ბლოკ-დიაგრამა (ფრაგმენტი).....	152

## შესავალი

დღევანდელობაში მყარად ჩამოყალიბებული მოთხოვნა, მოვლენათა შეფასების სიზუსტის და ადეკვატურობის უზრუნველსაყოფად გაზომვებისა და გამოცდების, როგორც ტექნიკური, სოციალური, საწარმოო და სამეცნიერო კატეგორიის მიმართ, დაფუძნებულია მოვლენათა რაოდენობრივი ანალიზის ფუნდამენტურ მოთხოვნებზე. კერძოდ გაზომვების საიმედოობის, განმეორებადობის, ერთგვაროვნებისა და უტყუარობის კრიტერიუმებზე, რაც XXI საუკუნეში ქვეყნებს შორის ინფორმაციული, პოლიტიკურ თუ ფინანსური ნაკადების ჩამოყალიბების პროცესში განუხრელად ზრდის გაზომვის მონაცემებისადმი პასუხისმგებლობასა და ინტერესს, მითუმეტეს თუ გავითვალისწინებთ ნებისმიერ სფეროში მიმდინარე სწრაფად განვითარებად ტექნოლოგიებს, მნელი იქნება მათი გადაჭარბებით შეფასება.

ქვეყნებს შორის საერთაშორისო ეკონომიკური კავშირები, სამეცნიერო და საწარმოო პოტენციალის განუხრელი ზრდა, საერთაშორისო ვაჭრობისა და ეკონომიკის გაძლიერებული ინტეგრაციის პროცესები, ზოგადად ტექნიკური პროგრესი, ყოველთვის და უპირობოდ დღესაც დიდ მოთხოვნებს უყენებს მოვლენათა რაოდენობრივ ანალიზს, რაც ინფორმაციული ნაკადების ზრდის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს და მასში გაზომვის შედეგების წილი, როგორც მოცულობით ასევე შინაარსობრივადაც მნიშვნელოვანია.

2014 წლის 27 ივნისს, ბრიუსელში, ხელმოწერილი „ასოცირების შესახებ შეთანხმება ერთის მხრივ, ევროკავშირს და ევროპის ატომური ენერჯის გაერთიანებას და მათ წევრ სახელმწიფოებსა და მეორეს მხრივ, საქართველოს შორის“ მე-3-ე თავი „ტექნიკური ბარიერები ვაჭრობაში, სტანდარტიზაცია, მეტროლოგია, აკრედიტაცია და შესაბამისობის შეფასება“ მუხლი 46 „ტექნიკური თანამშრომლობა“ აღნიშნულია, რომ „მხარეებმა უნდა განამტკიცონ თანამშრომლობა სტანდარტების, ტექნიკური რეგლამენტების, მეტროლოგიის, ბაზრის ზედამხედველობის, აკრედიტაციისა და

შესაბამისობის შეფასების სისტემების სფეროში, მხარების შესაბამისი სისტემების უკეთ გაცნობისა და მათ შესაბამის ბაზრებზე დაშვების გაადვილების მიზნით. ამ მიზნიდან გამომდინარე, მათ შეიძლება აწარმოონ რეგულირებასთან დაკავშირებული დიალოგები როგორც ჰორიზონტალურ, ისე სექტორულ დონეებზე“. და ამ თანამშრომლობის საბოლოო მიზანს ამავე ხელშეკრულების 48-ე მუხლის მიხედვით წარმოადგენს შეთანხმებას სამრეწველო პროდუქციის შესაბამისობის შეფასებასა და აღიარებაზე რაც გულისხმობს, „რომ საქართველოს შესაბამისი ჰორიზონტალური და სექტორული კანონმდებლობა, ინსტიტუტები და სტანდარტები სრულად იქნას დაახლოებული ევროკავშირის კანონმდებლობასა და სტანდარტებთან, რომ მხარეებს შორის პროდუქტებით ვაჭრობა იმ სფეროებში, რომლებსაც მოიცავს აღნიშნული შეთანხმება, ხორციელდებოდეს იმავე პირობებში, რომლებიც გამოიყენება ამ პროდუქტებით ვაჭრობისას წევრ სახელმწიფოებს შორის“[1].

საქართველოს მთავრობა ასოცირების შეთანხმებასა და ასოცირების დღის წესრიგს ყოველწლიური ეროვნული სამოქმედო გეგმის საფუძველზე ახორციელებს, რაც ხელს უწყობს საერთაშორისო ვაჭრობაში ტექნიკური ბარიერების აღმოფხვრის თვალსაზრისით საკანონმდებლო მეტროლოგიის, სტანდარტიზაციის, აკრედიტაციისა და შესაბამისობის შეფასების საკითხებს, რისთვისაც აუცილებელია აღნიშნულ სფეროებში ორმხრივი შეხედულებებისა და მიდგომების დაახლოების ტენდენციის გაგრძელება, მათ შორის აკრედიტირებული საგამოცდო და დაკალიბრების ლაბორატორიების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების (ლშგ) ჩატარების ორგანიზებისას საერთაშორისო სტანდარტებით მოთხოვნილი პირობების დასაკმაყოფილებლად.

გამოცდის ან გაზომვის ხარისხის მონიტორინგის, მათ შორის ტექნიკური კომპეტენტურობის დასაბუთების, მიზნით საგამოცდო, დამოწმების, კალიბრების ლაბორატორიებისათვის გამოიყენება ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შემოწმების პროცედურა მათი

დაგეგმვის, ორგანიზებისა და ლაბორატორიათაშორისი შედარების ჩატარების საშუალებით.

ერთი და იგივე სფეროს სხვადასხვა ლაბორატორიების გაზომვის შედეგებში გამოყენებულ საზომ საკონტროლო საშუალებების მახასიათებლების არასტაბილობის, გაზომვის პრინციპებსა და მეთოდებს შორის განსხვავების, ოპერატორების კვალიფიკაციის, გარემო ზემოქმედების ფაქტორების გავლენისა და სხვა მიზეზების გამო შესაძლებელია გაზომვის შედეგებში გარკვეული სახის გაბნევები არსებობდეს. ცალკეული ლაბორატორიების შედეგებში გაბნევის მახასიათებლების ერთგვაროვნებისა და მათი დასაშვებობის კრიტერიუმების დადგენა ლშგ-ს ჩატარების ძირითად მიზანს წარმოადგენს.

ქვეყანაში სულ უფრო მატულობს თანამედროვე ტექნიკური და ტექნოლოგიური საშუალებებით აღჭურვილი საწარმო-ტექნიკური და ტექნოლოგიური დანიშნულების საწარმოთა რაოდენობა, რაც ქვეყნის მსოფლიო მწარმოებლურ ინფრასტრუქტურაში ჩართვის კვალობაზე მოსალოდნელია, რომ კიდევ უფრო გაიზარდოს, ეს კი შესაბამისი დარგების უფრო მეტ ინტეგრაციას და ტექნიკური გადაწყვეტებისადმი მოთხოვნილებებსა და ინტერესებს კიდევ უფრო გაზრდის. ამიტომ მაღალი ტექნოლოგიური ტევადობის მქონე პროექტებში ობიექტის ქცევის წესების, მათი საექსპლუატაციო მახასიათებლების წინასწარი შესწავლა, რეალური ობიექტის ადეკვატური ფიზიკური მოდელირების საშუალებით, ასევე კონტროლისა და მონიტორინგის ოპერაციებზე კვალიფიცირებული კადრების მომზადება უმნიშვნელოვანეს ამოცანათა რიგს განეკუთვნება.

ამ ამოცანის უზრუნველყოფა გასაზომი პარამეტრის სპეციფიკურობის გამო, ყოველთვის ადვილად მიღწევადი ამოცანა არ არის, განსაკუთრებით როდესაც უკვე არსებული ობიექტის მახასიათებლების ფიზიკური მოდელირების ამოცანასთან გვაქვს საქმე. მითუმეტეს როდესაც შეუძლებელია ცალსახად განისაზღვროს გასაზომი სიდიდის საკონტროლო პარამეტრების მნიშვნელობა, მითუმეტეს მისი სერტიფიცირებული

მნიშვნელობა, გარე ზემოქმედების ფაქტორების, მაგალითად ტემპერატურის, წნევის, ტენიანობის, ელექტრული და მაგნიტური ველებისა და სხვა აღმზნები ძალების გავლენის გათვალისწინებით.

ელექტრული პარამეტრების ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების პროცესის, მსგავსების თეორიაზე დაყრდნობით ფიზიკური მოდელირების საკითხებია სადისერტაციო ნაშრომის განსახილველი თემა, რომელიც მიმართულია დაკალიბრებული, ატესტირებული საკონტროლო ნიმუშისა და მონაცემთა დამუშავებისა და შეფასების კრიტერიუმების პროგრამული უზრუნველყოფის შესაქმნელად.

ელექტრული პარამეტრების ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების ჩასატარებლად კალიბრებული, ატესტირებული საკონტროლო ნიმუშის დამუშავება, პროექტირება, დამზადება, ექსპერიმენტული და საექსპლუატაციო კვლევის ეფექტური მეთოდისა და მონაცემთა დამუშავების პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა და დანერგვა სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი სიახლეა.

გაზომვების სფეროში მონაცემთა დამუშავებისა და გაზომვის შედეგების წარმოდგენის ერთიანი ჰარმონიზებული სისტემის დანერგვა ევროკავშირსა და აშშ-სთან თავისუფალი ვაჭრობის შესახებ შეთანხმებისა და ევროკავშირთან ასოცირების ხელშეკრულების ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა, რომელიც გულისხმობს გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასების აუცილებლობას ISO/IEC 17025:2010 და ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასებას ISO/IEC 17043:2013 სტანდარტების მოთხოვნების შესაბამისად საწარმოო ტექნიკური თანამშრომლობის ყველა სფეროში. თავის მხრივ გაზომვის შედეგების დამუშავების აღნიშნული მოთხოვნები კარგი საშუალებაა ფიზიკური მოდელის რეალურ საკონტროლო ნიმუშთან მიახლოების ადეკვატურობის რაოდენობრივი კუთხით დასახასიათებლად. [12,13].

ელექტრული პარამეტრების სფეროში მოქმედი საგამოცდო და საკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასების

პროცესისათვის მსგავსების თეორიის საფუძველზე შექმნილი ფიზიკური მოდელის – საკონტროლო ნიმუშის, პარამეტრების ადეკვატურობის შემოწმება რეალურ ობიექტთან მიმართებაში, მოდელის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევა, დამზადება, გამოცდის მეთოდის შექმნა, დაკალიბრება, ატესტირება და რეკომენდაციის გაცემა მასზე ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების ჩასატარებლად, ასევე მონაცემთა დამუშავებისა და შეფასების კრიტერიუმების პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა წარმოადგეს სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს.

დასახული მიზნების მისაღწევად სამუშაო უნდა ითვალისწინებს შემდეგი ძირითადი ამოცანების გადაწყვეტას:

- ელექტრული პარამეტრების სფეროში მოქმედი გაზომვას/გამოცდას დაქვემდებარებული საგამოცდო და საკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასების პარამეტრებისა და არსებული საკონტროლო ნიმუშების ანალიზს;
- რეალური საკვლევი ობიექტის საკონტროლო პარამეტრების გამოკვლევას აღწარმოებადობის, განმეორებადობისა და ჰომოგენიზაციის კრიტერიუმების დადგენას;
- რეალური საკონტროლო ნიმუშის, მსგავსების თეორიაზე დაფუძნებული, ფიზიკური მოდელის გაანგარიშებას, პროექტირებას, დამზადებასა და ექსპერიმენტულ გამოკვლევას;
- ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების შეფასებას, მოდელის კალიბრებისა და ატესტირების საკითხების გადასაჭრელად, მის მომზადებას ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების საკონტროლო ნიმუშად, მონაცემთა დამუშავების პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნას;
- შექმნილი ფიზიკური მოდელის აპრობაციას, ლაბორატორიათაშორისი კვალიფიკაციის შესამოწმებელი გაზომვების/გამოცდების ჩატარებისას, საკონტროლო კალიბრებული, ატესტირებული ნიმუშის რანგში.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევის ობიექტი, რეალური დამცავი დამიწების ელექტრული სქემაა, მისი ადეკვატური ფიზიკური მოდელით ჩანაცვლების შესაძლებლობით საკონტროლო კალიბრებული, ატესტირებული ნიმუშის რანგში.

ნაშრომში ფიზიკური მოდელის ასაგებად გამოყენებულია მსგავსებისა და ელექტრული ველის თეორიაზე დაფუძნებული გაანგარიშების, პროექტირებისა და შექმნის საკითხები. ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვათა განუსაზღვრელობის შეფასების, LabVIEW გრაფიკული პროგრამირების სივრცეში ვირტუალური მოდელირების, მათემატიკური სტატისტიკის აგრეთვე პროგრამული სტატისტიკური მოდელირების მეთოდები, რომელთა საშუალებითაც დადასტურებულია კვლევის ძირითადი პრინციპები და შედეგები.

სადისერტაციო ნაშრომში დეტალურად განხილული და შესწავლილია ლაბორატორიების კვალიფიკაციის დამადასტურებელი სამუშაოების ჩატარების ტექნოლოგია და ორგანიზაცია, მოთხოვნები, როგორც პროცესში მონაწილე ყველა სუბიექტისადმი ასევე გასაზომი/გამოსაცდელი საკონტროლო ნიმუშისადმი, გაზომვის/გამოცდის სხვადასხვა რეჟიმში.

წარმოდგენილია ელექტრული ველის მაქსველის კანონებსა და ელექტრული წრედის კირხოფის კანონებზე დაფუძნებული საკონტროლო ნიმუშის თეორიული მოდელი და მის საფუძველზე მსგავსების თეორიის გამოყენებით აგებული ფიზიკური მოდელი, რომლის პრაქტიკული რეალიზაციისა და კვლევის შედეგების საფუძველზე დამზადებულია და შემოთავაზებულია კალიბრებული, ატესტირებული მოწყობილობა კვალიფიკაციის შესამოწმებელი ლაბორატორიათაშორისი გაზომვების/გამოცდების ჩასატარებლად.

თითოეული პარამეტრის, სხვადასხვა რეჟიმებისათვის ჩატარებული პირდაპირი მრავალჯერადი გაზომვის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით დადგენილია აღწარმოებადობის,

განმეორებადობისა და ჰომოგენიზაციის კრიტერიუმებთან შესაბამისობა, ცდომილებათა ანალიზისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის მონაცემების მიხედვით.

შემოთავაზებულია ლაბორატორიათაშორისი კვალიფიკაციის შესამოწმებელი გაზომვების/გამოცდების ჩატარების, მიღებულ მონაცემთა დამუშავებისა და შეფასების კრიტერიუმების დადგენის „ონ ლაინ“ პირობებში მუშაობის შესაძლებლობის მქონე პროგრამული უზრუნველყოფა LabVIEW გარემოში, როგორც კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების პროვაიდერის ასევე მონაწილე ლაბორატორიებისათვის;

შესრულებული სამუშაოს შედეგები და რეკომენდაციები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სხვადასხვა სფეროს ლაბორატორიათაშორისი კვალიფიკაციის შესამოწმებელი გაზომვების/გამოცდების სამუშაოთა ორგანიზების, დაგეგმვის, მომზადების და ჩატარებისას. ასევე ნებისმიერი ტიპის საწარმოო დანიშნულების ობიექტზე მოდელისა და რეალური ობიექტის მაქსიმალური ადეკვატურობის უზრუნველსაყოფად მათი პროექტირების, წინასწარი აპრობაციისა და ექსპლუატაციის არა საშტატო პირობების გამოკვლევისას, განსაკუთრებით უწყვეტ ციკლიანი, ძვირადღირებული და გაზომვების ჩატარების შეზღუდული შესაძლებლობის მქონე ობიექტებისათვის.

სადისერტაციო თემის ირგვლივ ნაშრომის ძირითადი შედეგები სხვადასხვა წლებში მოხსენებული და განხილული იქნა 3 საერთაშორისო სამეცნიერო - ტექნიკურ კონფერენციაზე და გამოქვეყნდა 2 სამეცნიერო ჟურნალში, მოხსენდა სემინარებზე.



## **თავი 1. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების როლი ლაბორატორიების კომპეტენტურობის დადგენაში**

ლაბორატორიათაშორისი შედარებითი გამოცდები (ლშგ) ტარდება სტანდარტიზაციის საერთაშორისო ორგანიზაციის ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნით და მათი რეალიზაციისათვის გაწერილი სტანდარტების მიხედვით. ასეთი სახის შემოწმება საგამოცდო და დასაკალიბრებელი ლაბორატორიების ექსპერიმენტული შემოწმების ერთ-ერთი ფორმაა, რომელიც აკრედიტაციისათვის ლაბორატორიების კომპეტენტურობის დასადგენად ან საინსპექციო კონტროლის დროს შეფასების კრიტერიუმებთან შესაბამისობის დასადგენად გამოიყენება.

### **1.1. საგამოცდო და დასაკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შემოწმება**

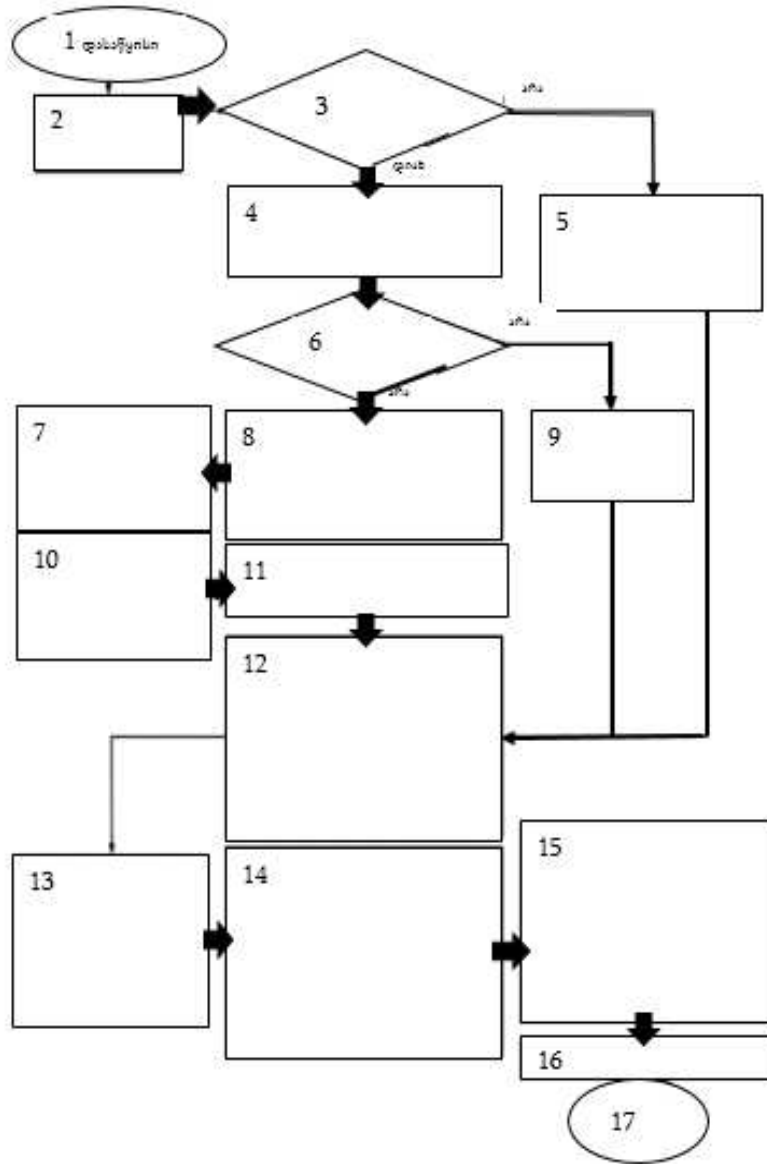
კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების სპეციფიკიდან გამომდინარე განსახილველ და შესაფასებელ საკითხთა არეალი მოიცავს ისეთი საკითხების განხილვის აუცილებლობას, რომელიც დაკავშირებული იქნება ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების აქტუალობის დასაბუთებისა და მათი კომპეტენტურობის გამოვლინების ობიექტურ საშუალებასთან, ასეთი ტიპის გამოცდების ჩატარების ორგანიზაციული და ტექნიკური საკითხების გადაჭრასთან, მათ შორის მოთხოვნებთან, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს საკონტროლო ნიმუში და იმ კრიტერიუმებისა და შეფასებების დადგენასთან, რომელიც საშუალებას მოგვცემს ობიექტურად განისაზღვროს საგამოცდო და დაკალიბრების ლაბორატორიებს კომპეტენცია.

### 1.1.1. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდები როგორც ლაბორატორიის კომპეტენტურობის დადგენის საშუალება

კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმება ლაბორატორიათაშორისი შედარებითი გამოცდების ჩატარების გზით გამოიყენება თითოეული კონკრეტული ლაბორატორიის გამოცდის ან გაზომვის ჩატარების უნარების გამოსაკვლევად, ასევე მათი მუშაობის კონტროლისა და შემოწმებისათვის. ექსპერიმენტული შემოწმების მიზნებს სრულად გადმოგვცემენ ISO/IEC 17043:2013, ISO 5725-3:1994 სტანდარტები, რომელთა მიხედვითაც ლაბორატორიების შემოწმების შედეგი - „ლაბორატორიის შედეგის წანაცვლება“ შესაძლებელია შეფასებული იყოს შედარების ნიმუშებზე გაზომვების ჩატარების გზით ISO 5725-4:1994 მოცემული პროცედურების მიხედვით. ასე, რომ კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმება ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების გზით უზრუნველყოფს ლაბორატორიებს შორის წანაცვლებაზე ხელმისაწვდომი ინფორმაციის მიღების მეთოდს და ის მონაცემთა ანალიზის ჩასატარებელი ინფორმაციის მნიშვნელოვან ნაწილს წარმოადგენს, აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მონაცემთა სტაბილურობა და განმეორებადობა მნიშვნელოვნად განაპირობებს მიღებული შედეგის ხასიათს. სავსებით შესაძლებელია ლაბორატორიისთვის გამოვლენილი წანაცვლება არა ლაბორატორიის მიზეზით, არამედ სწორად განმეორებადობისა და სტაბილურობის არასაკმარისი მაჩვენებლების მიზეზით იყოს გამოწვეული.

სტატისტიკური მეთოდების გამოყენების ბლოკ-სქემა მოცემულია სურ.1., რომელის გამოყენებაც ISO/IEC 17043:2013, ISO 5725-6:1994 სტანდარტებითაა რეკომენდებული.

ISO/IEC 17043:2013 სტანდარტში მოყვანილია კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების სხვადასხვა პროგრამები და მათი გამოყენებისათვის შესაბამისი კომენტარები.



სურ. 1 სტატისტიკური მეთოდების გამოყენების ბლოკ-სქემა

მოცემული ბლოკ-სქემის მიხედვით საკვალიფიკაციო ტესტირების დასაწყისი (პოზ. 1., სურ.1) გულისხმობს ნიმუშის მომზადების ხარისხის კონტროლს ISO 13528 სტანდარტის B დანართის მოთხოვნების მიხედვით (პოზ. 2). აღნიშნული დანართი ეხება ნიმუშის ერთგვაროვნებისა და სტაბილურობის მოთხოვნებს, პროცედურებს და მისი შემოწმების კრიტერიუმებს. [15]

საკვალიფიკაციო ტესტირების პროგრამის განხორციელების საწყის ეტაპზე მნიშვნელოვანია დადგინდეს არსებობს თუ არა საკონტროლო ნიმუშის წინასწარ განსაზღვრული მიწერილი მნიშვნელობის სიდიდე და მისი განუსაზღვრელობა (პოზ. 3). იმისდა მიხედვით ამ კითხვაზე პასუხი დადებითია თუ უარყოფითი ბლოკ-სქემის მიხედვით საკვალიფიკაციო ტესტირებისათვის მზადება უნდა გაგრძელდეს ორიდან ერთ-ერთი მიმართულებით.

1. თუ პასუხი დადებითია ე.ი. წინასწარ განსაზღვრულია მიწერილი მნიშვნელობის სიდიდე და მისი განუსაზღვრელობა გადავდივართ მე-4-ე პოზიციის განხორციელებაზე სადაც ჩამოთვლილთაგან ღებულობენ ერთ-ერთ გადაწყვეტილებას კერძოდ გამოსაყენებლად ირჩევენ ISO 13528 სტანდარტის ერთ-ერთ ქვედანაყოფს

5.2. გამოსაკვლევი მასალის შემადგენლობა;

5.3. ატესტირებული მნიშვნელობა (თუ საკვლევი მასალა სტანდარტული ნიმუშია) ;

5.4. ატესტირებული მნიშვნელობა (თუ საკვლევი მასალა რეფერენტულ ნიმუშს წარმოადგენს).

აქვე „დიახ“ ან „არა“ პასუხის მიხედვით პოზიციაზე გარკვეულია თუა არა ნიმუშის შეფასების სტანდარტული გადახრა საკვალიფიკაციო ტესტირების დაწყებამდე (პოზ. 6) არსებობს ქმედების გაგრძელების ორი შესაძლებლობა როდესაც პასუხი დადებითია და როდესაც პასუხი უარყოფითია. თუ პასუხი არის „დიახ“ გადავდივართ ISO 13528 სტანდარტის ქვემოთ მოყვანილი ერთ-ერთი პარაგრაფის შესრულებაზე (პოზ. 8).

6.2. შერჩევა მიწერილი მნიშვნელობის საფუძველზე;

6.3. შერჩევა სასურველი შედეგის საფუძველზე;

6.4. შერჩევა საერთო მიდელის საფუძველზე;

6.5. პრეციულობაზე ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგების საფუძველზე.

შერჩეული მეთოდის მიხედვით მიწერილი მნიშვნელობის შერჩევის მეთოდის შემოწმება (პოზ. 7) ხორციელდება ISO 13528 სტანდარტის 4.2 პარაგრაფის „მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობის შეზღუდვის რეკომენდაციები) მიხედვით.

პოზ. 3-ის მიხედვით უარყოფითი პასუხის არსებობისას გადავდივართ პოზ. 5-ის შესრულებაზე, რომლის თანახმად საკონტროლო ნიმუშის მიწერილი მნიშვნელობის დაზუსტება შეიძლება განხორციელდეს ISO 13528 სტანდარტის 5.5. ან 5.6. პარაგრაფის მიხედვით.

5.5. ექსპერტული ლაბორატორიების შეთანხმებული მნიშვნელობა ;

5.6. მონაწილეთა შორის შეთანხმებული მნიშვნელობა.

ასევე პოზ. 6-ზე უარყოფითი პასუხის შემთხვევაში შესასრულებლად გადადიან პოზ. 9 შესრულებაზე, რომლის მიხედვითაც იყენებენ ISO 13528 სტანდარტის 6.6. პარაგრაფს.

6.6. კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების შედეგებიდან მიღებული მონაცემების შერჩევით.

ბლოკ-სქემის პოზ. 10-ის მიხედვით ISO 13528 სტანდარტის 4.3 პარაგრაფის „განმეორებითი გაზომვების ჩატარების რეკომენდაციები“ მნიშვნელოვანია შემოწმდეს განმეორებითი გაზომვათა ჩატარების რიცხვის რაოდენობა, რომელიც მას შემდეგ რაც დასრულდება წინასწარი მომზადების აღწერილი ოპერაციები, რომლებიც ბლოკ-სქემაზე პოზ. 11-ში ერთიანდებიან შესაძლებლობა გვეძლევა უშუალოდ გადავიდეთ მონაცემების შესაბამისი წესით დამუშავების სტატისტიკური მეთოდის შერჩევაზე პოზ. 12. მეთოდის შერჩევას მთლიანად განსაზღვრავს აქამდე მოძიებული საინფორმაციო თუ სხვა სახის მონაცემები, რომელიც საბოლოო ჯამში კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების მთლიან სტრატეგიას განაპირობებს.

მონაწილე ლაბორატორიების გაზომვის მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების მეთოდის შერჩევა ხორციელდება პოზ. 12-ში მოყვანილი ISO 13528 სტანდარტის შემდეგი პარაგრაფების მიხედვით:

7.1. ლაბორატორიული წანაცვლების შეფასება;

7.2. ფარდობითი ლაბორატორიული წანაცვლების პროცენტული შეფასება;

7.3. რანგი და პროცენტული რანგი;

7.4.  $z$ -ინდექსი;

7.5.  $E_n$  ინდექსის მნიშვნელობა;

7.6.  $z^I$  ინდექსის მნიშვნელობა;

7.7.  $\xi$  ინდექსის მნიშვნელობა;

7.8.  $E_n$  მაჩვენებელი.

აუცილებლობის შემთხვევაში გამოიყენებენ ერთ-ერთ მეთოდს დამატებით პოზ. 13. აღნიშნული სტანდარტის შესაბამისი პარაგრაფების მიხედვით:

5.7. მიწერილი მნიშვნელობის შედარება მიღებულ მნიშვნელობასთან;

6.7. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმებისას მიღებული პრეციზიულობის მაჩვენებლის შედარება დადგენილ მნიშვნელობასთან.

მიღებული სტატისტიკური შედეგები (პოზ. 14) შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს ერთი ან რამდენიმე გრაფიკის სახით:

8.2. მაჩვენებელთა ჰისტოგრამა;

8.3. შტრიხული გრაფიკები;

8.4. განმეორებადობის სტანდარტიზებული მაჩვენებლების შტრიხული გრაფიკები;

8.5. იუდენის გრაფიკები;

8.6. განმეორებადობის სტანდარტული გადახრის გრაფიკები;

8.7. განცალკევებული ნიმუშის გრაფიკები.

შესაძლებელია კვალიფიკაციის შემოწმების რამდენიმე გამოცდის შედეგების გაერთიანებაც და მათი წარმოდგენა გრაფიკულად (პოზ. 15), რისთვისაც იყენებენ ერთ-ერთს ქვემოთ ჩამოთვლილთაგან:

9.2. შუხარტის საკონტროლო რუკები  $z$ -ინდექსისათვის;

9.3. კუმულატიური ჯამების რუკა (კუსუმ-რუკა) ;

9.4. ლაბორატორიული ნორმალური წანაცვლების გრაფიკი შემთხვევით შერჩეულ ლაბორატორიულ საშუალოსთან.

აღნიშნული მანიპულაციების დამთავრების შემდეგ კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების პროცესი შესრულებულად ითვლება და შესაძლებელია შედეგები გაეცნოს მონაწილე ლაბორატორიებს კონფიდენციალობის მოთხოვნების გათვალისწინებით.

### **1.1.2. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების ორგანიზაცია და მოთხოვნები საკონტროლო ნიმუშისადმი**

საკვალიფიკაციო ტესტირების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისას არსებობს რიცხვითი და გრაფიკული კრიტერიუმები, რომელთა გამოყენება მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების მიმართ, საშუალებას გვაძლევს გამოვავლინოთ სახიფათო სიტუაციები და წინასწარ მივიღოთ გამაფრთხილებელი ღონისძიებები მათ აღმოსაფხვრელად. კარგი მენეჯმენტისა და მაღალი კვალიფიკაციის პერსონალით დაკომპლექტებულ ლაბორატორიებშიც შესაძლებელია მიღებული იქნას ანომალური ხასიათის შედეგები. ამას დარდა, შესაძლებელია, რომ გაზომვის ვალიდაცია გავლილი სტანდარტიზებული მეთოდი შესაძლებელია შეცდომებს შეიცავდეს, რომლებმაც მხოლოდ კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების რამდენიმე ტურის შემდეგ შეიძლება იჩინოს თავი. თვითონ კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების პროგრამაც შეიძლება შეიცავდეს შეცდომებს. ამ მიზეზების გამო შეფასების კრიტერიუმები, რომლებიც ISO 13528-2010 „სტატისტიკური მეთოდები. კომპეტენტურობაზე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმებისას გამოყენებული ლაბორატორიათაშორისი შედარებითი გამოცდებით მიღებული შედეგებისათვის“ სტანდარტითაა მოცემული, არ უნდა იქნას გამოყენებული საგამოცდო ლაბორატორიის ცნობისათვის, როგორც უუნარო, მოცემული მეთოდით ექსპერიმენტის ჩატარებისათვის. არამედ

მისი დისკვალიფიკაციისათვის, კომპეტენტურობაზე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების პროგრამიდან დამუშავებული უნდა იყოს სხვა სპეციალური კრიტერიუმები.[2]

საკონტროლო ნიმუშისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს შორის უპირველესად უნდა აღინიშნოს მოთხოვნები მისი სტანდარტული განუსაზღვრელობა  $u_x$  მიწერილი მნიშვნელობის  $X$ -ის მიმართ, რომელიც მისი მიღების მეთოდზეა დამოკიდებული, აგრეთვე ის შეიძლება დამოკიდებული იყოს მონაწილე ლაბორატორიების რაოდენობაზე ან სხვა ფაქტორებზე.

თუ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა  $u_x$  ბევრად მეტია კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტულ გადახრასთან  $\sigma$  შედარებით, მაშინ ალბათობა იმისა, რომ ზოგიერთი ლაბორატორიები მიიღებენ მცდარ დასკვნას მაკორექტირებელი ღონისძიებების ჩატარებაზე, რომელიც გამოწვეულია მიწერილი მნიშვნელობის განსაზღვრის უზუსტობით და არა ლაბორატორიის შიგა მიზეზებით, აღმოჩნდება არსებითი. ამიტომ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა ცნობილი უნდა იყოს ყველა ლაბორატორიისათვის, რომლებიც მონაწილეობენ კომპეტენტურობის შემოწმებაში. თუ სრულდება უტოლობა

$$u_x \leq 0,3 \sigma \quad (1)$$

მაშინ მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობა არა არსებითია და შესაძლებელია არ იქნას გათვალისწინებული კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული გამოცდების შედეგების ინტერპრეტაციისას.[15]

თუ ასეთი რეკომენდაციის შესრულება ვერ ხერხდება პროვაიდერმა უნდა უზრუნველყოს მისი დაცვა:

- მიწერილი მნიშვნელობის სხვა მეთოდით განსაზღვრით ისე, რომ ის აკმაყოფილებდეს (1) პირობას;
- ექსპერიმენტის შედეგების ინტერპრეტაცია მოახდინოს  $z'$  და  $E_n$  კრიტერიუმების საშუალებით;



- შეატყობინოს მონაწილე ლაბორატორიებს, რომ მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობა არსებითია.

მნიშვნელოვანია ასევე, რომ საკონტროლო ნიმუშის პარამეტრები, კერძოდ საკონტროლო ნიმუშის განმეორებადობის გაზნევის მახასიათებელი-დისპერსია მნიშვნელოვან ფარგლებში არ იცვლებოდეს და კომპეტენტურობაზე შემოწმების დისპერსიის შეფასების ფარგლებში დარჩეს, რადგან წინააღმდეგ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად გაიზრდება ალბათობა იმისა, რომ მონაწილე ლაბორატორიათა დიდმა ნაწილმა ვერ დააკმაყოფილოს შეფასების კრიტერიუმები და ცალსახად ვერ მიეთითოს მაკორექტირებელი ღონისძიებების გატარების კონკრეტულ სახეზე, რადგან გამწელებული იქნება არაკორექტული შედეგის იდენტიფიცირება. ამიტომ განმეორებადობის დისპერსიის შეზღუდვისათვის, ლაბორატორიის კომპეტენტურობაზე შემოწმების ექსპერიმენტის ჩატარებისას, განმეორებად გაზომვათა ჩატარების რაოდენობა  $n$  ისე უნდა იყოს შერჩეული, რომ უზრუნველყოს (2) პირობის შესრულება

$$\sigma_r / \sqrt{n} \leq 0,3 \hat{\sigma} \quad (2)$$

სადაც:

$\sigma_r$  - განმეორებადობის სტანდარტული გადახრაა, რომელიც საკონტროლო ნიმუშის კვლევებით ან წინა ლაბორატორიათაშორისი ექსპერიმენტების დროსაა დადგენილი. კოეფიციენტი 0,3 მიუთითებს, რომ (2) პირობის შესრულებისას განმეორებადობის სტანდარტული გადახრა არ შეადგენს კომპეტენტურობის შემოწმების ექსპერიმენტული გადახრის 10%-ზე მეტს.

### 1.1.3. ლაბორატორიების კომპეტენტურობის შეფასების კრიტერიუმები

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების შეფასების კრიტერიუმები რიცხვითი ხასიათის სიდიდეებია და ცალსახად ახასიათებს ლაბორატორიათაშორის გამოცდებში მონაწილე თითოეული

ლაბორატორიის მომზადებისა და მზადყოფნის ხარისხს აკრედიტაციის სფეროს მიხედვით.[4]

ექსპერიმენტული შემოწმების შეფასების კრიტერიუმად გამოიყენება ლაბორატორიის მიერ მიღებული გაზომვის შედეგი  $x$ , რომელიც როგორც წესი რამდენიმე  $x_i$  დაკვირვების შედეგის საშუალო არითმეტიკული შეიძლება იყოს

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

სადაც:  $n$ -ჩატარებული გაზომვების რაოდენობაა.

**ლაბორატორიის წანაცვლების შეფასება.** თუ  $\bar{x}$  გაზომვის შედეგი მონაწილე ლაბორატორიის ანგარიშში მითითებული გამოსაკვლევი პარამეტრის მაჩვენებელია. მაშინ ლაბორატორიის წანაცვლების შეფასებას  $D$ -ს ამ მახასიათებლის გაზომვისას ექნება (3) ნაჩვენები სახე:

$$D = \bar{x} - X \quad (3)$$

სადაც:  $X$  - საკვლევი მახასიათებლის მიწერილი მნიშვნელობაა.

სტატისტიკური გამოთვლების ჩატარებისას არ არის რეკომენდებული წანაცვლების აბსოლუტური მნიშვნელობის  $|D|$  ან მისი კვადრატის  $D^2$  გამოყენება, რადგან ასეთ შემთხვევაში ისინი წანაცვლების მიმართულებას არ გვიჩვენებენ, მიწერილ მნიშვნელობასთან მიმართებაში, ეს კი გარკვეულ წილად კრიტერიუმს ინფორმაციულობას უკარგავს.

კრიტერიუმის მნიშვნელობა როდესაც ის 3 სტანდარტულ გადახრაზე მეტია ან ნაკლებია ( $-3,0 \sigma \leq D \leq 3,0 \sigma$ ) ითვლება „მოქმედების სიგნალად“, რაც იმას ნიშნავს, რომ გაზომილი მნიშვნელობა ვერ აკმაყოფილებს  $D$  კრიტერიუმის მოთხოვნებს და გადაუდებლად მოითხოვს მაკორექტირებელი ღონისძიებების გატარებას. ანალოგიურად ლაბორატორიული წანაცვლება ორ სტანდარტულ გადახრაზე მეტი ან ნაკლები ( $-2,0 \sigma \leq D \leq 2,0 \sigma$ ) ითვლება „გამაფრთხილებელ სიგნალად“. ექსპერიმენტული შემოწმების შეფასების ზედიზედ ორ რაუნდში ასეთი შედეგი განხილული უნდა იყოს, როგორც წანაცვლების არსებობის

მტკიცებულება, რაც შედეგის ანალიზის ჩატარების საფუძველი უნდა გახდეს.

**ფარდობითი ლაბორატორიული წანაცვლების შეფასება პროცენტებში** გამოითვლება ქვემოთ ნაჩვენები ფორმულის მიხედვით.

$$D_{\%} = 100 (\bar{x} - X) / X \quad (4)$$

აღნიშნული შეფასების კრიტერიუმის ინტერპრეტაციისათვის გამოიყენება წინა შემთხვევაში აღწერილი მიდგომები ე.ი., როდესაც მონაწილის შედეგი მოცემულია ფარდობითი სახით პროცენტულად  $D_{\%}$  კრიტერიუმის ქვედა მნიშვნელობაზე ნაკლები ან ზედა მნიშვნელობაზე მეტი სიდიდის

$$- 300\hat{\sigma} / X_{\%} \leq D_{\%} \leq 300\hat{\sigma} / X_{\%}$$

ასეთ შემთხვევაში შედეგი უნდა ჩაითვალოს „მოქმედების სიგნალად“ , რომელიც ანომალიური გადახრის საფუძველია, ხოლო თუ ლაბორატორიის შედეგი მოთავსებულია

$$- 200\hat{\sigma} / X_{\%} \leq D_{\%} \leq 200\hat{\sigma} / X_{\%}$$

მნიშვნელობებს შორის შედეგი „გამაფრთხილებელი სიგნალის“ სტატუსს მიიღებს, რომელიც მომდევნო საკვალიფიკაციო გამოცდაზე განმეორების შემთხვევაში უკვე ანომალიის არსებობის საფუძველად შეიძლება ჩაითვალოს.

**რანგი და პროცენტული რანგის** მინიჭება საკვალიფიკაციო ტესტირების გამოცდებში მონაწილე ლაბორატორიებისათვის მათ მიერ ნაჩვენები შედეგების მიხედვით ხორციელდება ისე, რომ ლაბორატორიამ რომელმაც აჩვენა ყველაზე დაბალი შედეგი ენიჭება რანგი 1. რანგი 2 ენიჭება ლაბორატორიას, რომლის შედეგი უფრო მაღალია ვიდრე პირველის და ა.შ., ხოლო ლაბორატორია, რომელმაც უმაღლესი შეფასება აჩვენა მიენიჭება P რანგი თუ ერთნაირი შედეგი აჩვენა ორმა და მეტმა ლაბორატორიამ მათ მიენიჭებათ ერთნაირი გასაშუალოებული რანგი.

სტატისტიკური გამოთვლის განხილული მეთოდების გამოყენება რეკომენდებულია ლაბორატორიათაშორისი შედარების ადრეულ სტადიაზე

როდესაც საკმარისია უარყოფითი შედეგების მქონე ლაბორატორიათა უბრალო იდენტიფიცირება. მეთოდის გამოყენება კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების პროცესში დაკვირვებას მოითხოვს, მან შეიძლება მცდარ დასკვნებამდე მიგვიყვანოს, რადგან იგი არ მოითხოვს მონაცემთა განაწილების სახის, მიწერილი მნიშვნელობისა და მისი სტანდარტული გადახრის ცოდნას [14,25].

**z - ინდექსი** კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$z = (\bar{x} - X) / \hat{\sigma} \quad (5)$$

სადაც:  $\hat{\sigma}$  კომპეტენტურობის შეფასების სტანდარტული გადახრაა.

z - ინდექსის შედეგების ინტერპრეტაციისათვისაც იგივე მიდგომები გამოიყენება, როგორც წინა კრიტერიუმებისათვის. კერძოდ მისი მნიშვნელობის მეტობა 3,0 და ნაკლებობა -3,0 მაჩვენებელთან „მოქმედების სიგნალის“ დასაწყისად განიხილება. ასევე 2,0 და -2,0 მნიშვნელობების გადაჭარბება დადებითი და უარყოფითი მიმართულებით „გამაფრთხილებელი სიგნალის“ არსებობის მაჩვენებელია, ხოლო მათი ზედიზედ განმეორება კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ორ მომდევნო გამოცდაში ისეთი გადახრის მაჩვენებელია, რომელიც დამატებით შესწავლასა და ანალიზს მოითხოვს. [22]

**მაჩვენებელი  $E_n$**  ასევე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოითვლება:

$$E_n = \bar{x} - X / \sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2} \quad (6)$$

სადაც:  $X$  ექსპერტული ლაბორატორიის მიერ განსაზღვრული მიწერილი მნიშვნელობაა;

$U_{ref}$ -ექსპერტული ლაბორატორიის (მიწერილი მნიშვნელობის) გაფართოებული განუსაზღვრელობაა.

$U_{lab}$  - მონაწილე ლაბორატორიის  $\bar{x}$  შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობაა.

განსხვავებით  $z$  ინდექსის შედეგების კრიტერიუმების კრიტიკული მნიშვნელობისა 2,0 და 3,0  $E_n$  მნიშვნელობისთვის გამოიყენება კრიტიკული მნიშვნელობა 1,0, რაც (6) ფორმულის მნიშვნელში გაფართოებული განუსაზღვრელობების გამოყენებითაა გამოწვეული. მისი გამოყენებისას მნიშვნელოვანია, რომ მონაწილე ლაბორატორიებს კარგად ესმოდეთ გაფართოებული განუსაზღვრელობის არსი და ანგარიშში მისი მნიშვნელობა ერთმანეთთან გაფართოებული განუსაზღვრელობის გამოთვლის მაქსიმალურად დაახლოებული მეთოდით იქნას გამოთვლილი.

თუ გაფართოებული განუსაზღვრელობის გამოთვლა მოხდა ნორმალური განაწილების კანონის მქონე მონაცემებისათვის და მაშასადამე დაფარვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიღებული იყო 2,0 ტოლად, მაშინ  $E_n$ -ის კრიტიკული მნიშვნელობა 1,0 ეკვივალენტურია  $z$  ინდექსისათვის გამოყენებული კრიტიკული მნიშვნელობის 2,0.

თუ განუსაზღვრელობა შეფასებულია GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement) თანახმად  $E_n$ -ის მნიშვნელობა ახასიათებს გაფართოებული განუსაზღვრელობის გამოყენების მართლზომიერებას თითოეული შედეგისათვის.  $E_n$ -ის მნიშვნელობა, რომელიც აკმაყოფილებს უტოლობას  $|E_n| < 1$  ობიექტურად უზრუნველყოფს მტკიცებულებას, რომ გაფართოებული განუსაზღვრელობა შეესაბამება GUM-ის მიერ დადგენილ გაფართოებული განუსაზღვრელობის შეფასებას. [2,14]

$z^1$ - ინდექსის გამოსათვლელად გამოიყენება სიდიდეები, რომლითაც (5) ფორმულის მიხედვით  $z$  ინდექსი განისაზღვრება

$$z^1 = \frac{\bar{x} - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}} \quad (7)$$

სადაც:  $u_x - X$  მიწერილი სიდიდის მნიშვნელობის სტანდარტული გადახრაა.

ეს უკანასკნელი (7) გამოსახულება შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მიწერილი მნიშვნელობის გამოთვლის გარეშე მონაწილე ლაბორატორიების გაზომვის შედეგების მიხედვით. ანუ (7) ფორმულის გამოყენება შესაძლებელია თუ მიწერილი მნიშვნელობა მიღებულია გამოსაკვლევი მასალის შემადგენლობის მიხედვით [3] (პუნქტი 5.2), სტანდარტული ნიმუშის მიხედვით (პუნქტი 5.3) და ატესტირებული ნიმუშის მიხედვით (პუნქტი 5.4.), ასევე პუნქტი 5.5. აღწერილი მეთოდის გამოყენებისას, როდესაც ექსპერტული ლაბორატორიები მონაწილეობას არ ღებულობენ კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შეფასების პროცესში. რაც შეეხება პუნქტს 5.6 ამ მეთოდის გამოყენებისას მიწერილი მნიშვნელობა კოლერირებულია მონაწილეთა შედეგებთან ამიტომ  $z^I$  ინდექსის გამოყენება (7) ფორმულის მიხედვით დაუშვებელია.[3]

$z^I$  ინდექსის ინტერპრეტაცია უნდა მოხდეს, მსგავსად  $z$  ინდექსისა და გამოყენებული უნდა იქნას შეფასების კრიტერიუმების ისეთივე რიცხვითი მნიშვნელობები 2,0 და 3,0.

$z$  და  $z^I$  ინდექსის გამოსათვლელი ფორმულების (5) და (7) შედარება გვიჩვენებს, რომ  $z^I$  ინდექსი კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შეფასების პროგრამისათვის შესაბამისი  $z$  ინდექსისაგან განსხვავდება მუდმივი კოეფიციენტით

$$\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}} \quad (8)$$

თუ მიწერილი მნიშვნელობის განსაზღვრაზე 4.2 პუნქტის მიხედვით სრულდება [3], მაშინ (8) კოეფიციენტის მნიშვნელობა მოთავსებული იქნება

$$0,9 \leq \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}} \leq 1,00$$

ამრიგად, ამ შემთხვევაში  $z^1$  ინდექსის მნიშვნელობა ახლოსაა  $z$ -ის მნიშვნელობასთან, ამიტომ მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობა შეიძლება უმნიშვნელოდ ჩაითვალოს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც 4.2 პუნქტის მოთხოვნები არ სრულდება  $z^1$  და  $z$  ინდექსის მნიშვნელობებს შორის სხვაობა შეიძლება ისეთი იყოს, რომ  $z$ -მა გადააჭარბოს კრიტიკულ მნიშვნელობას 2,0 ან 3,0 ანუ გაჩნდება შეტყობინება „გაფრთხილების სიგნალის“ ან „მოქმედების სიგნალის“ შესახებ მაშინ როდესაც  $z^1$  ინდექსი არ აჭარბებს კრიტიკულ მნიშვნელობებს. ამიტომ კოორდინატორმა(პროვაიდერმა) უნდა მიიღოს გადაწყვეტილება  $z^1$  ან  $z$  ინდექსის გამოყენების შესახებ და გაითვალისწინოს შემდეგი:

- აკმაყოფილებს თუ არა მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობა 4.2 პუნქტის მოთხოვნას, თუ აკმაყოფილებს, მაშინ რაიმე სარგებელის მოტანა  $z^1$  ინდექსის არ შეუძლია და მისი შერჩევა გაუმართლებელია.

- თუ 4.2 პუნქტის რეკომენდაციები არ სრულდება, უნდა გამოვიყენოთ  $z^1$  ინდექსი მიუხედავად რამდენიმე დამატებითი სირთულისა, რომელიც დაკავშირებულია მონაწილეთა მიზანთან რის გამოც ისინი მონაწილეობას ღებულობენ საკვალიფიკაციო გამოცდებში თუნდაც ეს დაკავშირებული იყოს მათთვის ნეგატიურ შედეგებთან.

**ξ ინდექსის** გამოყენება კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული გამოცდების ჩატარებისას შეფასების ერთ-ერთი ძირითადი კრიტერიუმია, რომელიც შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$\xi = \bar{x} - X / \sqrt{u_x^2 + u_x^2} \quad (9)$$

სადაც:  $u_{\bar{x}}$  გამოსაცდელი ლაბორატორიის მიერ გამოთვლილი საკუთარი გაზომვის შედეგის  $\bar{x}$ -ის სტანდარტული განუსაზღვრელობაა.

$u_x$  - მიწერილი მნიშვნელობა  $X$ -ის სტანდარტული განუსაზღვრელობაა.

გამოსახულება (9) შეიძლება გამოყენებული იქნეს იმ შემთხვევაში, თუ მიწერილი მნიშვნელობა გამოთვლილია მონაწილეების მიერ წარდგენილი გაზომვის შედეგების გარეშე. ანუ იმ შემთხვევებში რომლებიც აღწერილია [3] პუნქტი 5.2, 5.3, 5.4 -ის მიხედვით, ასევე 5.5 მეთოდით, როდესაც ექსპერტული ლაბორატორიები კვალიფიკაციის შემოწმების ექსპერიმენტში არ მონაწილეობენ. რაც შეეხება პუნქტი 5.6 -ით აღწერილ მეთოდს [3], რადგან მისი მიწერილი მნიშვნელობა კორელირებულია მონაწილე ლაბორატორიების შედეგებთან, ამიტომ მისი გამოყენება  $\xi$  ინდექსის განსაზღვრისათვის დაუშვებელია. [11,29]

უკანასკნელ დრომდე არსებობდა კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შეფასების პრაქტიკაში მიდგომა, რომლის მიხედვითაც სავალდებულო არ იყო გაზომვის შედეგების განუსაზღვრელობის შეფასების წარმოდგენა. ISO/IEC 17025 აკრედიტებული ლაბორატორიებისთვის, მოთხოვნების მიხედვით, გაზომვის შედეგების განუსაზღვრელობის შესახებ ინფორმაციის წარმოდგენა და ასევე კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შეფასების პროგრამაში მონაწილეობის მიღებამ სავალდებულო ხასიათი შეიძინა, ამიტომ ავტომატურად დადებითად გადაიჭრა გაზომვის შედეგების განუსაზღვრელობის შეფასების საკითხიც.[4, 12]

სტანდარტული განუსაზღვრელობების საკუთარი შეფასებების ვალიდაციის ეფექტური სისტემის არსებობისას  $\xi$  ინდექსი შეიძლება გამოყენებული იქნას  $z$  ინდექსის სანაცვლოდ და მისთვის განკუთვნილი ინტერპრეტაციის წესით (კრიტერიუმები 2,0 და 3,0).

თუ ვალიდაციის ასეთი ეფექტური სისტემა არ გაგვაჩნია ლაბორატორიის მუშაობის გაუმჯობესების მიზნით  $\xi$  ინდექსი გამოყენებული უნდა იქნეს მხოლოდ  $z$  ინდექსთან ერთად

თუ ლაბორატორიამ მიიღო  $z$  ინდექსის ისეთი მნიშვნელობა, რომელიც მკვეთრად აჭარბებს კრიტიკულ მნიშვნელობას 3,0 აუცილებელია კარგად, ნაბიჯ-ნაბიჯ გავანალიზოთ გამოკვლევის მეთოდიკა და შევადგინოთ მისთვის განუსაზღვრელობის ბიუჯეტი. განუსაზღვრელობის



ბიუჯეტი დაგვეხმარება გამოვავლინოთ გაზომვის პროცედურის ეტაპები, რომელთათვისაც განუსაზღვრელობა მაღალია. რის შემდეგაც ლაბორატორიისთვის ნათელი ხდება სად, რომელ ეტაპზეა ჩასატარებელი გაუმჯობესება. თუ ლაბორატორიისთვის  $\xi$  ინდექსის მნიშვნელობა არსებითად კრიტიკულ მნიშვნელობას  $3\sigma$ , ეს ნიშნავს, რომ პრობლემებია განუსაზღვრელობის შეფასების პროცესში, ბიუჯეტი არ ითვალისწინებს განუსაზღვრელობის ყველა არსებით წყაროს.

თუ ლაბორატორიას გააჩნია დიდი სისტემატური წანაცვლება, ხოლო განუსაზღვრელობის ინტერვალი  $(X \pm U_x)$  არ მოიცავს მიწერილ მნიშვნელობას, მაშინ ასეთ ლაბორატორიას შეესაბამება  $\xi$  ინდექსის ან  $E_n$ -ის მაღალი მნიშვნელობა.

$E_z$  მაჩვენებლის განსაზღვრისათვის გამოიყენება შემდეგი ფორმულები:

$$E_{z-} = \frac{x - (X - U_x)}{U_x}; \quad E_{z+} = \frac{x - (X + U_x)}{U_x}; \quad (10)$$

სადაც:  $X$  მიწერილი მნიშვნელობაა, რომელიც გამოითვლება  $z$  ინდექსი,  $E_n$  ინდექსის ან  $z^1$  ინდექსის მიხედვით. აქ  $U_x$  არის სერტიფიცირებული მნიშვნელობის  $X$ -ის გაფართოებული განუსაზღვრელობა.

ასევე  $x$  ლაბორატორიის მიღებული შედეგია, ხოლო  $U_x$  ამ შედეგის გაფართოებული განუსაზღვრელობა.

$U_x$ - მნიშვნელობა შეიძლება იყოს  $z$  ინდექსის და  $z^1$  ინდექსის მიხედვით  $2\sigma$  ან  $3\sigma$ , ხოლო  $E_n$  ინდექსის მიხედვით ის შესადარია 1,0 მნიშვნელობასთან.

- თუ  $E_{z-}$  ან  $E_{z+}$  მოთავსებულია ინტერვალში  $(-1,0; +1,0)$  ლაბორატორიის საქმიანობა დამაკმაყოფილებლად ითვლება;

- თუ  $E_{z-}$  ან  $E_{z+}$  ერთ-ერთი მაინც გამოდის  $(-1,0; +1,0)$  ინტერვალიდან ასეთი ლაბორატორიების მუშაობის შედეგი საეჭვოდ ითვლება.

- თუ  $E_z$ -ან  $E_{z+}$  გამოდის  $(-1,0;+1,0)$  ინტერვალიდან ასეთი ლაბორატორიების მუშაობის შედეგი არადადამაკმაყოფილებელია.

## 1.2. ზოგადი ცნობები დამცავი დამიწების შესახებ

### 1.2.1. დამიწების პროცესის ფიზიკური არსი და განსაზღვრებები

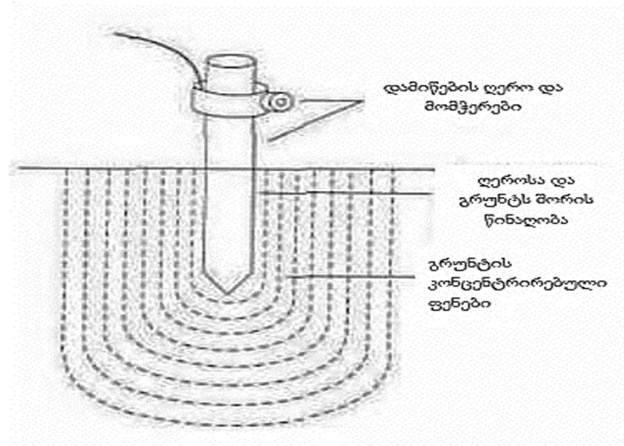
ტერმინი დამიწება გულისხმობს რაიმე აღჭურვილობის ან წრედის მიწასთან ჩართვას. დამიწების გამოყენება აღჭურვილობის ან ჩართული წრედის პოტენციალის მიწის პოტენციალთან მაქსიმალურად მიახლოებისა და ამ მდგომარეობის შენარჩუნებისათვის. დამიწების წრედის მცირე წინაღობა უზრუნველყოფს გარღვევის დენის ჩადინებას დამიწების კონტურში და დამცავი რელეების ჩართვას. შედეგად ხდება არასასურველი გარე ძაბვის ზემოქმედებისაგან თავის არიდება და პერსონალისა და აღჭურვილობის დაცვა მისგან.

დამიწების ღეროს (სურ. 2) წინაღობის მნიშვნელობები შემდეგი კომპონენტების საშუალებითა განპირობებული:

- დამიწების მეტალის ღეროს წინაღობისა და შემაერთებელი გამტარის მომჭერებს შორის კონტაქტის წინაღობისაგან;
- დამიწების ღეროსა და გრუნტს შორის კონტაქტის წინაღობისაგან;
- გრუნტის ზედაპირის წინაღობით გამავალი დენის მიმართ, სხვანაირად დამიწების წინაღობისაგან, რომელიც ჩამოთვლილთაგან ყველაზე დომინანტური მდგენელია. [6]

ჩვეულებრივ დამიწების ღერო მზადდება კარგი ელექტრული გამტარობის მეტალისაგან (მთლიანდ სპილენძის ან სპილენძით დაფარული ფოლადის ღერო) და შესაბამისი ხარისხის მომჭერისაგან, რაც საშუალებას გვაძლევს ღეროს წინაღობა დამიწების საერთო მდგენელში მისი სიმცირის გამო არ გავითვალისწინოთ.

გრუნტის ზედაპირის წინაღობა შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ, როგორც თანაბარი სისქის გრუნტის კონცენტრირებული ფენებით შემოფარგლული ელექტროდი.



სურ. 2. დამიწების ღეროს წინაღობის მდგენელები  
 თეორიულად დამიწების წინაღობა შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

სადაც:  $\rho$  - გრუნტის კუთრი წინაღობა;

$L$ - გამტარი გარემოს სიგრძე;

$S$ - გამტარი გარემოს ფართობი.

ყველაზე ხშირად ერთი ელექტროდის დამიწების წინაღობის გამოსათვლელად გამოიყენება მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტის პროფესორის დუაიტის მიერ შემოთავაზებული ფორმულა:

$$R = \rho / 2\pi L \times \{(\ln 4L) - 1\} / r$$

სადაც:

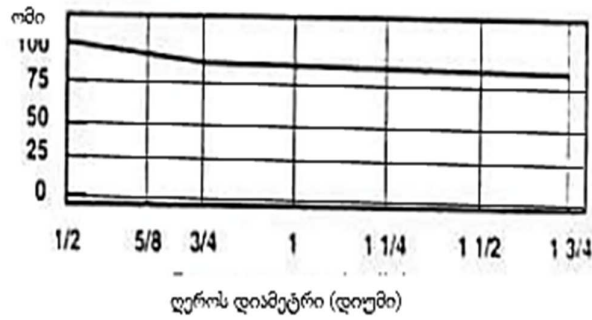
$R$ - დამიწების ღეროს წინაღობაა ომებში;

$L$ - ელექტროდის დამიწების სიღრმე;

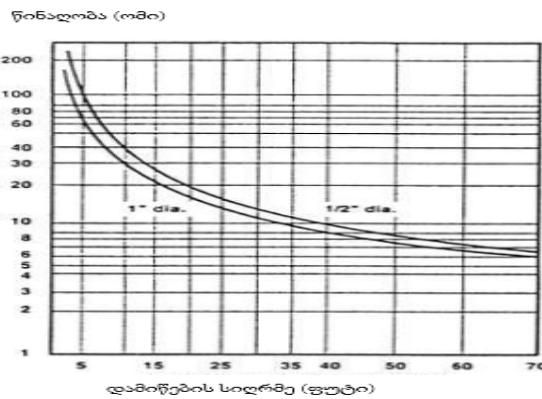
$r$  - ელექტროდის რადიუსი;

$\rho$ - გრუნტის საშუალო კუთრი წინაღობა.

ქვემოთ მოცემულია დამიწების ელექტროდის დიამეტრის დამოკიდებულების ამსახველი მრუდი დამიწების წინაღობის მნიშვნელობაზე. როგორც გრაფიკული დამოკიდებულებიდან ჩანს ღეროს დიამეტრის ცვლილება უმნიშვნელო გავლენას ახდენს დამიწების წინაღობის მნიშვნელობაზე. ასე მაგალითად დიამეტრის ორმაგად ზრდა დამიწების წინაღობის მნიშვნელობას მხოლოდ 10%-ზე ნაკლები სიდიდით ამცირებს.



სურ. 3 ელექტროდის დიამეტრის დამოკიდებულება დამიწების წინააღმდეგობაზე დამიწების ელექტროდის მიწაში ჩაშვების სიღრმე, განსხვავებით ღეროს დიამეტრის ცვლილებისაგან, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობაზე კერძოდ დამიწების სიღრმის ზრდით მცირდება დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობა. თეორიულად სიღრმის ზრდით წინააღმდეგობა 40%-ით მცირდება. ხშირ შემთხვევაში დამიწების ელექტროდის სიგრძე 10 ფუტი (1 ფუტი =0,3048 მეტრი) აკმაყოფილებს დამიწების წინააღმდეგობის მოთხოვნებს (სურ. 4).



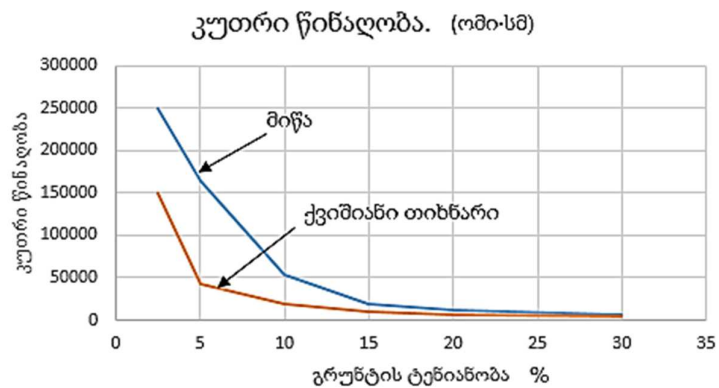
სურ. 4 დამიწების წინააღმდეგობის დამოკიდებულება ელექტროდის სიგრძეზე დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობაზე ასევე შესამჩნევ გავლენას ახდენს გრუნტის კუთრი წინააღმდეგობის მნიშვნელობაც, რაც ასევე ასახულია ადრე მოყვანილ დუაიტის ფორმულაში.[5,7]

ცხრილი 1-ში მოყვანილია ზოგიერთი ტიპური ნიადაგებისათვის კუთრი წინააღმდეგობის მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური მნიშვნელობები. გრუნტის კუთრი წინააღმდეგობის მნიშვნელობაზე უმნიშვნელოვანეს გავლენას ახდენს ნიადაგის ტენიანობა.

ცხრილი 1 კუთრი წინაღობის მნიშვნელობები სხვადასხვა ტიპის ნიადაგებისთვის.

ნიადაგის ტიპი	კუთრი ელექტრული წინაღობა (ომი-სმ)		
	მინიმალური	საშუალო	მაქსიმალური
ნაცრიანი, წიდა, მარილიანი უდაბნო	590	2370	7000
თიხა, თიხნარი, შლამიანი, ფიქალი	340	4060	16000
იგივე ქვიშასთან ან ღორღთან ერთად	1020	15800	135000
ღორღი, ქვიშა, ქვიანი თიხა, თიხნარი	59000	94000	458000

სურ. 5-ზე ნაჩვენებია კუთრი წინაღობის დამოკიდებულება ტენიანობისგან მიწისა და ქვიშიანი თიხნარი ნიადაგებისათვის, [5]

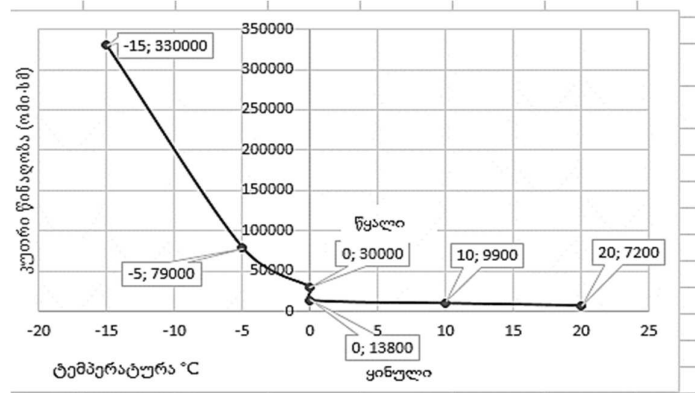


სურ. 5 კუთრი წინაღობის დამოკიდებულება ტენიანობისგან გრუნტის კუთრი წინაღობა ასევე დამოკიდებულება ნიადაგის ტემპერატურაზე ქვიშიანი თიხნარი ნიადაგებისათვის ეს დამოკიდებულება ნაჩვენებია გრაფიკზე (სურ. 6).

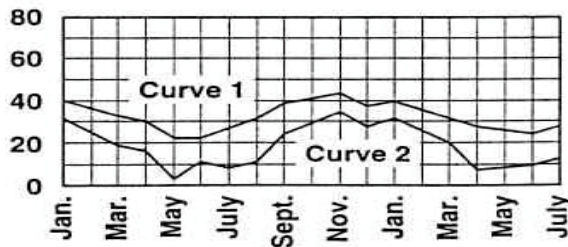
როგორც გრაფიკიდან ჩანს ქვიშიანი თიხნარი ნიადაგისათვის ტენიანობით 12,5% ტემპერატურის ცვლილებისას +20°C-დან -15°C-მდე კუთრი წინაღობა იცვლება თითქმის 50-ჯერ 330000 (ომი-სმ)-დან 7200 (ომი-სმ)-მდე.

იმდენად რამდენადაც გრუნტის კუთრი წინაღობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გრუნტის ტენიანობასა და ტემპერატურაზე

გონივრულია ვიფიქროთ, რომ დამიწების წინააღობის მნიშვნელობა დამოკიდებული იქნება წელიწადის დროებისაგან.



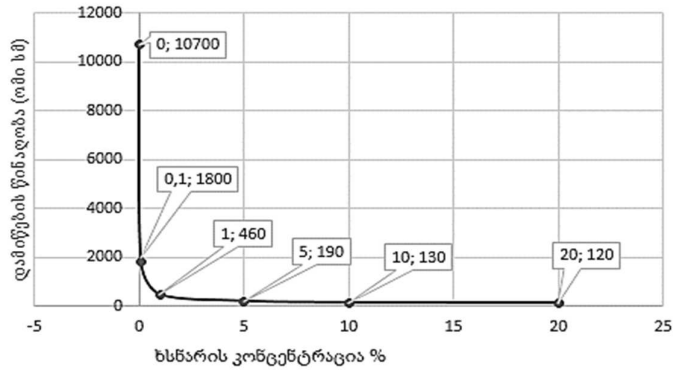
სურ. 6 კუთრი წინააღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე ქვიან გრუნტში სხვადასხვა სიღრმეზე ჩადებული  $\frac{3}{4}$  d (დიუმი) დიამეტრის წელის მილის დამიწების წინააღობის სეზონური ცვლილების გრაფიკი ნაჩვენებია სურ. 7.



სურ. 7 წელის მილის დამიწების წინააღობის სეზონური ცვლილება 1. მილის ჩაშვების სიღრმე ~ 1 მ., 2. მილის ჩაშვების სიღრმე ~ 3 მ.

რამდენადაც გრუნტის ტემპერატურისა და ტენიანობის სტაბილურობის მახასიათებლები უმჯობესდება დედამიწის ზედაპირიდან სიღრმის მატებასთან ერთად, ქვიშიანი თიხნარი ნიადაგის დამიწების წინააღობის შემცირებისათვის სხვადასხვა კონცენტრაციის მარილის ხსნარის გამოყენებით მიღებული გრაფიკული დამოკიდებულება 15% ტენიანობისა და 17°C ტემპერატურის პირობებში ნაჩვენებია სურ. 8. [5]

როგორც გრაფიკული დამოკიდებულებიდან ჩანს დამიწების წინააღობის 100-ჯერადად შემცირებისათვის საკმარისია გამოყენებული იქნეს 20% -იანი კონცენტრაციის მარილის ხსნარი.

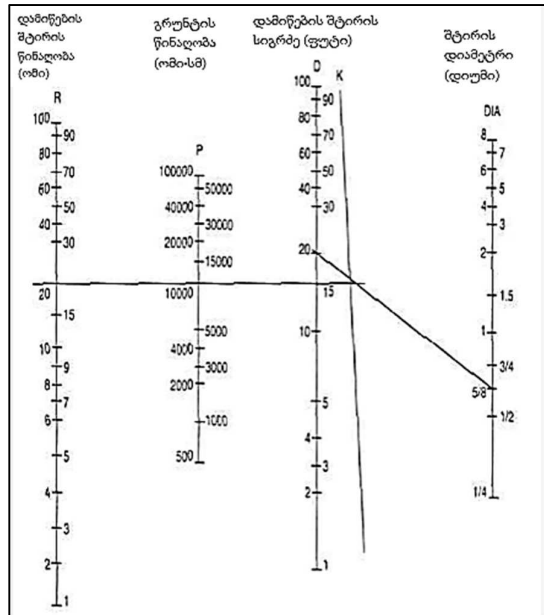


სურ. 8 დამიწების წინაღობის დამოკიდებულება ნიადაგში მარილების კონცენტრაციისგან

აღწერილი მეთოდის გამოყენებისას გარკვეული სიფრთხილის დაცვაა საჭირო, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში თუ დამიწების შტირებად ფოლადია გამოყენებული, რომელიც კონცენტრირებული მარილის ხსნარის გამოყენებისას ინტენსიურ კოროზიას განიცდის, რაც დროთა განმავლობაში კიდევ უფრო აუარესებს შტირსა და გრუნტს შორის ელექტროგამტარობას, მნიშვნელოვანია წინასწარ, შეფასებული იქნას დამიწების კვანძის ძირითადი გეომეტრიული პარამეტრები დამიწების ადრეული კონსტრუირების დონეზე. კონკრეტულად დამიწების ელექტროდების სიგრძე, დიამეტრი გრუნტის რეალური მდგომარეობიდან გამომდინარე. ამისათვის იყენებენ დამიწების წინაღობის შეფასების ნომოგრამა (სურ. 9).

ნომოგრამასთან მუშაობის ალგორითმის მიხედვით პირველ ეტაპზე უნდა დადგინდეს (შეირჩეს) დამიწების წინაღობის მნიშვნელობა და მოინიშნოს R შკალაზე. მაგალითად 20 ომი. ასევე P შკალაზე უნდა მოინიშნოს იმ გრუნტის კუთრი წინაღობის მნიშვნელობა სადაც გამიზნულია დამიწების გაკეთება, მაგალითად 1000 ომი· სმ. შემდეგ ეტაპზე R და P შკალაზე მონიშნული წერტილები შევაერთოთ წრფით და მოვნიშნოთ მისი გადაკვეთის წერტილი K შკალასთან. შტირის დიამეტრის შერჩევისა (დიუმი) და D/A შკალაზე შესაბამისი წერტილის მონიშვნის შემდეგ ამ წერტილიდან გავატაროთ წრფე K შკალაზე მონიშნული წერტილის გავლით D შკალამდე.

წრფის გადაკვეთის წერტილი D სკალასთან გვიჩვენებს შტორის გრუნტში ჩაშვების სიღრმეს (ფუტებში), რომელიც უზრუნველყოფს თავიდან შერჩეული დამიწების წინააღობის მნიშვნელობას.



სურ. 9 დამიწების წინააღობის გამოთვლის ნომოგრამა

ელექტროგანათების ქსელებში ან კავშირგაბმულობის კვანძებში დამიწების მისაღებ მნიშვნელობად მიღებულია 5 ომი, ხოლო თუ ელექტროგანათების ქსელებში გამოიყენება მეხამრიდი სისტემა მაშინ ის დამიწების სისტემას უნდა მიუერთდეს 1 ომზე ნაკლები წინააღობით.

### 1.2.2 დამიწების წინააღობის გაზომვის პრინციპები, მეთოდები და პროცედურები

დამიწების წინააღობის გაზომვა ხორციელდება სპეციალური ხელსაწყოების გამოყენებით. მათი უმეტესობა იყენებს დამხმარე და შესამოწმებელ ელექტროდებს შორის ცვლადი დენის (AC-Alternative current) პოტენციალის ვარდნის პრინციპს. გაზომვის ერთეული არის ომი და აჩვენებს წინააღობას დამიწების ელექტროდსა და მის გარშემო მიწას შორის. ბოლო დროს გამოჩნდა დამიწების გამზომი ხელსაწყოები, რომლებიც დენის მარწუხებს იყენებენ.



- პოტენციალის ვარდნის პრინციპი, 3 წერტილიანი სქემა

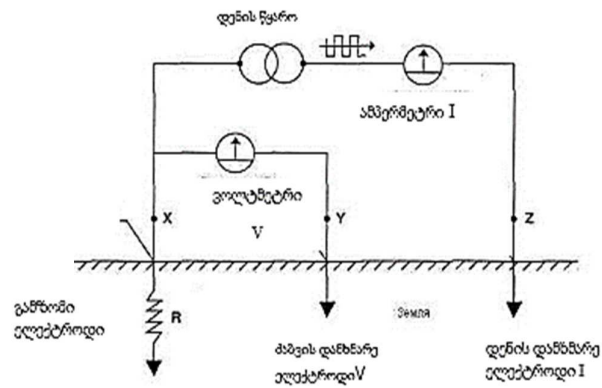
პოტენციალის ვარდნის პრინციპზე აგებული 3 წერტილიანი გამზომი სქემის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია სურ. 10. [18]

ვოლტმეტრით იზომება ძაბვა X და Y შტირებს შორის, ხოლო ამპერმეტრით - დენი X და Z შტირებს შორის.

ომის კანონის თანახმად  $E=RI$  ან  $R=E/I$  შესაძლებელია განისაზღვროს დამიწების ელექტროდის წინაღობა R. მაგალითად თუ  $E=20\text{ V}$  და  $I=1\text{ A}$  მაშინ

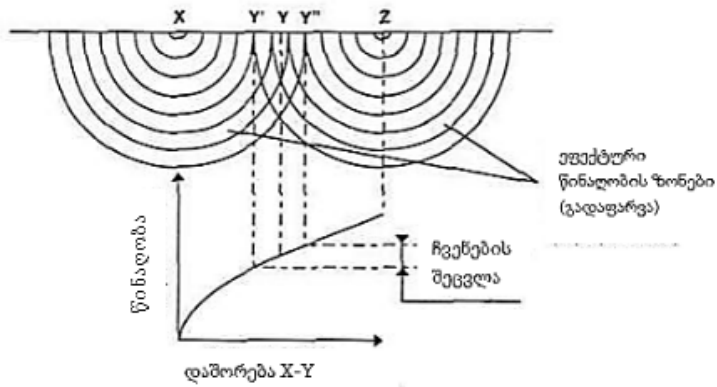
$$R=E/I=20/1=20\text{ ომი.}$$

თანამედროვე საზომი საშუალებების გამოყენებისას ხელსაწყო თვითონ გამოიმუშავებს გაზომვისათვის საჭირო დენის მნიშვნელობას და პირდაპირ გვაჩვენებს გასაზომი წინაღობის მნიშვნელობას ომებში



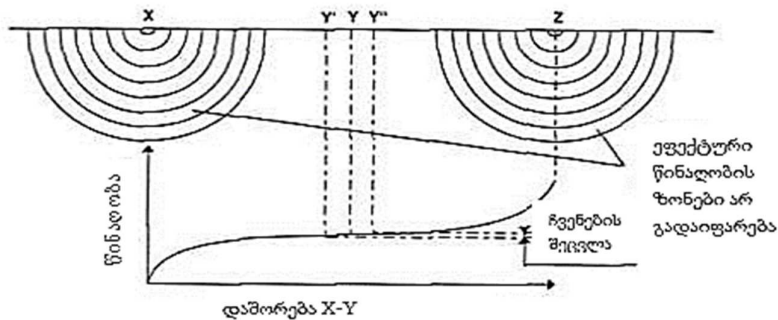
სურ. 10 დამიწების წინაღობის 3 წერტილიანი გამზომი სისტემის პრინციპული სქემა

დამიწების წინაღობის მაღალი სიზუსტით გასაზომად დენის დამატებითი ელექტროდი Z უნდა განთავსდეს გასაზომი ელექტროდისაგან საკმარისად შორს იმისათვის, რომ პოტენციალი ძაბვის დამხმარე Y ელექტროდზე გაიზომოს როგორც შესამოწმებელი X, ასევე დენის დამხმარე Z ელექტროდების ეფექტური ზემოქმედების ზონებიდან შორს. იმყოფებიან თუ არა ელექტროდები ეფექტური წინაღობის ზონაში შემოწმებისათვის საუკეთესო საშუალება იქნება ჩატარდეს გაზომვები ელექტროდების ადგილების მონაცვლეობის პირობებში.



სურ. 11 ეფექტური წინაღობის ზონების გადაფარვის ილუსტრირებისათვის  
 თუ ძაბვის დამხმარე ელექტროდი Y იმყოფება ერთერთი ელექტროდის აქტიური წინაღობის ზონაში ან ორივეს ზონაში ერთდროულად (ზონების გადაფარვა), მაშინ მისი ადგილის შეცვლისას ხელსაწყოს ჩვენება მნიშვნელოვნად შეიცვლება და შეუძლებელი გახდება დამიწების წინაღობის ზუსტად დადგენა სურ. 11.

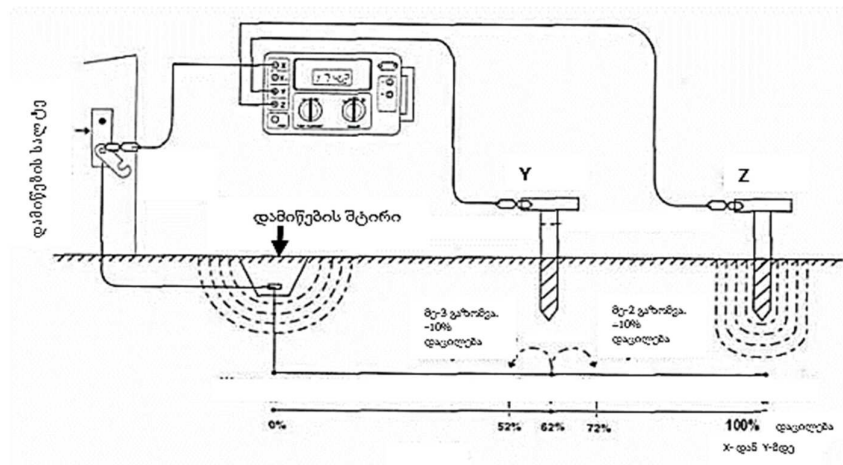
მორეს მხრივ, თუ ძაბვის დამხმარე ელექტროდი Y მოთავსებულია წინაღობის ეფექტური ზონის საზღვრის გარეთ (სურ. 12), მაშინ მისი გადაადგილებისას ხელსაწყოს ჩვენება უმნიშვნელოდ შეიცვლება. ეს შეფასება იქნება დამიწების წინაღობის X ელექტროდისათვის შეფასების საუკეთესო მნიშვნელობა.



სურ. 12 . ეფექტური წინაღობის ზონების არ გადაფარვის ილუსტრირებისათვის  
 გაზომვის შედეგების გამოსახვისათვის გამოყენებულია შედეგების გრაფიკული ინტერპრეტაცია (სურ. 12) საიდანაც ჩანს, რომ გაზომვის შედეგები „წინაღობა-მანძილის“ გრაფიკის თითქმის ჰორიზონტალურ უბანზეა განლაგებული ამიტომაც შედეგებს შორის სხვაობა უმნიშვნელოა (წინაღობა იცვლება უმნიშვნელოდ). ხშირ შემთხვევაში მანძილი ძაბვის Y

ელექტროდიდან შესამოწმებელ X ელექტროდამდე შეადგენს დენის დამხმარე Z ელექტროდიდან X ელექტროდამდე მანძილის 62%. [18, 24]

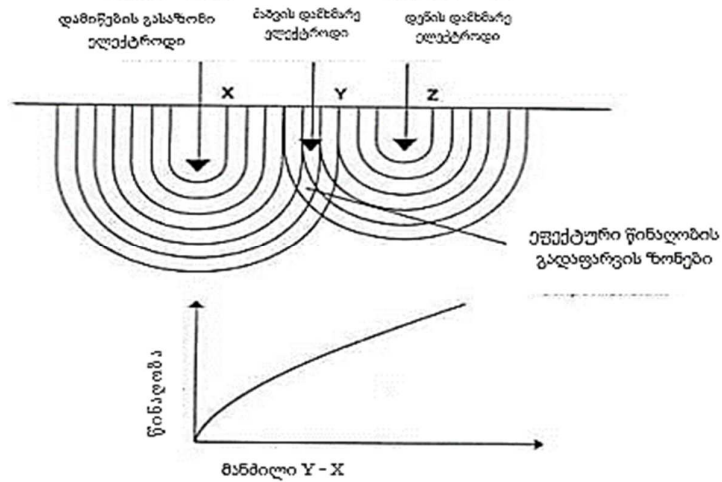
**დამიწების წინაღობის გაზომვის 62%-იან მეთოდი.** მანძილის ეს პროცენტული მნიშვნელობა დაედო საფუძვლად დამიწების წინაღობის გაზომვის ე.წ. 62%-იან მეთოდს, რომელიც პრაქტიკული გაზომვებისა და შესაბამისი გრაფიკების შესწავლითაა დადგენილი. ეს მეთოდი უზრუნველყოფს წინაღობის გაზომვის ყველაზე მაღალ სიზუსტეს გრუნტის ერთგვაროვნების პირობებში. მისი გამოყენება მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, როდესაც შესამოწმებელი და ორი დამხმარე ელექტროდის განლაგება შესაძლებელია ერთ ხაზზე, ამასთან დამამიწებელი ელექტროდი უნდა შედგებოდეს ერთი ღეროსაგან ან ერთი მილისაგან ან ერთი ფირფიტისაგან და ა.შ. როგორც ნაჩვენებია სურ. 13.



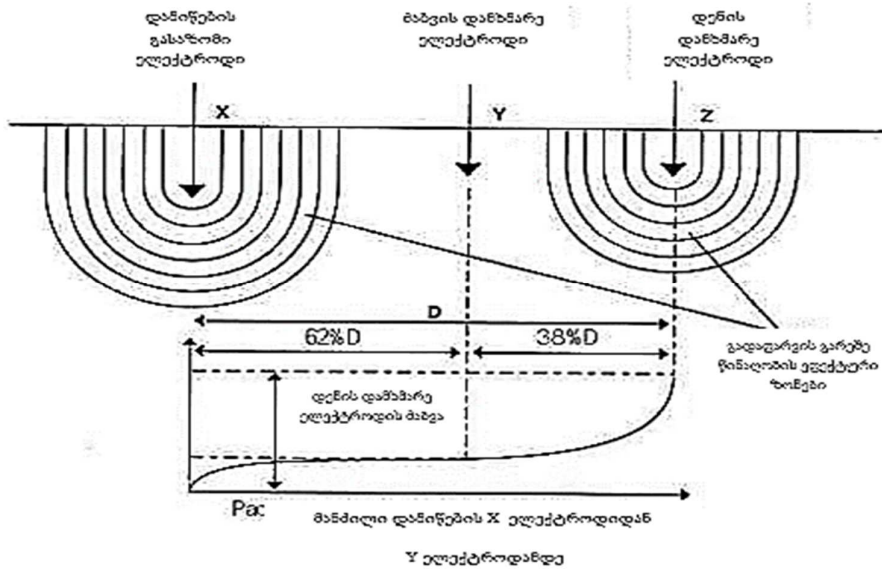
სურ. 13 დამიწების წინაღობის გაზომვის 62%-იან მეთოდი კონცენტრირებული ზედაპირის ჯგუფი X, Y და Z ელექტროდების გარშემო, როგორც ნაჩვენებია სურ. 14, ერთმანეთს გადაფარავენ.

თუ გადავადგილებთ Y პოტენციალის ელექტროდს X ან Z ელექტროდის მიმართულებით და გავიმეორებთ გაზომვას აღმოჩნდება, რომ გაზომვის ჩვენებები ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავებული იქნება, შესაბამისად მათ დამიწების წინაღობის ნამდვილ მნიშვნელობად ვერ მივიღებთ, რეალურად ვნახავთ, რომ წინაღობის გაზომილი მნიშვნელობა

გაიზრდება X გასაზომი ელექტროდიდან Y ელექტროდის გადაადგილებასთან ერთად.



სურ. 14 62% გაზომვის მეთოდი ეფექტური ზონების გადაფარვის შემთხვევაში განვიხილოთ ისეთი შემთხვევა, როდესაც X და Z ელექტროდები ისეთი მანძილით არიან ერთმანეთისაგან დაცილებულები, რომ მათი წინააღობის ეფექტური ზონები არ გადაიკვეთება (სურ. 15).



სურ. 15. 62% გაზომვის მეთოდი ეფექტური ზონების არ გადაფარვის შემთხვევაში შეუძლებელია ერთხელ და სამუდამოდ განისაზღვროს იმ მანძილის მნიშვნელობა, რაც უნდა არსებობდეს გამზომ X და დენის დამზარე Z ელექტროდებს შორის, რადგან ამ მანძილის მნიშვნელობა დამოკიდებულია

შესამოწმებელი ელექტროდის სიგრძესა და დიამეტრზე, გრუნტის სახეობაზე და ერთგვაროვნებაზე და განსაკუთრებით ელექტროდების წინააღმდეგობის ეფექტური ზონების მნიშვნელობებზე. მაგრამ უნდა ითქვას, რომ ექსპერიმენტული გზით ნაკვანია მათი მიახლოებითი მნიშვნელობები.

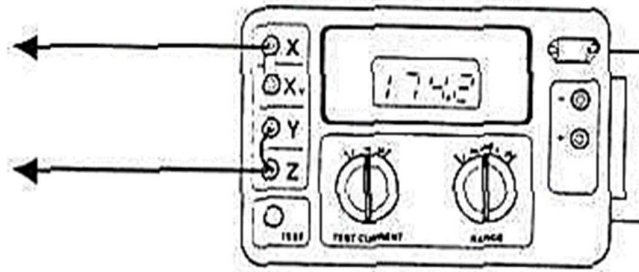
ქვემოთ ცხრილი 2-ში მოცემულია მათი მნიშვნელობები 1 დუიმიანი ელექტროდებისათვის (1/2 დუიმიანის გამოყენებისას ელექტროდებს შორის მანძილი უნდა შემცირდეს 10%-ით, ხოლო 2 დუიმიანის გამოყენებისას უნდა გაიზარდოს 10%-ით).

ცხრილი 2 ინგლისურ-ამერიკულ ერთეულების შესაბამისობა SI ერთეულებთან.

მიახლოებითი მანძილი დამხმარე ელექტროდებამდე 62%-იანი მეთოდისთვის					
X ელექტროდის ჩაშვების სიღრმე		მანძილი Y ელექტროდამდე		მანძილი Z ელექტროდამდე	
ფუტი	მეტრი	ფუტი	მეტრი	ფუტი	მეტრი
6	1,8288	45	13,716	72	21,9456
8	2,4384	50	15,24	80	24,384
10	3,048	55	16,764	88	26,8224
12	3,6576	60	18,288	96	29,2608
18	5,4864	71	21,6408	115	35,052
20	6,096	74	22,5552	120	36,576
30	9,144	86	26,2128	140	42,672

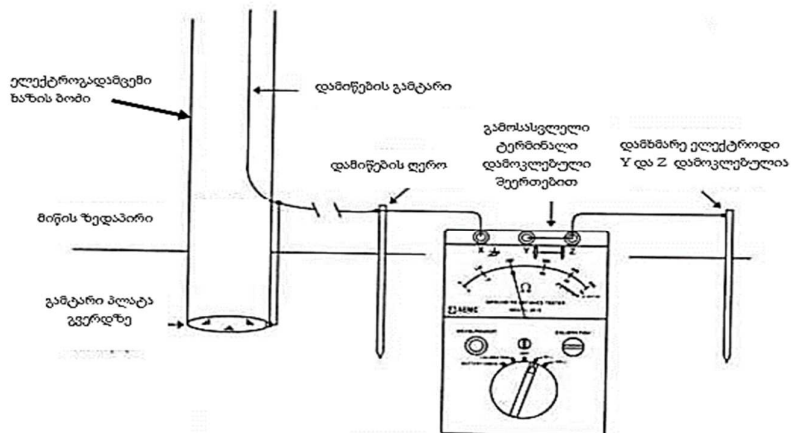
### 1.2.3. დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვის აპარატურა

დამიწების გამტარის ელექტრული გამტარობის გაზომვა საშუალებას გვაძლევს მისი მნიშვნელობა გავითვალისწინოთ დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვისას, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს თუ გამზომი ხელსაწყო შესაბამის X და Z ტერმინალებში ჩავრთავთ გამტარს (სურ. 16)



სურ. 16 დამიწების გამტარის გამტარობის გაზომვა

დამიწების გამტარის გამტარობის გაზომვის ალტერნატიული, ორ წერტილიანი გაზომვის მეთოდი, შესაძლებელია განხორციელდეს ქალაქის მჭიდროდ დასახლებულ უბნებში, როდესაც ხელმისაწვდომია გასაზომი დამიწების გარდა სხვა უფრო მაღალი ხარისხის დამიწება. გაზომვის ასეთი ჩართვის სქემით ჩატარების საშუალებას გვაძლევენ დამიწების გამზომი შემდეგი ხელსაწყოები Fluke 1623, P-38, M-416.



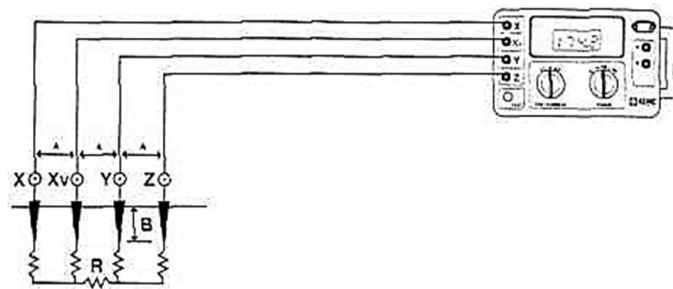
სურ. 17 ორ წერტილიანი გაზომვის მეთოდი

გაზომვა გვაჩვენებს მიმდევრობით ჩართული დამიწების ორი მოწყობილობის წინაღობას. ამიტომ მეორე დამიწება უნდა იყოს ძალიან კარგი, იმდენად კარგი, რომ მისი წინაღობის უგულებელყოფა უნდა შეგვეძლოს მისი სიმცირის გამო. აუცილებელია ასევე გაიზომოს გამტარის წინაღობა და მისი მნიშვნელობა გამოაკლდეს გაზომვის შედეგს.

გაზომვის ორ წერტილოვანი მეთოდი სიზუსტით უფრო ნაკლებია ვიდრე 62%-იანი მეთოდი, მაგრამ ის კარგი გამოსავალია მჭიდროდ დასახლებულ უბნებში გაზომვის განსახორციელებლად (სურ. 17).

გრუნტის კუთრი წინაღობის გაზომვა მნიშვნელოვანია გრუნტის წინაღობის სიდიდის დადგენა დამცავი დამიწების კონსტრუქციის გადაწყვეტისა და განსაზღვრისათვის, განსაკუთრებით დიდი ზომის დამიწების კონტურების დამუშავების, პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს.

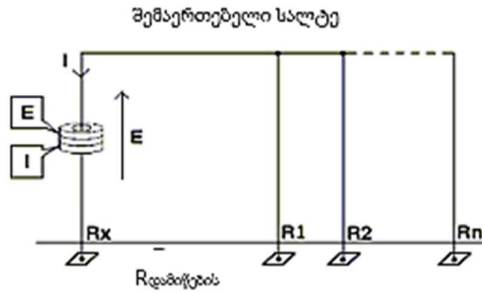
გრუნტის წინაღობის გაზომვა შესაძლებელია რამდენიმე ხერხით ორ, სამ ან ოთხ წერტილიანი მეთოდით. ორ წერტილიანი მეთოდით გაზომვა ხორციელდება ჩვეულებრივ როგორც ორ წერტილს შორის წინაღობის გაზომვა. უმეტეს შემთხვევაში გამოიყენება ოთხ წერტილიანი გაზომვის მეთოდი, რომელიც ხორციელდება დამიწების გამზომი ტესტერის მოდელი 4500, Fluke 1623 ან მისი მსგავსი მოდელების საშუალებით (სურ. 18).



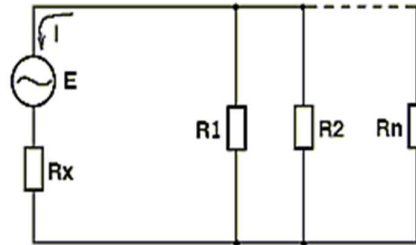
სურ. 18 გრუნტის კუთრი წინაღობის გაზომვის ოთხ წერტილიანი სქემა

როგორც დასახელებიდან ჩანს ოთხ წერტილიანი მეთოდის გამოყენებისას, გასაზომ უბანზე ელექტროდები უნდა განლაგდეს ერთმანეთისაგან თანაბარი დაშორებით, წრფეზე. ნაპირა ელექტროდებს შორის გადის, გენერატორის მიერ შექმნილი, ცნობილი სიდიდის დენი. შიგა ელექტროდებს შორის იზომება ძაბვის ვარდნა, ხოლო ხელსაწყო აჩვენებს გასაზომი წინაღობის სიდიდის მნიშვნელობას ომებში.

**დამიწების წინაღობის გაზომვა დენის მარწუხის გამოყენებით.** ასეთი სახით დამიწების წინაღობის გაზომვა ახალად შექმნილი გაზომვის უნიკალური მეთოდია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ისე ჩავატაროთ გაზომვის პროცესი, რომ არ მოხდეს დამიწების წრედის გამორთვა. საერთო დანიშნულების დამიწების გამტარი შეიძლება სურ. 19-ზე ან სურ. 20-ზე ნაჩვენები ექვივალენტური სქემის სახით წარმოვადგინოთ.



სურ. 19 დამიწების კონტურის წინაღობის მარწუხით გაზომვის სქემა



სურ. 20 მარწუხით გაზომვის ექვივალენტური სქემა

თუ რომელიმე  $R_x$  წინაღობის შტოში ტრანსფორმატორის საშუალებით შევქმნით  $E$  ძაბვას, მაშინ წრედში გაივლის დენი  $I$ . ამ სიდიდეებს შორის კავშირს ომის კანონის სახე ექნება  $R_x = E/I$ .

ნაჩვენებ სქემებში დენი შესაძლებელია შეიქმნას სპეციალური ტრანსფორმატორით, რომელიც სიმძლავრის გამაძლიერებლის საშუალებით ჩაირთვება 1,6 კვც ამპლიტუდის ძაბვის წყაროში. ეს დენი დარეგისტრირდება აღწერილ კონტურში. გასაზომი სიგნალი სინქრონული დეტექტორის საშუალებით რეგისტრირდება, გაძლიერდება ამორჩევითი მაძლიერებლით, გარდაიქმნება ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელით და აისახება თხევად-კრისტალური დისპლეისზე. ამორჩევითი გამაძლიერებელი გამოიყენება სასარგებლო სიგნალის ქსელის სიხშირისა და მაღალსიხშირული ხელშეშლებისაგან გასასუფთავებლად. ძაბვა რეგისტრირდება აგზნებული კონტურის გარშემო მოთავსებული კოჭების საშუალებით, კომპარატორში საყრდენ სიგნალთან შედარების შემდეგ სუფთავდება და ძლიერდება.

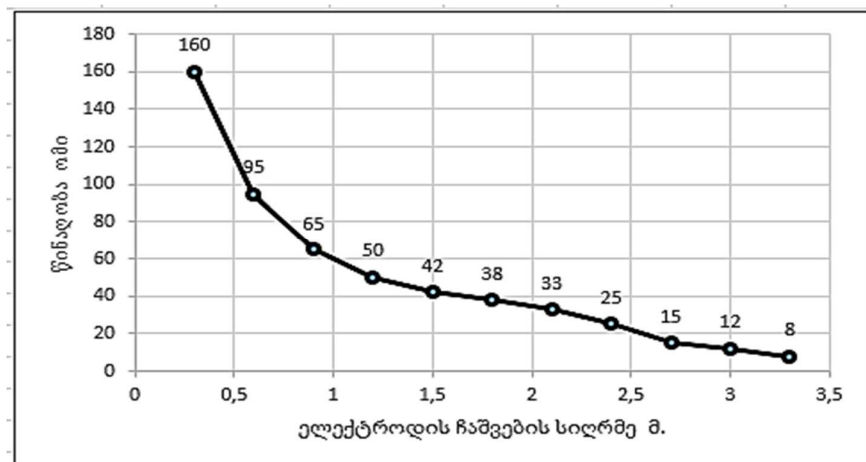


#### 1.2.4. დამიწების წინალობის შემცირების ეფექტური მეთოდები

დამიწების წინალობის სიდიდის მცირე მნიშვნელობის მიღწევას, რომელიც ხშირ შემთხვევაში ტექნიკური და საყოფაცხოვრებო განსაკუთრებული მოთხოვნების შედეგად შეიძლება წამოიჭრას, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. დამიწების წინალობის შემცირების გზა ყველა შემთხვევაში დაიყვანება დამიწების ელექტროდსა და გრუნტს შორის გარდამავალი - საკონტაქტო წინალობის შემცირებაზე, რომელიც შესაძლებელია შემდეგი სამი ხერხით განხორციელდეს:

1. დამიწების ელექტროდის გრუნტში ჩაშვების სიღრმის გაზრდით;
2. დამიწების ელექტროდების რაოდენობის გაზრდით;
3. ნიადაგის ქიმიური დამუშავებით.

**პირველი ხერხი** დამიწების ელექტროდის დაგრძელება და შესაბამისად გრუნტში მისი ჩაშვების სიღრმის 2-ჯერ მომატება დამიწების წინალობას დაახლოებით 40%-ით ამცირებს, შესაბამისი მრუდი ნაჩვენებია სურ. 21-ზე. როგორც სურათიდან ჩანს ელექტროდისათვის, რომლის გრუნტში ჩაშვების სიღრმე დაახლოებით 1,2 მეტრია წინალობა 50-55 ომის ფარგლებშია, თუ ელექტროდის სიგრძეს ორჯერ გავზრდით მაშინ მისი წინალობა დაახლოებით 30 ომის ტოლი გახდება, რაც პროცენტულად დაახლოებით 43%-ს შეადგენს.



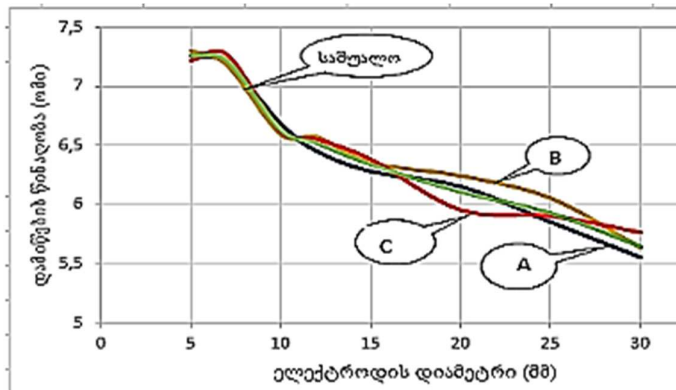
სურ. 21 დამიწების წინალობის ცვლილება ჩაშვების სიღრმისგან დამოკიდებულებით

გრაფიკის ხასიათიდან გამომდინარე დამიწების წინააღმდეგობასა და ელექტროდის გრუნტში ჩაშვების სიღრმეს შორის პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება არ არსებობს, მაგრამ დამიწების წინააღმდეგობის შემცირებას ასიმპტოტური ხასიათი აქვს და ეს მნიშვნელობა გრაფიკის ნებისმიერი უბნისთვის მუდმივი სიდიდე არ არის, თუმცა მონოტონურად მცირდება.

წინააღმდეგობის შემცირებას აქვს ადგილი ასევე დამიწების ელექტროდის დიამეტრის გაზრდისას (ცხრილი 3), თუმცა ამ შემთხვევაში ეფექტი ბევრად უფრო ნაკლებია. როგორც სამი A, B, C ლაბორატორიების გაზომვის შედეგებით აგებული გრაფიკული დამოკიდებულებიდან ჩანს 3 მეტრის სიღრმეზე ჩაშვებული 15 მმ-იანი დიამეტრის ელექტროდის დამიწების წინააღმდეგობა 6,34 ომის ტოლია (სურ. 22). დამიწების ელექტროდის 30 მმ-დე გაზრდის შემდეგ იგივე მასალისა და სიღრმის ელექტროდის წინააღმდეგობა მხოლოდ 5,65 ომამდე მცირდება, ანუ წინააღმდეგობა შემცირდა მხოლოდ 10,8%.

*ცხრილი 3 ელექტროდის დიამეტრის წინააღმდეგობაზე დამოკიდებულების შედეგები სხვადასხვა ლაბორატორიებისათვის*

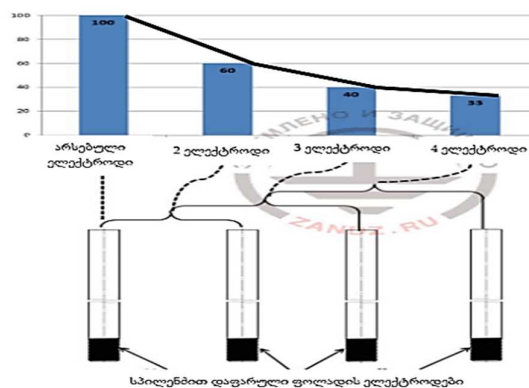
ელექტროდის დიამეტრი	წინააღმდეგობა ლაბორატორიების მიხედვით (ომი)			
	A	B	C	საშუალო მნიშვნელობა
5,0	7,26	7,3	7,22	7,26
7,0	7,2	7,18	7,27	7,22
10,0	6,68	6,59	6,62	6,63
12,0	6,45	6,57	6,55	6,52
15,0	6,28	6,35	6,38	6,34
20,0	6,15	6,24	5,95	6,11
25,0	5,85	6,05	5,9	5,93
30,0	5,55	5,63	5,76	5,65



სურ. 22 დამიწების წინალობის დამოკიდებულება ელექტროდის დიამეტრზე

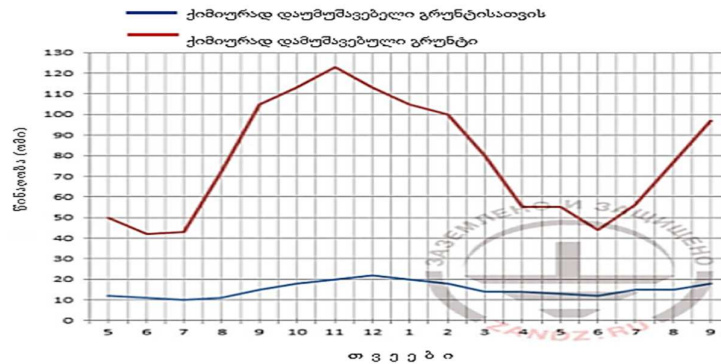
განხილულიდან გამომდინარე ელექტროდის დიამეტრის გაზრდას აზრი აქვს მაშინ, როდესაც საჭიროა დამიწების წინალობის შემცირება ელექტროდის გრუნტში ღრმად ჩაშვებით ამ დროს მისი სიმტკიცის გასაზრდელად ეფექტურია მისი ელექტროდის დიამეტრის გაზრდა. [54]

დამიწების შემცირების მეორე ხერხი რამდენიმე ელექტროდის გამოყენებით შეიძლება განხორციელდეს. გრუნტში ერთმანეთისგან საკმაოდ დაცილებული ელექტროდები ქმნიან დენის გაჟონვის პარალელურ შტოებს. ეფექტის სრულად მიღწევისათვის ელექტროდებს შორის დაშორება შეიძლება მათი სიგრძის ათმაგ ოდენობას აღწევდეს. როდესაც ელექტროდებს შორის მანძილი მათი ჩაშვების სიგრძის ტოლია დამიწების წინალობის ჯამური მნიშვნელობა 40%-ით მცირდება, სამი ელექტროდის გამოყენებისას მცირდება 60%, ხოლო 4-ის გამოყენების შემთხვევაში 66%-ით. (სურ. 23).

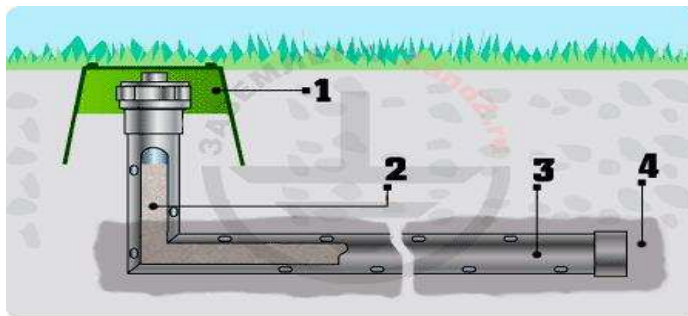


სურ. 23 დამიწების ელექტროდების რაოდენობის გავლენა ჯამურ წინალობაზე

გრუნტის ქიმიური დამუშავება, დამიწების წინააღმდეგობის შემცირების ერთ-ერთი ქმედითი მეთოდია, რომლის გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია ქვიშიანი, ქვიანი და მუდმივი გამყინვარების ნიადაგებისათვის. ნიადაგის ქიმიური დამუშავება ასევე ამცირებს სეზონური გავლენის ნიადაგის ჰარბტენიანობისა და გამოშრობის დროს. ქვემოთ მოცემულ დიაგრამაზე (სურ. 24) ნაჩვენებია დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობა წელიწადის თვეების (სეზონური) მიხედვით ქიმიურად დამუშავებული და დაუმუშავებელი გრუნტებისათვის ჩრდილო ნახევარსფეროს შუაევროპული რეგიონისათვის. [17.37]



სურ. 24 დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობა სეზონური მიხედვით ქიმიური დამუშავებისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს გოგირდმჟავა მაგნიუმი, სპილენძის სულფატი და ჩვეულებრივი ნატრიუმის ქლორიდი (სუფრის მარილი). გოგირდმჟავა მაგნიუმს ყველაზე ნაკლებად გააჩნია კოროზიული ეფექტისადმი მიდრეკილება, ხოლო ნატრიუმის ქლორიდი ყველაზე იაფია და წარმატებით მუშაობს თუ მას მოვათავსებთ ელექტროდის გარშემო წრიულ ღრმულში 50 სმ დიამეტრით და 30 სმ სიღრმით.



სურ. 25 ელექტროლიტური დამიწების მოწყობილობა

1. ჭა მომსახურებისათვის; 2. მინერალური მარილების სპეციალური ნარევი;
3. დამიწების ელექტროდი; 4. შემავსებელი.

მნიშვნელოვანია გვახსოვდეს, რომ გრუნტის ქიმიური დამუშავების შემდეგ დამიწების წინაღობა მცირდება მცირე ხნით. ნალექი და ნიადაგის ბუნებრივი დრენაჟი ამცირებს ქიმიური რეაგენტის კონცენტრაციას.

გამოსავალია ქიმ-რეაგენტის ღრმულში მოთავსება კი არ არის არამედ მისი მოთავსება უნდა მოხდეს ღრუ, პერფორირებულ ელექტროდში. ამ შემთხვევაში ხსნადობის პროცესი გახდება მეტნაკლებად თანაბარი და თანდათანობითი, რაც დიდი ხნის პერიოდში გამოიწვევს დამიწების წინაღობის შემცირებას. ამ პრინციპზეა დამყარებული ელექტროლიტური დამიწების კონსტრუქციების გამოყენება. მასში გამოიყენება უჟანგავი ფოლადის ელექტროდი, რომელიც შევსებულია პატენტით დაცული მარილის ხსნარით. ამ ხსნარის ერთი ჩატვირთვა 10-15 წელი მუშაობს, ხოლო თვით ელექტროდის მუშაობის ხანგრძლივობა 50 წელია. კიდევ ერთი დადებითი მხარე რაც გააჩნია ელექტროლიტურ დამიწებას - მონტაჟის დაბალი სიღრმეა. ელექტროდის Γ-სებრი ფორმის გამო მისი გრუნტში ჩაშვება მხოლოდ 0,7 მ-ის სიღრმეზე ხორციელდება (სურ. 25).

გადასაწყვეტი ამოცანის, ნორმატიული მოთხოვნების, გრუნტის შემადგენლობის, დაცვის ობიექტის მოთხოვნების და სხვა ფაქტორთა გათვალისწინებით შეირჩევა დამცავი დამიწების რეალიზაციის ის სქემა, რომელიც სრულად უპასუხებს დასმულ ამოცანას.

## თავი 2. დამცავი დამიწების კონტურის საკონტროლო ნიმუშის მოწყობა ღია გრუნტში

დამიწების წინაღობის კონტურის მოწყობა ღია გრუნტში საკმაოდ გავრცელებული ოპერაციაა, რომელიც გარკვეული მოთხოვნებისა და წესების დაცვით ხორციელდება. განვიხილოთ დამიწების კონტურის მოწყობის ყველაზე გავრცელებული ვარიანტი ვერტიკალური, ცილინდრული, მოსპილენძებული ელექტროდის გამოყენებით, რომელის სამონტაჟო სიგრძე 1,5 მეტრს შეადგენს. გრუნტში მისი ჩასმისათვის გამოიყენება, მექანიკური ან ელექტრული ჩაქუჩი დარტყმის ენერგიით 20-25 ჯოული. სამონტაჟო სიღრმის გასაზრდელად, რამდენიმე შტირის გამოყენებისას, მათ შორის შეერთება შეიძლება შესრულდეს ჩვეულებრივი ხრახნილი მუფტის გამოყენებით, შედულების გარეშე. დამიწების გამტარის მიერთებისათვის გამოიყენება ხრახნილი მომჭერი ქანჩით.[7.25.52]

ერთი ელექტროდის დამონტაჟება 15-30 მეტრის სიღრმეზე კარგ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტად ითვლება და უზრუნველყოფს მეტად ეფექტური დამიწების წინააღობის არსებობას. ასეთი სახით მონტაჟის შემთხვევაში დამიწების კონტური შედარებით სტაბილური მახასიათებლების მიღებას უზრუნველყოფს და გამოირჩევა ისეთი დადებითი ფაქტორებით როგორცაა:

- დამიწების წინააღობის დამოკიდებულება ამინდისა და წელიწადის დროისაგან;
- შესაძლებელია მონტაჟის განხორციელება შენობის პერიმეტრის შიგნით, მაგალითად სარდაფში;
- დამიწების კონტურისათვის საჭირო მინიმალური ფართობი;
- მიწის სამუშაოთა მინიმალური მოცულობა.

თუმცა აქვე აღსანიშნავია, რომ ზემოთ ჩამოთვლილ დადებით მხარეებთან ერთად აღნიშნულ მეთოდს რიგი უარყოფითი მხარეც გააჩნია მათ შორის რა თქმა უნდა აღსანიშნავია სირთულე, რომელიც 15-30 მეტრის

ელექტროდის გრუნტში ჩაშვებასთან არის დაკავშირებული, რადგან ამ სამუშაოს შესრულებას აუცილებლად სჭირდება ძვირადღირებული პნევმატური, ჰიდრავლიკური ან ელექტრული ჩაქურის გამოყენება. ასევე განსაკუთრებული მოთხოვნა ელექტროდის დიამეტრსაც წაყენება, რომელიც შესაბამისად უნდა გაიზარდოს, რათა უზრუნველყოს სიმტკიცე ჩაქურის დარტყმითი ზემოქმედების მიმართ, რაც მის ღირებულებას მონტაჟის პროცესთან ერთად საგრძნობლად გაზრდის. ასევე აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ უკვე არსებული შენობებისთვის, სადაც სართულები ერთმანეთისაგან იზოლირებულია იატაკისა და ჭერის გადახურვით ამ მეთოდის გამოყენება გამწვანებულია იატაკისა და შესაძლებელია ჭერის დამატებითი ნგრევისა და აღდგენის გარეშე.

შექმნილი მდგომარეობიდან გამოსავალი ელექტროდების სიგრძის გონივრულ მასშტაბებამდე შემცირება და მათი რაოდენობის გაზრდაა.

ელექტროდის სამონტაჟო სქემა ნაჩვენებია სურ. 26. აქვე მოცემულია ელექტროდების მონტაჟის თანამიმდევრობა.

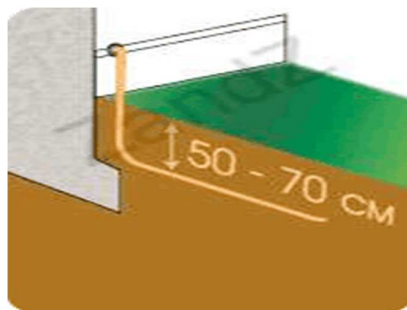
გრუნტის ზედა ფენაზე განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს გარემო ზემოქმედების ფაქტორები. დამიწების ელექტროდები და მათი შემაერთებელი გამტარები ასეთი სახის ზემოქმედებისაგან თავის ასარიდებლად უმჯობესია დაცული იყოს გრუნტის გარკვეული სისქის ფენით. ასევე მაღალია, გრუნტის ზედა ფენებში, შემაერთებელი გამტარების მექანიკური დაზიანების საფრთხე, ამიტომ რეკომენდებულია მათი განლაგება გრუნტის სიღრმეში 0,5-0,7 მ-ის სიღრმეზე (სურ. 27).

მოყვანილი რეკომენდაციების გათვალისწინებით დამიწების კონტური მოეწყოს თბილისში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, VI კორპუსის მიმდებარე ტერიტორიაზე (კოსტავას 77).



1. პირველი ელექტროდის საწყის და შემართებელი ბუნიკების შიგა ნაწილებს ამუშავებენ დენგამტარი საცხით და ჩამოაცვამენ შტირს;
2. მიმმართველ თავაკს ჩახრახნიან დამიწების შტირზე მიხრახნილ შემართებელ მუფთაში ;
3. შტირს ჩაუშვებენ გრუნტში საჭირო სიღრმეზე ;
4. მოუშვებენ მიმმართველ თავაკს შემართებელი მუფთის გარეშე;
5. საჭიროების შემთხვევაში მუფთაში ჩახრახნიან შემდეგი შტირს. ოპერაციებს იმეორებენ სასურველი რაოდენობით;
6. შემართებელი მუფთის ხრახნს მიაერთებენ დამიწების გამტარს.

სურ. 26. ელექტროდის სამონტაჟო სქემა და მონტაჟის თანმიმდევრობა



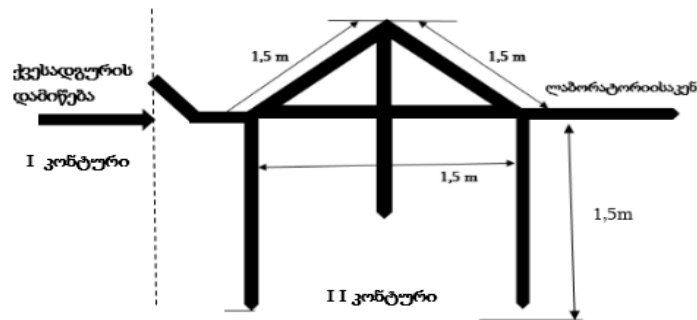
სურ. 27 დამიწების გამტარის განლაგება გრუნტში



2.1. ღია გრუნტში მოწყობილი დამცავი დამიწების კონტურის საკონტროლო ნიმუშის აღწარმოებადობის, განმეორებადობის და მონაცემთა ერთგვაროვნების მახასიათებლების გამოკვლევა

დამიწების სქემა შესრულებულია ორი დამოუკიდებელი კონტურის სახით, რომელთა წინაღობის მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება, რაც საშუალებას გვაძლევს კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლმზ-ს მონაწილეებს გაზომვათა სხვადასხვა ტურში, ეტაპზე და საჭიროების შემთხვევაში სერიაში გასაზომად შევთავაზოთ დამიწების წინაღობის სხვადასხვა მნიშვნელობები.

ჩვენს მიერ ჩატარებულია გამოცდები როგორც დამოუკიდებელი კონტურებისათვის ასევე მათი ერთობლიობით სურ. 28-ზე ნაჩვენები ჩართვის სქემების შესაბამისად.



სურ. 28 ლმზ-ს საკონტროლო ნიმუშის ორ კონტურიანი დამიწების სქემა კონტურების ერთობლივად ჩართვის შემთხვევაში ისინი განიხილება როგორც პარალელური შეერთების მქონე წინააღობები და ექვივალენტური წინააღობა გამოითვლება

$$R_{ქვ} = \frac{R_{ქსდგ} \cdot R_{ლმზ}}{R_{ქსდგ} + R_{ლმზ}} \quad (23)$$

სადაც:  $R_{ქსდგ}$  - არსებული მიმდებარე ქვესადგურის დამიწების წინააღობა;

$R_{ლმზ}$  - ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩასატარებლად მოწყობილი დამიწების კონტურის წინააღობაა. [19]

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ISO 17043:2010 სტანდარტის განსაკუთრებულ მოთხოვნათა შორის საკონტროლო ნიმუშის ერთგვაროვნებისა და სტაბილურობის კრიტერიუმებია გამოსაყოფი. ამ კრიტერიუმის დაცვა, ლშგ-ს ყველა მონაწილეს, ერთგვაროვნებისა და სტაბილურობის თვალსაზრისით, ურთიერთ შედარებად საკონტროლო ნიმუშით უზრუნველყოფს.

საკონტროლო ნიმუშის ერთგვაროვნების შესაფასებლად, როდესაც ხდება საკონტროლო ნიმუშის დანაწევრება მონაწილე ლაბორატორიებისათვის გადასაცემად, გამოიყენება ერთგვაროვნების შეფასების კრიტერიუმი, სადაც ერთმანეთს ედრება ნიმუშთა შორის სტანდარტული გადახრები და ნიმუშების კომპეტენტურობის შეფასების სტანდარტული გადახრები. ნიმუშები შეიძლება ჩაითვალოს ერთგვაროვნად თუ კმაყოფილდება მოთხოვნა

$$S_s \leq 0,3\sigma \quad (24)$$

სადაც:

$S_s$ - ნიმუშთა შორის სტანდარტული გადახრაა, რომელიც დადგენილია სერტიფიცირებული ნიმუშების დამამზადებლებისგან ან სერტიფიცირებული ლაბორატორიის მიერ.

$\sigma$ - კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტული გადახრა.

კოეფიციენტი 0,3 გვიჩვენებს, რომ აღნიშნული კრიტერიუმის დაკმაყოფილებისას ნიმუშთა შორის სტანდარტული გადახრა არ გადააჭარბებს ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტული გადახრის 10%-ს.

საკონტროლო ნიმუშის სტაბილურობის შემოწმება ტარდება იგივე ლაბორატორიაში, იგივე მეთოდით როგორც ჩატარდა გამოცდები ერთგვაროვნების დასადგენად. დროითი ინტერვალი სტაბილურობის შემოწმებისათვის ისეთი უნდა იყოს, როგორც ლშგ-ს მონაწილე

ლაბორატორიებს დასჭირდებათ შედეგის მისაღებად. სტაბილურობის შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია უტოლობა

$$|\bar{x} - \bar{y}| \leq 0,3\sigma \quad (25)$$

სადაც:

$\bar{x}$  და  $\bar{y}$  ერთგვაროვნებისა და სტაბილურობის შემოწმებისას მიღებული შედეგების საშუალო არითმეტიკულის მნიშვნელობებია. ზემოთ მოყვანილი მახასიათებლების გამოკვლევისათვის ღია გრუნტში მოწყობილ დამიწების კონტურზე, როგორც კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლშგ-ს საკონტროლო ნიმუშზე ჩატარდა გამოკვლევები დამიწების მახასიათებელი პარამეტრების ერთგვაროვნების, სტაბილურობის, აღწარმოებადობისა და განმეორებადობის გამოსაკვლევად.

დამიწების რეალური საკონტროლო ნიმუში წარმოადგენს ერთ ფიზიკურ ობიექტს, რომლის მახასიათებლების სტაბილურობა დამოკიდებულია დროში საშუალო და გრძელვადიან ცვლილებებზე, ხოლო ნიმუშთა შორის სტანდარტული გადახრა  $S_s$  დამოკიდებული იქნება მხოლოდ გაზომვის პროცესთან დაკავშირებულ ცვლილებებზე. ISO 13528 სტანდარტის მიხედვით, როდესაც საკონტროლო ნიმუშისათვის გართულებულია სტანდარტული სერტიფიცირებული მნიშვნელობის მინიჭება, ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია ექსპერტული ან მონაწილე ლაბორატორიების შეთანხმებული, რობასტული მნიშვნელობის მინიჭება, ასევე დასაშვებია სხვა მეთოდების გამოყენებაც, თუ მათ გააჩნიათ კარგი სტატისტიკური დასაბუთება.[13]

ნორმირების ასეთ პარამეტრს შეიძლება ჰქონდეს საყრდენი მნიშვნელობის სახე, რომელიც კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორის გამოცდებში შეთანხმებული მნიშვნელობის სახითაა ცნობილი და ეს შეიძლება იყოს [3] (პუნქტი 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6):

ა. თეორიული ან დადგენილი მნიშვნელობა, რომელიც ემყარება მეცნიერულ პრინციპებს;

ბ. მიწერილი ან ატესტირებული მნიშვნელობა, რომელიც ემყარება, რომელიმე ნაციონალურ ან საერთაშორისო ორგანიზაციის მიერ ჩატარებულ ექსპერიმენტულ კვლევებს;

გ. შეთანხმებული ან ატესტირებული მნიშვნელობა, რომელიც ემყარება სამეცნიერო ან საინჟინრო ჯგუფის ხელმძღვანელობით შესრულებულ ექსპერიმენტულ სამუშაოებს;

დ. გაზომვის შედეგის საშუალო მნიშვნელობები მხოლოდ იმ შემთხვევაში როდესაც ა, ბ, გ ხელმისაწვდომი არაა.

ჩვენი შემთხვევისათვის როდესაც საკონტროლო ნიმუში წარმოადგენს ერთ ფიზიკურ ობიექტს და კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების პროცესში არ ხდება მისი დანაწევრება, არამედ ყველა ლაბორატორია იკვლევს ერთიდაიგივე ნიმუშს დროის მცირე შუალედში. დიდი ალბათობით სტანდარტული გადახრის ცვლილება თვით გაზომვის პროცესის მიმდინარეობით განისაზღვრება და ამდენად საკონტროლო ნიმუშის გაზომვის მონაცემთა ერთგვაროვნების შესაფასებლად გამართლებული იქნება კოკრენის კრიტერიუმის [14] გამოყენება.

გაზომვები ტარდებოდა დაკვირვებათა ათჯერადი გამეორებით საიდანაც იანგარიშებოდა გაზომვის შედეგი, როგორც დაკვირვებათა შედეგების საშუალო არითმეტიკული, ასევე იანგარიშებოდა გაზომვის შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობა. დაკვირვებათა სერიების რაოდენობაც ასევე ათია.

გამოცდების ჩატარების პროგრამა ითვალისწინებდა დაკვირვებათა ათჯერადი შედეგების ათი სერიის ჩატარებას.

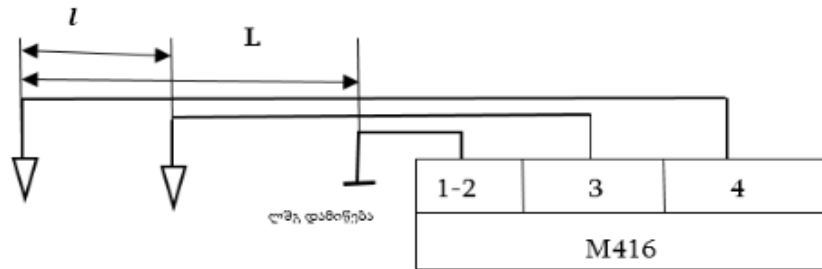
გამოცდების ასეთი სახის პროგრამით რეალიზაციამ საშუალება მოგვცა მიგველო საწყისი მონაცემები;

- გაზომვათა ერთგვაროვნების კრიტერიუმის შესაფასებლად;
- მონაცემები სტაბილურობის კრიტერიუმის დასადგენად;
- მონაცემები აღწარმოებადობის პარამეტრის შესაფასებლად;
- მონაცემები განმეორებადობის პარამეტრის შესაფასებლად;

- მონაცემთა ერთობლიობის საშუალებით საკვლევი ობიექტისათვის მიგვენიჭებინა ატესტირებული ნიმუშის სტატუსი.

2.1.1. დამიწების საკონტროლო ნიმუშის გამოკვლევა დამცავი დამიწების საზომი ხელსაწყო M-416-ის გამოყენებით

M 416 ხელსაწყო ჩართვის სქემა დამიწების კონტურთან ნაჩვენებია სურ. 28.



სურ. 29 დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვა M-416 ტიპის ხელსაწყოთი

გაზომვის შედეგები მოცემულია ცხრილი 4-ის საშუალებით დამცავი დამიწების წინააღმდეგობის ათი სერიის 10 ჯერად დაკვირვებათა შედეგების საშუალო არითმეტიკულის მიხედვით გამოთვლილი გაზომვის შედეგი

$$\bar{R} = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} \Omega_i = 6,146 \Omega \quad (26)$$

დაკვირვების შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობა დაკვირვებათა თითოეული სერიისათვის გამოითვლება ფორმულით [15,26, 27].

$$u_{Ai} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (27)$$

სადაც:

$n$  - დაკვირვებათა რაოდენობაა სერიაში.

$X_i$  არის  $i$ -ური დაკვირვების შედეგი;

$\bar{X}$ - მოცემული სერიის საშუალო არითმეტიკული (გაზომვის შედეგი).

დაკვირვებათა შედეგების რამოდენიმე ჯგუფის დისპერსიების (A ტიპის განუსაზღვრელობების) ერთგვაროვნების შესამოწმებლად (24) ფორმულის გამოყენება ვერ მოხერხდება, რადგან ჩვენი დამიწების

კონტური ღია გრუნტშია მოწყობილი და მასზე მრავალი ზემოქმედების ფაქტორი მოქმედებს და მის წინაღობას სერტიფიცირებული მნიშვნელობა ვერ ექნება, ამიტომ გამოვიყენოთ მონაცემთა ერთგვაროვნების შეფასების კოკრენის კრიტერიუმი. [26.39]

ცხრილი 4 გაზომვათა სერია M-416 ტიპის ხელსაწყოთი.

დაკვირვება i	ექსპერიმენტი j									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,6	5,80	5,9	5,95	6,05	6,25	5,85	5,95	6,1	6,1
2	6,95	6,1	5,75	5,75	5,65	5,5	5,45	5,85	6,25	6,2
3	6,65	5,85	5,65	5,55	5,35	5,6	6,6	6,2	5,75	6,55
4	5,35	6,25	6,45	6,55	6,7	6,8	6,25	6,3	6,65	6,85
5	6,15	6,9	6,8	6,65	5,65	5,8	5,65	5,65	6,75	6,85
6	6,55	6,15	5,75	5,8	6,8	5,85	6,95	6,7	5,45	6,45
7	5,85	6,25	6,15	6,15	6,25	6,95	6,55	6,8	6,15	5,45
8	5,85	7,0	6,9	6,95	6,65	6,05	6,2	5,9	6,25	6,25
9	5,85	7,0	6,5	6,4	6,35	6,6	5,75	6,7	6,75	6,3
10	5,80	5,55	5,65	5,45	5,65	6,15	6,15	5,4	5,45	5,25
გაზომვის შედეგი	$\bar{y}_1 =$ 6,16	$\bar{y}_2 =$ 6,285	$\bar{y}_3 =$ 6,05	$\bar{y}_4 =$ 6,22	$\bar{y}_5 =$ 6,23	$\bar{y}_6 =$ 6,055	$\bar{y}_7 =$ 6,14	$\bar{y}_8 =$ 6,145	$\bar{y}_9 =$ 6,055	$\bar{y}_{10} =$ 6,125
A ტიპის განუსაზ ღვრელობა $u_i(\Omega)$	0,159	0,164	0,159	0,143	0,19	0,18	0,15	0,151	0,143	0,175

კოკრენის კრიტერიუმის თანახმად ჯერ განვსაზღვროთ თითოეული ჯგუფის დაკვირვებათა შედეგების დისპერსიები. ჩვენი შემთხვევისათვის განსაზღვრულია თითოეული ჯგუფის დაკვირვებათა შედეგების განუსაზღვრელობა ანუ ფაქტიურად თითოეული ჯგუფის დაკვირვებათა შედეგების საშუალო კვადრატული გადახრა. შესაბამისად დაკვირვებათა შედეგების დისპერსია შესაბამისი განუსაზღვრელობის კვადრატის ტოლი იქნება.

კოკრენის კრიტერიუმის მიხედვით მიღებულ შედეგებს შორის განუსაზღვრელობის ყველაზე დიდი მნიშვნელობა გავყოთ ყველა განუსაზღვრელობის ჯამის მნიშვნელობაზე.

$$G = \frac{u_{Amax}}{\sum_{i=1}^{10} u_{Ai}} = \frac{0,19}{1,614} = 0,117 \quad (28)$$

მიღებული მნიშვნელობა შევადაროთ G კოკრენის ცხრილურ მნიშვნელობას პარალელური ექსპერიმენტების 10 ჯგუფისა და

დაკვირვებათა ერთით ნაკლები (n-1) რაოდენობისათვის  $G_{gb} = 0,2439$ , რომელიც მეტია საანგარიშო მნიშვნელობაზე და მიუთითებს, რომ განსახილველი ჯგუფების დისპერსიები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ანუ **ერთგვაროვანია და მონაცემთა გაერთიანება შესაძლებელია.** [26]

მიღებული დასკვნის გათვალისწინებით დაკვირვებათა სერიების მონაცემების გაერთიანების შემდეგ შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინაღობის - გაზომვის შედეგის) სტანდარტული განუსაზღვრელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით განესაზღვროთ ფორმულით

$$u_{\Sigma Ai} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (u_{Ai} - \bar{u}_A)^2} \quad (29)$$

სადაც:

$u_{Ai}$ - დაკვირვებათა  $i$ -ური სერიის A ტიპის განუსაზღვრელობაა;

$\bar{u}_A$ - დაკვირვებათა შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობების საშუალო არითმეტიკული;

$n$ - დაკვირვებათა სერიების რაოდენობა.

საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობების მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილის სახით (ცხრილი 9).

შესაბამისად გაზომვის შედეგების გაზნევის მახასიათებლის გამოთვლისათვის და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ გვექნება

$$u_{\Sigma Ai} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{u}_{Ai} - \bar{u}_A)^2} = 0,005 \quad \Omega \quad (30)$$

დაკვირვების მონაცემთა განაწილების კანონი შევამოწმოთ  $\tilde{d}$  კრიტერიუმის გამოყენებით.

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{u}_i - \bar{u}_A)}{n \cdot S^*} \quad (31)$$

სადაც:

$$S^* = \sqrt{\frac{(\bar{u}_{Ai} - \bar{u}_A)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,00228}{10}} = 0,015 \quad (32)$$

ამის გათვალისწინებით

$$\tilde{d} = \sum_{i=1}^n (\bar{u}_i - \bar{u}_A) / n \cdot S^* = 0.1268 / 10 \cdot 0,015 = 0,845 \quad (33)$$

ცხრილი 5 დაკვირვების 10 სერიის განუსაზღვრელობები.

№	$\bar{u}_i$	$ \bar{u}_i - \bar{u}_A $	$(\bar{u}_i - \bar{u}_A)^2$
1	0,159	0.0024	$0.57 \cdot 10^{-5}$
2	0,164	0.0026	$0.67 \cdot 10^{-5}$
3	0.159	0.0024	$0.57 \cdot 10^{-5}$
4	0.143	0.0184	$33,8 \cdot 10^{-5}$
5	0.19	0.004	$81,8 \cdot 10^{-5}$
6	0.18	0,0186	$34,6 \cdot 10^{-5}$
7	0.15	0.0114	$13,0 \cdot 10^{-5}$
8	0.151	0.0113	$12,99 \cdot 10^{-5}$
9	0.143	0.0184	$33,8 \cdot 10^{-5}$
10	0.175	0.0136	$18,49 \cdot 10^{-5}$
$\bar{u}_A = \sum_{i=1}^n u_i = 0.1614$		0.1268	0.00228

რაც მოთავსებულია  $\tilde{d}$  კრიტერიუმის ნორმალური განაწილების პირობის ზღვრებს შიგნით 10 შედეგისათვის

$$d_{\text{კვ}} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,845 < d_{\text{ზედ.}} = 0,903 \quad (34)$$

ე.ი. საქმე გვაქვს მიღებული შედეგების ნორმალური განაწილების კანონთან.

გაფართოებული განუსაზღვრელობა აღნიშნული მონაცემებისათვის

$$U = k u_{\Sigma A_i} = 1,96 \cdot 0.005 = \pm 0.0098 \Omega \approx 0.01 \Omega \quad (35)$$

შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინააღობის) მნიშვნელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით

$$R_{\text{დამიწ}} = 6,146 \pm 0,01\Omega \quad (36)$$



განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა მოცემული დამცავი დამიწების წინააღობის საზომი ხელსაწყო M416-ის საპასპორტო და კალიბრების სერტიფიკატის მნიშვნელობათა ფარგლებშია.

**2.1.2. დამიწების წინააღობის გაზომვა რეოქორდული ბოგირის P38-ის გამოყენებით**

უნივერსალური საზომი ხელსაწყო P38-ის დანიშნულებაა წინააღობის, მუდმივი ელექტრომამოძრავებელი ძალისა და ძაბვის, ასევე თბოტექნიკური ხელსაწყოების დამოწმება.

ელექტრული წინააღობის გაზომვისას დაკვირვების შედეგებს ანგარიშობენ ფორმულით  $R_x = mR_0$

$R_x$  - გასაზომი დამცავი დამიწების წინააღობა.

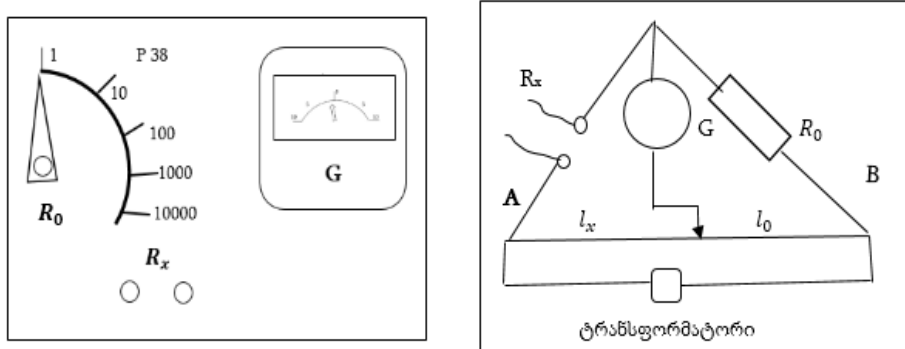
$R_0$ - ანათვალი რეოქორდის გადამრთველის მიხედვით;

$m$ - ანათვალი გალვანომეტრის სკალაზე.

ქვემოთ, სურ. 29-ზე ნაჩვენებია რეოქორდული ბოგირის წინა პანელისა და მისი საშუალებით გაზომვის პრინციპული სქემა.

დაკვირვებათა ათ-ათი შედეგი გაზომვათა ათი სერიისათვის მოცემულია მე-6-ე ცხრილში.

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები იგივე ფორმულებით გამოითვლება, რომელიც გამოყენებული იყო წინა შემთხვევაში. კერძოდ (26) საშუალო არითმეტიკული -  $\bar{R} = 7,26\Omega$



სურ. 30 რეოქორდული ბოგირის P38-ის წინა პანელისა და გაზომვის პრინციპული სქემა

ხოლო დაკვირვების შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობა დაკვირვებათა თითოეული სერიისათვის (27) მიხედვით გამოითვლება.

დაკვირვებათა შედეგების მონაცემთა შედეგების ერთგვაროვნების შემოწმება გვამლევს  $G = 0,15$  (28)-ის თანახმად, ამიტომ რადგან  $G_{cb} = 0,2439 > G = 0,15$  შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსახილველი ჯგუფების დისპერსიები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ანუ ერთგვაროვანია და მონაცემთა გაერთიანება შესაძლებელია.

მიღებული დასკვნის გათვალისწინებით დაკვირვებათა სერიების მონაცემების გაერთიანების შემდეგ დამცავი დამიწების წინააღმდეგ სტანდარტული განუსაზღვრელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით განვსაზღვროთ (29) ფორმულით.

ცხრილი 6 P38 ხელსაწყო დაკვირვებების 10 სერიის შედეგები

დაკვირვება \ ექსპერიმენტი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,2	7,8	6,5	7,8	6,0	8,9	8,4	8,4	6,3	8,2
2	7,7	6,4	7,9	6,4	7,9	7,8	5,7	6,7	8,2	5,3
3	6,7	6,5	6,2	6,3	6,1	9,3	8,6	8,5	8,3	9,3
4	7	7,1	7,3	7,4	8	8,4	7,7	6,7	5,7	9,7
5	7,8	7,9	8,3	7,8	7,9	7,9	7,4	6,4	5,3	5,3
6	6,2	6	6,5	6,6	6,8	6,8	6,5	7,7	9,7	9,7
7	7,9	8,2	8,4	8,6	7,5	5,5	7,5	5,5	7,5	7,6
8	6,3	6,2	6,5	7,6	7,8	7,8	7,2	5,2	7,2	7,1
9	7,7	9	8,6	7,3	8,6	8,8	5,3	6,3	7,3	7,4
10	6,8	6,5	7,2	7,6	6,8	5,3	8	6,1	6	7,2
გაზომვის შედეგი	$\bar{X}_1 = 7,03$	$\bar{X}_2 = 7,16$	$\bar{X}_3 = 7,34$	$\bar{X}_4 = 7,24$	$\bar{X}_5 = 7,34$	$\bar{X}_6 = 7,68$	$\bar{X}_7 = 7,23$	$\bar{X}_8 = 6,75$	$\bar{X}_9 = 7,15$	$\bar{X}_{10} = 7,68$
A ტიპის განუსაზღვრელობა $u_A(\Omega)$	0,22	0,32	0,29	0,18	0,27	0,45	0,35	0,35	0,43	0,51

საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობების მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილი 7-ის სახით.

შესაბამისად გაზომვის შედეგების გაბნევის მახასიათებლის გამოთვლისათვის და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ (30) ფორმულის მიხედვით გვექნება  $u_{\Sigma A_i} = 0,028$ .

დაკვირვების მონაცემთა განაწილების კანონი შევამოწმოთ  $\bar{d}$  კრიტერიუმის საშუალებით (31), (32), (33) ფორმულების გამოყენებით.

რომლის თანახმადაც  $\bar{d} = 0,9$ ; რაც მოთავსებულია  $d_{ქვ} = 0,7153 < \bar{d} = 0,9 < d_{ზედ} = 0,903$  ზედა და ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობებს შორის ე.ი. საქმე გვაქვს მიღებული შედეგების ნორმალური განაწილების კანონთან. [42, 43. 47]

გაფართოებული განუსაზღვრელობა აღნიშნული მონაცემებისათვის (35)-ის

ცხრილი 7 დაკვირვებების 10 სერიის განუსაზღვრელობები

№	$\bar{u}_i$	$ \bar{u}_i - \bar{\bar{u}}_A $	$(\bar{u}_i - \bar{\bar{u}}_A)^2$
1	0,22	0,117	0,014
2	0,32	0,017	0,00029
3	0,29	0,047	0,0022
4	0,18	0,157	0,025
5	0,27	0,067	0,0045
6	0,45	0,113	0,013
7	0,35	0,013	0,00017
8	0,35	0,013	0,00017
9	0,43	0,093	0,0087
10	0,51	0,173	0,03
$\bar{\bar{u}}_A = \sum_{i=1}^n u_i = 0,337$		0,81	0,097

$$U = k u_{\Sigma A_i} = 1,96 \cdot 0,028 = \pm 0,055 \Omega$$

შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინაღობის) მნიშვნელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით

$$R_{\text{დამიწ}} = 7,26 \pm 0,055 \Omega$$

განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა მოცემული დამცავი დამიწების წინააღმდეგობის საზომი ხელსაწყო P38-ის საპასპორტო და კალიბრების სერტიფიკატის მნიშვნელობათა ფარგლებშია.

### 2.1.3. დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვა FLUKE 1623-2 საშუალებით

საკონტროლო ნიმუშის დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვის შედეგები დამიწების წინააღმდეგობის საზომი ხელსაწყო FLUKE 1623-2 საშუალებით ე.წ. სამი ზონდის რეჟიმით გაზომვითა 10 ჯგუფის გაზომვის შედეგების მიხედვით, მოცემულია მე-8-ე ცხრილში. გაზომვის შედეგი (საშუალო არითმეტიკული) (26)-ის თანახმად  $\bar{R} = 6,29\Omega$ , ხოლო დაკვირვების შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობა დაკვირვებათა თითოეული სერიისათვის (27) მიხედვით გამოითვლება.

ცხრილი 8 FLUKE 1623-2 დაკვირვებათა შედეგები გაზომვით ათი სერიისათვის.

დამიწების გაზომვის შედეგები	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,8	5,62	6,62	6,06	6,56	6,06	6,16	5,73	5,9	5,92
2	6,85	5,47	6,47	5,695	6,75	5,95	6,15	5,85	5,9	5,97
3	7	5,55	6,75	7,352	6,33	6,05	6,32	5,94	5,94	5,9
4	7	5,6	6,8	4,98	6,4	6,14	6,27	5,97	6,12	6,15
5	6,95	5,4	6,73	7,73	6,3	6,16	6,26	5,6	5,8	5,82
6	6,9	4,38	6,8	4,76	6,52	6,05	6,25	5,75	5,97	5,92
7	6,9	5,2	6,62	7,81	6,79	5,97	5,87	5,97	5,75	5,85
8	6,83	5,53	6,93	5,08	6,63	6,2	6,35	5,8	6,2	6,12
9	6,92	5,62	6,65	5,65	6,75	5,95	6,35	5,65	5,95	5,85
10	6,88	5,32	6,32	7,55	6,57	5,97	6,14	5,72	6,22	6,2
გაზომვის შედეგები	$\bar{r}_1 = 6,9$	$\bar{r}_2 = 5,5$	$\bar{r}_3 = 6,67$	$\bar{r}_4 = 6,26$	$\bar{r}_5 = 6,56$	$\bar{r}_6 = 6,05$	$\bar{r}_7 = 6,21$	$\bar{r}_8 = 5,8$	$\bar{r}_9 = 5,975$	$\bar{r}_{10} = 5,97$
A ტიპის განუსაზღვრე ობა $u_A(\Omega)$	0,021	0,039	0,056	0,041	0,055	0,029	0,045	0,041	0,049	0,043

მოვახდინოთ მონაცემთა შედეგების ერთგვაროვნების შემოწმება კოკრენის კრიტერიუმი (28)-ის მიხედვით.

$$G = \frac{u_{Amax}}{\sum_{i=1}^{10} u_{Ai}} = \frac{0,0597}{0,422} = 0,141$$

რადგან  $G_{gb} = 0,2439 > G = 0,141$  შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსახილველი ჯგუფების დისპერსიები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ანუ ერთგვაროვანია და მონაცემთა გაერთიანება შესაძლებელია.

მიღებული დასკვნის გათვალისწინებით შესასვლელი სიდიდის - გაზომვის შედეგის სტანდარტული განუსაზღვრელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით განვსაზღვროთ (29) ფორმულით.

საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობების მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილის სახით (ცხრილი 9)

ცხრილი 9 FLUKE 1623-2 ხელსაწყოთა საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობები.

№	$\bar{u}_i$	$ \bar{u}_i - \bar{u}_A $	$(\bar{u}_i - \bar{u}_A)^2$
1	0,021	0,021	$4.4 \cdot 10^{-4}$
2	0,039	0,003	$0.09 \cdot 10^{-4}$
3	0,056	0,014	$1.96 \cdot 10^{-4}$
4	0,041	0,001	$0.01 \cdot 10^{-4}$
5	0,055	0,013	$1.69 \cdot 10^{-4}$
6	0,029	0,013	$1.69 \cdot 10^{-4}$
7	0,045	0,003	$0.09 \cdot 10^{-4}$
8	0,041	0,001	$0.01 \cdot 10^{-4}$
9	0,049	0,007	$0.49 \cdot 10^{-4}$
10	0,043	0,001	$\cdot 10^{-4}$
$\bar{u}_A = \sum_{i=1}^n u_{i/n} = 0.042$		0,077	$0.001 \cdot 10^{-2}$

შესაბამისად გაზომვის შედეგების გაზნვის მახასიათებლის გამოთვლისათვის და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ (30) ფორმულის მიხედვით გვექნება  $u_{\sum Ai} = 0,0038$  Ω

დაკვირვების მონაცემთა განაწილების კანონი შევამოწმოთ  $\bar{d}$  კრიტერიუმის საშუალებით (31), (32), (33) ფორმულების გამოყენებით, რომლის თანახმადაც  $\bar{d} = 0,753$ ;

ცხრილის ზედა და ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობასთან შედარების შემდეგ შეიძლება ვთქვათ, რომ

$$d_{კვ.} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,753 < d_{ზედ.} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს მიღებული შედეგების ნორმალური განაწილების კანონთან.

გაფართოებული განუსაზღვრელობა აღნიშნული მონაცემებისათვის

$$U = ku_{\Sigma A_i} = 1,96 \cdot 0,0038 = \pm 7,4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინაღობის) მნიშვნელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით

$$R_{დამიწ} = 6,29 \pm 7,4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა მოცემული დამცავი დამიწების წინაღობის საზომი ხელსაწყო **FLUKE 1623-2**-ის საპასპორტო და კალიბრების სერტიფიკატის მნიშვნელობათა ფარგლებშია.

#### 2.1.4. დამიწების წინაღობის გაზომვა **FLUKE 1623-2** საშუალებით (მარწუხის რეჟიმი)

საკონტროლო ნიმუშის დამიწების წინაღობის გაზომვის შედეგები დამიწების წინაღობის საზომი ხელსაწყო **FLUKE 1623-2** საშუალებით ე.წ. მარწუხის რეჟიმით, გაზომვათა 10 ჯგუფის შედეგების მიხედვით მოცემულია მე-10-ე ცხრილში.

დამცავი დამიწების წინაღობის მნიშვნელობა (26)-ის თანახმად  $\bar{R} = 5,67 \Omega$ , ხოლო დაკვირვების შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობა დაკვირვებათა თითოეული სერიისათვის (27) მიხედვით გამოითვლება.

მონაცემთა შედეგების ერთგვაროვნების შემოწმება კოკრენის კრიტერიუმით (28).

$$G = \frac{u_{Amax}}{\sum_{i=1}^{10} u_{A_i}} = \frac{0,06}{0,423} = 0,142$$

$G_{gb} = 0,2439 > G = 0,142$  შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსახილველი ჯგუფების დისპერსიები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ანუ ერთგვაროვანია და მონაცემთა გაერთიანება შესაძლებელია.

მიღებული დასკვნის გათვალისწინებით დაკვირვებათა სერიების მონაცემების გაერთიანების შემდეგ შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინააღმდეგ - გაზომვის შედეგის) სტანდარტული განუსაზღვრელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით განვსაზღვროთ (29) ფორმულით.

ცხრილი 10 FLUKE 1623-2 (მარწეხის რეჟიმი) გაზომვის შედეგები.

ჯგუფი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5,63	5,53	5,75	5,67	5,34	5,64	5,61	5,94	5,62	5,52
2	5,62	5,42	5,8	5,73	5,54	5,78	5,72	5,73	5,6	5,6
3	5,49	5,48	5,71	5,78	5,53	5,78	5,7	5,62	5,52	5,62
4	5,83	5,59	5,97	5,57	5,24	5,94	5,78	5,71	5,57	5,47
5	5,66	5,93	5,73	5,56	5,25	5,73	5,71	5,71	5,51	5,61
6	5,47	5,31	5,77	5,85	5,52	5,62	5,62	5,97	5,87	5,77
7	5,55	5,57	5,65	5,83	5,43	5,91	5,81	5,73	5,76	5,86
8	5,87	5,75	5,6	5,84	5,72	5,78	5,73	5,64	5,74	5,64
9	5,85	5,67	5,95	5,93	5,43	5,63	5,63	5,78	5,68	5,78
10	5,28	5,65	5,57	5,84	5,8	5,79	5,69	5,77	5,73	5,53
გაზომვის შედეგის	$\bar{x}_1 = 5,625$	$\bar{x}_2 = 5,59$	$\bar{x}_3 = 5,75$	$\bar{x}_4 = 5,76$	$\bar{x}_5 = 5,48$	$\bar{x}_6 = 5,76$	$\bar{x}_7 = 5,7$	$\bar{x}_8 = 5,76$	$\bar{x}_9 = 5,66$	$\bar{x}_{10} = 5,64$
A ტიპის განუსაზღვრელობა $u_{A_i}(%)$	0,06	0,055	0,042	0,039	0,058	0,035	0,021	0,036	0,037	0,04

შესაბამისად გაზომვის შედეგების გაზნვის მახასიათებლის გამოთვლისათვის და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ (30) ფორმულის მიხედვით გვექნება  $u_{\Sigma A_i} = 37 \cdot 10^{-4} \Omega$  დაკვირვების მონაცემთა განაწილების კანონი შევამოწმოთ  $\bar{d}$  კრიტერიუმის საშუალებით (31), (32), (33) ფორმულების გამოყენებით, რომლის თანახმადაც  $\bar{d} = 0,807$ ;

ცხრილის ზედა და ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობასთან შედარების შემდეგ შეიძლება ვთქვათ, რომ

$$d_{\text{კვ.}} = 0,7153 < \bar{d} = 0,807 < d_{\text{ხედ.}} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს მიღებული შედეგების ნორმალური განაწილების კანონთან.

გაფართოებული განუსაზღვრელობა აღნიშნული მონაცემებისათვის

$$U = ku_{\Sigma Ai} = 1,96 \cdot 0,0037 = \pm 7,25 \cdot 10^{-3} \Omega$$

ცხრილი 11 საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობების მონაცემები.

N <sup>o</sup>	$\bar{u}_i$	$ \bar{u}_i - \bar{u}_A $	$(\bar{u}_i - \bar{u}_A)^2$
1	0,06	0,017	$2,9 \cdot 10^{-4}$
2	0,055	0,012	$1,44 \cdot 10^{-4}$
3	0,042	0,001	$0,01 \cdot 10^{-4}$
4	0,039	0,004	$0,16 \cdot 10^{-4}$
5	0,058	0,015	$2,25 \cdot 10^{-4}$
6	0,035	0,008	$0,64 \cdot 10^{-4}$
7	0,021	0,022	$4,84 \cdot 10^{-4}$
8	0,036	0,007	$0,49 \cdot 10^{-4}$
9	0,037	0,006	$0,36 \cdot 10^{-4}$
10	0,04	0,003	$0,09 \cdot 10^{-4}$
$\bar{u}_A = \sum_{i=1}^n u_i/n = 0,043$		0,092	$13,1 \cdot 10^{-4}$

შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინაღობის) მნიშვნელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით

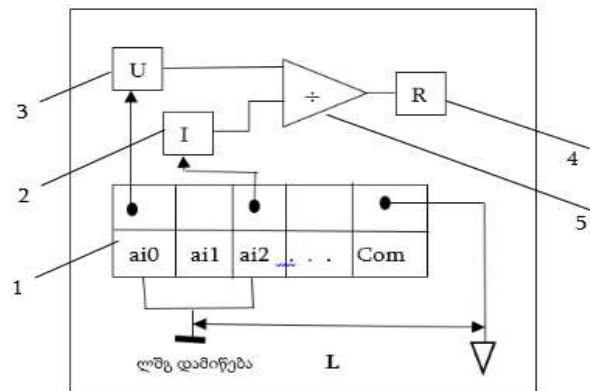
$$R_{\text{დამიწ}} = 5,67 \pm 7,25 \cdot 10^{-3} \Omega$$

განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა მოცემული დამცავი დამიწების წინაღობის საზომი ხელსაწყო FLUKE 1623-2-ის საპასპორტო და კალიბრების სერტიფიკატის მნიშვნელობათა ფარგლებშია.



### 2.1.5. დამიწების წინააღობის გაზომვა LabVIEW DAQ სისტემით

ამერიკული კომპანიის NATIONAL INSTRUMENTS-ის შემუშავებული მაღალტექნოლოგიური პროგრამული და ინსტრუმენტული გრაფიკული პროგრამირების უნივერსალური პლატფორმის LabVIEW მაღალი სწრაფქმედების და სიზუსტის ინსტრუმენტი, რომელიც მოდული 9205-ით ხორციელდება. მოდული ანალოგურ ციფრული გარდამსახის ფუნქციებითაა აღჭურვილი.



სურ. 31 დამიწების წინააღობის გაზომვის პრინციპული სქემა, NATIONAL INSTRUMENTS მოდული 9205-ს საშუალებით

1. მოდული 9205-ის შესასვლელი ტერმინალები;
2. ვირტუალური ინსტრუმენტი (VI) „ამპერმეტრი“;
3. ვირტუალური ინსტრუმენტი (VI) ვოლტმეტრი;
4. ვირტუალური ინსტრუმენტი (VI) „ომმეტრი“;
5. ვირტუალური ინსტრუმენტი „გაყოფა“.

აღნიშნული პლატფორმა საშუალებას გვაძლევს, კომპიუტერის მონიტორზე, დროის რეალურ რეჟიმში, მოვახდინოთ საზომი ინფორმაციის მიღება, რეგისტრაცია, ვიზუალიზაცია, გაზომვა, ანალიზი, მართვითი სიგნალის გამომუშავება და მისი მიწოდება შემსრულებელი მექანიზმისათვის. (დაწვრილებით იხილე 4.3). [54]

დამიწების წინააღობის გაზომვის პრინციპული სქემა, NATIONAL INSTRUMENTS მოდული 9205-ს საშუალებით, ნაჩვენებია მე-30-ე სურათზე.

სიგნალი, გასაზომი დამიწების კონტურიდან შედის მოდული 9205-ის შესასვლელ ai0 და ai2 ტერმინალებში, საიდანაც USB მოწყობილობით,

სიგნალი უკვე ციფრული ფორმატით გადადის კომპიუტერში LabVIEW-ს პროგრამული უზრუნველყოფით შექმნილ ვირტუალურ ამპერმეტრსა და ვოლტმეტრში.

ცხრილი 12 LabVIEW DAQ სისტემით 10 სერიის გაზომვის მონაცემები.

	ექსპერიმენტი j									
დაკვირვება i ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5,51	5,43	5,57	5,53	4,93	5,3	5,38	5,15	5,65	5,45
2	5,5	5,38	5,64	5,56	4,96	5,26	5,7	5,26	5,56	5,36
3	5,47	5,57	5,74	5,71	5,13	5,27	5,32	5,1	5,7	5,57
4	5,48	5,28	5,71	5,61	5,23	5,35	5,42	5,02	5,72	5,48
5	5,52	5,72	5,72	5,62	5,12	5,22	5,21	5,11	5,51	5,11
6	5,78	5,48	5,77	5,57	5,11	5,22	5,37	5,27	5,57	5,37
7	5,28	5,48	5,68	5,53	5,15	5,25	5,35	5,25	5,65	5,45
8	5,65	5,45	5,76	5,64	5,24	5,44	5,7	5,37	5,57	5,34
9	5,67	5,47	5,57	5,51	5,21	5,34	5,39	5,22	5,62	5,42
10	5,54	5,34	5,54	5,52	5,12	5,32	5,59	5,35	5,45	5,25
გაზომვის შედეგები	$\bar{x}_1 = 5,5$	$\bar{x}_2 = 5,46$	$\bar{x}_3 = 5,67$	$\bar{x}_4 = 5,58$	$\bar{x}_5 = 5,12$	$\bar{x}_6 = 5,3$	$\bar{x}_7 = 5,42$	$\bar{x}_8 = 5,21$	$\bar{x}_9 = 5,6$	$\bar{x}_{10} = 5,38$
A ტიპის განუსაზღვრე $u_A(\Omega)$	0,043	0,039	0,027	0,02	0,033	0,022	0,044	0,036	0,027	0,041

გაზომილი დენისა და ძაბვის მნიშვნელობა აისახება კომპიუტერის მონიტორზე, წინაღობის გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობასთან ერთად.

LabVIEW-ს პლატფორმის 9205 მოდულის გამოყენებით მიღებული გაზომვის მონაცემები მოცემულია მე-12-ე ცხრილში.

დამცავი დამიწების წინაღობის მნიშვნელობა გაზომვათა 10 ჯგუფის შედეგების მიხედვით (26)-ის თანახმად გაზომვის შედეგი (საშუალო არითმეტიკული)  $\bar{R} = 5,43 \Omega$ , ხოლო დაკვირვების შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობა დაკვირვებათა თითოეული სერიისათვის (27) მიხედვით გამოითვლება.

ცხრილი 13 საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობის მონაცემები.

№	$\bar{u}_i$	$ \bar{u}_i - \bar{u}_A $	$(\bar{u}_i - \bar{u}_A)^2$
1	0,043	0,01	$1,0 \cdot 10^{-4}$
2	0,039	0,006	$0,36 \cdot 10^{-4}$
3	0,027	0,006	$0,36 \cdot 10^{-4}$
4	0,02	0,013	$1,69 \cdot 10^{-4}$
5	0,033	0	$0 \cdot 10^{-4}$
6	0,022	0,011	$1,21 \cdot 10^{-4}$
7	0,044	0,011	$1,21 \cdot 10^{-4}$
8	0,036	0,003	$0,09 \cdot 10^{-4}$
9	0,027	0,006	$0,36 \cdot 10^{-4}$
10	0,041	0,008	$0,64 \cdot 10^{-4}$
$\bar{u}_A = \sum_{i=1}^n u_{i/n} = 0,033$		0,074	$6,9 \cdot 10^{-4}$

დაკვირვებათა შედეგების რამოდენიმე ჯგუფის A ტიპის განუსაზღვრელობების საშუალებით მოვახდინოთ მონაცემთა შედეგების ერთგვაროვნების შემოწმება, რისთვისაც გამოვიყენოთ კოკრენის კრიტერიუმი (28).

$$G = \frac{u_{Amax}}{\sum_{i=1}^{10} u_{Ai}} = \frac{0,044}{0,332} = 0,132$$

შედეგი შევადაროთ G კოკრენის ცხრილურ მნიშვნელობას, რადგან  $G_{cb} = 0,2439 > G = 0,132$  შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსახილველი ჯგუფების დისპერსიები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ანუ ერთგვაროვანია და მონაცემთა გაერთიანება შესაძლებელია.

მიღებული დასკვნის გათვალისწინებით დაკვირვებათა სერიების მონაცემების გაერთიანების შემდეგ შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინაღობის - გაზომვის შედეგის) სტანდარტული

განუსაზღვრელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით განსაზღვროთ (29) ფორმულით.

საკვლევი 10 დაკვირვების სერიის განუსაზღვრელობების მონაცემები წარმოდგენილია ცხრილის სახით (ცხრილი 13).

შესაბამისად გაზომვის შედეგების გაბნევის მახასიათებლის გამოთვლისათვის და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ (30) ფორმულის მიხედვით გვექნება  $u_{\Sigma Ai} = 8,7 \cdot 10^{-4} \Omega$

დაკვირვების მონაცემთა განაწილების კანონი შევამოწმოთ  $\tilde{d}$  კრიტერიუმის საშუალებით (31), (32), (33) ფორმულების გამოყენებით, რომლის თანახმადაც  $\tilde{d} = 0,891$ ;

ცხრილის ზედა და ქვედა კრიტიკულ მნიშვნელობასთან შედარების შემდეგ შეიძლება ვთქვათ, რომ

$$d_{\text{კვ.}} = 0,7153 < \tilde{d} = 0,891 < d_{\text{ზედ.}} = 0,903$$

ე.ი. საქმე გვაქვს მიღებული შედეგების ნორმალური განაწილების კანონთან.

გაფართოებული განუსაზღვრელობა აღნიშნული მონაცემებისათვის  $U = k u_{\Sigma Ai} = 1,96 \cdot 8,7 \cdot 10^{-4} = \pm 17,05 \cdot 10^{-4} \Omega$  შესასვლელი სიდიდის (დამცავი დამიწების წინააღობის) მნიშვნელობა გაზომვათა ათი პარალელური ჯგუფის მონაცემების მიხედვით გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით

$$R_{\text{დამიწ}} = 5,43 \pm 17,05 \cdot 10^{-4} \Omega$$

განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა მოცემული დამცავი დამიწების წინააღობის საზომი ხელსაწყო LabVIEW-ს პლატფორმის 9205 მოდულის გამოყენებით საპასპორტო და კალიბრების სერტიფიკატის მნიშვნელობათა ფარგლებშია.

ჩატარებული ათი სერიის გაზომვის შედეგები ხუთი საზომი საშუალების გამოყენებით თავმოყრილია მე-14-ე ცხრილში.

ცხრილი 14 ხუთი საზომი საშუალებით გაზომილი შედეგები.

საზომი ხელსაწყო	გაზომვის შედეგები სამივე სერიისათვის			
	$\bar{R} (\Omega)$	$u_{\Sigma A_i} (\Omega)$	$\tilde{d}$	$R_{დამოწ} (\Omega)$
M-416	6,15	$5 \cdot 10^{-3}$	k=1,96	$6,15 \pm 1 \cdot 10^{-2}$
P-38	7,26	$28 \cdot 10^{-3}$	k=1,96	$7,26 \pm 55 \cdot 10^{-3}$
FLUKE 1623-2	6,29	$38 \cdot 10^{-4}$	k=1,96	$6,29 \pm 7,4 \cdot 10^{-3}$
FLUKE 1623-2 (მარწყუხი)	5,67	$37 \cdot 10^{-4}$	k=1,96	$5,67 \pm 7,25 \cdot 10^{-3}$
LabVIEW მოდული 9205	5,43	$8,7 \cdot 10^{-4}$	k=1,96	$5,43 \pm 17,05 \cdot 10^{-4}$

მიღებული შედეგების კომპეტენტურების დასასაბუთებლად გამოვიყენოთ ISO 13528-2010 სტანდარტის 4.2 პუნქტის რეკომენდაცია მიწერილი მნიშვნელობის განუსაზღვრელობის შეზღუდვის შესახებ, რომლის მიხედვითაც თუ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა  $u_x$  ძალიან დიდია კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტულ გადახრასთან შედარებით  $\sigma$ , მაშინ ალბათობა იმისი, რომ ზოგიერთმა ლაბორატორიებმა შეიძლება მიიღონ მიწერილი მნიშვნელობის არა მართებული განსაზღვრით გამოწვეული მცდარი დასკვნა მაკორექტირებელი ქმედების ჩატარების შესახებ, ლაბორატორიის შინაგანი მიზეზებისგან დამოუკიდებლად გვევლინება აქტუალურად. ამიტომ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა უნდა აკმაყოფილებდეს უტოლობას  $u_x \leq 0,3\sigma$ .

თავდაპირველად გავარკვიოთ სხვადასხვა საზომი საშუალებით გაზომილი დაკვირვებათა შედეგების A ტიპის განუსაზღვრელობების მონაცემთა შედეგების ერთგვაროვნება, რისთვისაც გამოვიყენოთ კოკრენის კრიტერიუმი (28).

$$G = \frac{u_{Amax}}{\sum_{i=1}^{10} u_{A_i}} = \frac{0.005}{0.00942} = 0.53$$

შედეგი შევადაროთ  $G$  კოკრენის ცხრილურ მნიშვნელობას, რადგან  $G_{ob} = 0,5441 > G = 0,53$  შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსახილველი ჯგუფების დისპერსიები არსებითად არ განსხვავდება ერთმანეთისაგან ანუ ერთგვაროვანია და მონაცემთა გაერთიანება შესაძლებელია.

გაერთიანებული მონაცემები შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც დაკვირვებათა ხუთი სერია და კომპეტენტურობის შეფასების სტანდარტული გადახრის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ ISO 13528-ს 6.5 პარაგრაფი პრეციზიულობაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების მიხედვით სადაც ლაბორატორიათაშორისი სტანდარტული გადახრა გამოითვლება ფორმულით

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_r^2} \quad (37)$$

სადაც:  $\sigma_R$  აღწარმოებადობის სტანდარტული გადახრა;

$\sigma_r$  - განმეორებადობის სტანდარტული გადახრა.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები თუ ჩავთვლით, რომ თითოეული საზომი საშუალება წარმოადგენს ცალკეული ლაბორატორიებს საშუალებას იძლევა გამოვითვალოთ აღწარმოებადობის სტანდარტული გადახრა, რომელიც, როგორც ცნობილია წარმოადგენს ერთი და იგივე მეთოდით, იდენტურ ობიექტზე, სხვადასხვა ხელსაწყოების (სხვადასხვა ლაბორატორიების), სხვადასხვა ოპერატორების მიერ მიღებულ შედეგებს. ცხრილი 14-ში მოყვანილი მონაცემების მიხედვით ნაანგარიშები აღწარმოებადობის სტანდარტული გადახრა

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\bar{R}_i - \bar{R})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1.97}{4}} = 0.71$$

განმეორებადობის სტანდარტული გადახრა, რომელიც არის ერთიდაიგივე მეთოდით, იდენტურ ობიექტზე, ერთიდაიგივე ლაბორატორიის, ერთიდაიგივე ოპერატორის, ერთიდაიგივე ხელსაწყოებით მიღებული შედეგების გაზნევის მახასიათებელი სხვადასხვა საზომი საშუალებებისათვის (ლაბორატორიებისათვის) მოყვანილია ცხრილი 18-ში  $u_{\Sigma Ai}$  განუსაზღვრელობების სახით სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოებისათვის,

რომელიც იცვლება  $\pm 0,00087 \Omega$  მნიშვნელობიდან  $\pm 0,028 \Omega$  მნიშვნელობამდე. შვეიცრჩიო სტანდარტული გადახრის უფრო დიდი მნიშვნელობა ( $\sigma_r = \pm 0,028$ ), რომელიც საშუალებას მოგვცემს გავითვალისწინოთ ყველა ლაბორატორიის გაზომვის შედეგი.

აღნიშნულის გათვალისწინებით შესაძლებელია ლაბორატორიათაშორისი სტანდარტული გადახრის გამოთვლა (37)-ის საშუალებით.

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_r^2} = \sqrt{0,71^2 - 0,028^2} = 0,709$$

საიდანაც ISO 13528-ის (15) ფორმულის მიხედვით შესაძლებელია ვიანგარიშით კომპეტენტურობის სტანდარტული გადახრა [ 13 ]

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sigma_L^2 - \left(\frac{\sigma_r^2}{n}\right)} = 0.502$$

შევამოწმოთ მიწერილი მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობის  $u_x$ -სა და კომპეტენტურობის ექსპერიმენტული შემოწმების სტანდარტულ გადახრას  $\hat{\sigma}$  შორის დამოკიდებულება, რომელიც (1) ფორმულის მიხედვით

$$u_x \leq 0,3\hat{\sigma}$$

ჩვენს შემთხვევაში სტანდარტული განუსაზღვრელობის ყველაზე უარესი შედეგისათვის, როდესაც  $u_x = \pm 28 \cdot 10^{-3}$  უტოლობას ექნება სახე

$$28 \cdot 10^{-3} \leq 0,3 \cdot 0,502 = 0,15$$

უტოლობა კმაყოფილდება რაც საშუალებას გვაძლევს, რომ ღია გრუნტში მოწყობილი დამცავი დამიწების სისტემა გამოყენებული იქნას კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების საკონტროლო ნიმუშად ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისას.

## 2.2. ღია გრუნტში მოწყობილ საკონტროლო ნიმუშზე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის ჩატარების ორგანიზაცია და შედეგები

ევროკავშირის პროგრამით ესპანეთის სტანდარტიზაციისა და სერტიფიკაციის (AENOR)-ის, საფრანგეთის ექსპერტიზის საერთაშორისო

კონსულტანტების (SL ACE, Expertise France), და გაერთიანებული სამეფოს აკრედიტაციის სამსახური (UKAS )-ის ერთობლივად განხორციელებული პროექტით სსიპ აკრედიტაციის ერთიან ეროვნულ ორგანო - აკრედიტაციის ცენტრთან და ტექნიკური უნივერსიტეტის მეტროლოგიის, სერტიფიკაციის და სტანდარტიზაციის სამეცნიერო ცენტრთან თანამშრომლობით, თბილისში 2016 წლის 22 დეკემბერს ჩატარდა საკვალიფიკაციო პროფესიული ტესტირება (ლაბორატორიათაშორისი გამოცდა) ელექტრული გაზომვების სფეროში კერძოდ დამიწების წინააღმდეგ გაზომვის კუთხით. მოწვევა გაეგზავნა დამცავი დამიწების გაზომვებით დაკავებულ, საქართველოში მოქმედ 20-მდე საგამოცდო-აკრედიტებულ ლაბორატორიას პროგრამის სტატუსის, გასაზომი პარამეტრის დასახელების, პროფესიული ტესტირების პროვაიდერის, პროფესიული ტესტირების ობიექტის გამოსაცდელი პარამეტრის და გამოცდის მეთოდის მითითებით. მოწვევას გამოეხმაურა 15 ლაბორატორია. [34, 50].

პროფესიული ტესტირების პროგრამაში მიწოდებულია ინფორმაცია საკონტროლო ნიმუშის ერთგვაროვნებისა და სტაბილურობის შესახებ. გაზომვების ჩატარების რიგითობის და ლაბორატორიებისათვის კოდების მინიჭების წესის შესახებ. პროგრამა შეიცავს ინფორმაციას საკონტროლო გასაზომი პარამეტრის, დამიწების წინააღმდეგისა და გაზომვის განუსაზღვრელობის მიწერილი მნიშვნელობა გამოითვლის შესახებ, რომელიც გამოითვლება მონაწილეთა მიერ ჩატარებული გამოცდების შედეგებიდან ე.ი. გამოითვლება ე.წ. რობასტული საშუალო, რომელსაც შედარდება მონაწილეთა შედეგები.

მონაწილეთა შედეგების შეფასების წესი მოცემულია ISO 13528: 2010 სტანდარტით, სადაც როგორც შეფასების კრიტერიუმი გამოითვლება  $z$  და  $\bar{X}$ -კოეფიციენტები, მითითებული საანგარიშო ფორმულების საშუალებით. აქვე მოცემულია მიღებული შედეგების ინტერპრეტირების წესებიც.

პროვაიდერი მიუთითებს გამოცდის შედეგების კონფიდენციალობის უზრუნველყოფის შესახებ. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტულ შეფასებაში



მონაწილე ლაბორატორიები შემდეგ ეტაპზე წარმოადგენენ დადგენილი ფორმით გაფორმებულ ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებს, გაზომვის ერთეულისა და გაფართოებული განუსაზღვრელობის მითითებით. აქვე ნაჩვენები უნდა იყოს გაზომვის შედეგის სანდოობის დონე და გაზომვის შედეგების განაწილების კანონი.



*სურ. 32 კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორის გამოცდის მიმდინარეობის პროცესი*

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათა-შორის გამოცდა დამცავი დამიწების საკონტროლო ნიმუშის მნიშვნელობის დადგენაში, რომელიც ISO 17043:2010 მოთხოვნებით საქართველოში პირველად ჩატარდა ჩატარდა 2016 წლის 22 დეკემბერს, წარმოდგენილია სურათებზე (სურ. 31).

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ჩატარებული ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილი 15.

არადამაკმაყოფილებელი და საეჭვო შედეგების მნიშვნელოვანი რაოდენობა ζ-score-ის განსაზღვრისას მიუთითებს ექსპერიმენტული კვლევის არაკორექტულობის, განუსაზღვრელობის შეფასების არასწორად გამოთვლისა და ზოგიერთ შემთხვევაში კალიბრების სერტიფიკატის არაკორექტული მონაცემების შესახებ. [44,45]

შედეგების საფუძველზე გამოანგარიშებული საშუალო მნიშვნელობა და მედიანა წარმოადგენს რეფერენს მნიშვნელობას.

გაზომვის მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების შედეგები ნაჩვენებია მე-16-ე ცხრილში აქვე ნაჩვენებია მინიჭებული მნიშვნელობები შედეგების შეფასებისთვის.

ცხრილი 15 ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების შედეგები.

წარმოდგენილი შედეგების რაოდენობა	15
შედეგების დიაპაზონი:	(20,03 ÷ 24,7)Ω
დამაკმაყოფილებელი z-score:	100%
საექვო z-score:	0%
არადამაკმაყოფილებელი z-score:	0%
დამაკმაყოფილებელი ζ-score:	66,67%
საექვო ζ-score:	20,00%
არადამაკმაყოფილებელი ζ-score:	13,33%

ცხრილში მონიშნული მნიშვნელობები გამოყენებული იქნა სტატისტიკური შეფასებისათვის. ეს შედეგები რობასტული შეფასების შედეგებია, რომელიც მონაწილე ლაბორატორიების მნიშვნელობების მიხედვითაა დადგენილი ISO 13528:2010 სტანდარტის 5.6, 6,6 პუნქტებისა და დანართი C, რობასტული ანალიზის მიხედვით.

მონაცემთა რობასტული შეფასების მეთოდი საშუალებას გვაძლევს გამოვიანგარიშოთ საკონტროლო ნიმუშის მინიჭებული (მიწერილი) მნიშვნელობა ლაბორატორიების შედეგების მიხედვით, რომლის გამოთვლის ალგორითმი მოცემულია ქვემოთ.

მონაცემთა  $p$  სიმრავლეს განალაგებენ კლებადობის მიხედვით

$$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p$$

ამ მონაცემთა რობასტული საშუალო და რობასტული სტანდარტული გადახრა აღინიშნება  $x^*$  და  $s^*$ . გამოითვლიან  $x^*$  და  $s^*$  საწყის მნიშვნელობებს.

$$x^* = \text{მედიანა } ((x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_\rho))$$

$$s^* = 1,483 \cdot \text{მედიანა } (|x_1 - x^*|, |x_2 - x^*|, \dots, |x_\rho - x^*|)$$

ცხრილი 16 მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავების შედეგები.

პარამეტრი	ყველა შედეგის საშუალო	ყველა შედეგის STD	საშუალო მნიშვნელობა <u>ექსტრ.</u> მნიშვნ.	STD <u>ექსტრ.</u> მნიშვნ.	ყველა შედეგის მედიანა	ყველა შედეგის MADE
მ	მ	მ	მ	მ	მ	მ
დამცავ	22,16	1,433	22,14	1,58	21,92	1,639

**შენიშვნა:** ცხრილი 16-ში მოყვანილი აბრევიატურისათვის

**STD**-სტანდარტული გადახრა; **MAD<sub>E</sub>**-მედიანას სტანდარტული გადახრა.

აქ  $|x_\rho - x^*|$  თითოეული წევრის სხვაობაა  $x^*$  მედიანასთან, ხოლო  $(|x_1 - x^*|, |x_2 - x^*|, \dots, |x_\rho - x^*|)$  ამ სხვაობების მედიანაა.

შემდეგ გამოითვლიან  $\delta = 1,5s^*$ . ყოველი  $x_j (j = 1, 2, \dots, \rho)$  გამოითვლიან

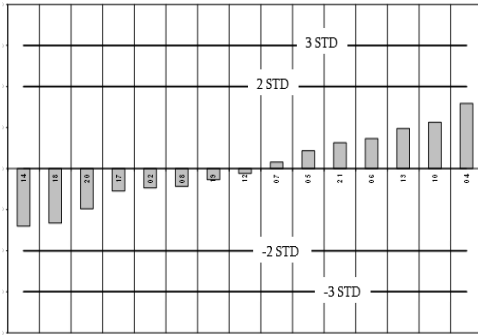
$$x_j^* = \begin{cases} x^* - \delta & \text{თუ } x_j < x^* - \delta \\ x^* + \delta & \text{თუ } x_j > x^* + \delta \\ x_j & \text{თუ } x^* - \delta \leq x_j \leq x^* + \delta \end{cases}$$

გამოითვლიან  $x^*$  და  $s^*$  ახალ მნიშვნელობებს

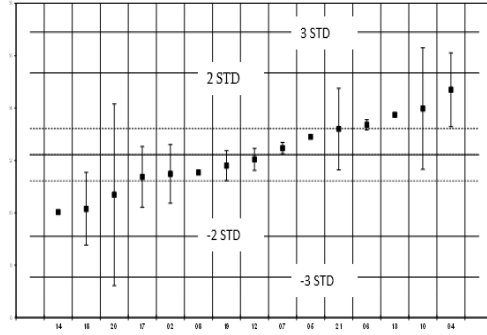
$$x^* = \sum_{i=1}^{\rho} x_j^* / \rho, \quad s^* = 1,134 \sqrt{\sum_{i=1}^{\rho} (x_j^* - x^*)^2 / (\rho - 1)}$$

რობასტულ შეფასებებს  $x^*$  და  $s^*$  ღებულობენ იტერაციული გამოთვლის საშუალებით ანუ  $x^*$  და  $s^*$  სიდიდეების განმეორებითი

გამოთვლით ზემოთ ნაჩვენები ფორმულებით, ახალი მონაცემებისათვის, მანამ სანამ  $x^*$  და  $s^*$  სიდიდეების მნიშვნელობები წინა და მომდევნო პროცესებში გახდება უმნიშვნელოდ მცირე. ჩვეულებრივ იტერაციული გამოთვლები შეწყდება, როდესაც წინა და მომდევნო გამოთვლები ერთმანეთს დაემთხვევა მძიმის შემდეგ მესამე ნიშნამდე.



სურ. 33 მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები z-score კრიტერიუმის მიხედვით



სურ. 34 მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები z-score კრიტერიუმის მიხედვით

დამიწების წინააღმდეგ გაზომვის შედეგების გრაფიკული გამოსახულება z-score კრიტერიუმის მიხედვით მონაწილე ლაბორატორიებისათვის მოცემულია სურ. 32.

z-score კრიტერიუმის შედეგების მიხედვით გრაფიკული გამოსახულებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები ერთი სტანდარტული გადახრის ფარგლებშია და ამიტომ შედეგების სანდოობა ეჭვს არ იწვევს რაზედაც z-score კრიტერიუმის მიხედვით შეფასებებიც მეტყველებს (ყველა მნიშვნელობა [-2; +2] დიაპაზონშია).

დამიწების წინააღმდეგ გაზომვის შედეგების გრაფიკული გამოსახულება ლაბორატორიების განუსაზღვრელობების z-score კრიტერიუმის მიხედვით მოცემულია 33-ე სურათზე. z-score კრიტერიუმის შედეგების მიხედვით გრაფიკული გამოსახულებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთი მონაწილე ლაბორატორიების შედეგები ერთი სტანდარტული გადახრის ფარგლებს სცილდება და ამიტომ შედეგების სანდოობა საეჭვოა (ლაბ. 04, 06, 18), ხოლო

ცხრილი 17 წინალობის გაზომვის შედეგები.

გამოსატესტი კარაშტერი: დამიწების წინალობა				
რომასტული მნიშვნელოვანი მნიშვნელობა [n]				22,22
რომასტული მნიშვნელობის განუსაზღვრელობა (P=0,955) [n]:				0,50
სტანდარტული გადახრა ) [n]:				1,56
ლაბორატორიის კოდი (ნიმუში)	შედეგი [n]	განუსაზღვრელობა [n]	z-score	z-score
02	21,49	1,12	-0,89	-0,47
04	24,70	1,41	2,59	1,59
05	22,90	0,016	1,36	0,44
06	23,36	0,19	2,23	0,73
07	22,47	0,21	0,49	0,16
08	21,54	0,011	-1,36	-0,44
10	23,98	2,32	1,39	1,13
12	22,04	0,42	-0,32	-0,12
13	23,74	0,07	3,03	0,97
14	20,03	0,02	-4,38	-1,40
17	21,37	1,16	-1,02	-0,54
18	20,15	1,39	-2,19	-1,33
19	21,80	0,57	-0,73	-0,27
20	20,69	3,47	-0,85	-0,98
21	23,20	1,56	1,06	0,63

ლაბორატორიებისათვის 14,13 მათი განუსაზღვრელობების სიმცირის გამო, ვერცერთი მნიშვნელობა ვერ ახერხებს თუნდაც საეჭვო სტანდარტული გადახრის ზონაში მოხვედრას და ამიტომ მათი შედეგები არადამაკმაყოფილებლად ითვლება. [12,13]

ზოგიერთი ლაბორატორიებისათვის z - score კრიტერიუმის არადამაკმაყოფილებელი მნიშვნელობები გაზომვის განუსაზღვრელობების გამოთვლისა და ხელსაწყოს გაზომვის რეჟიმის არასწორი შერჩევის მიზეზია. შესაძლებელია თავი იჩინა ხელსაწყობის კალიბრების და მისი განუსაზღვრელობის გამოთვლის შეცდომებმა.

### თავი 3. დამიწების ფიზიკური და მათემატიკური მოდელები

უსაფრთხოების ტექნიკის საკითხებს ენერგეტიკულ და ელექტრულ ტექნიკაში განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა. ადამიანის საცხოვრებელი და სამუშაო გარემოს დაცვისათვის, მაღალი ძაბვის ელექტრული დენის ფაქტორების ზემოქმედებისაგან დასაცავად, გამოიყენება მეხამრიდები და დამცავი დამიწების სისტემები. მათში გამოყენებული დამამიწებელი ელექტროდები დამზადებულია უმეტესად ფოლადის ლეროსაგან ან წარმოადგენენ სპეციალური ფორმის სხვადასხვა მაღალი გამტარობის მასალისაგან შექმნილ რთულ კომპლექსურ სისტემებს. საცხოვრებელ და საოფისე შენობებში განლაგებული ელექტრო აღჭურვილობის დამიწებისათვის გამოიყენება "ჰორიზონტალური" და "ვერტიკალური" დამამიწებლები, რომლებიც განთავსებულია ნიადაგში ისეთ სიღრმეზე, რომ არ მოხდეს მათი დაზიანება მიწის ზედაპირზე მომუშავე მანქანა დანადგარების მიერ. ჩვეულებრივ "ჰორიზონტალური" ელექტროდებს განლაგებენ 0,5 მეტრზე მიწის ზედაპირიდან, სახნავ სავარგულებში 1 მეტრის სიღრმეზე. ასეთი ტიპის დამიწების სქემის გამოიყენება მიზანშეწონილია ისეთ შემთხვევებში, როდესაც ნიადაგის ზედაფენების ელექტრული გამტარობა უზრუნველყოფს დამიწების წინააღმდეგობის აუცილებელ და სტაბილურ მნიშვნელობას. უნდა აღინიშნოს, რომ ნიადაგის ზედა ფენებში, გარე ზემოქმედების ფაქტორების გავლენით მნიშვნელოვნად იცვლება ელექტრული გამტარობის მნიშვნელობა, ამასთან ელექტრული დენის გავრცელება სხვადასხვა მიმართულებით სხვადასხვანაირია.

ელექტროგამტარობის თვალსაზრისით, ვერტიკალური ელექტროდების გამოყენებისას, საშუალება გვეძლევა მივაღწიოთ ნიადაგის სტაბილურ ფენას, სადაც გარე ზემოქმედების ფაქტორების გავლენა შედარებით ნაკლებია, რის გამო ერთნაირი მასის ელექტროდების გამოყენებისას დამიწების წინააღმდეგობა "ჰორიზონტალური" სქემის შემთხვევაში მეტია დამიწების "ვერტიკალურ" სქემასთან შედარებით. მიუხედავად იმისა, რომ დამიწების ჰორიზონტალური სქემის მოწყობა

ტექნიკურად და ეკონომიკურად უფრო ადვილი და მომგებიანია ვიდრე ვერტიკალური სისტემის, უმეტეს შემთხვევაში უპირატესობას მაინც ვერტიკალურ სქემას ანიჭებენ მახასიათებლების მეტი სტაბილურობის გამო.

### **3.1. დამიწების ელექტროდების ელექტრული ველის მათემატიკური და ფიზიკური მოდელირება ელექტრულ აბაზანაში**

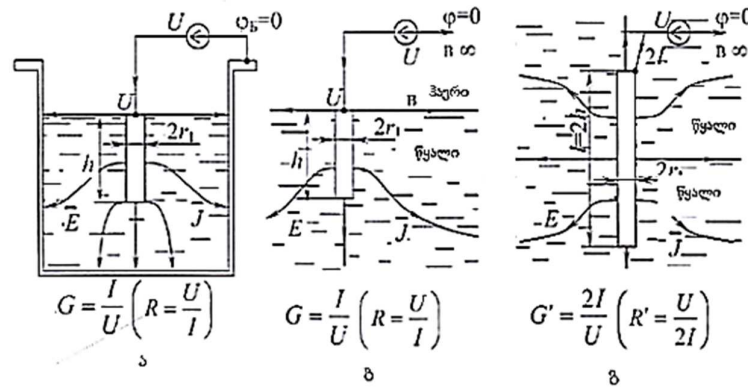
საკონტროლო პარამეტრების სტაბილურობას, აღწარმოებადობას და განმეორებადობას განსაკუთრებული მოთხოვნები წაყენება ნიადაგში მოწყობილ დამიწების სქემას კვალიფიკაციის ტესტირების პროგრამებში. ასეთი სისტემის საკონტროლო ნიმუშად გამოყენებისას ძირითადი პარამეტრის ყოველი გადახრა, საბაზისო მაჩვენებლებიდან, კვალიფიკაციის შეფასების პროგრამაში არა სწორი დასკვნის გამოტანისათვის, დამატებითი ფაქტორია.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე მნიშვნელოვანია დამუშავდეს დამიწების სისტემის ფიზიკური მოდელი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გადაიჭრას ისეთი მნიშვნელოვანი ამოცანები, როგორცაა დამიწების კონტურის პროექტირებისა და შექმნის, დამიწების საზომი ხელსაწყოების კალიბრებისა და კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული ტესტირების, ლაბორატორიათაშორისი გამოცდებისათვის ნორმირებულ პარამეტრებიანი საკონტროლო ნიმუშის დამზადების საკითხები.

ცნობილია ელექტრული აბაზანები [7.10], სადაც მცირე მასშტაბის პირობებში ხდება დამიწების ელექტროდებიდან გაჟონვის დენის სიდიდის ფიქსირება, რაც დამცავი დამიწების მოვლენის აღწარმოებისათვის შეიძლება იქნეს გამოყენებული.

დამიწების ელექტროდის ფიზიკური მოდელში მიმდინარე პროცესის თეორიული არსის აღწერისათვის გამოვიყენოთ მოდელი, რომელიც წარმოადგენს მეტალის აბაზანას და მასში ჩასხმულ წყალში ჩაშვებულია  $r_1$  რადიუსის მქონე ცილინდრული ღეროს. მისი ელექტრული ველის სურათი ნაჩვენებია სურ. 35 ა. მოყვანილი ფიზიკური მოდელის გამოყენებით

შესაძლებელია შეიქმნას დამამიწებელი ელექტროდებიდან აბაზანის კედლებამდე სივრცის გამტარობის (წინალობის) გამოთვლის მეთოდოლოგია.

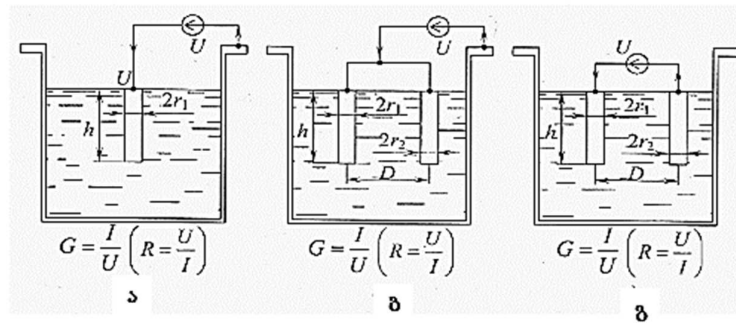


სურ. 35 დამამიწებელი ელექტროდებიდან აბაზანის კედლებამდე გაჟონვის დენის გამტარობის (წინალობის) გამოთვლის თეორიული ინტერპრეტაცია

თუ მხედველობაში არ მივიღებთ აბაზანის კედლების გავლენას ველის განაწილების სურათზე, მივიღებთ სურ. 35 ბ-ზე ნაჩვენებ მოდელს, როგორც ვხედავთ ველის განაწილების სურათი პრაქტიკულად არ შეცვლია (აბაზანის კედლები მოდელში უსასრულოდ დაშორებული გამტარის როლს ასრულებს). ამ შემთხვევაში დენი  $I$ , ღეროს ცილინდრული ზედაპირიდან გაიჟონება უსასრულოდ დაშორებული წერტილებისაკენ (სურათზე  $\vec{E}$  და  $\vec{J}$  მიმართულება), რომელთა პოტენციალი პრაქტიკულად 0-ის ტოლად შეიძლება მივიღოთ. დენის გავრცელება სურ. 35 ბ-ზე ნაჩვენებ მოდელში მიმდინარეობს წყლის "უსასრულო" გარემოში სადაც საქმე გვაქვს ელექტრულ ველთან და მისგან გამოწვეულ ელექტრულ დენთან, ხოლო მის მოსაზღვრე ჰაერის გარემოში არსებობს ელექტრული ველი, მაგრამ არ გვაქვს ელექტრული დენი. ავსახოთ სარკისებურად ქვედა ნახევარ სივრცე (სურ. 35 ბ) ზედა ნახევარ სივრცეშიც, რომელიც მოგვცემს სურ. 35 გ გამოსახულ მთლიანი გარემოს სურათს. ნათელია, რომ ღეროდან რომლის სიგრძეა  $l = 2h$  გაჟონვის დენის მნიშვნელობა ორ ჯერ მეტი იქნება ამიტომ გამტარობა გაიზრდება ორ ჯერ და წინალობა შემცირდება ორ ჯერ ნაჩვენებთან შედარებით (სურ. 35 ბ). ზემოთქმულის საფუძველზე შეიძლება მივიღოთ, რომ ცილინდრული ელექტროდებისათვის გაჟონვის დენის გამტარობის (წინალობის) გამოსათვლელ სქემას ექნება სურ. 35 გ-ზე ნაჩვენები სახე. [20]



აღსანიშნავია, რომ მოცემული სქემა არ ითვალისწინებს აბაზანის კედლებიდან არეკლილ მნიშვნელობებს. ასეთი დაშვება მოდელისათვის დასაშვებია იმ შემთხვევაში თუ აბაზანის გეომეტრიული ზომები ორი თანრიგით მაინც აღემატება ელექტროდების ზომებს, რაც ჩვენი შემთხვევისათვის პრაქტიკულად კმაყოფილდება.



სურ. 36 ამოცანათა სამი ტიპი გამტარობის (წინააღმდეგობის) გამოსათვლელი სქემისათვის. ა. ღეროსა და აბაზანის კედელს შორის; ბ. ორ შეერთებულ ღეროსა და აბაზანას შორის; გ. ორ ღეროს შორის.

მოყვანილი სქემისათვის (სურ. 36) განვსაზღვროთ გაჟონვის დენის გამტარობის (წინააღმდეგობის) მნიშვნელობა ამოცანათა სამივე ტიპისათვის, რაც გულისხმობს მოცემული ნებისმიერი ვარიანტისთვის  $I$  გაჟონვის დენის  $R$  წინააღმდეგობის მნიშვნელობის განსაზღვრას  $\gamma$  კუთრი გამტარობის გარემოში,  $h$  სიღრმეზე ჩადირულ ორ ცილინდრულ  $r_1, r_2$  დიამეტრის მქონე ღეროს შორის.

გაჟონვის დენის გამტარობა ასეთ შემთხვევაში გამოითვლება

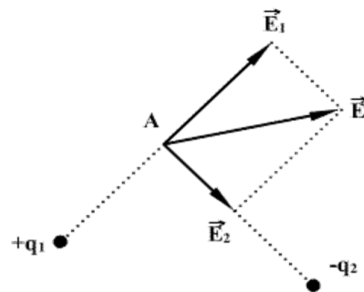
$$G = G^I/2, \text{ ხოლო წინააღმდეგობა } R = 1/G$$

განვიხილოთ სურ. 36 მოცემული ველის გამოთვლის სქემა, სადაც კმაყოფილდება ტოლობა  $I_1 = I_2 = I$  აღნიშვნები  $I_1$  და  $I_2$  პირობითია და შემოდებულია ღეროების იდენტიფიკაციისათვის, რომლის მიმართ ხორციელდება ინტეგრება.

ვთქვათ, პირველ ღეროში მიედინება  $I_1$  დენი, ხოლო მისი პოტენციალი უსასრულოდ დაშორებული ნულოვანი პოტენციალის მქონე წერტილის მიმართ ტოლია  $U_1$ , შესაბამისად მეორე ღეროსათვის დენი  $I_2$ , ხოლო მისი პოტენციალი  $U_2$ . სუპერპოზიციის პრინციპით, რომლის

თანახმად თუ ელექტრული ველი შექმნილია რამოდენიმე მუხტით, მაშინ ძალები, რომლებიც მოქმედებენ საცდელ მუხტზე იკრიბება ვექტორების შეკრების წესით. ამიტომ მუხტების სისტემის ველის დაძაბულობაც მოცემულ წერტილში ტოლი იქნება თითოეული მუხტის ველის დაძაბულობების ვექტორული ჯამის.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_i^n \vec{E}_i$$



აღნიშნულის გათვალისწინებით სურ. 37 სუპერპოზიციის პრინციპისათვის შეიძლება

ჩაიწეროს პოტენციალების ორი შესაკრების ჯამის სახით.

$$U_1 = \alpha_{11}I_1 + \alpha_{12}I_2, \quad U_2 = \alpha_{21}I_1 + \alpha_{22}I_2$$

სადაც  $\alpha_{11}$  და  $\alpha_{22}$  პოტენციალთა საკუთარი კოეფიციენტებია,  $\alpha_{12} = \alpha_{21}$  პოტენციალთა ურთიერთ გავლენის კოეფიციენტებია. [8]

სურ. 35-ზე ნაჩვენები ამოცანებისათვის  $G$  გამტარობა შესაძლებელია პოტენციალური კოეფიციენტების საშუალებით გამოისახოს. ერთი ღეროს შემთხვევაში (სურ. 35 ა) გვექნება

$$U_1 = \alpha_{11}I_1 = I_1/G \quad \text{და შესაბამისად} \quad G = I_1/\alpha_{11}$$

ორი ერთმანეთთან ელექტრულად დაკავშირებული ელექტროდის შემთხვევაში მათი პოტენციალები ერთნაირი იქნება  $U_1 = U_2 = U$ , ხოლო საერთო დენი  $I$  ტოლია ღეროებში დენების ჯამის, ამ შემთხვევაში გვექნება ( $\alpha_{12} = \alpha_{21}$ ).

$$U_1 = U = \alpha_{11}I_1 + \alpha_{12}I_2 \quad \text{და} \quad U_2 = U = \alpha_{12}I_1 + \alpha_{22}I_2$$

თუ პირველს გავყოფთ მეორეზე ამით გამოვრიცხავთ  $U$ -ს და მივიღებთ დენებს შორის დამოკიდებულებას

$$I_2 = \frac{\alpha_{11}I_1 + \alpha_{12}I_2}{\alpha_{12}I_1 + \alpha_{22}I_2} I_1$$

მაშინ

$$I = I_1 + I_2 = \frac{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12}}{\alpha_{22} - \alpha_{12}} I_1$$

მაბეა  $U$  ასევე გამოვსახოთ  $I_1$  საშუალებით

$$U = \left( \alpha_{11} + \alpha_{12} \frac{\alpha_{11} - \alpha_{12}}{\alpha_{22} - \alpha_{12}} \right) I_1 = \frac{\alpha_{11} \cdot \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}{\alpha_{22} - \alpha_{12}} I_1$$

სურ. 35-ზე მოცემული სისტემის გამტარობა სხვადასხვა ( $r_1 \neq r_2$ ) და ერთნაირი რადიუსის ( $r_1 = r_2$ ) მქონე ღეროებისათვის (სადაც  $\alpha_{11} = \alpha_{22}$ ) ექნება სახე:

$$G = \frac{1}{U} = \frac{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12}}{\alpha_{11} \cdot \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}$$

$$G = \frac{2\alpha_{11} - 2\alpha_{12}}{\alpha_{11}^2 - \alpha_{12}^2} = \frac{2}{\alpha_{11} + \alpha_{12}}$$

გამტარობის საანგარიშოთ გამოვითვალთ პოტენციური კოეფიციენტების  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{12}$ ,  $\alpha_{22}$  მნიშვნელობები მიახლოებითი მეთოდის გამოყენებით [37]. ზოგადი სახით ამ გამოსახულებებს შემდეგი სახე ექნებათ

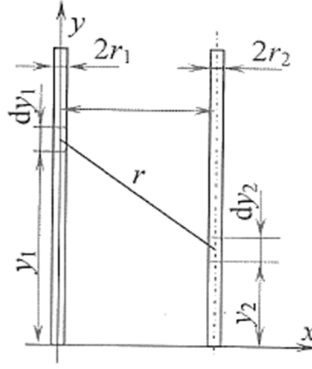
$$\alpha_{11} = \frac{1}{4\pi\gamma l_1^2} \iint_0^{l_1 l_2} \frac{dy_1 \cdot dy_2}{r_1}$$

$$\alpha_{12} = \frac{1}{4\pi\gamma l_1 l_2} \iint_0^{l_1 l_2} \frac{dy_1 \cdot dy_2}{r_2}$$

სადაც  $r$ - არის მანძილი  $dy_1$  და  $dy_2$  ელემენტებს შორის (სურ. 29).

კოეფიციენტი  $\alpha_{12}$  -ის გამოსათვლელი ფორმულა მიღებულია  $\alpha_{11}$ -ის გამოსათვლელი ფორმულიდან, სადაც  $r_1$  შეცვლილია  $r_2$ -ით.

კოეფიციენტების  $\alpha_{11}$  და  $\alpha_{22}$ -ის გამოთვლისას ინტეგრება ხდება თავდაპირველად ღეროს ღერძის გასწვრივ, ხოლო მეორედ ღეროს ზედაპირის გასწვრივ, ღერძის პარალელურად. რაც შეეხება  $\alpha_{12}$  კოეფიციენტის გამოთვლას ინტეგრება ხორციელდება პირველად პირველი ღეროს ღერძის გასწვრივ, ხოლო მეორედ - მეორეს გასწვრივ.



სურ. 38 პოტენციური კოეფიციენტების  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{12}$ ,  $\alpha_{22}$  გამოთვლისათვის

პოტენციური კოეფიციენტების გამოთვლა ერთნაირი სიგრძის  $l_1$  და  $l_2$  ორი პარალელური ღეროსათვის (სურ. 37) ხორციელდება იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ისინი  $X$  ღერძზე დევს (ე.ი.  $y=0$ ), ხოლო  $D$  მათ ღერძებს შორის დაშორებაა. ასეთი შემთხვევისათვის გვექნება, რომ

$$\alpha_{12} = \frac{1}{4\pi\gamma l^2} \iint_0^{l_1 l_2} \frac{dy_1 dy_2}{\sqrt{D^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

რადგან  $y_2$ -ით ინტეგრებისას  $y_1$  ითვლება მუდმივად გვექნება

$$\int_0^l \frac{dy_2}{\sqrt{D^2 + (y_2 - y_1)^2}} = \int_{-y_1}^{l-y_1} \frac{d(y_2 - y_1)}{\sqrt{D^2 + (y_2 - y_1)^2}} = \text{Arsh} \frac{l-y_1}{D} + \text{Arsh} \frac{y_1}{D}$$

საიდანაც შესაბამისად გვექნება

$$\alpha_{12} = \frac{1}{4\pi\gamma l^2} \int_0^l \left( \text{Arsh} \frac{l-y_1}{D} + \text{Arsh} \frac{y_1}{D} \right) dy_1$$

აქედან შესაძლებელია დავრწმუნდეთ, რომ

$$\int_0^l \text{Arsh} \frac{l-y_1}{D} dy_1 = \int_0^l \text{Arsh} \frac{y_1}{D} dy_1$$

ინტეგრალის მნიშვნელობის გათვალისწინებით

$$\int \text{Arsh} z dz = z \cdot \text{Arsh} z - \int z d(\text{Arsh} z) = z \text{Arsh} z - \sqrt{1+z^2} + \text{const},$$

საიდანაც ვპოულობთ

$$\alpha_{12} = \frac{1}{2\pi\gamma l} \cdot \left[ \text{Arsh} \frac{l}{D} - \sqrt{\frac{D^2}{l^2} + 1} + \frac{D}{l} \right]$$

რადგან ადგილი აქვს თანაფარდობას

$$\operatorname{Arsh} \frac{l}{D} = \ln \left( \frac{l}{D} + \sqrt{\frac{l^2}{D^2} + 1} \right)$$

$\alpha_{12}$  კოეფიციენტის გამოსათვლელი ფორმულა მიიღებს სახეს

$$\alpha_{12} = \frac{1}{2\pi\gamma l} \left[ \ln \left( \frac{l}{D} + \sqrt{\frac{l^2}{D^2} + 1} \right) - \sqrt{\frac{D^2}{l^2} + 1} + \frac{D}{l} \right]$$

სადაც  $l = 2h$ ,  $h$  – ღეროების ჩაპირვის სიღრმეა.

როგორც აღნიშნული იყო საკუთარი პოტენციალის კოეფიციენტის  $\alpha_{11}$  განსაზღვრისათვის აუცილებელია ინტეგრება მოვახდინოთ ჯერ ღეროს ღერძის გასწვრივ, ხოლო შემდეგ ღეროს ზედაპირის გასწვრივ ამიტომ ამ კოეფიციენტის გამოსათვლელ ფორმულაში მანძილი  $D$  შეიცვლება ღეროს რადიუსით  $r_1$ -ით.

$$\alpha_{11} = \frac{1}{2\pi\gamma l} \left[ \ln \left( \frac{l}{r_1} + \sqrt{\frac{l^2}{r_1^2} + 1} \right) - \sqrt{\frac{r_1^2}{l^2} + 1} + \frac{r_1}{l} \right]$$

მეორე ღეროს საკუთარი პოტენციალის გამოსათვლელი ფორმულა  $\alpha_{22}$  იდენტურია წინა ფორმულის იმ განსხვავებით, რომ  $r_1$ -ის მნიშვნელობა შეცვლილია  $r_2$  –ით.

$$\alpha_{22} = \frac{1}{2\pi\gamma l} \left[ \ln \left( \frac{l}{r_2} + \sqrt{\frac{l^2}{r_2^2} + 1} \right) - \sqrt{\frac{r_2^2}{l^2} + 1} + \frac{r_2}{l} \right]$$

მოდელის გეომეტრიული ზომებიდან გამომდინარე შეიძლება ჩაითვალოს, რომ  $l \gg r_1$  და  $l \gg r_2$  მაშინ ბოლოს მიღებული ფორმულები გამარტივდება, რადგან

$$\ln \left( \frac{l}{r_1} + \sqrt{\frac{l^2}{r_1^2} + 1} \right) - \sqrt{\frac{r_1^2}{l^2} + 1} + \frac{r_1}{l} \approx \ln \frac{2l}{r_1} - 1 = \ln \frac{l}{r_1} - 0,307$$

ამის გათვალისწინებით  $\alpha_{11}$  და  $\alpha_{22}$ -სათვის გვექნება

$$\alpha_{11} \approx \frac{1}{2\pi\gamma l} \left( \ln \frac{l}{r_1} - 0,307 \right) \quad \text{ასევე} \quad \alpha_{22} \approx \frac{1}{2\pi\gamma l} \left( \ln \frac{l}{r_2} - 0,307 \right)$$

ამ ფორმულების გამოყენებით შესაძლებელი ხდება სურ. 27-ზე მოცემული ამოცანათა სამი ტიპისათვის გამტარობის (წინააღმდეგობის) გამოთვლა მოდელის სხვადასხვა ელემენტებს შორის [17.37]

- სურ. 35 ა ღეროსა და აბაზანის კედელს შორის;

$$R = 2R^I = 2\alpha_{11}$$

- სურ. 35 ბ ორ შეერთებულ ღეროსა და აბაზანას შორის;

სხვადასხვა რადიუსის მქონე ღეროებისათვის  $r_1 \neq r_2$

$$R = 2R^I = 2 \frac{\alpha_{11} \cdot \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12}}$$

ერთნაირი რადიუსის მქონე ღეროებისათვის  $r_1 = r_2$  მაშინ  $\alpha_{11} = \alpha_{22}$  და

$$R = \frac{\varepsilon}{\gamma} (\alpha_{11} + \alpha_{22})$$

სადაც:

$\varepsilon$  – იმ გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობაა რომელშიც მოთავსებულია ღერო;

$\gamma$  – იმ გარემოს კუთრი გამტარობაა რომელშიც მოთავსებულია ღერო

$$\gamma = \frac{l}{R_S}$$

ჩვენი შემთხვევისათვის  $l$  - წყლის სვეტის სიმაღლეა,  $R_S$  - წყლის სვეტის წინააღობის გაზომილი მნიშვნელობა.

- სურ. 35 გ ორ ღეროს შორის.

სხვადასხვა რადიუსის მქონე ღეროებისათვის  $r_1 \neq r_2$

$$R = 2(\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12})$$

ერთნაირი რადიუსის მქონე ღეროებისათვის  $r_1 = r_2$  მაშინ  $\alpha_{11} = \alpha_{22}$  და

$$R = 4(\alpha_{11} - \alpha_{22}).$$

**დამიწების ელექტროდის მათემატიკური მოდელის მათ შორის** რიცხვითი პროგრამირების საკითხი საკმაოდ გაშუქებულია სხვადასხვა სახის ტექნიკურ ლიტერატურაში [15,16,17,18,19]. სარკისებური ასახვისა და ზედღების მეთოდის გამოყენებით [18] განიხილება დამამიწებელი  $d$  დიამეტრის ელექტროდი, სფერული დაბოლოებით,  $I_0$  დენით, რომელიც ჩაშვებულია გრუნტში  $h$  სიღრმეზე (სურ. 39).

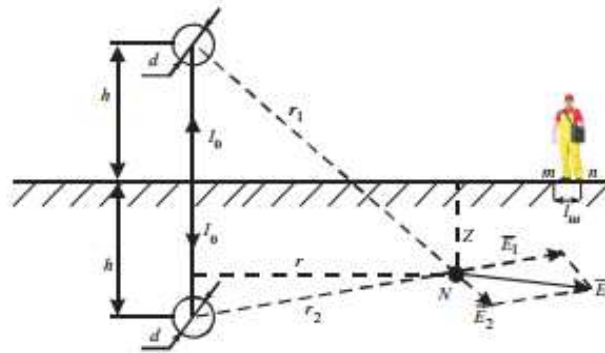
სარკული ასახვის ადგილას თავსდება ელექტროდი  $I_0$  დენის იგივე მნიშვნელობით, როგორც წინა შემთხვევაში. ნახაზის მიხედვით, პითაგორას თეორემის თანახმად

$$r_1 = \sqrt{r^2 + (h - Z)^2}, \quad r_2 = \sqrt{r^2 + (h + Z)^2}$$

ამასთან  $0 < r < \infty$  და  $-\infty < Z \leq 0$ .

განმზოლოებული სფეროდან დენის სიმკვრივე გრუნტში დედამიწის ზედაპირის გავლენას თუ არ მივიღებთ მხედველობაში, როდესაც  $r_1 > d/2$  (სფერული დამამიწებელის მდებარეობა წერტილი  $N$ ), ტოლი იქნება

$$\delta_1 = \frac{I_0}{4\pi r_1^2}$$



სურ. 39 სარკული ასახვით განსაზღვრული, სფერული დამამიწებელის ელექტრული ველი.

ასეთ შემთხვევაში ომის კანონის თანახმად ელექტრული ველის დაძაბულობა შეადგენს

$$E_1 = \delta_1 / \gamma = \frac{I_0}{4\pi \gamma r_1^2}$$

ხოლო პოტენციალი

$$\phi_1 = - \int E_1 dr_1 + C_1 = \frac{I_0}{4\pi r_1} + C_1$$

სადაც;  $\gamma$ - გარემოს კუთრი გამტარობაა, რომელიც გამტარი მასალის თვისებებზე და ტემპერატურაზეა დამოკიდებული, იმ პირობით, რომ  $\phi_1 = 0$  როდესაც  $r_1 \rightarrow \infty$ ,  $C_1 = 0$ .

დენის სიმკვრივე, დაძაბულობა და პოტენციალი წარმოსახვითი, არეკლილი დამამიწებელისათვის განისაზღვრება ანალოგიურად

$$\delta_2 = \frac{I_0}{4\pi r_2^2}, \quad E_2 = \frac{I_0}{4\pi \gamma r_2^2}, \quad \phi_1 = \frac{I_0}{4\pi r_1} + C_1$$

ჯამური ველი, გრუნტის ზედაპირის გავლენის გათვალისწინებით, ხასიათდება  $\vec{E}_1$  და  $\vec{E}_2$  ვექტორების გეომეტრიული ჯამით, ასევე თითოეული სფეროს პოტენციალების ჯამით

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = \frac{I_0}{4\pi\gamma} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

შემდეგ ვპოულობთ დამამიწებლის პოტენციალს ( $r_1 = d/2$ ;  $r_2 = 2h - d/2$ ) მნიშვნელობებისათვის.

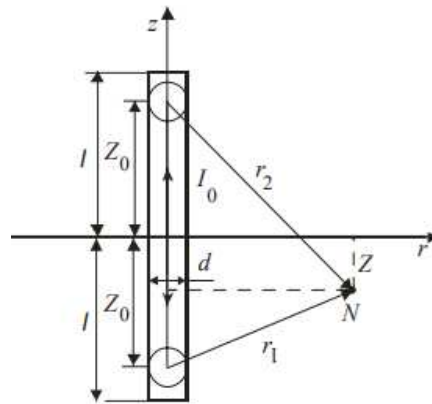
$$\phi_0 = \frac{I_0}{4\pi\gamma} \left( \frac{2}{d} + \frac{1}{2h - d/2} \right)$$

და ბიჯური ძაბვა ( $Z=0$ )

$$U_{\partial\sigma\chi} = \phi_{\partial\sigma\chi} - \phi_n = \frac{I_0}{4\pi\gamma} \left[ \frac{1}{\sqrt{h^2 + r^2}} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + (r + l_{\partial\sigma\chi})^2}} \right]$$

სადაც  $l_{\partial\sigma\chi} = 0,8m$  ადამიანის ნაბიჯის სიგრძეა.

ზემოთ მოყვანილი მსჯელობა მთლიანად ეხებოდა სფერული ფორმის დამამიწებლების [19], მაშინ როდესაც დამამიწებლები უმეტესად ღეროს ფორმისაა (სურ. 40)



სურ. 40 ღეროს ფორმის დამამიწებელი, როგორც სფერული დამამიწებლების ნაკრები (სადაც  $0 < Z_0 < 1$ )



ღეროს ფორმის დამამიწებელზე ანალოგიური გამოთვლების ჩასატარებლად ის შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც სფერული დამამიწებლების ერთიანობა, სადაც თითოეულისაგან გაქონვის დენი იქნება

$$dl = l_0 \left(1 - \frac{Z_0}{l}\right) \frac{dZ_0}{l}$$

ასეთ შემთხვევაში  $N$  წერტილში სფერული დამამიწებელის და მისი სარკული ასახვის პოტენციალები ტოლი იქნება

$$d\phi = \frac{dl}{4\pi\gamma} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

სადაც  $r_1 = \sqrt{r^2 + (Z_0 - Z)^2}$  და  $r_2 = \sqrt{r^2 + (Z_0 + Z)^2}$  ერთნაირია, ხოლო  $N$  წერტილის კოორდინატები იცვლება  $0 \leq r < \infty$ ,  $Z \leq 0$ .

აღნიშნულის გათვალისწინებით ღეროვანი დამამიწებელის ელექტრული პოტენციალი  $N$  წერტილში შეიძლება ასეთი სახით განისაზღვროს [37]

$$\phi = \int_0^l d\phi = \frac{I_0}{4\pi\gamma} \int_0^l \left(1 - \frac{Z_0}{l}\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) dZ_0$$

$$\phi = \frac{I_0}{4\pi\gamma l^2} \left\{ (l - Z) \cdot \ln \left[ \frac{(l - Z) + \sqrt{r^2 + (l - Z)^2}}{\sqrt{r^2 + Z^2} - Z} \right] + (l + Z) \cdot \ln \left[ \frac{(l + Z) + \sqrt{r^2 + (l + Z)^2}}{\sqrt{r^2 + Z^2} + Z} \right] \right.$$

$$\left. + 2\sqrt{r^2 + Z^2} - \sqrt{r^2 + (1 - Z)^2} - \sqrt{r^2 + (1 + Z)^2} \right\}$$

ამასთან ბიჯური ძაბვისთვის გვექნება ( $l_{ბოჯ} = 0,8m$ ,  $r \geq d/2$ )

$$U_{ბოჯ} = \phi_{ბოჯ} - \phi_n = \phi(Z = 0; r) - \phi(Z = 0; r + l_{ბოჯ})$$

როდესაც  $r = d/2$  და  $Z = 0$  ვღებულობთ დამამიწებლის პოტენციალის მაქსიმალურ მნიშვნელობას

$$\phi_0 = \frac{I_0}{4\pi\gamma l} \left[ \ln(k + \sqrt{1 + k^2}) + 1/k - \sqrt{1 + 1/k^2} \right]$$

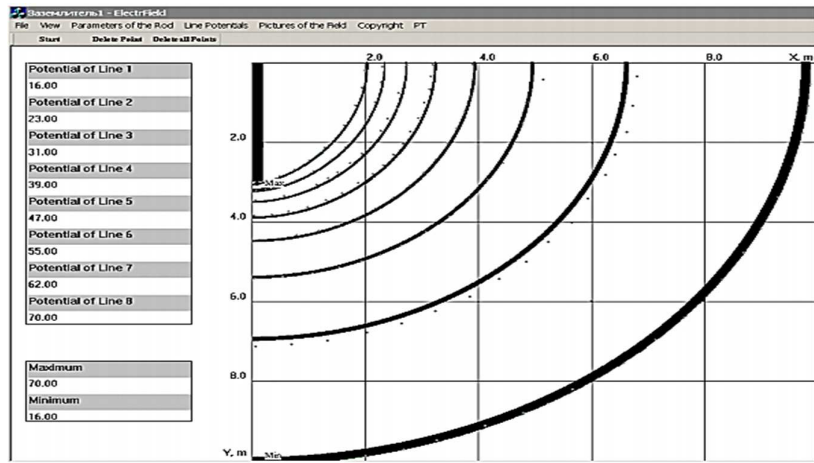
სადაც  $k = 2l/d$  და, თუ  $k \gg 1$  მაშინ

$$\phi_0 = \frac{I_0}{2\pi\gamma l} \left[ \ln \frac{4l}{d} - 1 \right]$$

და მაშინ დამიწების წინალობა შეადგენს

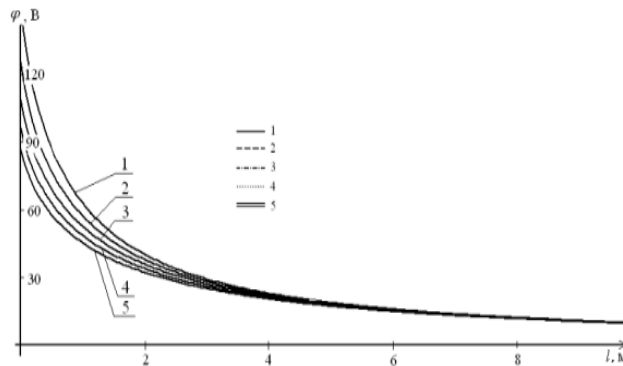
$$R_{დამიწ} = \frac{\phi_0}{I_0} \cong \frac{I_0}{2\pi\gamma l} \left[ \ln \frac{4l}{d} - 1 \right]$$

მოყვანილი მათემატიკური აპარატის გამოყენებით აგებული იქნა ღეროვანი დამამიწებლის ელექტრო სტატიკური ველის გამოთვლის პროგრამა, რომელიც საშუალებას იძლევა გრუნტის მოცემული გამტარობის  $\gamma$ -ს, დამამიწებლის დენის  $I_0$ , მისი სიგრძის  $l$ , დიამეტრის  $d$  სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის გამოითვალოს დამიწების წინაღობის  $R_{\text{დამიწ}}$  მაქსიმალური პოტენციალის  $\phi_0$ -ის მნიშვნელობები  $r$ -ის და  $Z$ -ის დასაშვები მნიშვნელობების საზღვრებში. მაგალითის სახით ნაჩვენებია პოტენციალის განაწილების დიაგრამები 3 მეტრი სიგრძის, 0,2 მეტრი დიამეტრის ღეროს და  $I_0 = 20$  ამპერი დენის მნიშვნელობის მქონე დამამიწებლისთვის (სურ. 32)

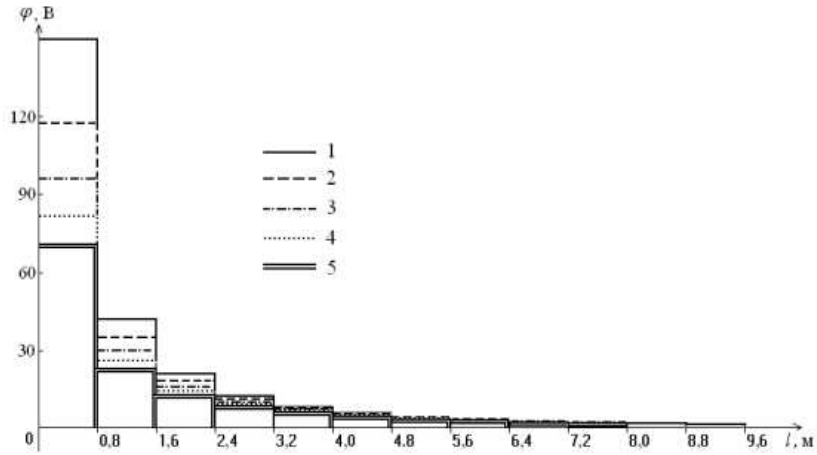


სურ. 41 ღეროვანი დამამიწებლის ელექტრო სტატიკური ველი

მათემატიკური მოდელი საშუალებას გვაძლევს გამოვითვალოთ გრუნტის ზედაპირის პოტენციალი და ბიჯური ძაბვა. დამამიწებელი ელექტროდის სიგრძის ცვლასთან ერთად ველის განაწილება და ბიჯური ძაბვა იცვლება სურ. 42 და სურ. 43-ზე ნაჩვენები სახით



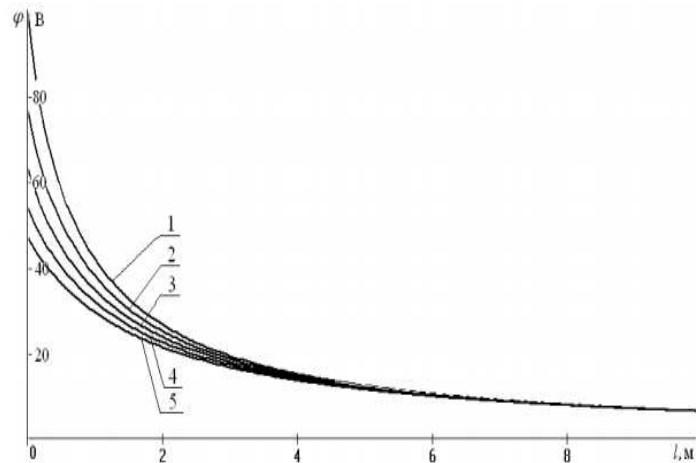
სურ. 42 ძაბვის ცვლილება გრუნტის ზედაპირზე ღეროს სიგრძის ცვლილებისას.  
 $d=0,2$  m;  $l=3$  m,  $I=20$  A;  $R_{\text{დამიწ}}$  1 - 16,4; 2 - 13,5; 3 - 11,5; 4 - 10,5; 5 - 9,0 ომი



სურ. 43.

სურ. 43 ბიჯური ძაბვის ცვლილება დამამიწებელიდან დაშორებისას.  
 $d=0,2$  m;  $l=3$  m,  $I=20$  A;  $R_{\text{დამიწ}} 1 - 16,4$ ; 2.- 13,5; 3.- 11,5; 4. - 10,5; 5. - 9,0 ომი

დამოკიდებულებების ასეთ ცვლილებას აქვს ადგილი  
 დამამიწებელის დიამეტრის ცვლილებისას სურ. 44.



სურ. 44 ძაბვის ცვლილება გრუნტის ზედაპირზე ღეროს სიგრძის და დიამეტრის  
 ცვლილებისას.

ღეროს სიგრძე/წინააღობა m/Ωm 1) 0,2/16,4; 2) 0,4/13,5; 3) 0,6/11,5; 4) 0,8/10,0;  
 5) 1,0/9,0.

შემოთავაზებული მათემატიკური მოდელი საშუალებას იძლევა  
 ავსაგოთ ვერტიკალური დამამიწებელი ელექტროდის ელექტრო სტატიკური  
 ველის სურათი და ვიანგარიშით დამიწების ძირითადი პარამეტრები.

### 3.2. დამცავი დამიწების ლშგ-ის საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური მოდელის რეალიზაცია მსგავსების თეორიის საშუალებით

მოდელირების არსი მჭიდროდ არის დაკავშირებული სისტემაზე ან მის ცალკეულ ელემენტებზე ზემოქმედების ხასიათის ინფორმაციის არსთან, ასევე ამ ზემოქმედების გავლენით სისტემის მდგომარეობის ცვლილებასთან, რომლებიც მუდამ განსაზღვრულია სივრცეში და დროში.

მსგავსებისა და მოდელირების თეორიის საერთო ამოცანაა ობიექტის შესახებ ინფორმაციისა და მონაცემთა დამუშავების მიმართული და მოწესრიგებული მეთოდოლოგიის გამომუშავება.

ამრიგად შეიძლება ითქვას, რომ მსგავსების თეორია შესაძლებელია გამოყენებული იქნას შემდეგ შემთხვევებში:

- კონკრეტული ამოცანების გადაწყვეტისას პარამეტრებს შორის ანალიზური დამოკიდებულების განსაზღვრისას;

- სხვადასხვა ტექნიკური მოწყობილობების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების დამუშავების დროს როდესაც შედეგები წარმოდგენილია განზოგადოებული „კრიტიკალური“ დამოკიდებულებებით.

- დანადგარის მოდელის შექმნისას, რომელიც აღწარმოებს „ორიგინალი“ დანადგარის მონაცემებს, ჩვეულებრივ უფრო დიდს, ან სტრუქტურულად უფრო რთულს, ან უფრო ძვირადღირებულს.

ვთქვათ მოთხოვნილია რაიმე  $Q$  სიდიდის გაზომვა. ეს ნიშნავს, რომ აუცილებელია ის შევადაროთ ასეთივე ფიზიკური ბუნების მქონე სხვა სიდიდეს  $q$ -ს, ანუ უნდა განისაზღვროს რამდენჯერ განსხვავდება  $Q$  სიდიდე  $q$ -საგან. ერთგვაროვნების მიზნით ადგენენ  $q$  სიდიდის განსაზღვრულ ერთეულოვან მნიშვნელობას და მას გაზომვის ერთეულს უწოდებენ. [9]

ელექტროტექნიკური ხასიათის ამოცანებში არსებობს მოდელირების ამოცანის გადაჭრის ორი უკიდურესი მიდგომა, რომლებიც დამყარებულია:

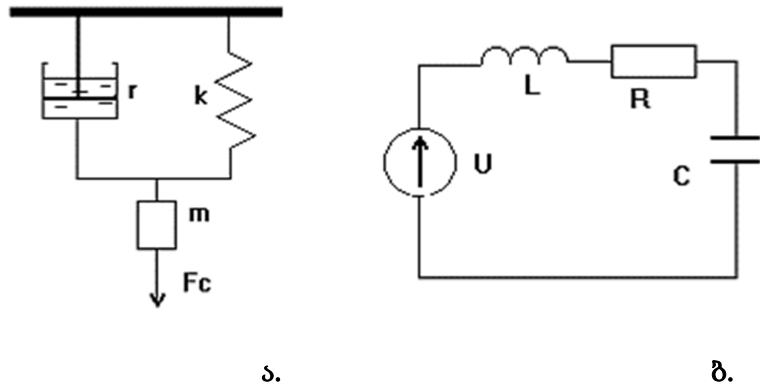
- a. ველის თეორიაზე (მაქსველის განტოლებები);
- b. წრედების თეორიაზე (კირხგოფის განტოლებები).

მოდელირების თვალსაზრისით შესაბამისად განარჩევენ ველისა და წრედის მოდელებს. ასეთი მიდგომა არ გამორიცხავს მოდელირების ან ხერხების ერთ მთლიანობაში გამოყენებას, რაც გულისხმობს, რომ მოდელისათვის შეყურსულ პარამეტრებიანი ჩანაცვლების სქემის აგება ხორციელდება წრედების თეორიაზე დაყრდნობით (წრედული მოდელები), ამასთან თვით ამ პარამეტრების მნიშვნელობები შესაძლებელია საკმაოდ მაღალი სიზუსტით გამოითვალოს მხოლოდ ველის თეორიაზე დაფუძნებული მოდელით.

მოდელირების თეორიაში ელექტრული და მექანიკური მოდელების ჩანაცვლების სქემებისათვის მათი დინამიკის აღწერის ერთგვაროვანი ფორმის გამო შესაძლებელი ხდება ისინი ურთიერთ ჩანაცვლების მაგალითად წარმოვადგინოთ.

მექანიკური კვანძის დინამიკა (სურ. 45 ა) მასში ენერჯის კონცენტრაციის არსებობის შემთხვევაში აღიწერება (38) განტოლებით  $F_c +$

$$F_u + F_m + F_k = F_c - m \frac{dv}{dt} - rv - k \int_0^t v dt = F_c - m \frac{d^2x}{dt^2} - r \frac{dx}{dt} - kx = 0 \quad (38)$$



სურ. 45 მექანიკური კვანძისა (ა) და მისი ელექტრულით (ბ) ჩანაცვლების სქემა

სადაც სისტემაში ენერჯის კონცენტრაციის პროცესთან კავშირი ხორციელდება ზამზარის სიხისტის კოეფიციენტის  $k$ -საშუალებით.

ენერჯის ანალოგიური დამგროვებლის როლში გვევლინება მოდელის ელექტრული ანალოგის ელემენტი-კონდენსატორი (სურ. 45. ბ),

ტევადობით  $C$ , რომლის გათვალისწინებით ელექტრული სქემის დაბვის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე (39):

$$E + E_L + E_R + E_C = E - L \frac{di}{dt} - Ri - \frac{1}{C} \int_0^t i dt = E - L \frac{d^2q}{dt^2} - R \frac{dq}{dt} - \frac{1}{C} q = 0 \quad (39)$$

ამასთან ელექტრული სქემის სიხისტის კოეფიციენტი (სისტემის სიხისტის პარამეტრი)

$$k = \frac{1}{C};$$

სისტემის სიხისტის კოეფიციენტი შესაძლებელია ნებისმიერ რეალურ სისტემაში გამოვყოთ, როგორც დრეკადობის ძალისა და სისტემის გაუწონასწორებლობის ზომა.

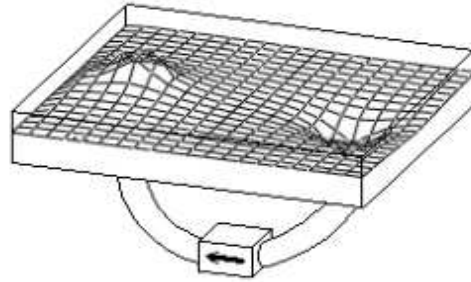
დრეკადობის ძალა, რომელიც გამოწვეულია სისტემის გაუწონასწორებლობის გამო, პროპორციულია სისტემის გაუწონასწორებლობის ხარისხის:

$$U_C = -\frac{q}{C} \quad \text{ელექტრული მოდელისათვის} \quad \text{და} \quad F_y = -k \cdot x$$

მექანიკური მოდელისათვის.

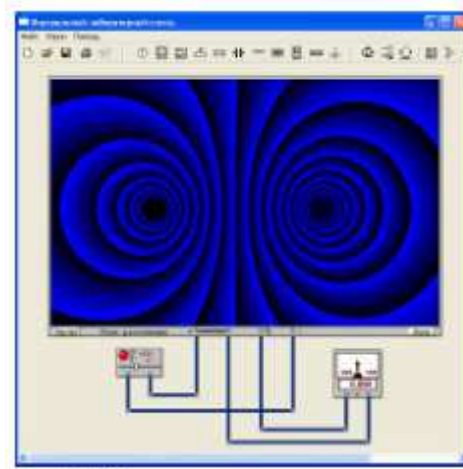
წრედის მოდელირების პრინციპების გამოყენებით, როგორც ნაჩვენები იყო, შესაძლებელია აღიწეროს ნებისმიერი პროცესი, რომელშიც ფიგურირებს ენერჯის ან ნივთიერების გადატანის მიმართული პროცესი, (ელ.დენი, წყლის და ჰაერის ნაკადი, ეკონომიკაში ფინანსური ნაკადები და სხვა.), თუ ცნობილია სისტემის ინერტულობის, დისიპაციისა და სიხისტის პარამეტრები. ასეთ მიდგომით პროცესის მოდელირებისათვის აუცილებელი არაა მისი ფიზიკური არსის ყველა წვრილმანის გარკვევა.

მაგალითის სახით განვიხილოთ სურ. 46-ზე ნაჩვენები ელექტრო-ჰიდროდინამიკური მოდელი, რომელიც წარმოადგენს სითხით (მაგ. წყლით) უმნიშვნელოდ დაფარულ ავზს, მის ფსკერზე მოთავსებულია ორი ხვრელი. ავზის ფსკერის ქვემოთ ხვრელები მილში ჩამონტაჟებული ტუმბოთია შეერთებული. ტუმბო სითხეს გადატუმბავს ერთი ხვრელიდან მეორეში. ამასთან სითხის ზედაპირზე ხდება რელიეფის ფორმირება სურ. 46-ზე ნაჩვენები სახით.



სურ. 46 . ელექტრო-ჰიდროდინამიკური მოდელი

აქ ნაჩვენებია სითხის ზედაპირის ტოპოლოგია ემთხვევა სუსტი გამტარობის გარემოში ორ ელექტროდს შორის დენის გაჟონვის, ან ორ დამუხტულ სფეროს შორის ელექტრული ველის, ან ორი დენიანი გამტარის გარშემო მაგნიტური ველის სურათებს (სურ. 47).



სურ. 47 . სუსტი გამტარობის გარემოში ორ ელექტროდს შორის დენის გაჟონვის მოდელირებული ველი

ტუმბოს ჩართვის შემდეგ თუ მის მიერ შექმნილი წნევა დიდი არაა და ამიტომ სითხის მოძრაობა შეიძლება ჩაითვალოს ლამინალურად სურ. 37-ზე ნაჩვენები ტოპოლოგია ვითარდება ჩართვიდან გარკვეული  $i(t)$  დროის გასვლის შემდეგ ექსპონენციალური მოყვანილი (3) განტოლების მიხედვით.

$$P = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (40)$$

სადაც:

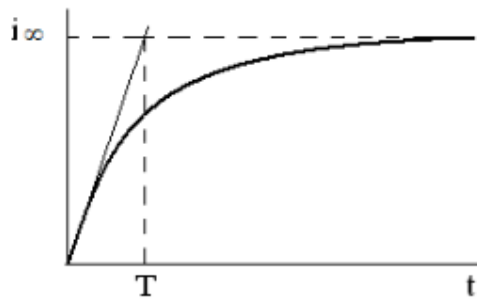
$P$  ტუმბოთი შექმნილი წნევაა;

$R = \frac{P}{i_{\infty}}$  სისტემის ჰიდროდინამიკური წინააღმდეგობა;

$i_{\infty}$  - ნაკადის დამყარებული მნიშვნელობა.

ფორმულაში ასევე ფიგურირებს რაღაც  $L$  სიდიდე, რომელიც შინაარსობრივად სისტემის ინერციის კოეფიციენტი. მისი გამოთვლა შესაძლებელია  $L = TR$  დამოკიდებულებიდან სადაც:  $T$ - დროის მუდმივია და მისი განსაზღვრა შესაძლებელია გრაფიკულად სურ. 39 ნაჩვენები მრუდიდან.

დამახასიათებელი რელიეფი სითხის ზედაპირზე, რომელიც ნაჩვენები იყო სურ. 37. იქმნება გარდამავალი პროცესის დროს და ინარჩუნებს თავის სახეს შემდგომში. [35]



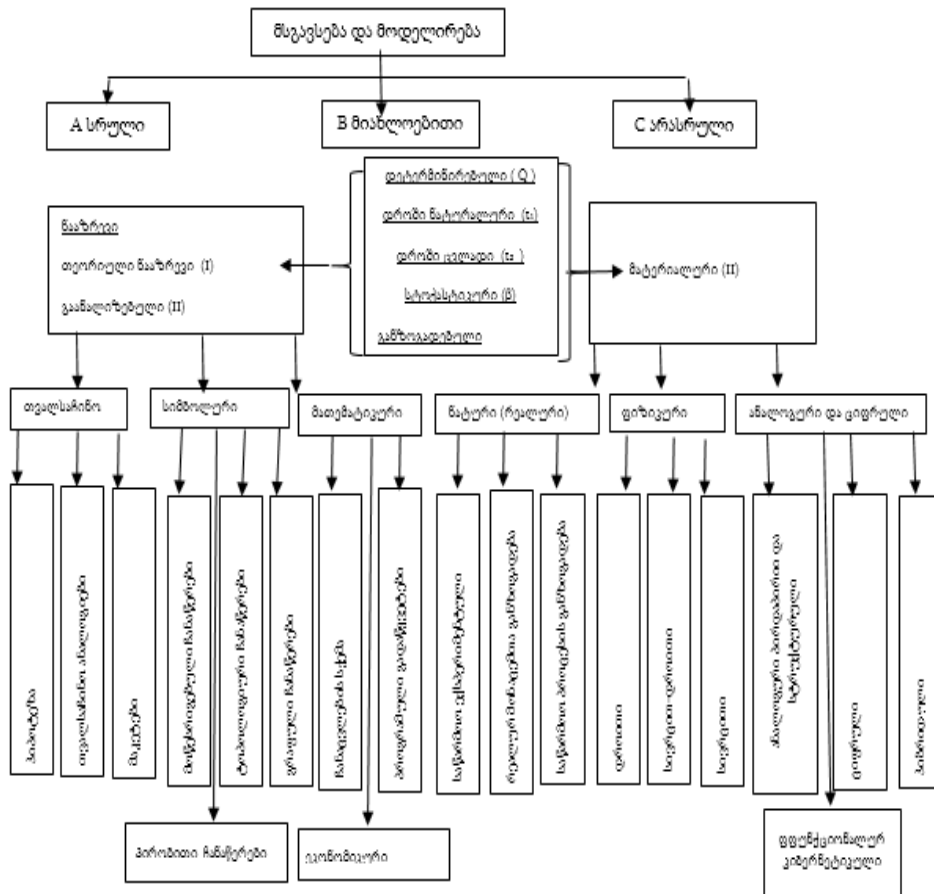
სურ. 48 ელექტრო-ჰიდროდინამიკური მოდელის გარდამავალი პროცესის მახასიათებელი

გრაფიტაციულ ველში ამ რელიეფის შენარჩუნებაზე იხარჯება გარკვეული ენერჯია.  $W = \frac{Li_{\infty}^2}{2}$  ეს ის პოტენციური ენერჯიაა, რომელიც დაგროვილი იყო სისტემაში გარდამავალი პროცესის განმავლობაში. თუ ტუმბოს გამოვრთავთ წნევათა სხვაობა გაქრება და სითხის ზედაპირი გათანაბრდება ხოლო დაგროვილი ენერჯია სითხეში გადავა.

აღწერილი მოვლენის თავისებურება ისაა, რომ მისი გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი პროცესისთვის, რომელიც აღიწერება (40) განტოლებით. ამ მაგალითის მიხედვით ინერციულობის კოეფიციენტი  $L$  არის მხოლოდ დამხმარე სიდიდე, რომელიც მოსახერხებელია გამოთვლების ჩასატარებლად და მსგავსების ამოცანებში გვევლინება მასშტაბირების კოეფიციენტის როლში, როდესაც შეუძლებელია მოვახდინოთ სისტემაში მიმდინარე პროცესების ზუსტი მოდელირება. თუ შესაძლებელია განხილული მაგალითისთვის თვითონ რელიეფის მოდელირება, მაშინ  $L$  კოეფიციენტის გამოყენების აუცილებლობა ქრება.



ფიზიკური ველების მოდელირება საშუალებას გვაძლევს ჩაწვდეთ მოვლენის არსს ამასთან მარტივად და სწრაფად გამოვითვალოთ წრედების თეორიაზე დაფუძნებული მოდელის პარამეტრები. მსგავსებისა და მოდელირების მეთოდებისა და ხერხების ერთობლიობა, რომლებიც გარკვეულ პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს, შეიძლება დაყოფილი იქნას სამ (A, B, C) კატეგორიად (სურ. 49).



სურ. 49 მსგავსებისა და მოდელირების მეთოდების კლასიფიკაცია

A. სრული მსგავსებისა და მოდელირების მეთოდი, რომელშიც უზრუნველყოფილია მატერიის მოძრაობის მსგავსება მისი არსებობის ძირითადი ფორმების მიხედვით, ანუ დროში და სივრცეში, სხვაგვარად, რომ ვთქვათ პროცესები, რომლებიც შესასწავლი მოვლენის მახასიათებლებია იცვლებიან რეალური პროცესის მახასიათებელი პარამეტრების მსგავსად, რაც მათემატიკურად ასე ჩაიწერება

$$x_j = m_j y_j$$

სადაც:  $m_j$ - მასშტაბირების კოეფიციენტი, რომელიც ჩვეულებრივ მუდმივი სიდიდეა. კერძო შემთხვევაში ის შეიძლება ცვლადი სიდიდით იყოს, რომელიც შეიძლება დამოკიდებული იყოს მიმდინარე პროცესის რეჟიმზე, დროზე ან სივრცით კოორდინატებზე. [35]

$y_j$ - სისტემის ან პროცესის მიმდინარე რეჟიმის პარამეტრია:

$$y_j = \varphi(y_1, y_2, \dots, y_{k-j}, l_x, l_y, l_z, t)$$

ამასთან  $l_x, l_y, l_z$  - გეომეტრიული ზომებია,  $t$  - დრო.

B. მსგავსებისა და მოდელირების მიახლოებითი მეთოდი, დაკავშირებულია მიახლოებით მსგავსებასთან, როდესაც ზოგიერთი პროცესზე უმნიშვნელო გავლენის მქონე ფაქტორი მოდელირებულია მიახლოებით ან სრულებით არ არის გათვალისწინებული. ამ შემთხვევაში, სისტემის ზოგიერთ პარამეტრსა და მათ რეჟიმებს შორის შეიძლება არ არსებობდეს მსგავსების თანაფარდობა  $x_j \neq m_j y_j$  ან არსებობდეს ასეთი სახით  $x_j \approx m_j y_j$  შესაბამისად ეს ცდომილების გამოწვევის მიზეზი შეიძლება გახდეს, ამიტომ მნიშვნელოვანია, რომ ის შეფასებული იქნეს რომელიმე გარეშე მეთოდით.

უნდა აღინიშნოს, რომ მიახლოებითი მოდელირების მეთოდი შეიძლება იყოს სრულიც და არასრულიც. ამ მეთოდისათვის დამახასიათებელია არა ის საკითხი, რომ არ იძლევა მოდელისა და ორიგინალის აბსოლუტურ იდენტობას (ამას ვერცერთი მოდელი ვერ იძლევა) არამედ ის, რომ მისი რეალიზაციისას შეგნებულად დაშვებულია და შეფასებულია მოდელსა და ორიგინალს შორის გადახრის ცდომილებები, რაც განპირობებულია ფიზიკური არსის გამარტივებისა და ამ მიზეზით სისტემის პარამეტრების გადახრის გამო.

C. არასრული (კერძო, ლოკალური, ფუნქციური) მოდელირებისა და შესაბამისად მსგავსების მეთოდი, რომლის დროსაც ყველა ძირითადი პროცესის მიმდინარეობა, რომელიც შესასწავლ მოვლენას ახასიათებს,

მსგავსი იქნება მხოლოდ ნაწილობრივ (მაგალითად მხოლოდ დროში ან მხოლოდ სივრცეში). პირველ შემთხვევაში

$$y_j = \varphi(y_1, y_2, \dots, y_{k-j}, t);$$

მეორე შემთხვევაში

$$y_j = \varphi(y_1, y_2, \dots, y_{k-j}, l_x, l_y, l_z).$$

ფუნქციური მოდელირების შემთხვევაში მსგავსება დგინდება ზოგიერთ ფუნქციას ან განზოგადებულ მახასიათებლებს შორის, რომელთაც მოდელსა და ორიგინალს შორის გარკვეული შესაბამისობა გააჩნიათ.

პროცესებს, რომლებსაც ამა თუ იმ აზრით (ფიზიკური, მათემატიკური, კიბერნეტიკული და ა.შ.) გააჩნიათ პარამეტრების ერთგვაროვანი ერთიანობა იწოდებიან მსგავსების კრიტერიუმებად.

დავუშვათ შესასწავლია ორი პროცესი, რომელებიც აღიწერება შესაბამისი განტოლებებით ისე, რომ მათი წევრები მოქმედი პარამეტრების ცალსახა ფუნქციებია. პირველი პროცესისათვის

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_j = 0 \quad (41)$$

სადაც

$$\varphi_i = f(P_1, P_2, \dots, P_m); \quad (42)$$

მეორე პროცესისათვის

$$\phi_1 + \phi_2 + \dots + \phi_n = \sum_{i=1}^n \phi_j = 0 \quad (43)$$

სადაც

$$\phi_i = f(R_1, R_2, \dots, R_m) \quad (44)$$

განტოლებები (41) და (43) შეიძლება დავიყვანოთ განზომილების გარეშე სახემდე თუ მათ თითოეულ წევრს გავყოფთ მე- $n$ -ე წევრზე

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_n} + \frac{\varphi_2}{\varphi_n} + \dots + \frac{\varphi_{n-1}}{\varphi_n} + 1 = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\varphi_j}{\varphi_n} = 0 \quad (41 \text{ ა})$$

$$\frac{\phi_1}{\phi_n} + \frac{\phi_2}{\phi_n} + \dots + \frac{\phi_{n-1}}{\phi_n} + 1 = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\phi_j}{\phi_n} = 0 \quad (43 \text{ ა})$$

განტოლებებში(42), (44)  $P_1$  და  $R_1$ ,  $P_2$  და  $R_2$ , ...  $P_m$  და  $R_m$  მსგავსი პარამეტრებია, ამასთან რადგან პროცესები მსგავსია ამიტომ

$$P_1 = m_1 R_1; P_2 = m_2 R_2; \dots P_m = m_m R_m \quad (45)$$

ამ გამოსახულებების (44) -ში ჩასმის შემდეგ შესაძლებელია  $\varphi_i$  ფუნქციის ერთგვაროვნების გამო გამოვყოთ მასშტაბის კოეფიციენტები  $m_1, m_2, \dots, m_m$ . მასშტაბებს შორის თანაფარდობა ზუსტად ისეთივე იქნება, როგორც იმ პარამეტრებს შორის, რომლებსაც ეს მასშტაბები მიეკუთვნება. ეს გარემოება შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მსგავსების პირობის საპოვნელად, რადგან (41 ა) და (43 ა) განტოლებები არიან იგივეური, რაც ნიშნავს, რომ ამ განტოლებების შესაბამის წევრებს შორის არსებობს იგივეური დამოკიდებულება

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_n} = \frac{\phi_1}{\phi_n}; \frac{\varphi_2}{\varphi_n} = \frac{\phi_2}{\phi_n}; \dots \frac{\varphi_{n-1}}{\varphi_n} = \frac{\phi_{n-1}}{\phi_n}; \quad (46)$$

მიღებული შედეგის განზოგადებით მივიღებთ, რომ

$$\frac{\varphi_j^{(1)}}{\varphi_n^{(1)}} = \frac{\varphi_j^{(2)}}{\varphi_n^{(2)}} = \dots = \frac{\varphi_j^{(s)}}{\varphi_n^{(s)}} = idem, s = 1, 2, \dots n \quad (47)$$

სადაც: **idem** აღნიშნავს „შესაბამისად მსგავსია ყველა განსახილველი პროცესისათვის“; [36]

განტოლების წევრებს შორის (47) ფორმულით გამოვლენილი თანაფარდობები, რომლებიც პარამეტრების განზომილების გარეშე სიდიდეების კომბინაციას წარმოადგენენ, იწოდებიან მსგავსების კრიტერიუმად. მათი მნიშვნელობები ყველა მსგავსი პროცესისათვის რიცხობრივად თანაბარია. მსგავსების კრიტერიუმი  $\pi$  ასოთი აღინიშნება. ზემოთქმულის გათვალისწინებით მსგავსების პირობა ასეთი სახით ჩაიწერება  $\pi = idem$  (მსგავსების კრიტერიუმები მსგავსია ყველა განსახილველი პროცესისათვის)

### 3.2.1. დამამიწებლების მოდელირება მსგავსების თეორიის საშუალებით

მსგავსების პირობების რეალიზაციისათვის მისი სახეობის დასადგენად, პრაქტიკულად გადასაწყვეტი ამოცანის პირობებისა და მსგავსების კლასიფიკაციის სქემით ხელმძღვანელობენ. როგორც ადრე

აღვნიშნეთ მოვლენასა და დროში და სივრცეში მის მასშტაბირებულ მოდელს შორის სრული თანხვედრა დამახასიათებელია აბსოლუტური მსგავსებისათვის, რაც თავისთავად აბსტრაქტული მცნებაა, რომლის რეალიზაცია მხოლოდ თეორიულადაა შესაძლებელი ზოგიერთი მათემატიკური და გეომეტრიული მსგავსების შემთხვევებისთვის. როგორც წესი ფიზიკური პროცესების შესწავლისას და ტექნიკური ამოცანის გადაწყვეტისას მკვლევარს არა აქვს შესაძლებლობა განიხილოს ყველა დეტალის მიხედვით მსგავსების შემთხვევები, ამიტომ მსგავსების თეორიის გამოყენების პრაქტიკა ყურადღებას ამახვილებს მსგავსების სრულ, არასრულ და მიახლოებითი კატეგორიებზე.

ნაშრომის მიზნისა და ამოცანებიდან გამომდინარე, რაც გულისხმობს ლაბორატორიათა შორისი გამოცდების ჩატარებისათვის საკონტროლო ნიმუშის შექმნას ანუ ფიზიკური ობიექტის არსებობას, ამასთან ისეთი თვისებების ფიზიკურ ობიექტის არსებობას, რომელსაც შენარჩუნებული ექნება რეალური ობიექტის ყველა ძირითადი თვისება, მაგრამ შესაძლებელი იქნება ამ თვისებათა რეგულირება წინასწარ განსაზღვრული პირობების მიხედვით, მიზანშეწონილია მსგავსებისა და მოდელირების კლასიფიკაციიდან გამომდინარე შევირჩიოთ მსგავსების ფიზიკურ სივრცული მოდელი. ასეთი ტიპის მოდელის დანიშნულებაა ისეთი პროცესების შესწავლა, რომელთა მოქმედება დროის პარამეტრთან მიმართებაში არ განიხილება, ანუ შეისწავლება პროცესების დამყარებული რეჟიმები, ანუ ე.წ. „გაყინული“ პროცესები დროის გარკვეული მომენტისათვის. ასეთი პროცესების მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ელექტრული დენის, ან მაგნიტური და ელექტრული ველის განაწილების მსგავსების საკითხები რეალურ ობიექტსა და მოდელს შორის ელექტრულ მანქანებში და ქსელებში, ზოგადად გამტარ გარემოსა და საჰაერო ღრეჩოში, ელექტრული ველის სივრცული სურათის ასახვა დენიანი გამტარის გარშემო და სხვა.

მატერიალური სისტემების მსგავსების კრიტერიუმის გეომეტრიული შესაბამისობა ნიშნავს, რომ ერთი სისტემის ყველა სივრცითი კოორდინატი პროპორციულია მეორე სისტემის შესაბამისი სივრცული კოორდინატების. მათემატიკურად ეს პირობა დეკარტეს კოორდინატთა სისტემაში (45) განტოლების თანახმად შემდეგნაირად ჩაიწერება

$$x_i/X_i = m_x; \quad y_i/Y_i = m_y; \quad z_i/Z_i = m_z; \quad (48)$$

სადაც  $x_i, y_i, z_i, X_i, Y_i, Z_i$  განსახილველი სისტემების ურთიერთ შესაბამისი წერტილების კოორდინატებია.  $m_x, m_y, m_z$  მსგავსების ანუ მასშტაბის კოეფიციენტებია.

იმ შემთხვევაში თუ კოორდინატთა ღერძების მიმართ კოეფიციენტები არათანაბარია ანუ  $m_x \neq m_y \neq m_z$  ადგილი აქვს ისეთ მსგავსებას, როდესაც გეომეტრიული ფიგურები თითქოს განიცდიან დეფორმაციას (მაგ. წრე შეიძლება გაიწელოს და ელიფსს დაემსგავსოს). ასეთი სახის დეფორმაციამ შესაძლებელია მოდელის ადეკვატურობაზე მნიშვნელოვანი გავლენა არ მოახდინოს თუ სივრცული პარამეტრები ორიგინალისათვის (პროცესისათვის) განმსაზღვრელ ფაქტორს არ წარმოადგენენ.

ჩვეულებრივ მსგავსების თანაფარდობას ზემოთ მოყვანილი (48) სახე აქვს და უმრავლეს შემთხვევაში  $m_x, m_y, m_z$  სიდიდეებს მუდმივი მნიშვნელობა გააჩნიათ. მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში ურთიერთ შეთანხმებულ პარამეტრებს შორის შეიძლება მასშტაბი არათანაბარი იყოს რასაც მსგავსების არაწრფივობამდე მივყავართ.

დამამიწებლების მოდელირება, მსგავსების თეორიის საშუალებით, დაიყვანება გეომეტრიული მსგავსების ასევე ელექტრომაგნიტური პროცესების ძირითადი კრიტერიუმების პირობებისა და პრინციპების შენარჩუნებაზე, რომელთაგან მნიშვნელოვანი და დომინანტურია

$$\frac{\mu\gamma l^2}{t} = idem; \quad \frac{\varepsilon}{\gamma t} = idem \dots$$

სადაც:  $\mu$ - გამტარი გარემოს მაგნიტური შეღწევადობაა ის გარემოს თვისებებზე დამყარებული კოეფიციენტია, რომელიც ახასიათებს

ნივთიერებაში მაგნიტურ ინდუქციასა და მაგნიტური ველის დაძაბულობას შორის კავშირს;

$\gamma$  – გარემოს კუთრი ელექტრული გამტარობა;

$\epsilon$  - ელექტრული მუდმივა-დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელიც კულონის კანონში პროპორციულობის კოეფიციენტის სახითაა წარმოდგენილი და ახასიათებს გარემოს, რომელშიც განიხილება ორი ერთმანეთისაგან  $r$  მანძილით დაშორებული დამუხტული ნაწილაკების ურთიერთმოქმედება

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{|q_1q_2|}{r_{12}^2}$$

აღნიშვნა *idem* - გვიჩვენებს, რომ „შესაბამისად ერთნაირია ყველა განსახილველი პროცესისათვის“, ანუ ზემოთ მოყვანილი თანაფარდობები შეიძლება განვიხილოთ მსგავსების კრიტერიუმად, რაც მსგავსების თეორიის პირველი თეორემის მიხედვით მსგავსების გამოვლინების საკმარის პირობას წარმოადგენს.

ცხრილი 18 გრუნტის სხვადასხვა პარამეტრების მნიშვნელობები გარემოსა და წყლიანი ავზისათვის

პარამეტრი \ გამტარი გარემო	გრუნტი	ავზი (წყალი)
მაგნიტური შეღწევადობა - $\mu$	$1,256 \cdot 10^{-6}$ [ჰენრი/მეტრი]	$1,256 \cdot 10^{-6}$ [ჰენრი/მეტრი]
კუთრი გამტარობა $\gamma$	სველი გრუნტი $10^{-2}$ [სიმენსი/სმ.]	გამოხდილი წყალი $10^{-4}$ ზღვის წყალი $\sim 3$ [სიმენსი/სმ.]
დიელექტრიკული შეღწევადობა - $\epsilon$	გრუნტი ტენიანობის მიხედვით 10 – 50 [ფარადი/მეტრი]	გამოხდილი წყალი 81 [ფარადი/მეტრი]
კუთრი წინაღობა - $\rho$	ბაღის მიწა - 40 ომი.მ ქვიშანარევი თიხნარი - 60 ომი.მ	მტკნარი, სასმელი წყალი 50 ომი .მ
$\lambda$ - სითბოგამტარობა	0,5-0,8 ვატი/მ. კელვინი	0.6 ვატი/მ. კელვინი
$\theta$ - ტემპერატურა	20°C	20°C

ამას გარდა მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ დიელექტრიკული და გამტარობის მუდმივას მასშტაბირების კოეფიციენტები, მოდელირების მთელი სივრცის ფარგლებში, უნდა იყვნენ მუდმივები, რაც მოდელირებული გარემოს ერთგვაროვნების პირობას წარმოადგენს.

მოდელში, მსგავსების (39) კრიტერიუმიდან გამომდინარე უნდა შენარჩუნებული იყოს მისი ადეკვატურობა, მეტიც იდენტურობა, ელექტრული პარამეტრების - დიელექტრიკული და მაგნიტური შეღწევადობის, ელექტრული გამტარობისა გრუნტის შესაბამის პარამეტრებთან, რომელთა მნიშვნელობები ორივე გარემოსთვის მოცემულია ცხრილი 18-ით. [37]

მსგავსების ელექტრული პარამეტრების კრიტერიუმიდან (39), გეომეტრიული პარამეტრების მსგავსებისათვის განვსაზღვროთ კრიტერიუმში შემავალი გეომეტრიული ( $l^2$ ) პარამეტრის მნიშვნელობა, როგორც რეალური (გრუნტი) ასევე ფიზიკური (ავზი) მოდელისთვის.

უნდა შევნიშნოთ, რომ ფიზიკური პროცესის ბუნებიდან გამომდინარე, ჩვენ განვიხილავთ დამყარებულ პროცესებს, ამიტომ დროითი პარამეტრის  $t$ -ს მნიშვნელობა შეიძლება ერთეულის ტოლად იქნეს მიღებული და შესაბამისად  $l^2$  -ის მნიშვნელობა (მსგავსების გეომეტრიული კრიტერიუმის პარამეტრი) გრუნტისა და წყლიანი ავზისთვის ცხრილი 18-ის მონაცემების მიხედვით იქნება

$$\text{გრუნტისთვის} - l_{gr}^2 = 1/\mu\gamma = 1/1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-2} = 79617834;$$

წყლიანი ავზისთვის - წყლის ელექტროგამტარობის მნიშვნელობა შევირჩიოთ 0,5 სიმენსი/სმ.

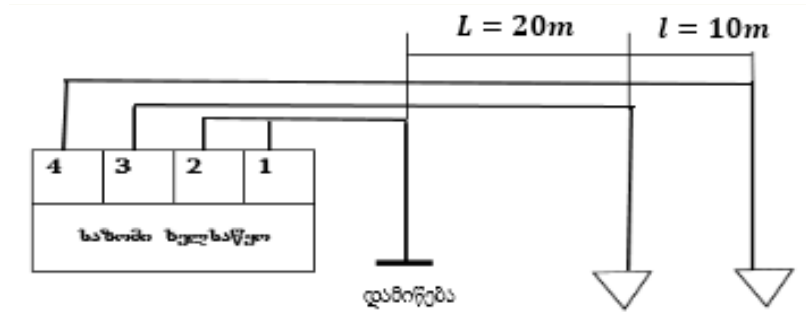
$$l_w^2 = 1/\mu\gamma = 1/1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 0.5 = 1592356;$$

გეომეტრიული პარამეტრების ფარდობის მიხედვით მოცემული ელექტრული პარამეტრების იდენტურობის შენარჩუნება შესაძლებელი იქნება მასშტაბირების შესაბამისი კოეფიციენტის გამოყენებით, რომელიც მსგავსების გეომეტრიული კრიტერიუმის პარამეტრების ფარდობის ტოლია



$$M = \frac{l_{gr}^2}{l_w^2} = 79617834 / 1592356 = 50; \quad (49)$$

რეალურ პირობებში დამიწების წინააღობის საზომი ხელსაწყოები გაზომვებს ე.წ. სამ ელექტროდიანი სქემის გამოყენებით ახორციელებენ (სურ. 50) ისე, რომ გასაზომი წინააღობის ელექტროდიდან, სადაც მიერთებულია საზომი ხელსაწყოს 1 და 2 ტერმინალი, მე-3 ტერმინალთან მიერთებულ ელექტროდამდე 20 მეტრი მანძილია გადაზომილი, ხოლო მე-3 და მე-4 ელექტროდებს შორის 10 მეტრი მანძილი. ანუ იმ სივრცის არე სადაც დამიწების გაზომვის პროცესი ტარდება 30 მეტრით შემოიფარგლება.



სურ. 50 დამცავი დამიწების წინააღობის გაზომვის სამ ელექტროდიანი სქემა რეალური დამიწების ელექტროდები გრუნტში ჩაშვებულია ტოლგვერდა სამკუთხედის სქემით ისე, რომ ელექტროდების ჩაშვების სიღრმე 2 მეტრია, ასევე 2 მეტრია სამკუთხედის გვერდის სიგრძეებიც.

დანადგარის გეომეტრიული ზომებმა, ერთის მხრივ (38) ტოლობით მოცემული პირობა უნდა დააკმაყოფილოს მერეს მხრივ უზრუნველყოს რეალური ობიექტის დამამიწებელი ელექტროდების მსგავსება მოდელის ელექტროდების შესაბამის პარამეტრებთან (39) მიხედვით. მასშტაბირების კოეფიციენტის გათვალისწინებით  $M=50$  მოდელის მაქსიმალური გაბარიტის 0,6 მეტრის ფარგლებში მოქცევას გულისხმობს ( $30 \text{ მ} / 50 = 0,6 \text{ მ}$ ). მოდელის ფორმის მსგავსების პირობების განსახორციელებლად გადამწყვეტი მნიშვნელობა არ ენიჭება რადგან რეალური ობიექტი შესაძლებელია განვიხილოთ როგორც მართკუთხა პარალელეპიპედის მსგავსი არე ასევე ცილინდრული ფორმისაც. ორივე შემთხვევაში ელექტრული ტალღების

გავრცელების სურათი მნიშვნელოვნად არ შეიცვლება. შევირჩიოთ მოდელის მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმა და მისი წახნაგების სიგრძე 0,6 მ, ხოლო სიმაღლე მინიმუმ 0,04 მ იქნება (რეალური ელექტროდის სიმაღლიდან გამომდინარე, მასშტაბი 1:50). მოდელის კონსტრუქციული და საექსპლუატაციო თავისებურებებიდან გამომდინარე ავზის ზომები შევირჩიოთ (0,6 x 0,8 x 0,2)მ, ხოლო მასალა ელექტროგამტარობის მქონე ნებისმიერი კოროზიამედეგი ლითონი (ალუმინი, სპილენძი, მოთუთიებული ფოლადი და სხვა).

მოდელში ელექტრომაგნიტური ველის გავრცელების არედი ვიყენებთ წყალს, რომლის ელექტრული პარამეტრების მსგავსებით გრუნტთან სრულად განისაზღვრება ყველა მსგავსების კრიტერიუმი, რაც საბოლოო ჯამში წყლის ელექტროგამტარობის ცვლილებით მიიღწევა. მისი განხორციელებას უმარტივესი გზა წყლის თავისუფალი რადიკალებით გაჯერებაა.

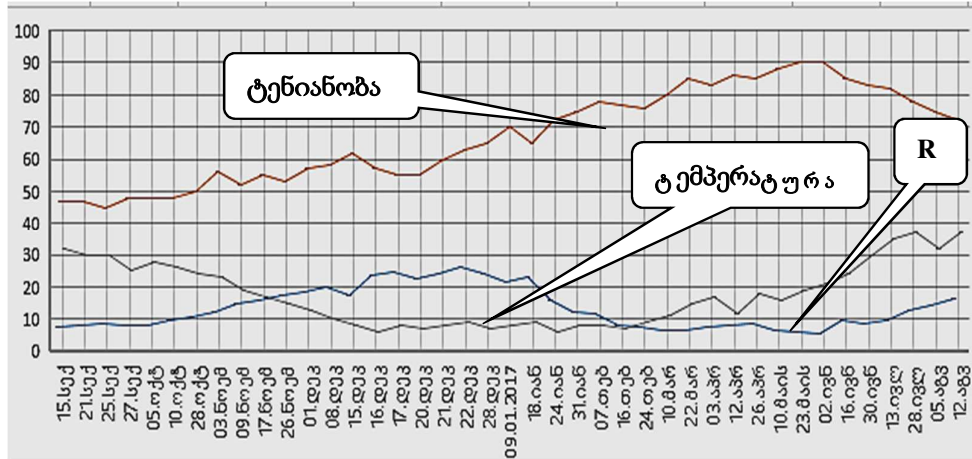
#### თავი 4. დამიწების წინააღმდეგობის კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიული დანადგარი

ღია გრუნტში მოწყობილ კვალიფიკაციის ექსპერტული შეფასების ლაბორატორიათაშორის გამოცდების საკონტროლო ნიმუშს მიუხედავად გარკვეული უპირატესობებისა, რაც განპირობებულია რეალურ დამიწების სისტემასთან სრული იდენტურობით, გააჩნია გარკვეული ხასიათის ნაკლოვანებები, მათ შორის უპირველესად აღსანიშნავია დროში, წინააღმდეგობის საკონტროლო მნიშვნელობის, დაბალი სტაბილურობის მაჩვენებელი. ასევე არანაკლები მნიშვნელობისაა გარემოება, რომელიც შეუძლებელს ხდის საკონტროლო პარამეტრის არათუ სერტიფიცირებული მნიშვნელობის მინიჭების შესაძლებლობას, არამედ ამ მნიშვნელობის კალიბრების შესაძლებლობასაც. უარყოფითი გავლენის ფაქტორებს შორის გარე ზემოქმედების ფაქტორები უნდა დავასახელოთ, ისეთები როგორცაა ნალექი, ტენიანობა, ტემპერატურა, გრუნტის არაერთგვაროვნება, გარე ზემოქმედების ელექტრომაგნიტური შეშფოთებები და სხვა. ყველა ამ ფაქტორისაგან დამიწების კონტურის დაცვა რიგ შემთხვევებში გადაულახავი წინააღმდეგობის მქონე ან მოითხოვს მატერიალური, ინტელექტუალური და ფიზიკური რესურსების მნიშვნელოვანი მარაგების გამოყენებას.

ღია გრუნტში მოწყობილ დამიწების წინააღმდეგობის საკონტროლო ნიმუშზე მთელი წლის განმავლობაში მიმდინარეობდა თითქმის ყოველდღიური მონიტორინგი, სადაც კონტროლს ექვემდებარებოდა გრუნტის ტემპერატურა, დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობა და ნიადაგის ტენიანობა. მონიტორინგი მიმდინარეობდა 2016 წლის 15 სექტემბრიდან 2017 წლის 12 აგვისტომდე. მონიტორინგის შედეგები გრაფიკული სახით წარმოდგენილია სურ. 51.

როგორც მოყვანილი მონიტორინგის შედეგებიდან ჩანს ნიადაგის ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილება მნიშვნელოვნად ცვლის გრუნტის დამიწების წინააღმდეგობას, რაც საგრძნობლად ართულებს ღია

გრუნტში მოწყობილი დამცავი დამიწების კონტურის ლაბორატორიათაშორის გამოცდებისათვის საკონტროლო ნიმუშად გამოყენების შესაძლებლობებს.



სურ. 51. ა. გრუნტის ტენიანობის; ბ. ნიადაგის ტემპერატურის; გ. დამიწების წინააღმდეგობის მონიტორინგის შედეგები

დამიწების სისტემების დამპროექტებლების წინაშე დგება ამოცანა შექმნას სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს წინასწარ განსაზღვრული გარემო პირობებისთვის (გრუნტის სტრუქტურა, არაერთგვაროვნება, ტენიანობისა და ტემპერატურული მახასიათებლები, ქიმიური შემადგენლობა, ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების ფაქტორები და სხვა), განსაზღვრული მნიშვნელობის დამიწების წინააღმდეგობას (მაგალითად 4 ომი). ასეთი ამოცანის რეალიზება შესაძლებელია, მაგრამ თითქმის შეუძლებელია მოცემული პარამეტრის დროში სტაბილობის უზრუნველყოფა.

ლაბორატორიულ დანადგარზე, მცირე მასშტაბში, შესაძლებელია მოვახდინოთ ისეთი პრაქტიკული მნიშვნელობის მოვლენის მოდელირება, როგორცაა მიწაში გაჟონვის დენის გავრცელების პროცესი, რომლებიც მიმდინარეობს გრუნტში ჩაშვებულ დამიწების ელექტროდებზე.

ელექტროენერგეტიკულ დანადგარებში, მოკლე ჩართვისას, ელექტრული ქსელის რომელიმე წერტილიდან, რომელიც ჩვეულებრივ არ უნდა იყოს მიწასთან მიერთებული, აღიძვრება მოკლე ჩართვის მძლავრი დენი, რომელიც გაივლის დაზიანების ადგილს, დამამიწებელს და მიწას. მძვინვარების ვარდნის სიდიდე მიწაში, დამამიწებელის სიახლოვეს

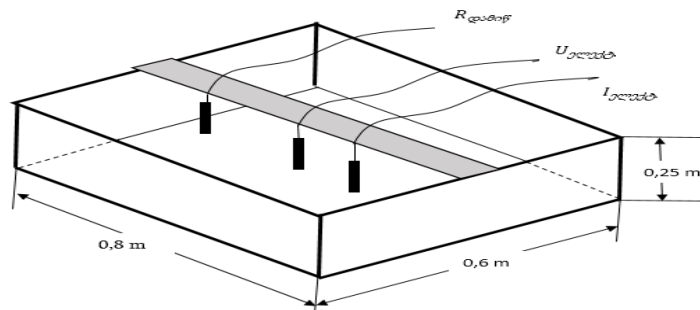
დამოკიდებულია მოკლე ჩართვის დენის სიდიდეზე და დამიწების წინააღმდეგობის მნიშვნელობაზე. ამ უკანასკნელის სიმცირე განაპირობებს დამიწების სისტემის ეფექტურობას, რისი მიღწევის ორი გზა არსებობს:

- დამიწების სისტემის კონტურის გაზრდა;
- გრუნტის კუთრი ელექტროგამტარობის გაზრდა თუ ამის შესაძლებლობა არსებობს. [40, 34]

ასევე მნიშვნელოვანია ამ პრინციპით შექმნილი დამიწების წინააღმდეგობის საზომი საშუალებების კალიბრებისა და ლაბორატორიათა შორის გამოცდების სერტიფიცირებული საკონტროლო ნიმუშისათვის, საწყისი პარამეტრების დროში სტაბილურობისა და ზოგადად აღწარმოებადობისა და განმეორებადობის პირობების ზედმიწევნით შესრულება.

#### 4.1. დამიწების წინააღმდეგობის საკონტროლო ლაბორატორიული დანადგარის შექმნა, აღწერა და გამოკვლევა

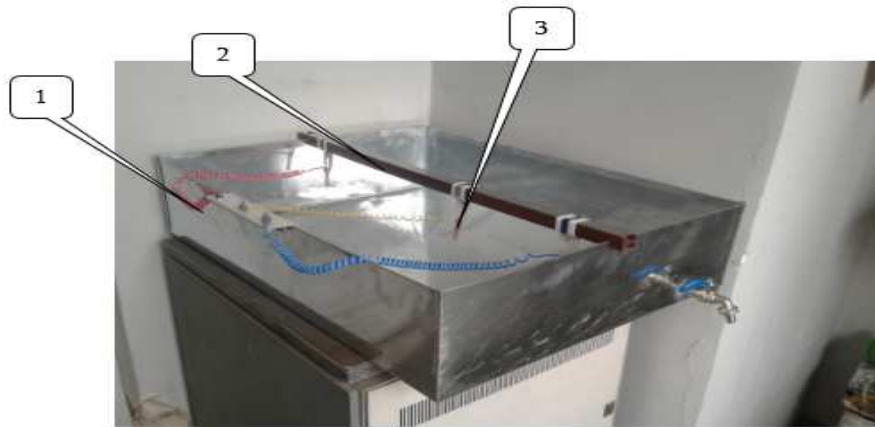
მსგავსების თეორიაზე დამყარებული ფიზიკური მოდელის განხილვისას (§ 3.2.) გათვალისწინებული იყო რეალურ პირობებში დამიწების კონტურში მიმდინარე ფიზიკო-ქიმიური პროცესები და შემოთავაზებული იყო მსგავსების კრიტერიუმები, რომლებიც თეორიული მსჯელობისა და პრაქტიკული გათვლების თანახმად მოდელისათვის მასშტაბირების კოეფიციენტის მნიშვნელობას 1:50 სიდიდით განსაზღვრავდა.



სურ. 52. ელექტრული აგზის პრინციპული სქემა

შესაბამისად დადგენილი იყო გარემო - წყალი, სადაც ზემოაღნიშნული პროცესები წარიმართებოდა. გარემოს შესაქმნელად ელექტრო გამტარი, უჟანგავი მასალისაგან დამზადდა ავზი (მოთუთიებული ფურცლოვანი ფოლადი), რომლის გეომეტრიული ზომებიც, ასევე მსგავსების თეორიის მიხედვით იქნა შერჩეული. ელექტრული ავზის სქემატური გამოსახულება მოცემულია სურ. 52.

დამიწების ფიზიკური მოდელი - ელექტრული აბაზანა (სურ. 53) უჟანგავი ფოლადით დამზადებული და წყლით შევსებული მართკუთხედის ფორმის რეზერვუარია. აბაზანაში წყალი დამიწების (მიწის) როლს ასრულებს.



სურ. 53 დამიწების ფიზიკური მოდელი - ელექტრული აბაზანა

1. რეზერვუარი - ელექტრული აბაზანა; 2. გადასაადგილებელი მექანიზმი; 3. დამამიწებელი ელექტროდები.

ელექტრული გამტარობის მქონე რეზერვუარის (პოზიცია 1) (მოთუთიებული ფურცლოვანი ფოლადი) გამტარობა მრავალჯერ მეტია წყლის კუთრ ელექტროგამტარობაზე, იგი რეალური დამამიწებელისაგან უსასრულოდ დაშორებული დამიწების წერტილის იმიტაციისათვის გამოიყენება, რომლის პოტენციალი ნულის ტოლადაა მიჩნეული, ამიტომ ელექტროდსა და რეზერვუარის კედლებს შორის წყლის წინაღობა დამიწების წინააღობადაა მიღებული.

ჩვენს შემთხვევაში მოდელის ელექტრული ველისა და მოდელირებული ობიექტის ფიზიკური ბუნება ერთნაირია შესაბამისად,

როგორც ადრეც აღვნიშნეთ, საქმე გვაქვს მასშტაბირებულ მოდელირებასთან, სადაც ერთი გამტარი გარემო - გრუნტი შეცვლილია სხვა გარემოთი - ელექტროლიტით, რომელშიც გაზომვების ჩატარება და ნორმირება ბევრად ურო მოსახერხებელია.

წყალში ათავსებენ დამამიწებელ ელექტროდებს (პოზიცია 3) რომელთა ზომა რამდენადმე ნაკლებია რეალური დამიწების ელექტროდებთან შედარებით. მათი გეომეტრიული ზომებიც მსგავსების თეორიის მიხედვითაა შერჩეული 1:50 მასშტაბირების კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

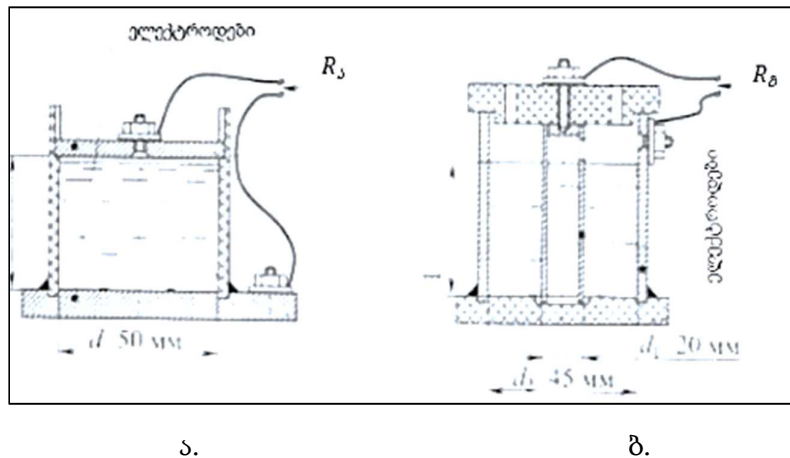
რეზერვუარის კედლებისა და ძირის ელექტროგამტარი მასალისაგან დამზადებას გარკვეული სახის ცდომილება შემოაქვს გაზომვის პროცესში, მაგრამ მისი ზომები (600 x 800 x 250 mm), რომელიც ორი თანრიგით აღემატება დამამიწებლების ზომებს, პრაქტიკული გამოცდისა და მსგავსების თეორიის მონაცემების გათვალისწინებით შესაძლებელია მიღებული იქნეს მოდელირებისათვის დასაშვებ ცდომილებად.

რეზერვუარის თავზე განლაგებულია ელექტროდების ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ სივრცეში გადასადგილებელი მექანიზმი ( სურ. 53. პოზიცია 2), რომლის საშუალებითაც, შერჩეული მასშტაბირების კოეფიციენტის მიხედვით, ხორციელდება დამამიწებელი ელექტროდების განლაგება რეალურ პირობებში ჩასატარებელი გაზომვის პროცედურების მიხედვით.

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორის გამოცდების საკონტროლო ნიმუშის ლაბორატორიული მოდელის მთავარი ამოცანაა წინასწარ განსაზღვრულ დიაპაზონში ელექტრული პარამეტრების - დამიწების წინააღმდეგობის აღწარმოება, დროში სტაბილიზაცია და განმეორებადობის პრინციპის შენარჩუნება.

აღნიშნული ფაქტორების გამოკვლევისა და ოპტიმიზაციის მიზნით დაიგეგმა ექსპერიმენტების სერია, სადაც კონტროლს დაქვემდებარებულ პარამეტრებს შორის მოხვდა:

- დამიწების წინააღობის მნიშვნელობა;
- დამამიწებელი გარემოს ელექტრული გამტარობა;
- მანძილი ელექტროდებს და ავზის კედლებს შორის;
- ღეროვანი ელექტროდების გეომეტრიული პარამეტრები (დიამეტრი, სიგრძე) და ელექტროლიტში ჩაშვების სიღრმე.



სურ. 54 კუთრი ელექტროგამტარობის გასაზომი მოწყობილობების პრინციპული სქემა.

ა. კორიზონტალური ბ. ვერტიკალური ელექტროდებით

დამიწების სისტემის, ასევე მოდელის ძირითადი პარამეტრის, დამიწების წინააღობის მნიშვნელობა, როგორც ნაშრომის თეორიულ ნაწილში აღვნიშნეთ, დამოკიდებულია დამიწების გარემოს ელექტრულ გამტარობაზე. [20]

მოდელის დამამიწებელი ელექტროდების წინააღობის გაზომვის დაწყებამდე აუცილებელია გაიზომოს რეზერვუარში ჩასხმული წყლის კუთრი ელექტრული გამტარობის მნიშვნელობა  $\gamma$ , რისთვისაც ატარებენ ორ დამოუკიდებელ გაზომვას ორი ჭურჭლის გამოყენებით (სურ 54).

წყლის კუთრ გამტარობას  $\gamma$ -ს განსაზღვრავენ წინააღობის  $R_3$  საშუალებით (სურ. 54 ა) ფორმულით:

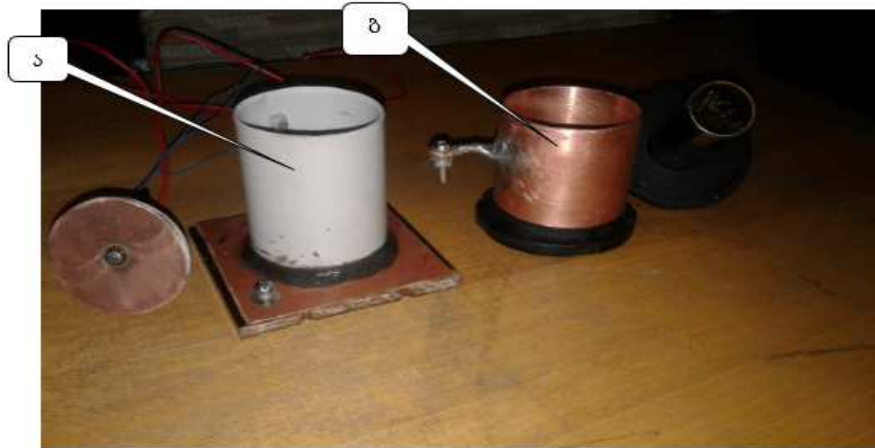
$$\gamma = \frac{l}{R_3 \cdot S} \quad (50)$$



სადაც:  $l$ - წყლის სვეტის (როგორც ელექტრო გამტარის) სიგრძე ან სიმაღლეა,  $S$ -წყლის სვეტის განივკვეთის ფართობი რომელთა შორის გაედინება დენი.

წყლის კუთრ გამტარობას  $\gamma$  -ს წინააღმდეგობით  $R_{\beta}$  (სურ. 54 ბ) განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$\gamma = \frac{\ln d_1/d_2}{R_{\beta} 2\pi l} \quad (51)$$



სურ. 55 გამტარობის საზომი მოწყობილობები

ა. ჰორიზონტალური ელექტროდებით., ბ. ვერტიკალური ელექტროდები  
სადაც აღნიშვნები შეესაბამება სურ. 54 ბ-ში მითითებულ მნიშვნელობებს.

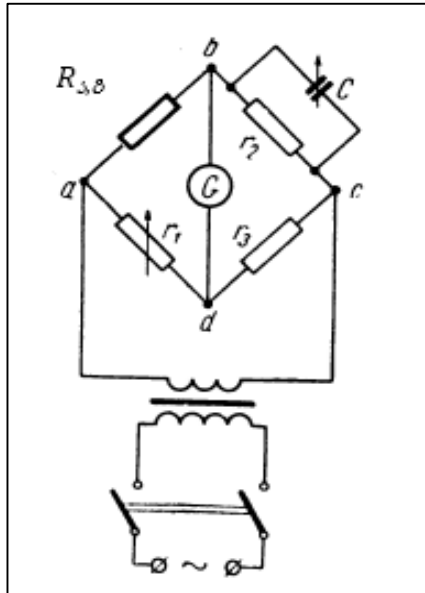
$$\text{ან } R_{\alpha} = \frac{l}{\gamma S} \quad \text{და} \quad R_{\beta} = \frac{\ln d_1/d_2}{\gamma 2\pi l}$$

სურ. 55-ზე ნაჩვენებია წყლის ელექტრული გამტარობის საზომი მოწყობილობის ფოტოები.

გაუონვის დენის მიმართ საძიებელი  $R_{\alpha}$ , წინააღმდეგობის მნიშვნელობა შესაძლებელია გაიზომოს როგორც ვოლტ-ამპერული მეთოდით, ასევე სურ. 56-ზე ნაჩვენები ბოგირული სქემით.

**ბოგირული სქემით** გაზომვისას გამოსაკვლევი ობიექტი ჩართულია ბოგირის ab მხარში. bc და dc მხრებში ჩართულია მუდმივი წინააღმდეგობა  $r_2, r_3$ . ad მხარში ჩართულია ცვლადი წინააღმდეგობა  $r_1$ . ამას გარდა  $r_2$  წინააღმდეგობის პარალელულად bc მხარში ჩართულია ცვლადი ტევადობის C კონდენსატორი. კონდენსატორის მაქსიმალური ტევადობა  $1\mu F$  -ია.

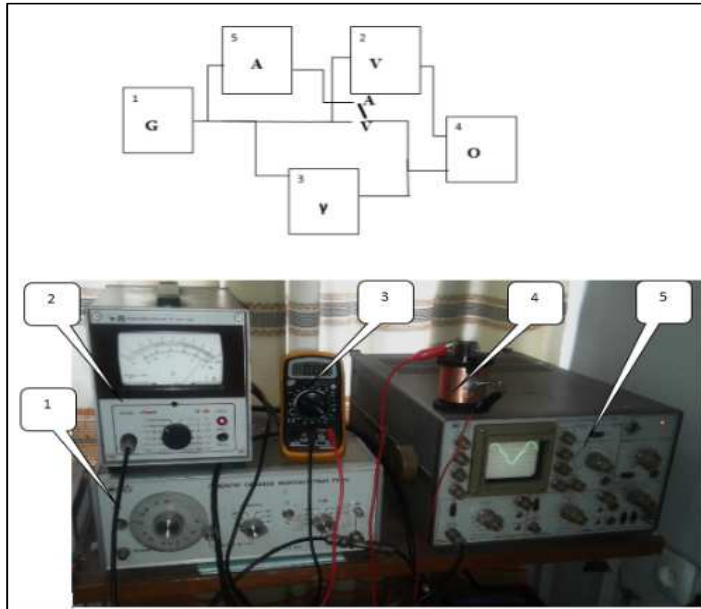
ბოგირის კვებისათვის გამოიყენება ცვლადი დენის ძალა სიხშირით  $f = 50 \text{ Hz}$ . დამწვევი ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილიდან ძაბვა  $\sim 3 \div 7 \text{ V}$ -ია, რაც წყლიან ავზთან უსაფრთხო მუშაობის გარანტიას იძლევა. გამოსაკვლევია წინაღობა, ცვლადი დენის ძალის არსებობისას, წინააღობის აქტიური მდგენელის გარდა, შეიცავს ტევადურ მდგენელსაც.



სურ. 56 გაჟონვის დენის მიმართ,  $R_{\Delta\delta}$  წინააღობის გაზომვის ბოგირული სქემა მისი გაწინასწორებისათვის bc მხარში დამატებულია ცვლადი კონდენსატორი C. წინასწორობის დამყარების რეჟიმის დაფიქსირებისათვის გამოიყენება გალვანომეტრი G, რომელიც ჩართულია ბოგირის bd დიაგონალში. ბოგირის წინასწორობის პირობიდან გამომდინარე გვექნება  $R = r_1 \cdot \frac{r_2}{r_3}$

**ვოლტ-ამპერული** მეთოდით ელექტროლიტის გამტარობის გაზომვის მუშა პროცესი ნაჩვენებია სურ. 57. სადაც სქემაში ჩართულია: 1. დაბალ სიხშირული გენერატორი Г3-33; 2. ცვლადი დენის ვოლტმეტრი В3-38; 3. მულტიმეტრი MAS 830L; 4. ელექტროლიტის გამტარობის საზომი რეზერვუარი; 5. ოსცილოგრაფი C1-55.

ექსპერიმენტული ლაბორატორიული დანადგარის ტექნიკური მახასიათებლების გამოკვლევისათვის შემუშავებული იქნა გამოცდის პროგრამა, რომელიც ითვალისწინებდა:



სურ. 57 წყლის (ელექტროლიტის) გამტარობის გაზომვის პრინციპული სქემა და გაზომვის პროცესი

1. ელექტროლიტის გამტარობის გაზომვას ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ელექტროდებიანი საზომი მოწყობილობის გამოყენებით ელექტროლიტის 0%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,2% და 1,6% კონცენტრაციის ხსნარებისათვის, რაც სუფრის მარილის (NaCl) მოცულობითი კონცენტრაციის ცვლილებას გულისხმობს. გაზომვები ტარდება დაკვირვებათა შედეგების ათჯერადი განმეორების პირობებში, დაბვისა და დენის გაზომილი მნიშვნელობებისათვის გამოითვლება ელექტროლიტის წინაღობა და მის საფუძველზე, თითოეული დაკვირვების შედეგისათვის, გამტარობა, ასევე მათი საშუალო არითმეტიკული. მიღებული მნიშვნელობა შეფასებულია, როგორც გაზომვის შედეგი.

2. გამტარობის მიღებული შედეგისათვის A ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლას. გაზომვის შედეგის A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლას ფორმულა (52)-ის მიხედვით.

$$u_{\Sigma A} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}; \quad (52)$$

შენიშვნა: A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა გამოითვლება ყველა კონცენტრაციის ელექტროლიტისათვის ცალ-ცალკე;

3. მიღებული გაზომვის შედეგებით გამტარობის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ელექტროდებიანი საზომი მოწყობილობის გაზომვების საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლას მოცემული კონცენტრაციის ელექტროლიტისათვის.

4. დამიწების წინააღმდეგ გაზომვას დადგენილი გამტარობის ელექტროლიტთან აბაზანაში სხვადასხვა ზომის, მასალის, ჩაძირვის სიღრმის ელექტროდების და დამიწების წინააღმდეგ გამზომი ხელსაწყო გამოყენებით, დაკვირვებათა შედეგების ათჯერადი განმეორების პირობებში.

5. მიღებულ მონაცემთა დამუშავებას მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდების გამოყენებით, გაზომვის შედეგების ცდომილებების ანალიზს და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასებას.[14]

წარმოდგენილი საგამოცდო პროგრამის მიხედვით შესრულებული სამუშაოს მაგალითად მოყვანილია ექსპერიმენტის შედეგები, რომელიც 1,2%-იანი კონცენტრაციის ხსნარის ელექტრული წინააღმდეგობისა და გამტარობის გამოკვლევას ითვალისწინებს ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ელექტროდებიანი მოწყობილობით. გამოცდის შედეგები ნაჩვენებია ცხრილი 19 და ცხრილი 20-ით.

ცხრილი 19 გამოკვლევა ჰორიზონტალურ ელექტროდებიანი მოწყობილობით.

№	ძაბვა V(ვ)	დენი A(ა)	წინააღმდეგობა R(ომი)	გამტარობა γ (1/ომი)	$ y_i - \bar{y} $	$(y_i - \bar{y})^2$
1	4,6	0,22	20,9	1,248		
2	4,61	0,219	21	1,252		
3	4,6	0,219	21	1,258		
4	4,59	0,22	20,9	1,248		
5	4,61	0,221	20,8	1,242		
6	4,6	0,218	221,1	1,262		
7	4,59	0,219	21	1,252		
8	4,59	0,219	21	1,252		
9	4,6	0,219	21	1,252		
10	4,61	0,219	21	1,252		
$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i = 1,252$					$\sum = 0,03$ 48	$\sum 5,45$ $\cdot 10^{-3}$

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 5,45 \cdot 10^{-3}$$

ცხრილი 20 გამოკვლევა ვერტიკალურ ელექტროდებიანი მოწყობილობით.

№	ძაბვა V(ვ)	დენი A(ა) )	წინაღობა R(ომი)	გამტარობა $\gamma$ (1/ომი)	$ Y_i - \bar{Y} $	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	4,6	1,36	3,349	0,699		
2	4,6	1,394	3,313	0,693		
3	4,61	1,36	3,327	0,694		
4	4,6	1,352	3,331	0,685		
5	4,59	1,358	3,339	0,707		
6	4,59	1,368	3,343	0,688		
7	4,6	1,395	3,347	0,71		
8	4,6	1,348	3,34	0,691		
9	4,6	1,363	3,336	0,692		
10	4,61	1,363	3,327	0,694		
$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i = 0,696$					$\Sigma = 0,06$	$\Sigma 5,6 \cdot 10^{-4}$

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 5,6 \cdot 10^{-4}$$

ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ ელექტროდებიანი გამტარობის საზომი მოწყობილობებით მიღებული შედეგებიდან ვიპოვოთ მათი საშუალო მნიშვნელობა რაც გამტარობის სიდიდისათვის შეადგენს

$$\bar{\gamma} = \frac{1,252 + 0,696}{2} = 0,974$$

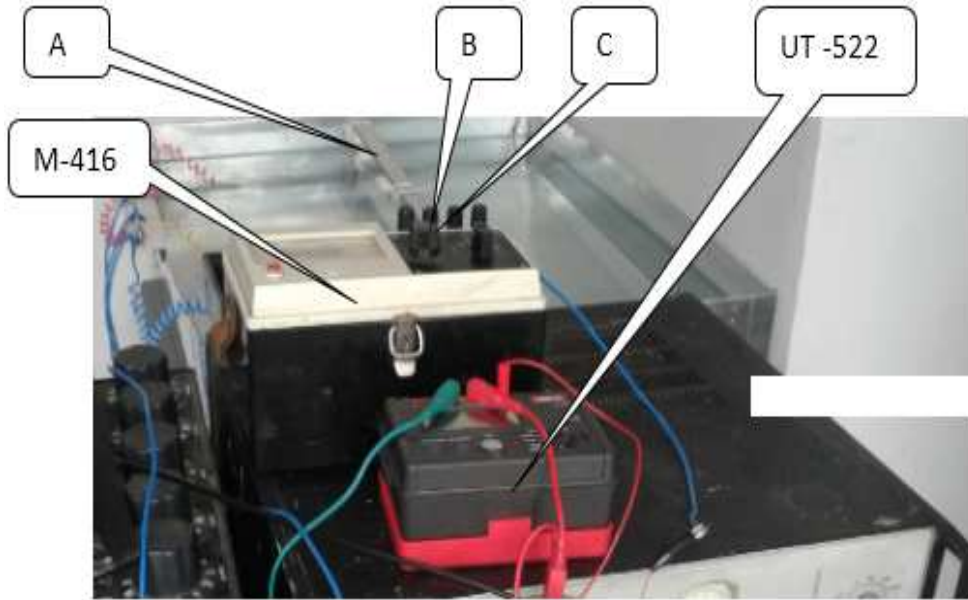
ბოლო A ტიპის ჯამური განუსაზღვრელობისათვის გვექნება

$$u_{\Sigma A} = \sqrt{u_{A_{ვერტ}}^2 + u_{A_{ჰორიზ}}^2} = \sqrt{(5,6 \cdot 10^{-4})^2 + (5,45 \cdot 10^{-3})^2} = \pm 5,5 \cdot 10^{-3}$$

საბოლოოდ გამტარობის მნიშვნელობა იქნება

$$\gamma = 0,974 \pm 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ ომი}^{-1}(\text{სიმენსი})$$

წარმოდგენილი საგამოცდო პროგრამის მიხედვით შესრულებული სამუშაოს მაგალითად მოყვანილია ექსპერიმენტის შედეგები, რომელიც ჩატარდა ხსნარის გამტარობის გაზომილი მნიშვნელობისათვის ( $\gamma = 0,974 \pm 5,5 \cdot 10^{-3}$  ომი<sup>-1</sup>(სიმენსი) დამიწების წინააღობის საზომი M-416 და UT 522 ხელსაწყოების გამოყენებით.



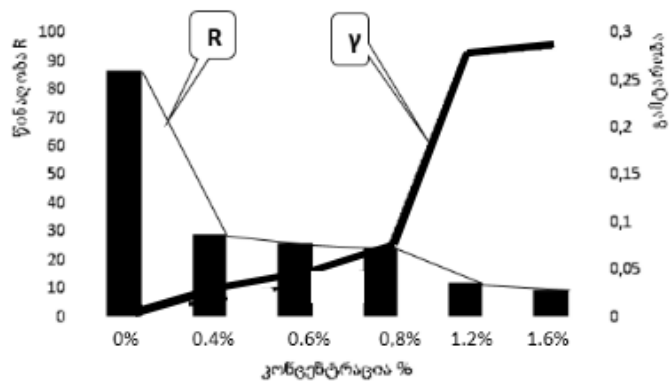
სურ. 58 დამიწების წინააღმდეგობის გაზომვა M-416 და UT 522 ხელსაწყოებით  
 ელექტროდების ზომები  $d = 0.008m$ ;  $l = 0,006 m$ ; მასალა -თითბერი;  
 ჩაშვების სიღრმე  $h = 0,06 m$ ; ელექტროდების განლაგება  $A=15$ ;  $B=30$ ;  $C=60$   
 (სურ. 58).

ცხრილი 21 სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებში წინააღმდეგობა და გამტარობა

კონცენტრაცია 0%									
ჰორიზონტალური				ვერტიკალური				$R_{საშ}$	$\gamma_{საშ}$
$V_g$	$I_s$	$R_{ohm}$	$\gamma_{ohm^{-1}}$	$V_g$	$I_s$	$R_{ohm}$	$\gamma_{ohm^{-1}}$	ომი	ომი <sup>-1</sup>
7	0,06	116,6	0,225	7	0,124	56,41	-0,042	86,56	0,0095
კონცენტრაცია 0,4%									
7	0,132	53,03	0,497	7	1,38	5,072	-0,463	29,03	0,0165
კონცენტრაცია 0,6%									
7	0,145	48,26	0,545	6,2	1,403	4,42	-0,53	26	0,034
კონცენტრაცია 0,8%									
7	0,154	45,45	0,558	4,9	1,425	3,44	-0,683	24,44	0,05
კონცენტრაცია 1,2%									
4,6	0,219	21	1,252	4,6	1,363	3,374	-0,696	12,19	0,278
კონცენტრაცია 1,6%									
4,6	0,269	17,1	1,538	3,4	1,39	2,446	-0,96	9,77	0,285

ცხრილი 21-ში თავმოყრილია მონაცემები, რომლებიც მიღებულია სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებში დენისა და ძაბვის, მათი საშუალებით გამოთვლილი წინაღობისა და გამტარობის ჯამური მნიშვნელობების შესახებ. გასაზომ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულებები გრაფიკულად ნაჩვენებია სურ. 59. [27,28]

ლაბორატორიული დანადგარის გამოკვლევის ექსპერიმენტული პროგრამის თანახმად გაგრძელდა ექსპერიმენტული კვლევები სხვადასხვა ზომის, მასალის, ჩაძირვის სიღრმის ელექტროდების და დამიწების წინაღობის გამზომი ხელსაწყო გამოყენებით ელექტრული აბაზანის სხვადასხვა გამტარობის გარემოში. ექსპერიმენტები ტარდებოდა ათჯერადი განმეორებადობის პირობებში სურ. 58-ზე ნაჩვენები საზომი ხელსაწყოების საშუალებით.

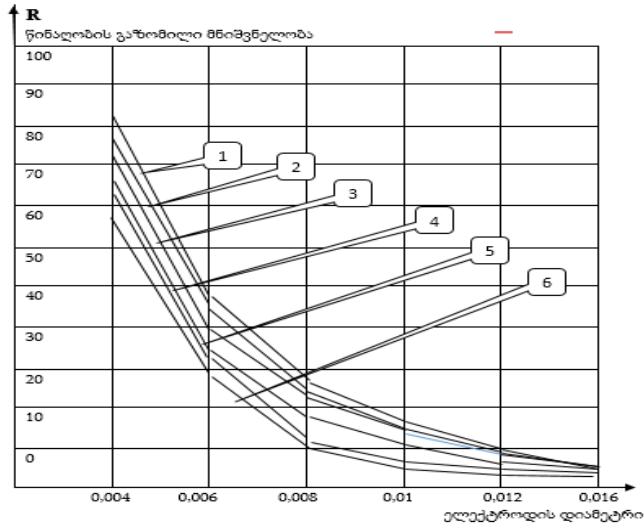


სურ. 59 ელექტროლიტის გამტარობის ( $\gamma$ ) და წინაღობის ( $R$ ) დამოკიდებულება ხსნარის კონცენტრაციისგან

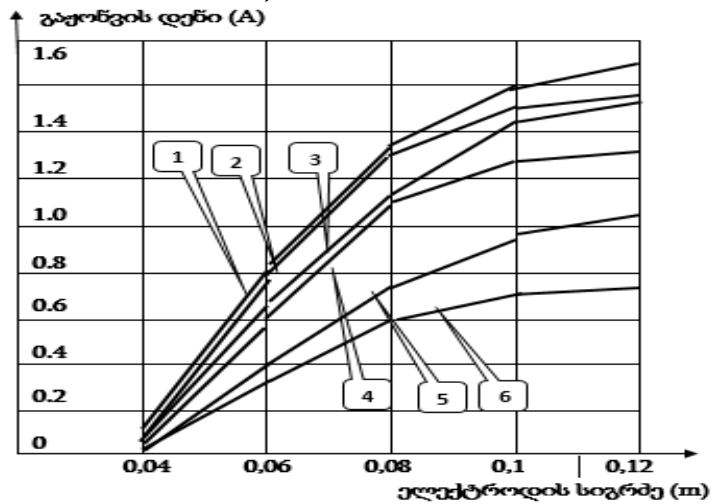
ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკული სახით. ხსნარის წინაღობის დამოკიდებულება ელექტროდის დიამეტრისგან სხვადასხვა გამტარობის ხსნარებისათვის 1.  $\gamma_1=0,0095$ , 2.  $\gamma_2=0,0165$ , 3.  $\gamma_3=0,034$ , 4.  $\gamma_4=0,05$ , 5.  $\gamma_5=0,278$ , 6.  $\gamma_6=0,285$ . ნაჩვენებია სურ. 60.

ელექტროდებზე მოდებული ძაბვის მუდმივობის პირობებში, ელექტროდის დიამეტრის ზრდასთან ერთად ელექტროლიტში გაჟონვის დენის მნიშვნელობა იზრდება, რაც წინაღობის მნიშვნელობის შემცირებს

იწვევს, ეს ეფექტი უფრო ძლიერდება ხსნარის კონცენტრაციის ანუ გამტარობის ზრდასთან ერთად.



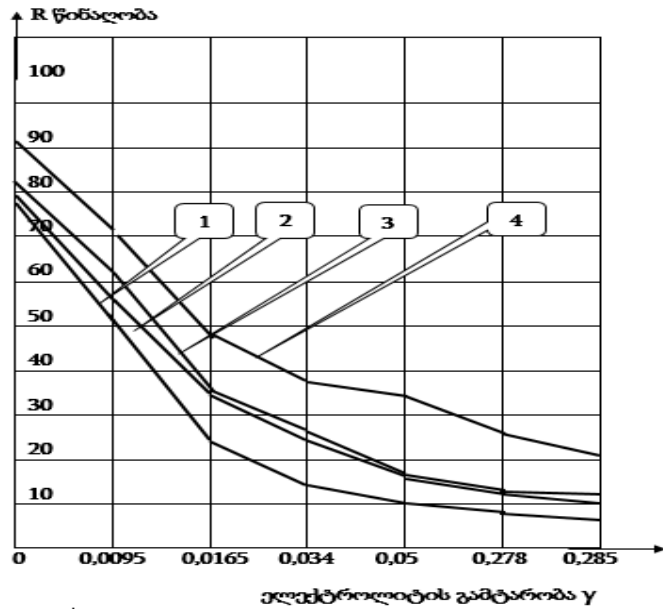
სურ. 60 ხსნარის წინაღობის დამოკიდებულება ელექტროდის დიამეტრისგან სხვადასხვა გამტარობის ხსნარებისათვის 1.  $\gamma_1=0,0095$ , 2.  $\gamma_2=0,0165$ , 3.  $\gamma_3=0,034$ , 4.  $\gamma_4=0,05$ , 5.  $\gamma_5=0,278$ , 6.  $\gamma_6=0,285$ .



სურ. 61 გაჟონვის დენის დამოკიდებულება ელექტროდის სიგრძის მნიშვნელობაზე. სხვადასხვა გამტარობის ხსნარებისათვის 1.  $\gamma_1=0,0095$ , 2.  $\gamma_2=0,0165$ , 3.  $\gamma_3=0,034$ , 4.  $\gamma_4=0,05$ , 5.  $\gamma_5=0,278$ , 6.  $\gamma_6=0,285$ .

ანალოგიურ დასკვნამდე მივდივართ ელექტროდის სიგრძის დამოკიდებულების კვლევისას გაჟონვის დენის მნიშვნელობაზე სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებისათვის (სურ. 61).

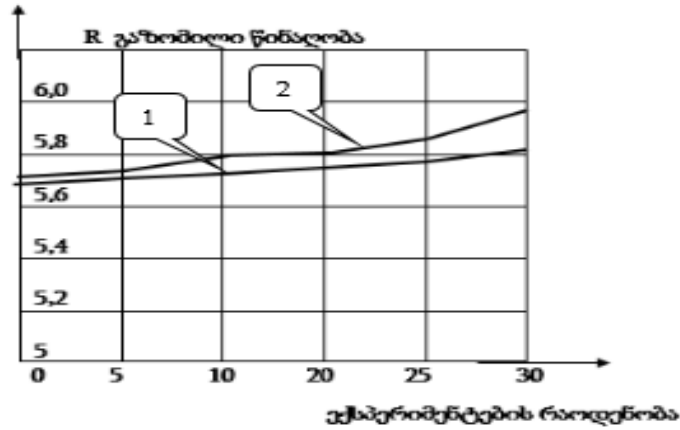




სურ. 62 წინაღობის გაზომილი მნიშვნელობის დამოკიდებულება ელექტროდების მასალისაგან. 1. სპილენძი; 2. თითბერი; 3. ალუმინი; 4. ფოლადი

გაზომილი წინაღობის სიდიდეზე ასევე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მასალა, რომლისგანაც დამზადებულია ელექტროდები. ქვემოთ მოყვანილია ელექტროლიტის წინაღობის ცვლილების დამოკიდებულება გამტარობაზე სხვადასხვა მასალისაგან დამზადებული ელექტროდებისათვის. (სურ. 62).

გრაფიკული დამოკიდებულების მიხედვით ელექტროდების მგრძობიარობა წინაღობისადმი მცირდება როგორც ელექტროლიტის გამტარობის ასევე თვითონ ელექტროდების მასალის კუთრი გამტარობის ცვლილების მიხედვით. გამოცდილი მასალებისათვის კუთრი გამტარობის მნიშვნელობებს შორის ასეთი დამოკიდებულება არსებობს. კუთრი გამტარობა სპილენძი > თითბერი  $\approx$  ალუმინი > ფოლადი. თითბრისა და ალუმინის გამტარობის მაჩვენებლები ერთმანეთთან საკმაოდ ახლოს დგას, მაგრამ იმის გამო, რომ თითბერი მეტ კოროზია მედეგობას იჩენს ელექტროლიტის (HCl) გარემოში მისი მახასიათებელი შედარებით უკეთესია. განსაკუთრებით ეს შესამჩნევია მრავალჯერადად ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით. (სურ. 63)

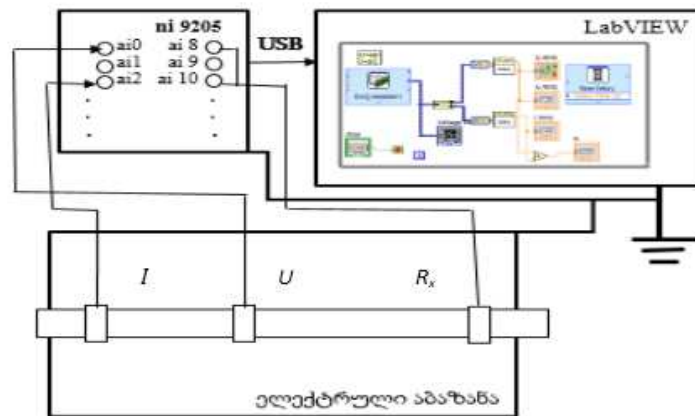


სურ. 63 გაზომილი წინაღობის დამოკიდებულება ელექტროდების მასალაზე ექსპერიმენტის მრავალჯერადი გამეორებისას. 1. თითბერი; 2. ალუმინი. ექსპერიმენტი მიმდინარეობდა 1,2% ხსნარის კონცენტრაციის,  $l =$

0.08 m სიგრძის,  $d = 0.006 m$  დიამეტრის პირობებში

#### 4.2. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების დამიწების წინააღობის საკონტროლო ნიმუში. გამოცდისა და კალიბრების შედეგები

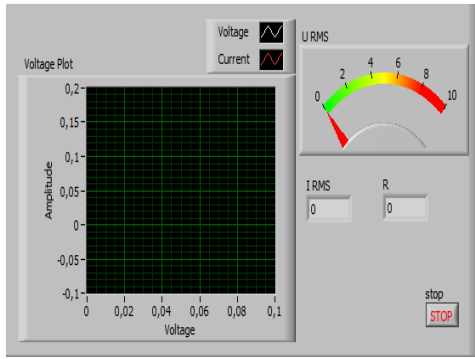
კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიული დანადგარი შექმნილია ელექტროლიტური ავზის ბაზაზე, სადაც გაზომვის შედეგების რეგისტრაცია, ასახვა და შენახვა NATIONAL INSTRUMENTS (აშშ) კომპანიის მიერ შექმნილი გრაფიკული პროგრამირების ენის LabVIEW პროგრამული უზრუნველყოფის გარემოშია შესაძლებელი.



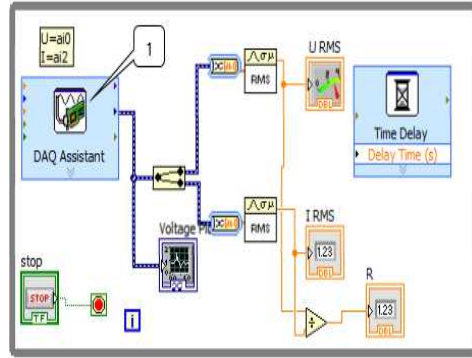
სურ. 64 ლაბორატორიული დანადგარისა და ელექტრული აბაზანის ჩართვის სქემა

LabVIEW-ს პლატფორმა, ასევე უზრუნველყოფს პროგრამული და რეალური ობიექტის კავშირს ამავე კომპანიის მიერ შექმნილი ანალოგურ-ციფრული და ციფრულ-ანალოგური მოდულური ბლოკების ni 9205, ni 9263 (სურ. 68 პოზიცია 1) საშუალებით. ლაბორატორიული დანადგარის ელექტრული აბაზანის მუშა ელექტროდებისა და გაზომვის კომპიუტერული საშუალების ჩართვის სქემა ნაჩვენებია სურ. 64-ზე. [30.31]

ელექტრულ აბაზანაში მოთავსებული  $I$ ,  $U$  და  $R_x$  ელექტროდები მიერთებულია ანალოგურ ციფრული გარდამსახის ni 9205 მოდულის ai 0, ai 2, ai 8, ai 10 ტერმინალებთან ისე, რომ წყვილები ai 0 - ai 8 უზრუნველყოფენ ძაბვის მნიშვნელობის გაზომვას  $U$  და  $R_x$  ელექტროდებს შორის, ხოლო ai 2 - ai 10 წყვილი, დენის გაზომვას  $I$  და  $R_x$  ელექტროდებს შორის. აღსანიშნავია, რომ ელექტროდებს შორის მანძილი შეესაბამება მსგავსების თეორიის მიხედვით დადგენილ მასშტაბირების კოეფიციენტის მნიშვნელობას 1:50 და შესაბამისად  $U - R_x$  შეადგენს  $20/50=0,4$  მეტრს, ხოლო  $I - R_x$  მანძილი  $30/50=0,6$  მეტრს. უნდა შევნიშნოთ, რომ LabVIEW-ს პროგრამულ ნაწილსა და ni 9205 მოდულს შორის კავშირს ისეთი სახე აქვს, რომ მოდული მაღალი სწრაფქმედების ხარჯზე, უზრუნველყოფს ძაბვისა და დენის მორიგეობით გაზომვას ანალოგურ ციფრული გარდასახვის ერთი ბიჯის შუალედში. ძაბვისა და დენის ელექტროდები მოდულთან ჩართულია ე.წ. დიფერენციალური სქემით, რაც გულისხმობს შესასვლელი ai 0 და ai 2 ელექტროდების დაწყვილებას ai 8 და ai 10 ტერმინალებთან, რომლებიც თავის მხრივ დამიწების კონტურს ქმნიან ელექტროლიტურ აბაზანასთან. ჩართვის ასეთი წესის გამოყენება უზრუნველყოფს სიგნალის სტაბილურობასა და სიზუსტეს. თავის მხრივ აღნიშნული დამიწების სქემა გამზომი კომპიუტერის დამიწებასთან ერთად საერთო სქემას ქმნის. კავშირი ni 9205 მოდულსა და კომპიუტერს შორის USB ტერმინალის საშუალებით ხორციელდება.



სურ. 65 LabVIEW-ს ბაზაზე შექმნილი გამზომი სქემის წინა პანელი



სურ. 66 LabVIEW-ს ბაზაზე შექმნილი გამზომი სქემის ბლოკ-დიაგრამა

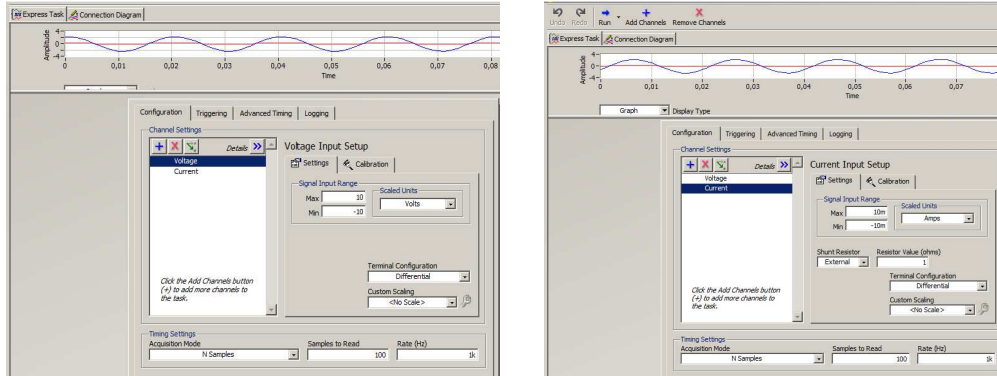
გამზომ კომპიუტერში LabVIEW-ს პროგრამული უზრუნველყოფით შექმნილი სქემის წინა პანელს სურ. 65-ზე ნაჩვენები სახე აქვს, ხოლო ბლოკ-დიაგრამა წარმოდგენილია სურ. 66-ზე.

გამზომი სქემა ე.წ. ვოლტ-ამპერული გაზომვის პრინციპზეა აგებული, რაც წინაღობის გაზომვისას ომის კანონის გამოყენებას გულისხმობს, როდესაც გაზომილი ძაბვის მნიშვნელობა იყოფა დენის მნიშვნელობაზე. აღნიშნული ოპერაცია LabVIEW-ს ბაზაზე შექმნილი ვირტუალური საზომი საშუალებებით ხორციელდება. [33.40]

სურ. 64-ზე ნაჩვენები შეერთების სქემის განხორციელების შემდეგ ni 9205 მოდულის შესაბამისი პიქტოგრამა DAQ Assistant ბლოკ-დიაგრამის Express>>Input ფანჯარაში მოიძებნება. მისი ბლოკ-დიაგრამაზე განთავსების შემდეგ ავტომატურად იხსნება მისი გაწყობის ფანჯარა, სადაც ხდება DAQ Assistant-ის თვისებების შერჩევა დასმული ამოცანის შინაარსიდან გამომდინარე. ჩვენი შემთხვევისათვის ვირჩევთ ანალოგური სიგნალის ძაბვის და დენის მიხედვით წარმოდგენის ფუნქციას, რისთვისაც ძაბვის სიგნალისთვის ვირჩევთ ai 0 და დენის გაზომვის სიგნალისათვის ai2 არხს (სურ. 67. ა. ბ).

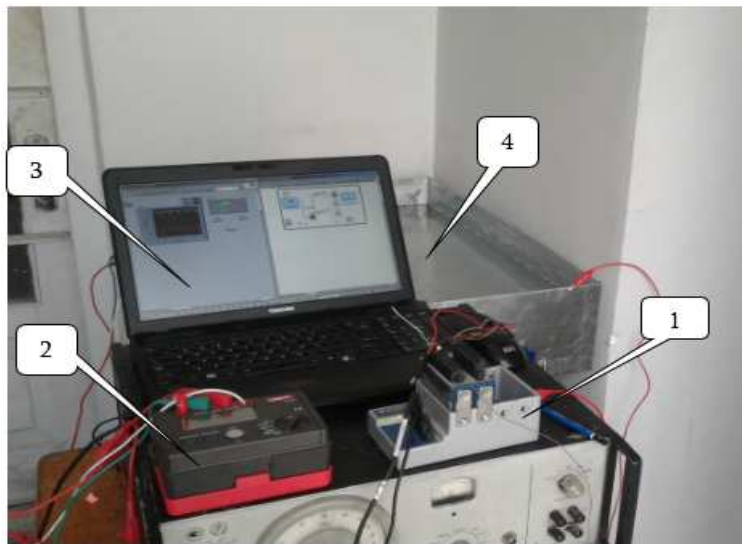
დიფერენციალური შეერთების სქემიდან გამომდინარე შევირჩევთ მის მეწყვილე ტერმინალებს ai 8 და ai 10. შერჩეული ტერმინალების კვალობაზე რეალურ მოდულზე (სურ. 68. პოზ 1) ვახდენთ ძაბვის და დენის ელექტროდების  $U$ -ს და  $I$ -ს ფიზიკური არხების მიერთებას მოდული ni 9205-ის ai 0 და დენის ai 2 ტერმინალებთან სურ. 64 ნაჩვენები ჩართვის სქემის

მიხედვით. ხოლო ai 8 და ai 10 ტერმინალებით ვახდენთ გამზომი სქემის დამიწებას აზაზანის კორპუსზე.



სურ. 67 სიგნალის არხის გაწყობა ა. ძაბვის, ბ. დენის გაზომვისათვის  
ლაბორატორიული დანადგარის გამზომი სქემა, რომელიც LabVIEW

სივრცეშია შესრულებული (სურ. 68. პოზ. 3) წარმოადგენს ვირტუალურ საზომ-საკონტროლო-საინდიკაციო სისტემას, რომელიც ანალოგურ-ციფრული გარდამსახის კომპიუტერულ სისტემასთან მუშაობის შემთხვევაში მოწყობილობის გარდა შეიცავს ვირტუალურ ვოლტმეტრს და ვირტუალურ ამპერმეტრს, ისინი რეალური სიგნალის საშუალო კვადრატულ გადახრას ზომავენ. [32.41]



სურ. 68 ლაბორატორიული დანადგარი სამუშაო რეჟიმში  
ლაბორატორიული დანადგარი სამუშაო რეჟიმში ნაჩვენებია სურ. 68.

სადაც ლაბორატორიული დანადგარის (პოზ. 4) წინააღობის გაზომვა LabVIEW ბაზაზე შექმნილ ალგორითმულ საზომი კომპიუტერულ სისტემასთან

ერთად ხორციელდება კვალიფიკაციის ექსპერიმენტულ შეფასება გავლილ საზომ საშუალება UT-522 -თან ერთად (სურ. 68. პოზ. 2). ლაბორატორიული დანადგარის აპრობაციის მიზნით ჩვენს მიერ ჩატარებული იყო შედარებითი გამოცდები, სადაც ელექტროლიტის კონცენტრაცია 1,2%-ს შეადგენდა. როგორც 4.1. პარაგრაფში იყო აღნიშნული ასეთი კონცენტრაციის ელექტროლიტის გამტარობა  $\bar{\rho} = 0,278 \text{ 1}/\Omega$  , ხოლო ელექტრული წინაღობა  $\bar{R} = 12,19 \Omega$  შეადგენდა.

შედარებითი გამოცდებისათვის შევირჩიეთ ჩვენს ხელთ არსებული ხელსაწყოებიდან სერიული წარმოების დამიწების წინააღობის გამოზომი ხელსაწყო UT-522 (მწარმოებელი - ჩინეთი), რომელიც წინასწარ საქართველოს სტანდარტებისა და მეტროლოგიის ეროვნული სააგენტოს ელექტრული პარამეტრების კალიბრების აკრედიტებულ ლაბორატორიაში იქნა დაკალიბრებული. A ტიპის განუსაზღვრელობა UT-522 ტიპის ხელსაწყოსათვის  $u_{UT-522} = \pm 0.0524 \Omega$ ;

A ტიპის განუსაზღვრელობა LabVIEW DAQ გამოზომი საშუალების მონაცემებით  $u_{DAQ} = \pm 0.042 \Omega$

ორივე შემთხვევაში გაზომვის მონაცემთა განაწილების კანონი ნორმალურ განაწილებას ემთხვევა.

გაზომვის შედეგის A ტიპის განუსაზღვრელობისათვის

$$R_{UT-522} = 9.195 \pm 0.0524 \Omega;$$

$$R_{DAQ} = 8.804 \pm 0.042 \Omega;$$

შედარებითი გამოცდის მონაცემები მოყვანილია ცხრილი 22-ში.

მიღებულ შედეგებს შორის სხვაობა <5% რაც მისაღებ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

A ტიპის განუსაზღვრელობის გარდა მოცემული გაზომვის მონაცემებისათვის ვიანგარიშით B ტიპის განუსაზღვრელობები.

1. UT-522 ტიპის ხელსაწყოსათვის B ტიპის განუსაზღვრელობა თვითონ ხელსაწყოს კალიბრების სერტიფიკატის №GE/M1/02-00451-18, გაცემული 16.04.18. საქართველოს სტანდარტებისა და მეტროლოგიის

ეროვნული სააგენტოს მიერ მონაცემიდან შეიძლება განუსაზღვროთ. სერტიფიკატის ჩანაწერის მიხედვით UT-522 ტიპის ხელსაწყოსათვის ფარდობითი ცდომილების გაფართოებული განუსაზღვრელობა ჩვენთვის საინტერესო (0 – 40 ომი) დიაპაზონში შეადგენს  $U_{0,95} = 1\%$ . გაზომვის შედეგების ნორმალური განაწილების კანონის ( $k=2$ ) და  $P=95\%$  სანდოობის პირობებში.

ცხრილი 22 UT-522 და LabVIEW DAQ შედარებითი გამოცდის მონაცემები.

№	UT-522			LabVIEW DAQ		
	$X_i$	$ X_i - \bar{X} $	$(X_i - \bar{X})^2$	$X_i$	$ X_i - \bar{X} $	$(X_i - \bar{X})^2$
1	9.2			8.815		
2	9.25			8.921		
3	8.95			8.875		
4	8.9			8.934		
5	9.2			8.553		
6	9.3			8.762		
7	9.35			8.725		
8	9.3			8.64		
9	9.4			8.857		
10	9.1			8.955		
$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i$ = 9.195	1.27	0.247	8.804	1.069	0.159	

ცხრილი 23 კალიბრების სერტიფიკატის მონაცემები.

წინააღმდეგობის დიაპაზონი	$R_{საგდ}$ ომი	$R_x$ ომი	$\Delta$ = $ R_x - R_{საგდ} $	დაფარვის კოეფიციენტი	$u_B = \Delta/k$ ომი
0-40 ომი	1	0,88	0,12	k=2	0.06
	4	3,87	0,13		0.065
	10	9,83	0,17		0.085
	20	19,77	0,23		0.115
	40	39,63	0,37		0.185

ცხრილის ბოლო სვეტში მოცემულია გაზომილი სიდიდის B ტიპის განუსაზღვრელობები 1, 4, 10, 20, 40 ომი მნიშვნელობებისათვის.

სერტიფიკატის მონაცემები საშუალებას იძლევა გაზომვის შედეგის განუსაზღვრელობა გამოვსახოთ გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობის განუსაზღვრელობის საშუალებით. კალიბრების სერტიფიკატის მიხედვით (გვერდი 3) გასაზომი სიდიდის ნამდვილი მნიშვნელობა  $R_{ნამდ}$ , დასაკალიბრებელი  $R_x$  სიდიდეები მოცემულია ცხრილში 26.

UT-522 ტიპის ხელსაწყო გაზომვის შედეგი  $R_{UT-522} = 9.195$  ომისათვის A და B ტიპის ჯამური განუსაზღვრელობა შეადგენს

$$u_{\Sigma AB} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.0524^2 + 0.085^2} = \pm 0,099 \approx \pm 0.1 \text{ ომი}$$

გაფართოებული განუსაზღვრელობისათვის რადგან საქმე გვაქვს გაზომვის შედეგების ნორმალური განაწილების კანონთან გვექნება

$$U = t_p(v)u_{\Sigma AB} \quad \text{სადაც}$$

$t_p(v)$  სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტია  $p$  დაფარვის ალბათობისა და  $v = n - 1$  თავისუფლების ხარისხისათვის და მიახლოებით

$$t_p(v) \approx k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 2,44$$

მაშინ 
$$U = t_p(v)u_{\Sigma AB} = 2,44 \cdot 0,1 = \pm 0,24 \text{ ომი}$$

გაზომვის შედეგი გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით UT-522 ტიპის ხელსაწყოთათვის შეადგენს

$$R_{UT-522} = 9.195 \pm 0.24 \Omega;$$

ან  $8,955 < 9,195 < 9,435$  ნორმალური განაწილების კანონის ( $k=2$ ) და  $P=95\%$  სანდოობის პირობებში.

B ტიპის განუსაზღვრელობა LabVIEW DAQ გამზომი საშუალების მონაცემებით განისაზღვრება მოდული ni 9205 ანალოგურ-ციფრული გარდამსახის პარამეტრების მიხედვით. საპასპორტო ტექნიკური მონაცემებით მისი ჯამური აბსოლუტური ცდომილება გაზომვის მთელ დიაპაზონში არ აჭარბებს  $\Delta \leq 6,23 \text{ mkv}$ -ს შესაბამისად მისი B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა

$$u_{BDAQ} = \Delta / 1,65 = 3.38 \cdot 10^{-6}$$

შესაბამისად ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობისათვის გვექნება



$$u_{\Sigma AB DAQ} = \sqrt{u_{A DAQ}^2 + u_{B DAQ}^2} = \sqrt{0.042^2 + (3.38 \cdot 10^{-6})^2} = \pm 0,042 \Omega$$

გაფართოებული განუსაზღვრელობის გამოთვლისათვის წინა შემთხვევის ანალოგიურად

$$U = t_p(v)u_{\Sigma AB}$$

და

$$t_p(v) \approx k \sqrt{1 + \frac{2}{n-1}} = 2,44$$

$$\text{მაშინ } U = t_p(v)u_{\Sigma AB} = 2,44 \cdot 0,042 = \pm 0.1 \text{ ომი}$$

ცხრილი 24 UT-522 და LabVIEW DAQ გაზომვის შედეგები შედარებისათვის

გამზომი საშუალება პარამეტრი	UT-522	LabVIEW DAQ
ელექტროლიტის კონცენტრაცია	1,2 %	1,2 %
გაზომილი მნიშვნელობა	8,8 ომი	9,2 ომი
A ტიპის განუსაზღვრელობა	0.0524 ომი	<b>0.042 Ω</b>
B ტიპის განუსაზღვრელობა	0.085	$3.38 \cdot 10^{-6}$
ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა	±0.1	$1.14 \cdot 10^{-12}$
გაფართოებული განუსაზღვრელობა	<b>±0.24</b>	<b>±3,38 · 10<sup>-6</sup></b>
გაზომვის შედეგი	$R_{UT-522}$ <b>= 9,195 ± 0.24 Ω</b>	<b><math>R_{DAQ} = 8,80 ± 3,38</math></b> <b>· 10<sup>-6</sup> Ω</b>

გაზომვის შედეგი გაფართოებული განუსაზღვრელობის გათვალისწინებით LabVIEW DAQ გამზომი საშუალებისათვის შეადგენს

$$R_{DAQ} = 8.804 \pm 0.1 \Omega;$$

ან  $8,704 < 8,804 < 8,904$  ნორმალური განაწილების კანონის ( $k=2$ ) და  $P=95\%$  სანდოობის პირობებში.

UT-522 და LabVIEW DAQ გამოზომი საშუალებებით აბაზანის ელექტროლიტის წინაღობის გაზომვის შედეგები შედარებისათვის ნაჩვენებია ცხრილი 27-ის საშუალებით.

### **4.3. კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდებისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნა LabVIEW გარემოში**

ლაბორატორიათაშორისი საკვალიფიკაციო გამოცდები ISO 17025 სტანდარტითაა რეგლამენტირებული აკრედიტებული საგამოცდო და კალიბრების ლაბორატორიებისათვის, რომელიც ISO 17043-ის მოთხოვნების მიხედვით ხორციელდება. აღნიშნული სტანდარტები არეგულირებს საკვალიფიკაციო გამოცდებში მონაწილე ლაბორატორიების, ასევე პროვაიდერის მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს, მოვალეობებს და ვალდებულებებს, მოთხოვნებს რომელიც წაყენება საგამოცდო ობიექტს „საკონტროლო ნიმუშს“. მოთხოვნები ლაბორატორიათაშორისი გაზომვის მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის, გამოცდების ჩატარების პროცედურებისა და შეფასების კრიტერიუმების მიმართ, ISO 13528 სტანდარტითაა რეგლამენტირებული.

საკვალიფიკაციო გამოცდებში მონაწილე ლაბორატორიებისათვის გაზომვის მონაცემების დამუშავება და მათი წარმოდგენა სტანდარტებით რეგლამენტირებულ ფორმაში დროისა და ინტელექტუალური რესურსის მნიშვნელოვან მარაგს მოითხოვს. არანაკლებ მნიშვნელოვანია ლაბორატორიების გაზომვის მონაცემების დამუშავება პროვაიდერი ლაბორატორიისათვის, მითუმეტეს, რომ მათი რაოდენობა ორ, სამ ათეულს და შეიძლება მეტსაც აღწევდეს.

ზემოაღნიშნულის გათვალისწინებით შემოთავაზებულია კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შემოწმების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების პროგრამული უზრუნველყოფა LabVIEW გარემოში, რომელიც

უზრუნველყოფს მონაცემების სტატისტიკურ დამუშავებას როგორც მონაწილე ასევე პროვაიდერი ლაბორატორიისათვის შესაბამისი შეფასების კრიტერიუმის დადგენას ობიექტური დასკვნის ჩამოყალიბებას.

ექსპერიმენტული შედეგების სტატისტიკური დამუშავება A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლით იწყება, რომელიც ყველაზე ხშირად მოხმარებადი პროდუქტია და ამიტომაც პროგრამის ეს ნაწილი დამოუკიდებელი ბლოკის სახითაა წარმოდგენილი. სურ. 69 - წინა პანელი, სურ. 70 - ბლოკ-დიაგრამა.

როგორც ცნობილია A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლის ალგორითმი საშუალო კვადრატული გადახრის გამოთვლის ალგორითმის ანალოგიურია და ასეთი სახით წარმოგვიდგება.

1. დაკვირვებათა შედეგების სტატისტიკური მონაცემების მოპოვება;

2. დაკვირვებათა შედეგების მიხედვით გაზომვის შედეგის გამომანგარიშება;

3. თითოეული დაკვირვების შედეგის გაზომვის შედეგისაგან გადახრის გამომანგარიშება;

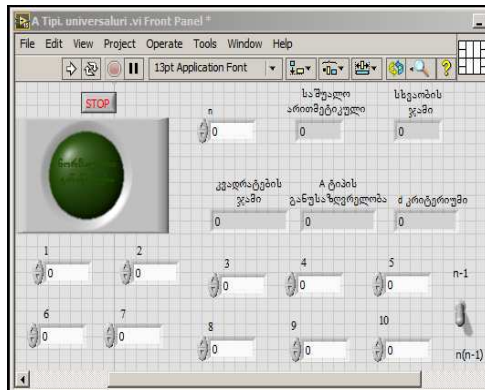
4. დაკვირვების შედეგების საშუალო კვადრატული გადახრის გამომანგარიშება;

5. გაბნევის მახასიათებლის - სტანდარტული კვადრატული გადახრის გამომანგარიშება, რომელიც წარმოადგენს A ტიპის ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობის პარამეტრს.

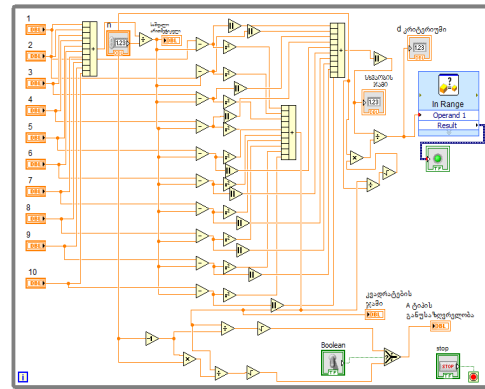
6. შესწორების კოეფიციენტის გათვალისწინება დაკვირვებათა რაოდენობისაგან დამოკიდებულებით (აუცილებლობის შემთხვევაში);

7. მონაცემთა განაწილების ნორმალურობის ჰიპოთეზის შემოწმება დაკვირვებათა რაოდენობისაგან დამოკიდებულებით და მისი ინდიკაცია.

აქვე შესაძლებელია აღნიშნული - A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის პარამეტრის გამოთვლა, როგორც ცალკეული, 10



სურ. 69. A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი LabVIEW გარემოში



სურ. 70. A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის ბლოკ-დიაგრამა LabVIEW გარემოში

ერთეული დაკვირვებათა შედეგებისათვის, ასევე გაზომვათა ათი სერიისათვისაც. ორივე შემთხვევაში ხდება მონაცემების ინდიკაცია საშუალო არითმეტიკულის (გაზომვის შედეგი) ან გაზომვის შედეგების გადახრის და მათი საშუალო კვადრატული გადახრის შესახებ. ასევე გამოითვლება გაზომვის შედეგების განაწილების ნორმალურობის შესახებ ჰიპოთეზის არსებობის შესამდებლობა და მისი დადასტურების შემთხვევაში გათვალისწინებულია ამ ინფორმაციის ინდიკაცია.

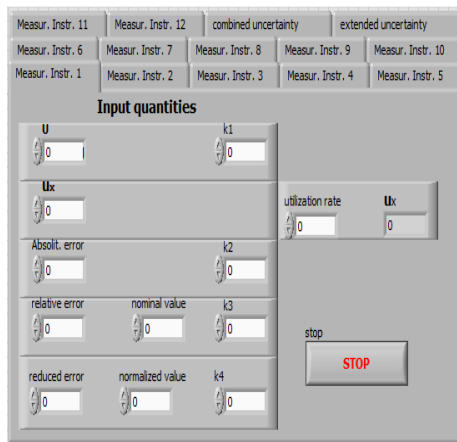
პროგრამული უზრუნველყოფის შემდეგი ბლოკი ეთმობა B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლას. სტატისტიკური დამუშავების პროგრამა შედგენილია 12 სხვადასხვა მდგენელისაგან ფორმირებული B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლისათვის. ისინი შეძლება იყოს 12 სხვადასხვა საზომი ხელსაწყო კალიბრების სერტიფიკატით მოცემული სტანდარტული ან გაფართოებული განუსაზღვრელობა, ან ცდომილებათა თეორიის მიხედვით მოცემული აბსოლუტური, ფარდობითი და დაყვანილი ცდომილების მნიშვნელობები. შესამდებელია გამოყენებული იქნას საცნობარო მონაცემების მნიშვნელობათა განუსაზღვრელობები, ასევე საზომი ხელსაწყო მრავალჯერადად გამოყენებისას განუსაზღვრელობათა საერთო მნიშვნელობები. პროგრამული უზრუნველყოფა ისეა მოწყობილი, რომ არ მოითხოვს მნიშვნელობათა წინასწარ გადაყვანას

განუსაზღვრელობის ფორმაში, შესაძლებელია მონაცემები შეყვანილი იქნეს ცდომილებათა სახით:

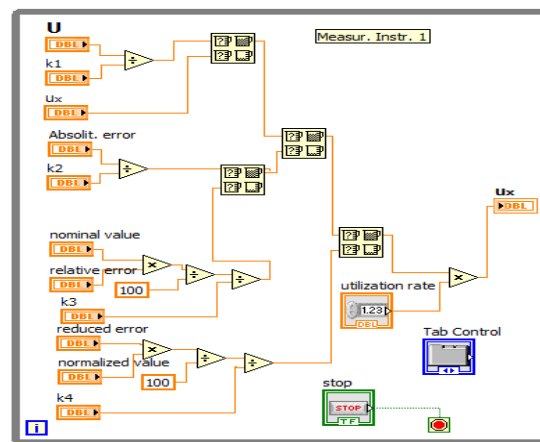
- აბსოლუტური  $\Delta_x = |X_{\theta} - x_{\theta}|$
- ფარდობითი  $\delta = \Delta_x / x_{\theta} \cdot 100\%$
- დაყვანილი  $\gamma = \Delta_x / X_N \cdot 100\%$

პროგრამა დამოუკიდებლად გადაიყვანს მას განუსაზღვრელობის შესაბამის მნიშვნელობაში, საჭიროა მხოლოდ მივუთითოთ დაფარვის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მონაცემთა მოცემული ტიპის განაწილებისათვის.

პროგრამის მიერ ავტომატურ რეჟიმში ხდება განუსაზღვრელობის ბიუჯეტის შედგენა რის მიხედვითაც პროგრამა უზრუნველყოფს ჯამური სტანდარტული და გაფართოებული განუსაზღვრელობის გამოთვლას ჩვენს მიერ მითითებული დაფარვის კოეფიციენტის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი ნაჩვენებია სურ. 71-ზე, ხოლო სურ. 72-ზე მისი ბლოკ-დიაგრამა ასახული.



სურ. 71 B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის წინა პანელი LabVIEW გარემოში



სურ. 72 B ტიპის განუსაზღვრელობის გამოთვლის პროგრამული უზრუნველყოფის ბლოკ-დიაგრამა LabVIEW გარემოში

ზემოთ აღწერილი პროგრამული პროდუქტების გამოიყენება საგამოცდო ან კალიბრების ლაბორატორიას შეუძლია როგორც

ყოველდღიურ საქმიანობაში ასევე კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორის გამოცდებში მონაწილეობის დროს.

კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული შეფასების ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების პროვაიდერი ორგანიზაციისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის პროდუქტს, ამოცანის შინაარსიდან გამომდინარე განსხვავებული სახე აქვს. მოთხოვნები, რომელიც წაყენება პროვაიდერს ISO 17043 სტანდარტითა ჩამოყალიბებული, რომელიც თავის მხრივ მონაცემთა სტატისტიკური დამუშავებისა და შეფასების კრიტერიუმების განსაზღვრისათვის აქცენტს ISO 13528 სტანდარტის გამოყენებაზე აკეთებს. აღნიშნული სტანდარტი განსაზღვრავს შეფასების პარამეტრებს, მათი გამოთვლის წესსა და მეთოდებს და საბოლოო შეფასების კრიტერიუმებს, რომელთა დაკმაყოფილების ხარისხი პირდაპირაა დაკავშირებული ლაბორატორიის კომპეტენტურობის შეფასებასთან.

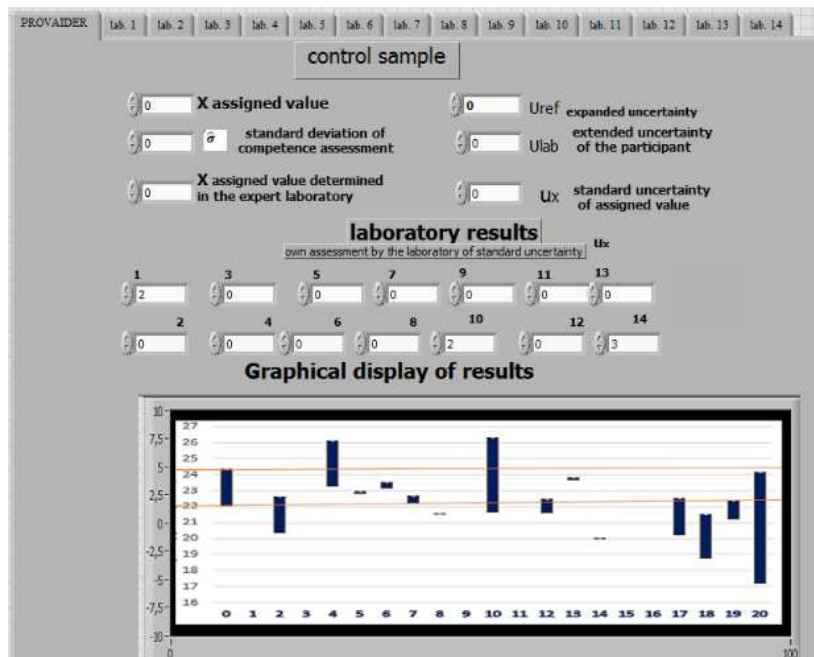
აღნიშნული საკითხები ჩვენს მიერ განხილული იყო ნაშრომის „1.1.3. ლაბორატორიების კომპეტენტურობის შეფასების კრიტერიუმები“ პარაგრაფში, რომლის მიხედვითაც შეიქმნა პროგრამული უზრუნველყოფა მათ გამოსათვლელად.

პროვაიდერი ორგანიზაციისათვის პროგრამული უზრუნველყოფის პროდუქტის შექმნის ამოცანას კვალიფიკაციის ტესტირებებში მონაწილე ლაბორატორიების შეფასების ზემოთ მოყვანილი კრიტერიუმები დაედო საფუძვლად.

გრაფიკული პროგრამირების ენის LabVIEW-ს სივრცეში შექმნილი პროგრამული უზრუნველყოფა გათვლილია საკვალიფიკაციო გამოცდებში მონაწილე 14 ლაბორატორიისა და პროვაიდერი ორგანიზაციის მონაცემების შეყვანის, ანალიზისა და ინდიკაციისათვის. თითოეული ლაბორატორიის ყველა მონაცემი, ანალიზის შედეგი და დასკვნა შეფასების კრიტერიუმის მიხედვით, მოცემულია დამოუკიდებელ გვერდზე. ასევე დამოუკიდებელ გვერდზეა განთავსებული პროვაიდერის მიერ წარმოდგენილი საკონტროლო ნიმუშის (სერტიფიცირებული, ექსპერტული, შეთანხმებული-

რობასტული თუ სხვა სახის) ტექნიკური და საკონტროლო პარამეტრის ან პარამეტრების მნიშვნელობანი. [45.46] შესაბამისად თუ მონაწილე ლაბორატორიების გვერდები ერთნაირია პროვაიდერის გვერდი განსხვავდება მათგან (სურ. 73).

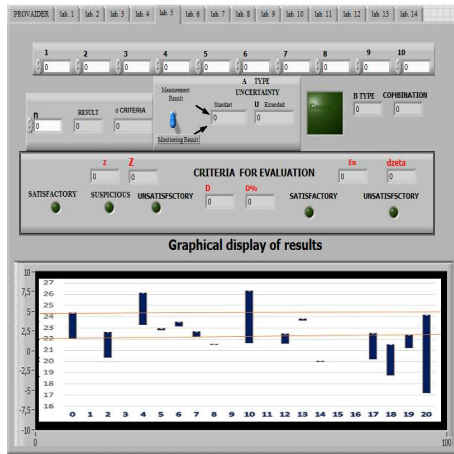
პროვაიდერის გვერდზე მოცემულია ყველა სახის ტექნიკური, საინფორმაციო და ნორმირებული, შეთანხმებული თუ რობასტული მნიშვნელობა საკონტროლო ნიმუშის შესახებ, რომლებიც შეფასების კრიტერიუმების გამოთვლისას საყრდენი მნიშვნელობების როლს თამაშობენ.



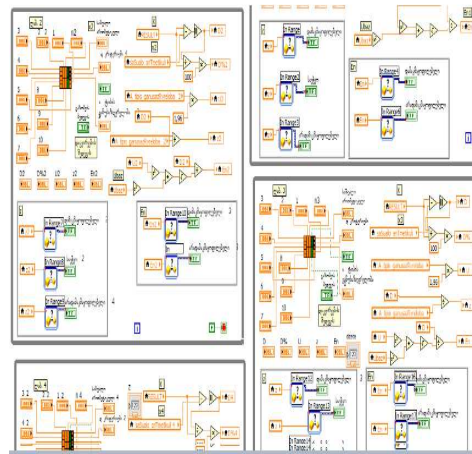
სურ. 73 საკვალიფიკაციო ტესტირების პროგრამული უზრუნველყოფის პროვაიდერის გვერდი

საკვალიფიკაციო ტესტირებაში მონაწილე ლაბორატორიების გვერდზე გამოყოფილია პროგრამული ელემენტები მონაცემთა შეყვანისათვის სადაც ექსპერიმენტული კვლევის დაკვირვების შედეგის შეყვანა შესაძლებელი (სურ. 74 წინა პანელი, სურ. 75 ბლოკ-დიაგრამა). ამ მონაცემების მიხედვით პროგრამა ავტომატურ რეჟიმში გამოითვლის გაზომვის შედეგს, შეაფასებს გაზომვის შედეგების განაწილების კანონის ნორმალურობის ჰიპოთეზას, იანგარიშებს A და B ტიპის

განუსაზღვრელობას, გაზომვის შედეგის ჯამურ სტანდარტულ და გაფართოებულ განუსაზღვრელობებს.



სურ. 74 საკვალიფიკაციო ტესტირებაში მონაწილე ლაბორატორიის გვერდის წინა პანელი



სურ. 75 საკვალიფიკაციო ტესტირებაში მონაწილე ლაბორატორიის გვერდის ბლოკ-დიაგრამა (ფრაგმენტი)

ასევე თვალსაჩინოდ ასახავს ლაბორატორიის მიერ ნაჩვენები შეფასების ყველა შედეგის კრიტერიუმების მიხედვით ინდიკაციას, ინფორმაციას შედეგების მისაღებობის, საექვო შედეგებისა თუ მათი მიუღებლობის შესახებ. ასევე პროვაიდერის გვერდიდან ყველა ლაბორატორიის გვერდზე დუბლირებულია გაზომვის შედეგების და მათი განუსაზღვრელობების გრაფიკული დისპლეის ეკრანი, რომელზედაც აისახება ყველა მონაწილე ლაბორატორიის შედეგი. პროგრამა საშუალებას გვამლევს მონაცემები მოამზადოს არა მხოლოდ დაკვირვებათა 10 ერთეულის შედეგებისათვის არამედ პარალელურ გაზომვათა ათი სერიისათვისაც. გათვალისწინებულია აგრეთვე მიღებული მონაცემების შენახვის შესაძლებლობა ფაილის სახით.



## დასკვნა

1. ელექტრული პარამეტრების სფეროში მოქმედი საგამოცდო და საკალიბრებელი ლაბორატორიების კვალიფიკაციის შეფასების პროცესისათვის მსგავსების თეორიის საფუძველზე გაანგარიშებულია, დაპროექტებული და შექმნილია დამიწების საკონტროლო ნიმუშის ფიზიკური მოდელის ლაბორატორიული დანადგარი;
2. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევით შემოწმებულია ლაბორატორიული დანადგარის ძირითადი პარამეტრების ადეკვატურობა რეალურ ობიექტთან მიმართებაში;
3. შეფასებული, გაზომილი და დადგენილია ლაბორატორიული დანადგარის ყველა ძირითადი პარამეტრი და დამუშავებულია ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარების მეთოდოლოგია;
4. ჩატარებულია მოდელის ექსპერიმენტული კვლევა საკონტროლო პარამეტრების აღწარმოებადობის, განმეორებადობის, სტაბილურობისა და ჰომოგენიზაციის კრიტერიუმების დასადგენად;
5. დამცავი დამიწების კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული კვლევის ლაბორატორიულ დანადგარი ISO/IEC 13528: 2010 მოთხოვნების შესაბამისად აკმაყოფილებს ატესტირებული საკონტროლო ნიმუშის სტატუსს;
6. შექმნილია გამოცდებისა და გაზომვების შედეგების დამუშავების პროგრამული უზრუნველყოფა, როგორც ცალკეული ლაბორატორიების ასევე მთლიანად ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების და შეფასების კრიტერიუმებთან შედარებისათვის.
7. მსგავსების თეორიის საფუძველზე შექმნილი დამიწების ლაბორატორიული დანადგარი რეკომენდებულია საკონტროლო ნიმუშად გამოყენებისათვის კვალიფიკაციის ექსპერიმენტული კვლევის ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩატარებისას.

## გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა

1. <http://www.mfa.gov.ge> „ასოციირების შესახებ შეთანხმება ევროკავშირის ატომური ენერჯის გაერთიანებას და მათ წევრ სახელმწიფოებსა და მეორეს მხრივ, საქართველოს შორის.“/ . უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 01.06.2018.
2. Шпаков С.В. Экспериментальная проверка компетентности лабораторий посредством межлабораторных сравнительных испытаний. Федеральное государственное унитарное предприятие «Уральский научно-исследовательский институт метрологии»
3. [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiih925xprYAhVIF8AKHXn5AEcQFgg1MAI&url=http%3A%2F%2Faac-analitica.ru%2Ffiles%2F4.doc&usq=AOvVaw26Oow\\_pLgmdDw44Rc3ZhiP](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiih925xprYAhVIF8AKHXn5AEcQFgg1MAI&url=http%3A%2F%2Faac-analitica.ru%2Ffiles%2F4.doc&usq=AOvVaw26Oow_pLgmdDw44Rc3ZhiP).  
უკანასკნელი ნახვა 5.02.2018
4. [http://gac.gov.ge/index.php?lang\\_id=GEO&sec\\_id=27](http://gac.gov.ge/index.php?lang_id=GEO&sec_id=27) . საკ 1.1:2012 - აკრედიტაციის სქემები და საერთო პროცედურები. აკრედიტაციის ერთიანი ეროვნული ორგანო - აკრედიტაციის ცენტრი. უკანასკნელად გადამოწმდა 25.05.2018
5. J.Philip Simmons. Electrical grounding and bonding. (5th Edition) Clifton Park, Based on the 2005 national electrical code. NY : Thomson Delmar Learning, ©2005. Capa Comum, 384 Pages, Published 2017 by Delmar Cengage Learning ISBN-13: 978-1-337-10200-1, ISBN: 1-337-10200-8
6. [http://www.zandz.ru/biblioteka/zazemleniye\\_v\\_molniyezashchite/izmeryayem\\_sopr\\_otivleniye\\_zazemleniya.html](http://www.zandz.ru/biblioteka/zazemleniye_v_molnियezashchite/izmeryayem_sopr_otivleniye_zazemleniya.html). უკანასკნელი ნახვა 05.2018;
7. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00. ОРГРЭС.М., 2000г.
8. Нейман Л.Р., Демирчян К.С., Юринов В.М. Руководство к лаборатории электромагнитного поля. М.; Высшая шк., 1966. С. 191-204;
9. В. А. Веников, Г. В. Веников. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учебник, М., 2014 г., 439 ст.
10. Л.И. Алексеева, С. А. Сверчинская. Моделирование электрического поля. Методические рекомендации. Иркутск 2001. 11 ст.
11. საკონტროლო ნიმუშის მომზადება ლაბორატორიათაშორის გამოცდების ჩატარებისათვის. ნ.აბელაშვილი, ნ.აბელაშვილი. სტუ. მართვის ავტომატიზებული სისტემები №1(19), 2015.
12. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
13. ISO/IEC 17043:2010. Conformity assessment -- General requirements for proficiency.
14. GUM: 1993 Guide to the expression of uncertainty in measurement BIPM; IEC, IFCC; ISO; IUPAC; IUPAP, OIML2);

15. ISO/IEC 13528.2010. Статистические методы. Применение при экспериментальной проверке компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний.
16. ზედგინიძე ი. გ. საინჟინრო ექსპერიმენტის ორგანიზაცია და დაგეგმვა. ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი, 2000, გვ. 240;
17. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СТЕРЖНЕВОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ. Н. А. Макенова. Известия Томского политехнического университета. 2009 Т. 314. №4.
18. Пособие к «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений». – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 18 с.
19. Ристхейн Э. Введение в энерготехнику. – Таллин: Elektrijaam, 2008. 213с.
20. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М.: Гардарики УИЦ, 2003. – 317 с.
21. Теоретические основы электротехники. Т. II. Нелинейные цепи и основы электромагнитного поля / Под ред. П. А. Ионкина. – М.: Высшая школа, 1976. – 383 с. Поступила 25.03.2009
22. J.Philip Simmons. Electrical grounding and bonding. (5th Edition) Clifton Park, Based on the 2005 national electrical code. NY : Thomson Delmar Learning, ©2005. Саpa Comum, 384 Pages, Published 2017 by Delmar Cengage Learning ISBN-13: 978-1-337-10200-1, ISBN: 1-337-10200-8
23. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00. ОРГРЭС.М., 2000 г.
24. [https://books.google.ge/books/about/Electrical\\_Grounding\\_and\\_Bonding.html?id=8ZgmHeOS0s8C&redir\\_esc=y](https://books.google.ge/books/about/Electrical_Grounding_and_Bonding.html?id=8ZgmHeOS0s8C&redir_esc=y) უკანასკნელად გადამოწმდა 05.2018.
25. [https://books.google.ge/books?id=8ZgmHeOS0s8C&pg=PA227&source=gbs\\_toc\\_r&cad=3#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ge/books?id=8ZgmHeOS0s8C&pg=PA227&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false) უკანასკნელად გადამოწმდა 04.2018
26. ი. ზედგინიძე, მ. ბალიაშვილი. ხარისხის მართვა. სახელმძღვანელო. ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი, 2008, გვ. 570;
27. И. П. Захаров, В. Д. Кукуш. Теория неопределенности в измерениях. Харьков «КОНСУМ». 2002 г. 255 с.
28. რ. ჟვანია. გაზომვის განუსაზღვრელობის თეორიის საფუძვლები. სახელმძღვანელო. საქართველოს სტანდარტებისა და მეტროლოგიის ეროვნული სააგენტო. თბილისი 2012. გვ. 233.
29. აბელაშვილი ნ., აბელაშვილი ნ. საკონტროლო ნიმუშის მომზადება ლაბორატორიათაშორისი გამოცდების ჩასატარებლად. შრომები მართვის ავტომატიზებული სისტემები. №1(19), 2015. გვ. 161-167 აბელაშვილი ნ.,

30. აბელაშვილი ნ. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდის შედეგების რეალიზაცია LabVIEW გარემოში. მოხსენება. კომპიუტერინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება. თბილისი 1-3 ოქტომბერი, 2016 წ.
31. ნ. აბელაშვილი. ვირტუალური მოდელირება LabVIEW-ს სივრცეში. შესავალი კურსი. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 03.04.2013 წელი. გვ. 101;
32. ნ. აბელაშვილი. „25 პრაქტიკული ამოცანა LabVIEW სივრცეში“. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2016. გვ. 193
33. Н. Н. Абелашвили, Н. Н. Абелашвили. Обработка результатов межлабораторных испытаний в среде LabVIEW. Сборник NI Days 2016. с. 399-401
34. Abelashvili N, Otchozoria N. Gogolidze P, Abelashvili N. ch.Interlaboratory comparison software for experimental qualification testing in the LabVIEW environment 1 st South Caucasus Food Analytical Conference. 29-30 March 2018. Expo Georgia, Tbilisi. p/.29-31;
35. აზმაიფარაშვილი ზ., აბელაშვილი ნ. ლაბორატორიათაშორისი გამოცდები მსგავსების თეორიის გამოყენებით. შრომები მართვის ავტომატიზებული სისტემები. 2017 წ. № 29(24). გვ. 79-84
36. В. А. Веников, Г. В. Веников. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учебник, Изд.4-е, М., 2014 г., 439 ст.
37. Л.И. Алексеева, С.А. Сверчинская. Моделирование электрического поля. Методические рекомендации. Иркутск 2001. 11 ст.
38. Методика проведения меж-лабораторных сравнительных испытаний электродвигателей, трансформаторов для бытовых приборов и зарядки аккумуляторов, стабилизаторов напряжения, трансформаторов разделительных, безопасных разделительных. Испытательный центр АНО “НТЦ ОС ЭЛМАТЭП“. Москва., 2008.
39. აბელაშვილი ნ., ქართველიშვილი გ., მურჯიკნელი გ. რეალური ობიექტისა და ვირტუალური მოდელის გაზომვის მონაცემების გაერთიანების პირობები. სტუ. შრ. კრებ. “მართვის ავტომატიზებული სისტემები” №2(15), 2013. გვ.122-127;
40. J.Travis., J.Kring. LabVIEW for Everyone: Graphical Programming Made Easy and Fun (3rd Edition),N/Y., 2006, p.1032;
41. А С. Васильев, О. Ю. Лашманов. Основы программирования в LabVIEW Санкт-Петербург 2015. 254 ст.
42. . ISO 3534-3: 1985 Statistics-Vocabulary and symbols – Part 3: Design of experiments;

43. ISO 5725-2: 1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.
44. ზედგინიძე ი., ბერაია ნ. ლაბორატორიათაშორისი შედარებისას ამოვარდნების არსებობის განსაზღვრა რიცხვითი მეთოდით. მეცნიერებისა და საზოგადოების განვითარების ფონდი. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”. №( ), 2009. გვ. 82-85;
45. ზედგინიძე ი., ბერაია ნ. პრეციზიულობის შეფასებაზე მიმართული ექსპერიმენტის დაგეგმვის ზოგადი საკითხები. მეცნიერებისა და საზოგადოების განვითარების ფონდი. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”. №( ), 2009. გვ. 28-31;
46. ზედგინიძე ი., ბერაია ნ. პრეციზიულობის შეფასებაზე მიმართული ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემების ანალიზის რობასტული მეთოდების გამოყენება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. ავტომატური კონტროლის სისტემები. №( ), 2009. გვ. 48-51;
47. Analytical Methods Committee. Robust statistics – How not to reject outliers. Part 1: Basic concepts. Part 2: Intr-laboratory trials. The Analyst, 114, 1989, pp. 1653-1697 (part 1), pp. 1699-1702 (part 2). Royal Society of Chemistry, London;
48. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике;
49. Р 50.2.011-2005. Проверка квалификации испытательных (измерительных) лабораторий, осуществляющих испытания веществ, материалов и объектов окружающей среды (по составу и физико-химическим свойствам), посредством межлабораторных сличений. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Москва 2005.
50. [http://www.znaytovar.ru/gost/2/R\\_5040062002\\_Mezhlaboratornye.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/R_5040062002_Mezhlaboratornye.html)
51. Р 50.4.006-2002 Межлабораторные сравнительные испытания при аккредитации и инспекционном контроле испытательных лабораторий. Методика и порядок проведения. უკანასკნელად გადამოწმდა 01.06.2018.
52. РД 153-34,0-20.525-00. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. Российское акционерное общество энергетики электрификации «ЕЭС РОССИИ». СПО ОРГРЭС. Москва 2000 г.
53. [http://www.zandz.ru/biblioteka/vybor\\_uzip/printsipy\\_podbora\\_ogranichiteley\\_perenapryazheniy\\_v\\_nizkovolnykh\\_elektricheskikh\\_setyakh.html](http://www.zandz.ru/biblioteka/vybor_uzip/printsipy_podbora_ogranichiteley_perenapryazheniy_v_nizkovolnykh_elektricheskikh_setyakh.html). გადამოწმდა 06.2018.
54. [http://www.zandz.ru/biblioteka/kniga\\_voprosy\\_prakticheskoy\\_molniezashchity.html](http://www.zandz.ru/biblioteka/kniga_voprosy_prakticheskoy_molniezashchity.html).  
Базелян, Э.М. Вопросы практической молниезащиты. компания «ИМАГ», Москва, 2015 г. 208 стр. უკანასკნელად გადამოწმდა 06.2018.
55. [http://www.chauvin-arnoux.ru/ch\\_6\\_2.htm](http://www.chauvin-arnoux.ru/ch_6_2.htm). Измерение сопротивления заземления. უკანასკნელად გადამოწმდა 06.2018.