



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

გიორგი ხურცილავა

ენერგოეფექტური ტექნოლოგიები წარმოებაში

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0160, საქართველო

2022 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი: ენერგეტიკის

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით გიორგი ხურცილავას მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ენერგოეფექტური ტექნოლოგიები წარმოებაში“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2022 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი ო. კილურაძე

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022 წ.

ავტორი: გიორგი ხურცილავა

დასახელება: „ენერგოეფექტური ტექნოლოგიები წარმოებაში“

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: ენერგეტიკის და ელექტროინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა _____

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომში სახელმძღვანელო დოკუმენტად აღებულია ენერგეტიკული სისტემების მართვის სტანდარტიზაციისათვის შექმნილი საერთაშორისო სტანდარტი- ISO 50001 ("ენერგეტიკული მართვის სისტემები - მოთხოვნები გამოყენებისთვის"). სტანდარტი კომპანიას საშუალებას აძლევს ენერგეტიკული სისტემის თანმიმდევრული გაუმჯობესების მისაღწევად, ენერგოეფექტურობის, ენერგოუსაფრთხოების და ენერჯის მოხმარების მიმართ გამოიყენოს სისტემური მიდგომა. ენერჯის დაზოგვის აუცილებლობის მნიშვნელოვანი მიზეზია აგრეთვე გარემოს დაცვა ეკოლოგიური დაბინძურებისაგან.

ISO 50001 სტანდარტის მეთოდოლოგია დაფუძნებულია ენერჯის მოხმარების პროცესის უწყვეტი გაუმჯობესების პრინციპზე, რომელიც შედგება შემდეგი წრიული ეტაპებისაგან: ცვლილების განზრახვა; ცვლილების დაგეგმვა; ცვლილების განხორციელება; ცვლილების შემოწმება და ასე წრიულად. შედეგად მიიღება ენერჯის დაზოგვა (თანხების დაზოგვა) და სათბური გაზების (CO₂) შემცირება (კლიმატის დარბილება).

განხილულია ელექტროენერჯის მსხვილი მოხმარებლების მიერ, ენერჯის დაზოგვის მიზნით, გასატარებელი მთელი რიგი ენერგოეფექტური ინიციატიური ღონისძიებები.

ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის ელექტრომოხმარების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია ენერგოეფექტური ღონისძიება: ელმავლის მართვის მოძველებული რელე-კონტაქტორული სისტემის მოდერნიზაცია მართვის თანამედროვე უკონტაქტო ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდით.

პირველად, მართვის თანამედროვე მოწინავე მიღწევებზე დამყარებული ინიციატიური მეთოდის დანერგვით მიღებულია საწარმო სისტემის ეფექტურობის ხარისხობრივი ამაღლება (საკვლე გამოცდის შედეგად 50%- დე ენერჯის დაზოგვა).

პირველად, ელმავლის მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის შეფასებისათვის, გამოყენებულია გაზომვის ცდომილებების შეფასების ინტერვალური- „განუსაზღვრელობის“ მეთოდი, ნაცვლად ტრადიციული- „გაზომვის ერთმნიშვნელოვანი ცდომილების“ მეთოდისა.

მეტროპოლიტენში გადაყვანილ მგზავრებსა და ჯამურ ელექტრო მოხმარებას შორის ნედლი მონაცემების სტატისტიკური კორელაციურ-რეგრესიული მეთოდით დამუშავებით, მიღებულია ელექტრომოხმარების საბაზისო მოდელი, რაც გამოყენებულია მონიტორინგის წელს მონაცემების ანალიზისათვის.

აღსანიშნავია, რომ საბაზისო და მონიტორინგის წლებში მეტროპოლიტენში არ განხორციელებულა საინვესტიციო სამუშაოები, ჩატარებული იქნა მხოლოდ მომსახურე პერსონალის საექსპლუატაციო დანიშნულების სწავლებები-გამოცდები. წევის აგრეგატების მიერ უშუალოდ მოხმარებული ელექტროენერჯის მონაცემების დამუშავებით დაზუსტდა საბაზისო მოდელის გამოსახულება და ინვესტიციების გარეშე ელექტროენერჯის დანაზოგი შეფასებულია 2-3%-ით.

განხილულია მეტროს მატარებლების დენმიმღებთან მოსრიალე კონტაქტის განსახორციელებლად გამოყენებული მყარი საკონტაქტო სადენის-მესამე რელსის მოდერნიზაციის საკითხი: არსებული ძველი ლითონის საკონტაქტო რელსის შეცვლა თანამედროვე REHAU-ს ტიპის მაღალფექტური პოლიმერული ბიმეტალური სადენით.

ელექტროენერჯის დაზოგვის მიზნით საქართველოს რკინიგზის ავჭალის ქვესადგურის მაგალითზე შესწავლილია რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის სკიოხი.

I თავში განხილულია ენერგოეფექტურობის და ენერგოდაზოგვის მაღალი შესაძლებლობები და მნიშვნელობა განსაკუთრებით მსხვილი ელექტრომობილარების საწარმოებისათვის: მაგალითად- ელექტრულ ტრანპორტზე, რომლებიც ჯერ კიდევ ფუნქციონირებენ ტექნიკურად და მორალურად მოძველებული ტექნოლოგიური აგრეგატებითა და მოწყობილობებით და პროცესების მართვის არაეფექტური მეთოდებით, რაც იწვევს ელექტროენერჯის გაზრდილ მოხმარებას. ენერგოეფექტურობის კუთხით ჩატარებულია ელექტროტრანსპორტზე სხვადასხვა მართვის სისტემების კრიტიკული ანალიზი, რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მეთოდები ენერჯის დაზოგვის მიზნით.

II თავში გაანალიზებულია „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდა-გიანი ელექტრომატარებლის ელმავლის მართვის ტრადიციული მეთოდი და წევაზე დახარჯული ელექტროენერჯის ეკონომიის მიზნით, დასაბუთებულია და განხორციელებულია ელმავლის ამძრავის მოდერნიზაციის მიზანშეწონილობა ელექტრონიკის თანამედროვე მიღწევების გამოყენებით. ჩატარებულია ელმავლის ნატურული (საველე) გამოცდა ენერჯის მოხმარების კუთხით ძველი-რელე-კონტაქტორული მართვის და თანამედროვე იმპულსური მთოდების გამოყენებით. მიღებული ეკონომიკრი ეფექტი შეფასებულია შემდეგი მაჩვენებლებით: PV- მარტვი უკუგება 1,6წელი; NPV-წმინდა ეკონომია 116627ლარი; NPV/Q-ფარდობა: ეკონომია/ინვესტიციაზე 3.1

მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის შეფასებისათვის გამოყენებულია დღეისათვის უკვე საერთაშორისოდ ფართოდ აღიარებული „განუსაზღვრელობის“ მეთოდი (ცდომილებების შეფასების ინტერვალური მეთოდი), ნაცვლად ტრადიციული- „გაზომვის ერთმნიშვნელოანი ცდომილების“ მეთოდისა.

III თავში განხილულია მეტროს მატარებლების დენმიმღებთან მოსრიალე კონტაქტის განსახორციელებლად გამოყენებული მყარი საკონტაქტო სადენის-მესამე რელსის მოდერნიზაციის საკითხი: არსებული ძველი ლითონის საკონტაქტო რელსის შეცვლა თანამედროვე REHAU ტიპის მაღალეფექტური პოლიმერული ბიმეტალური სადენით. ამ ღონისძიების განხორციელებით შეფასებულია ყოველ 1 კმ მესამე რელსის მოდერნიზაციით მიღებული ეკონომიკრი ეფექტი შემდეგი მაჩვენებლებით: ენერჯის დაზოგვა 721 მგვტ.სთ/კმ/წ; PB- მარტვი უკუგება 4,18წელი; NPB-წმინდა ეკონომია 147454ლ; NPV/Q- ფარდობა ეკონომია/ინვესტიცია 1.32.

მნიშვნელოვანია, აგრეთვე ისეთი ღონისძიებების გატარება, რომლებიც ინვესტიციის გარეშე იძლევა ენერჯის დაზოგვის ეფექტს. ამის მაგალითია მეტროს დანადგარების და მოწყობილობების ექსპლუატაციის გაუმჯობესებით მიღებული ენერგოდაზოგვა, რაც შეფასებულია ელექტრომობილარების კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზის საფუძველზე.

შედგენილია ერთ შემთხვევაში გადაყვანილ მგზავრებსა და მეტროს ჯამურ ელექტრომომხმარებას და მეორე შემთხვევაში გადაყვანილ მგზავრებსა და უშუალოდ მატარებლების წვეის აგრეგატების ელმომხმარებას შორის საბაზისო მოდელები, რაც გამოყენებულია მონიტორინგის მონაცემების დასამუშავებლად და დაზოგილი ენერჯის მნიშვნელობების დასადგენად. გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ ინვესტიციების გარეშე მეტროპოლიტენში შესაძლებელია 3%-დე ენერჯის დაზოგვა, მოწყობილობა-დანადგარების მხოლოდ საექსლუატაციო მჩვენებლების გაუმჯობესებით.

ასევე, ენერჯის დაზოგვა შეიძლება მიღებული იქნას (ინვესტიციის გარეშე) მეტროპოლიტენში დამატებით სტრუქტურული ერთეულის შექმნით (საზოგადოებრივ საწყისებზე დანარჩენი სტრუქტურების წევრებისაგან), რომლის დანიშნულება იქნება ენერგოეფექტური ღონისძიებების შემუშავება, ანალიზი და სახსრების მოძიება მათი დანერგვისათვის.

IV თავში განხილულია საქართველოს რკინიგზის ავჭალის ქვესადგურის რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის სკითხი, რაც იძლევა ეკონომიკური პარამეტრების შემდეგ მაჩვენებლებს: PV- მარტვი უკუგება 1,4წელი; NPV-წმინდა ეკონომია 896094ლარი; NPV/Q-ფარდობა: ეკონომია/ინვესტიციაზე 3.4.

Abstract

In the dissertation paper, the manual document is taken as an international standard established for standardization of energy systems management - ISO 50001 ("Energy Management Systems - Requirements for Use"). The standard allows the company to use a systematic approach to energy efficiency, energy security and energy consumption to achieve consistent improvement of the energy system. An important reason for the need to save energy is also the protection of the environment from ecological pollution. The ISO 50001 standard methodology is based on the principle of continuous improvement of the energy consumption process, consisting of the following circular stages: the intention and planning a change; Implementation of amendments; Check the change. As a result, energy savings and reducing greenhouse gases (CO₂) are obtained. Below is discussed a number of energy-efficient innovative measures to be implemented by large electricity users. On the basis of the analysis of the electrical consumption data of the Borjomi-Bakuriani narrow-rail electric train locomotive electricity consumption, energy efficiency measure was developed: modernization of the outdated relay-contactor system of electric train with a modern contactless electronic-impulse method of control. For the first time, with the introduction of an innovative method based on advanced achievements of control system, a qualitative increase in the efficiency of the production is obtained (50% energy savings as a result of the field testing). As a result, interval-"indefinite" method of evaluating measurement errors has been used, instead of the traditional "measurement unambiguous error" method. By processing raw data on passengers transportation by underground and the total electricity consumption by using of stastic correlate-regressive method of crude data, a baseline model of electrical consumption has been adopted, which is used to analyze data during the monitoring year. During the baseline and monitoring years, investment works were not carried out in the metropolitan area, only the trainings and exams of the operational purpose of the service personnel were carried out. By processing electricity data consumed directly by traction aggregates, the result of the baseline model was clarified, and without investment, electricity savings were estimated as 2-3%. The issue of modernizing the solid rail used to make moving contact with subway trains is reviewed: replacing the existing old metal contact rail with a modern REHAU-type highly efficient polymer bimetal wire. In order to save electrical energy, reactive energy compensation issue has been researched upon the example of the Georgian Railway Avchala substation.

Chapter I discusses importance of energy efficiency especially for large electrical consumption objects: on electric transport, which are still operating technically and morally outdated technological aggregates and use inefficient methods of process control, which leads to increased electricity consumption. Energy analysis of various control systems of electric transport was conducted in terms of energy efficiency, and methods for reactive energy compensation.

Chapter II analyzes the old method of control the narrow-rail electric train of Borjomi-Bakuriani, and in order to save the electricity spent on traction, the feasibility of modernization is proved and implemented using modern achievements of electronics. A natural (field) test of locomotive was conducted in terms of energy consumption. The resulting economic effect is evaluated by the following indicators: PV-simple return 1,6

years; NPV-net savings 116627GEL; NPV/Q-ratio: Economy/investment 3.1. For evaluating the results of measuring the high voltage cable electro-insulation, the already internationally recognized "indefinite" method is used today, instead of the traditional – error measurement method.

Chapter III discusses the issue of modernizing the solid contact rail used to supply train: replacing the existing old metal contact rail with a modern REHAU type highly efficient polymer bimetal wire. The implementation of this event is estimated by modernizing every 1 km third rail with the following indicators: energy saving of 721 MWh/km /sec; PB-simple return 4,18 years; NPB net savings 147454 GEL; NPV/Q-Economy/Investment 1.32. It is important, to take measures that, without investing, give the effect of energy savings. An example of this is the energy savings obtained by improving the optimal operation of subway installations and devices, which is evaluated on the basis of correlation-regressive analysis of electricity use. Basic models are elaborated on the total number of passengers and total electricity consumption in metro in one case. In the second case the baseline models on number of passengers and directly trains traction` electricity consumption, which is used to process monitoring data and determine the values of the saved energy. Studies have shown that without investments in the metropolitan, it is possible to save 3% energy by improving only the exploitation rate of the equipment and installations. Also, energy savings can be achieved (without Investment) by creating an additional energy-based structure unit in the metropolitan area.

Chapter IV discusses the issue of compensation for the reactive energy of the Georgian Railway Avchala substation, which gives the following indicators of economic parameters: PV-march return 1.4 y; NPV net savings 896094 GEL; NPV/Q-economy/investment of 3.4.

თავი 1. ენერგოეფექტურობა და ენერგოეფექტური ღონისძიებები საწარმოებში 17

1.1. ენერგოეფექტურობა და ენერგოდაზოგვა მსხვილ საწარმოებში 20

1.2. ენერგოეფექტური ღონისძიებები 20

1.3. თბილისის მეტროპოლიტენში განხორციელებული წარმატებული ენერგოეფექტური პროექტების ზოგიერთი მაგალითი 21

1.4. ელექტროტრანსპორტის მართვის სისტემა 24

1.5. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია 25

 1.5.1. რეაქტიული ენერჯის წარმოშობის მიზეზები და მისი უარყოფითი გავლენა სიმძლავრის კოეფიციენტზე 27

 1.5.2. რეაქტიული ენერჯის მოხმარების გამომწვევი მიზეზები და მისი უარყოფითი გავლენა ელენერჯის მოხმარებლებზე 29

 1.5.3. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მეთოდები 31

 1.5.4. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის ინოვაციური ტექნოლოგიები 33

1.6. თბილისის მეტროპოლიტენის საგვირაბო ესკალატორების მართვისა და კონტროლის სისტემების მოდერნიზაციის ზოგადი დახასიათება 35

 1.6.1. დროითი დიაგრამები (მეტროსადგური „ახმეტელის თეატრი“ №2 ესკალატორი) 37

1.7. ენერგოაუდიტის ჩატარების და მონაცემების ანალიზის მეთოდები 39

თავი 2. ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომ-ბაკურიანის“ მატარებლის ელმავლის ენერგოეფექტური ინოვაციური ტექნოლოგიები 41

2.1. ენერგოეფექტური ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია 41

 2.1.1. ძირითადი პარამეტრების სიგნალების კონტროლი და მონიტორის ეკრანზე ინფორმაცია 43

 2.1.2. ელმავლის მართვის სისტემის ელექტრონული პლატები 46

2.2. ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზის სხვადასხვა უბნებზე ელმავლის ძირითადი პარამეტრების გამოცდა მოდერნიზაციამდე და მოდერნიზაციის შემდეგ 50

2.3. „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი 58

2.4. მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის განუსაზღვრელობის შეფასება 60

 2.4.1. სამოდულო ფუნქციის შედგენა და შესასვლელი სიდიდეების-ძაბვის და დენის ძალის გაზომვების შედეგები 61

 2.4.2. ძაბვის და დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების პირველადი შეფასება (\bar{V})_კ და (\bar{I})_კ მკა 62

 2.4.3. გაზომვის მონაცემების შემოწმება უხეში ცდომილებების შესაძლო არსებობაზე. ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება 62

2.4.4. შესასვლელი სიდიდეების ძაბვის და დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების დაზუსტებული შეფასება (\bar{V}) _კ და (\bar{I}) _კ	64
2.4.5. გამოსასვლელი სიდიდის \bar{R} შეფასება	64
2.4.6. გაზომვათა ცდომილების წყაროების ანალიზი	65
2.4.7. შესასვლელი სიდიდეების მგრძნობიარობის კოეფიციენტები	66
2.4.8. შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები	66
2.4.9. გაზომვათა შედეგის ცდომილების წყაროების ანალიზი	68
2.4.10. სამოდულო ფუნქციის ანალიზი (არაწრფივი დამოკიდებულების გათვალისწინება)	69
2.4.11. ძაბვისა და დენის ძალის გაზომვის შედეგებს შორის კორელაციის შემოწმება	70
2.4.12. თავიუფლების ხარისხთა ეფექტურობის რიცხვი და გაფართოებული განუსაზღვრელობა	72

თავი 3. მეტროპოლიტენის ელექტროტრანსპორტის ენერგომომხმარების კორელაცია - რეგრესიული ანალიზი 73

3.1. საბაზო მოდელის დამუშავება მეტროპოლიტენის ჯამური ელექტრომომხმარების მონაცემების მისედვით	73
3.1.1. ენერგომომხმარების ნედლი მონაცემები საბაზისო და მონიტორინგის წლებში	73
3.1.2. საბაზისო წელი (მონიტორინგის ჩასატარებლად მოდელის შემუშავება)	77
3.1.3. ენერგიის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრა	80
3.1.4. ელექტრო ენერგიის მოხმარების (ექსპლუატაციის ოპტიმალური რეჟიმი) საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრა და სამიზნე დანაზოგი	83
3.2. საბაზისო მოდელის დამუშავება უშუალოდ წევის აგრეგატების ენერგომომხმარების მონაცემებით	90
3.2.1. საბაზისო წლის მოდელის შემუშავება	92
3.2.2. ენერგიის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრა	94
3.2.3. ენერგიის ოპტიმალური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშ. კვადრატ. განუსაზღვრელობის განსაზღვრა და სამიზნე დანაზოგი	96
3.2.4. საბაზისო და მონიტორინგის წლების ენერგიის მოხმარების შესაძლო დანაზოგის მაჯამებელი მონაცემები	99
3.3. ენერგოეფექტური ღონისძიება მეტროპოლიტენში: მესამე რელსის მოდერნიზაცია	101
3.3.1. მესამე რელსის ტექნიკური მონაცემები და მოდერნიზაციის გაანგარიშება	101
3.3.2. მეტროპოლიტენის საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი	103

3.4. მეტროპოლიტენის მართვის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია ფინანსური დანახარჯების გარეშე	104
თავი 4. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია სს „საქართველოს რკინიგზაზე“ წვეის ქვესადგურში	107
4.1. ავჭალის ქვესადგური	107
4.1.1. კომპანია „ELSPEC“- ის ელექტრონული ანალიზატორი	107
4.1.2. ძაბვის, დენის და სიმძლავრის დროითი დიაგრამები	108
4.1.3. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მიზანშეწონილობა და ეკონომიკური შეფასება	112
დასკვნა	115
გამოყენებული ლიტერატურა	117

ცხრილების ნუსხა

83

ცხრ. 1. უბანი: ბორჯომი-წალვერი მოდერნიზაციამდე	51
ცხრ. 2. უბანი: ბორჯომი-წალვერი მოდერნიზაციის შემდეგ	51
ცხრ. 3. უბანი: წალვერი-ცემი მოდერნიზაციამდე	52
ცხრ. 4. უბანი: წალვერი-ცემი მოდერნიზაციის შემდეგ	52
ცხრ. 5. უბანი: ცემი-ლიბანი მოდერნიზაციამდე	53
ცხრ. 6. უბანი: ცემი-ლიბანი მოდერნიზაციის შემდეგ	53
ცხრ. 7. უბანი: ლიბანი-საკოჭავი მოდერნიზაციამდე	53
ცხრ. 8. უბანი: ლიბანი-საკოჭავი მოდერნიზაციამდე	54
ცხრ. 9. უბანი: საკოჭავი-ბაკურიანი მოდერნიზაციამდე	54
ცხრ. 10. უბანი: საკოჭავი-ბაკურიანი მოდერნიზაციის შემდეგ	55
ცხრ. 11. ენერგოეფექტური ღონისძიების მაჯამებელი შედეგები	55
ცხრ. 12. უბნების მიხედვით დანაზოგების მნიშვნელობების ერთგვაროვნებაზე შემოწმება	56
ცხრ. 13 . „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი	59
ცხრ. 14. ძაბვის გაზომვების დაუმუშავ. სერია (ნედ. მონაცემები)	61
ცხრ. 15. დენის ძალის გაზომვების დაუმუშავებული სერია (ნედლი მონაცემები)	61
ცხრ. 16. შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები	67

ცხრ. 17. კორელაციის კოეფიციენტები $r(V,I)$; $r(V,R)$ და $r(I,R)$	71
ცხრ. 18. საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვ. მგზავრებისა და მოხმარებული ელექტრო ენერგიების ნედლი მონაცემები	76
ცხრ. 19. კორელაციის კოეფიციენტი (მგზ.-ენერგ.)	77
ცხრ. 20. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები (საბაზისო წელი)	79
ცხრ. 21. ენერგიის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა	80
ცხრ. 22. ოპტიმალური მომსახურეობა	81
ცხრ. 23. კორელაცია $r(M'1,E'1)$	82
ცხრ. 24. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები (საბაზისო წელი, ოპტი- მალური ექსპლუატაცია)	82
ცხრ. 25. ენერგიის მოხმარების (ოპტიმალური ექსპლუატაცია) საშ. მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა	83
ცხრ. 26. ოპტიმალური ოპერაციული მომსახურებით მიღებული ენერგიის დანაზოგი	84
ცხრ. 27. ფაქტიური მოხმარების და სამიზნე დაზოგვის გაანგარიშების მონაცემები	85
ცხრ. 28. ენერგომოხმარების მონიტორინგის შედეგები	89
ცხრ. 29. საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვ. მგზავრებისა შესა- ბამისი მოხმარების ელენერგიების ნედლი მონაცემები	90
ცხრ. 30. კორელაცია $r(M1,E1)=0.897$; $r^2=0.80$	92
ცხრ. 31. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები (საბაზ. წელი)	93
ცხრ. 32. ენერგიის მოხმარების საშ. მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა	94

ცხრ. 33. კორელაცია $r(M1,E1)=0.897$; $r^2=0.80$	95
ცხრ. 34. ოპტიმალური მომსახურება	96
ცხრ. 35. ენერჯის ოპტიმ. მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა	97
ცხრ. 36. ოპტიმალური ოპერაციული მოხმარების შესაბამისი მაქსიმალური სამიზნე დაზოგვა	97
ცხრ. 37. ფაქტიური მოხმარების და სამიზნე დაზოგვის გაანგარიშების მონაცემები	98
ცხრ. 38. ენერგომოხმარების მონიტორინგის შედეგები	100
ცხრ. 39. საკონტაქტო რელსის ტექნიკური მონაცემები და ენერჯის დაზოგვის გაანგარიშება	103
ცხრ. 40. საკონტ. რელსის მოდერნიზაციის ეკონომიკ.ანალიზი	104
ცხრ. 41. „ავჭალის“ რკინიგზის ქვესადგურში რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის ტექ.-ეკონომიკური გაანგარიშება	113

ნახაზების ნუსხა

83.

ნახ. 1. ელმავლის მართვის რელე-კონტაქტორული სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა	26
ნახ. 2. ელექტროტრანსპორტის მართვის ელექტრონულ-იმპულსური მართვის სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა	27
ნახ. 3. ესკალატორის აქტიური, რეაქტიული მოხმარებების და სიმძლავრის კოეფიციენტის დროითი დიაგრამები	37
ნახ. 4. ფაზების მიხედვით ძაბვის და დენის ეფექტური მნიშვნელობების დროითი დიაგრამები	38
ნახ. 5. აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარებების დროითი დიაგრამები	39
ნახ. 6. სხვადასხვა უბანზე ელმავლის მოხმარებული ენერგია (კვტ.სთ) მოდერნიზაციამდე და მოდერნიზაციის შემდეგ	57
ნახ. 7. გადაყვანილი მგზავრები (საბაზისო M1 და მონიტორინგის M2 წლებში)	76
ნახ. 8. მოხმარებული ენერგია (საბაზისო E1 და მონიტორინგის E2 წლებში)	77
ნახ. 9. $E_E = f(M)$ დამოკიდებულება (საბაზისო წელი)	78
ნახ. 10. ოპტიმალური მომსახურება	81
ნახ. 11. ფაქტიური და მოსალოდნელი მოხმარება თვეების მიხედვით	86
ნახ. 12. ენერგიების სხვაობების ნაზრდი ჯამების ცვლილება თვეების მიხედვით	86
ნახ. 13. მონიტორინგის წელს ენერგიის ფაქტიური და მოსალოდნელი მოხმარება	88
ნახ. 14. ფაქტიური დანაზოგებისა და ფაქტიური დანაზოგების ნაზრდი ჯამი	88
ნახ. 15. გადაყვანილი მმგზავრები (საბაზისო და მინიტორ.)	91
ნახ. 16. მოხმარებული ელენერგია (საბაზ. და მონიტ.)	92

ნახ. 17. $E = f(M)$ დამოკიდებულება (საბაზისო წელი)	92
ნახ. 18. $E = f(M)$ დამოკიდებულება	95
ნახ. 19. ფაქტიური (1) და მოსალოდნელი (2) მოხმარება	99
ნახ. 20. ფაქტიური (1) და სამიზნე (2) მოხმარებების ნაზრდი ჯამები	99
ნახ. 21. ძაბვის და დენის ეფექტური მნიშვნელობების ცვლილება დროის მიხედვით	109
ნახ. 22. აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების ჩანაწერი	110
ნახ. 23. ძაბვის, დენის დამახინჯებების კოეფიციენტები და ძაბვის ეფექ- ტური მნიშვნელობის ცვლილება დროის მიხედვით	111

შესავალი

ენერგოეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის ამოცანა არის ენერგიის მოხმარების შემცირება- ენერგიის დაზოგვა. განსხვავება ენერგოეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვის ამოცანებს შორის არის ენერგიის დაზოგვის სხვადასხვა მეთოდების გამოყენება: პირველ შემთხვევაში ენერგიის დაზოგვა მიიღება ახალი ტექნოლოგიის დანერგვით, მაგალითად წევის აგრეგატების მოძველებული მართვის რელე-კონტაქტორული მეთოდის ნაცვლად თანამედროვე მართვის ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდის გამოყენება; რეაქტიული ენერგიის კომპენსაცია; ვარვარა ნათურების შეცვლა თანამედროვე „ლედ“ ნათურებით იგივე განათებულობის პირობებში და სხვა. შედეგად დაიზოგება ელენერგია.

მეორე შემთხვევაში ასევე, ხდება ენერგიის დაზოგვა, მხოლოდ მომსახურე პერსონალის ქცევით, მაგალითად აგრეგატების - საექსპლუატაციო რეჟიმების გაუმჯობესებით. ამ შემთხვევაშიც ადგილი აქვს ენერგიის დაზოგვას და აღსანიშნავია ისიც, რომ იგი მიიღება ინვესტიციების გარეშე.

თემის აქტუალურობა. ტექნიკური პროგრესის ზრდასთან ერთად განუხრელად იზრდება ენერგიის ძირითად წყაროდ გამოყენებული ელექტრო ენერგიის მოხმარებაც. საქართველოში ჯერ კიდევ უმრავლეს საწარმოში ტექნოლოგიური პროცესები ხორციელდება, როგორც ტექნიკურად, ასევე მორალურად მოძველებული აგრეგატებით და აპარატურით, რაც ნეგატიურად აისახება განხორციელებული პროცესების ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე და აგრეთვე გარკვეულწილად გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე. ეს განსაკუთრებით ესება ისეთ კომპანიებს, როგორცაა ელექტროენერჯის მსხვილი მომხმარებლები და განსაკუთრებით ელექტრო ტრანსპორტი-საქართველოს რკინიგზა, მეტროპოლიტენი, ვიწროლიან-დაგიანი რკინიგზა.

ასეთ კომპანიებში განსაკუთრებით მაღალია ენერგიის დაზოგვის პოტენციალი, რომელიც მიიღება: მოძველებული ტექნიკური მოწყობილობების შეცვლით თანამედროვე ენერგოეფექტური დანადგარებით და პროცესების მართვის უახლესი მეთოდების დანერგვით, ასევე, საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ხარისხის გაუმჯობესებით (ინვესტიციის გარეშე ენერგოეფექტური

ლონისძიებით). შესაბამისად კომპანიებში გასატარებელი ენერგოეფექტური ღონისძიებების შესწავლა-გამოკვლევა, ინსტალაცია და მონიტორინგი აქტუალური საკითხებია.

მეცნიერული სიახლე. წინამდებარე ნაშრომი ეხება საქართველოში ელექტროენერჯის მსხვილი მომხმარებლების (საქართველოს რკინიგზა, მეტროპოლიტენი, ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზა) კომპანიებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების გამოვლენას, დამუშავებას და ინსტალაციას ელექტროენერჯის დაზოგვის მიზნით.

პირველად არის შემოთავაზებული და განხორციელებული ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოძველებული რელე-კონტაქტორული მართვის იმპულსური მართვის თანამედროვე მეთოდით ჩანაცვლება, რაც ელექტროენერჯის მოხმარებას ამცირებს დაახლოებით ორჯერ. ანალოგიური ეფექტი გააჩნია მართვის თანამედროვე სისტემის გამოყენებას საქართველოს რკინიგზაზე- თბილისი-ბათუმის ელექტრო მატარებლის შემთხვევაშიც.

მოხმარებული ენერჯის ანალიზის დროს გამოყენებულია კორელაცია-რეგრესიული სტატისტიკური მეთოდი და პირველად მახასიათებელი პარამეტრების გაზომვის უტყუარობის შესაფასებლად დღეისათვის მრავალ უცხოეთის ქვეყნებში უკანასკნელ წლებში უკვე ფართოდ გამოყენებული შეფასების „განუსაზღვრელობის“ ინტერვალური მეთოდი, ნაცვლად გაზომვის შედეგის ტრადიციული ერთმანჯვენებლიანი ცდომილებისა.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზნია მსხვილ კომპანიებში მოხმარებული ელექტროენერჯის ანალიზი, ენერჯის კარგების აღმოჩენა, ენერგოეფექტური ღონისძიებების დამუშავება და ტექნიკურ- ეკონომიკური მიზანშეწონილობის დადგენა პროექტების შემდგომი ინსტალაციისათვის.

ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზის ელმავლის ელექტრომომხმარების ტექნიკური ანალიზის საფუძველზე მართვის ახალი თანამედროვე იმპულსური მეთოდის დანერგვა, აპრობაცია სავსე პირობებში და მონიტორინგი.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ისეთ კომპანიები, როგორებიცაა: საქართველოს რკინიგზა, მეტროპოლიტენი, ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზა. ელექტროენერჯის მოხმარების

ანალიზს საფუძვლად უდევს კომპანიების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის ნედლი მონაცემების დამუშავების კორელაციურ-რეგრესიული სტატისტიკური მეთოდი.

კვლევის ძირითადი შედეგები და შედეგების გამოყენების სფერო

მსხვილი ელტროენერჯის მოხმარებელ კომპანიებში მოხმარებული ელექტროენერჯის მონაცემების საფუძველზე სტატისტიკური კორელაცია-რეგრესიული ანალიზის მეთოდით გამოვლენილია და დამუშავებულია ენერჯის დანაკარგების წყაროები და შემუშავებულია ენერჯის დაზოგვის ღონისძიებები როგორებიცაა: ელექტრომატარებლების მართვის სისტემის მოდერნიზაცია; რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია; საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია; სიხშირული გარდამქმნელების დანერგვა; სხვადასხვა პარამეტრების გაზომვის უტყუარობის შეფასებაში დღეისათვის უცხოეთში ფართოდ აღიარებული „განუსაზღვრელობის“ ცნების ინტერვალური მეთოდის გამოყენება და სხვა. მიღებული მიდგომები და მთოდები შეიძლება გამოყენებული იყოს აგრეთვე ენერჯის შედარებით მცირე მოხმარების საწარმოებშიც.

ბორჯომ-ბაკურიანის მატარებლის ელმავალზე დანერგილია და აპრობირებულია ელმავლის მართვის ახალი თანამედროვე მართვის იმპულსური მეთოდი, რაც ენერჯის მოხმარების ხარისხოვან შემცირებას განაპირობებს.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოსმენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის, თბოენერჯეტიკული დანადგარებისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის I, II და III კოლოქვიუმებზე და დისერტაციის წინასწარ განხილვისას. ასევე, დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იყო საერთაშორისო კონფერენციაზე (ქუთაისის აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის 2016 წლის IV და 2018 წლის V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე „ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ და თბილისის 2021წლის III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე (ორი მოხსენება) „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“).

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო სტატია, სადისერტაციო საბჭოს მიერ რეკომენდებულ გამოცემებში.

თავი 1. ენერგოეფექტურობა და ენერგოეფექტური ღონისძიებები საწარმოებში

1.1. ენერგოეფექტურობა და ენერგოდაზოგვა მსხვილ საწარმოებში

საქართველოში ელექტროენერჯის მსხვილი მომხმარებლები (საქართველოს რკინიგზა, თბილისის მეტროპოლიტენი, ვიწროლიან-დაგიანი ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზა და სხვა) ძირითადად ჯერ კიდევ იყენებს, როგორც ტექნიკურად ასევე, მორალურად მოძველებულ მოწყობილობა-დანადგარებს, რაც ენერჯის წყაროს მაღალი მოთხოვნილებების პირობებში ენერჯის დიდ დანაკარგებს იწვევს. შესაბამისად, როცა საქმე ეხება ისეთი მაღალი ხარისხის ენერჯის რაციონალურად ხარჯვას, როგორცაა ელექტროენერჯია, განსაკუთრებით დიდი ყურადღება ექცევა ენერჯის დანაკარგების შემცირებას ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების გამოყენებით.

ენერგოეფექტურობა და ენერგოდაზოგვა ორივე შემთხვევაში იწვევს ენერჯის დაზოგვას, მხოლოდ სხვადასხვა მეთოდით: პირველ შემთხვევაში იგი მიიღწევა მოძველებული მოწყობილობა-დანადგარების შეცვლით თანამედროვე ინოვაციური ტექნოლოგიებით (ხორციელდება შესაბამისი ინვესტიციით), ხოლო მეორე შემთხვევაში ენერჯის დაზოგვა განპირობებულია (ინვესტიციების გარეშე) პერსონალის ქცევით - ელექტროენერჯის ყაირათიანი მოხმარებით- მაგალითად დანადგარების საექსპლუატაციო მომსახურების გაუმჯობესებით.

ენერგეტიკული სისტემების მართვის სტანდარტიზაციისათვის შექმნილია საერთაშორისო სტანდარტი- ISO 50001 ("ენერგეტიკული მართვის სისტემები - მოთხოვნები გამოყენებისთვის"), რომელიც კომპანიას საშუალებას აძლევს ენერგეტიკული სისტემის თანმიმდევრული გაუმჯობესების მისაღწევად, ენერგოეფექტურობის, ენერგოუსაფრთხოების და ენერჯის მოხმარების მიმართ გამოიყენოს სისტემური მიდგომა [1]. ენერჯის დაზოგვის აუცილებლობის მნიშვნელოვანი მიზეზია აგრეთვე გარემოს ეკოლოგიური დაბინძურებისაგან დაცვა.

ISO 50001 სტანდარტის მეთოდოლოგია დაფუძნებულია ენერჯის მოხმარების პროცესის უწყვეტი გაუმჯობესების პრინციპზე, რომელიც შედგება შემდეგი წრიული ეტაპებისაგან: ცვლილების განზრახვა; ცვლილების დაგეგმვა; ცვლილების განხორციელება; ცვლილების შემოწმება და. შედეგად მიიღება ენერჯის დაზოგვა (თანხების დაზოგვა), სათბური გაზების (CO₂) შემცირება (კლიმატის დარბილება) [2].

სქართველოს მეტროპოლიტენი, რომელც ემსახურება მილიონობით მგზავრის კომფორტულ და უსაფრთხო გადაყვანას ფუნქციონირებს მრავალი ტექნოლოგიური სისტემის გამოყენებით, სადაც ენერჯის წყაროს ძირითადად წარმოადგენს ელექტროენერჯია. შესაბამისად საწარმოში მაღალია ენერჯის დაზოგვის პოტენციალი, რისი რეალიზებაც შესაძლებელია სხვადასხვა ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარებით.

ენერჯის დაზოგვისათვის საწარმოში წინასწარ ტარდება ენერგოაუდიტი, რომლის მიზანია მოხმარებული ენერჯის მონაცემების შეგროვება, მისი ანალიზი, ენერჯის გამოყენების ეფექტიურობის შეფასება, დაზოგვის შესაძლებლობების გამოვლენა, პრიორიტეტების დადგენა და ჩასატარებელი ღონისძიებების დასახვა.

1.2. ენერგოეფექტური ღონისძიებები

სხვადასხვა ტექნოლოგიების სწრაფი განვითარება სულ უფრო მაღალ შესაძლებლობებს ქმნის ენერჯის რაციონალურად გამოყენების მიმართულებით. შედეგად მიიღება როგორც მნიშვნელოვანი ეკონომიკური, ასევე, დადებითი ეკოლოგიური ეფექტი. მსხვილი საწარმოების (მაგალითად, თბილისის მეტროპოლიტენის, ბორჯომ-ბაკურიანის და საქართველოს რკინიგზის შემთხვევაში) ე.წ. „გამჭოლი“ ენერგოაუდიტის ჩატარების საფუძველზე შეიძლება აღინიშნოს რიგი ენერგოეფექტური ღონისძიებებისა, რომელთა განხორციელება ენერჯის დაზოგვის მაღალ მაჩვენებლებთანაა დაკავშირებული პროექტების მარტივი უკუგების 1-5 წლის ინტერვალში. ამ მხრივ აღსანიშნავია:

- ელექტრომატარებლების მოდერნიზაცია;
- წვევის აგრეგატების ოპტიმალური მართვა;

- სადრენაჟო წყალსაქაჩების და ესკალატორების მკვებავი ძაბვის სტაბილიზაცია ქვესადგურებში;
- ესკალატორების მართვის სქემების მოდერნიზაცია;
- განათების სისტემის მოდერნიზაცია;
- ფოლადის საკონტაქტო რელსის (მესამე რელსი) შეცვლა ბიმეტალური რელსით;
- რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია;
- დამატებითი შემომყვანების განხორციელება ჰიდროელექტრო-სადგურებიდან (“ორთაჭალჰესი” და “ზაჰესი”).

ელექტრომატარებლების მოდერნიზაცია ითვალისწინებს ელმატარებლების სიჩქარის რეგულირების მოძველებული და არაეფექტური რეზისტორულ-კონტაქტორული მეთოდის შეცვლას თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდით [3].

ენერჯის დაზოგვა ძირითადად გამოწვეულია გამშვები რეოსტატების გაუქმებით და შესაბამისად მათზე დანაკარგების შემცირებით. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მატარებლების დაძვრისა და სიჩქარეების ცვლის რეჟიმებში. ამიტომ წვევის წრედების მოდერნიზაცია განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მეტროს მატარებლებისათვის, რადგან მათ ხშირად უწევთ მოძრაობა ცვალებადი სიჩქარით [4-6].

წვევის აგრეგატების ოპტიმალური მართვა გულისხმობს ჩართული წვევის აგრეგატების რაოდენობის შესაბამისობაში მოყვანას რეალურ დატვირთვასთან. ამჟამად ეს პროცესი მიმდინარეობს წინასწარ შედგენილი გრაფიკის შესაბამისად. ღონისძიება ითვალისწინებს წვევის აგრეგატების საშუალო ტვირთის დადგენას და აღნიშნული პარამეტრის მიხედვით განისაზღვრება ჩართული წვევის აგრეგატების ოპტიმალური რაოდენობა. ტელემართვის სისტემის გამოყენებით აგრეგატების ჩართვა-გამორთვა მოხდება ავტომატურად სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფით.

წყალსაქაჩები და ესკალატორები ელენერჯის დიდ მომხმარებლებია, რომლებიც ქვესადგურებიდან დიდი მანძილითა დაშორებული. ამიტომ დაბალი ძაბვის დროს (შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში) ადგილი აქვს ელექტროენერჯის დიდ დანაკარგებს და მკვებავი კაბელების დენურ გადატვირთვას,

გართულებულია ძრავების გაშვების რეჟიმებიც. ძაბვის სტაბილიზაციით მიიღება ენერჯის მნიშვნელოვანი დაზოგვა [7].

ესკალატორების მართვის სქემების მოდერნიზაცია.

არსებული მართვის სქემები რელე-კონტაქტური აპარატურით მოძველებულია როგორც ტექნიკურად ასევე მორალურად. ამძრავებად გამოყენებულია რთული კონსტრუქციის ფაზურ-როტორიანი ასინქრონული ძრავები. მათი გაშვება ხდება გამშვები რეოსტატების დახმარებით. მაღალია რეაქტიული ენერჯის მოხმარება. დაბალია სიმძლავრის კოეფიციენტი (0,25-0,5). რეოსტატული გაშვება იწვევს დენურ გადატვირთვებს (4-5 ჯერ). მოდერნიზაცია გულისხმობს ესკალატორების მართვის რელე-კონტაქტორული აპარატურით მართვის ნაცვლად სიხშირული მართვის გამოყენებას.

განათების სისტემის მოდერნიზაცია. მეტროში განათებისათვის გამოყენებულია დაახლოებით 50 ათასი ნათურა ძირითადად ლუმინისენციური და მცირე რაოდენობით (2500) ვარვარა ნათურა. ღონისძიების მიხედვით შეიცვლება არსებული ნათურები LED ნათურებით.

რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია. მეტროპოლიტენი რეაქტიული ენერჯის დიდი მომხმარებელია, ამიტომ განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ელექტრული ენერჯის მოხმარებას მაღალი სიმძლავრის კოეფიციენტით. აღნიშნული სამუშაო რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის კუთხით, რაც ენერჯის დაზოგვის ეფექტური ღონისძიებაა [8].

ფოლადის საკონტაქტო რელსის შეცვლა ბიმეტალური რელსით.

დღეისათვის მეტროპოლიტენში საკონტაქტო რელსად რომლის სიგრძე აღემატება 69 კმ-ს გამოყენებულია მაღალი ხვედრითი ელექტრული წინააღობის მქონე ფოლადის რელსი, რომლის შეცვლა დაახლოებით სამჯერ ნაკლები ხვედრითი ელექტრული წინააღობის მქონე თანამედროვე ბიმეტალური რელსით დაზოგავს მნიშვნელოვანი რაოდენობის ელენერჯიას, ასევე შემცირდება რელსის საექსპლუატაციო ხარჯები და მნიშვნელოვანი ეკონომია მიიღწევა აგრეთვე მკვებავი ქვესადგურებიდან სპილენძის სადენების ხარჯის შემცირებით.

დამატებითი შემომყვანების განხორციელება ჰიდროელექტრო სადგურებიდან (“ორთაჭალჭესი” და “ზაჭესი”). მეტროპოლიტენში ელენერჯი-ის

დამატებითი შემომყვანებით ელექტროენერჯის დაზოგვასთან ერთად ამალდება ელენერჯის მომარაგების საიმედოობა და მოძრაობის უსაფრთხოება.

საწარმოებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების დაწვრილებითი ენერგო და ფინანსური აუდიტის საფუძველზე შესაძლებელი გახდება ენერგოეფ-ექტური ღონისძიებების რანჟირება პრიორიტეტების მიედვით.

ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება, თუნდაც მხოლოდ საპილოტო პროექტების დონეზე, გამოიწვევს ელენერჯის მნიშვნელოვან დაზოგვას, გააუმჯობესებს ეკოლოგიურ მდგომარეობას, აამალღებს მოძრაობის უსაფრთხოებას, პროექტის მოსარგებლეები იქნება მოსახლეობის ფართო მასა (გენდერული თანასწორობის პრინციპის დაცვით), პროექტების მიღწევების შენარჩუნება და განვითარება შესაძლებელი გახდება მიღებული გამოცდილებების საფუძველზე და ღონისძიებების ეტეპობრივად საწარმოს მთლიანი მასშტაბით გავრცელებისათვის გამოყენებული იქნება საპილოტო პროექტით ელენერჯის დაზოგვით მიღებული ფინანსები. საბოლოოდ კომპანიის ენერგეტიკული პოლიტიკა იქნება ეფექტური და განვითარებადი.

1.3. თბილისის მეტროპოლიტენში განხორციელებული წარმატებული ენერგოეფექტური პროექტების ზოგიერთი მაგალითი

კომპანიის (მეტროპოლიტენის საზღვრებში) წარმატებული ენერგოპოლიტიკის მაგალითებად შეიძლება დავასახელოთ წლების წინ განხორციელებული და დღესაც მოქმედი საპილოტო ენერგოდაზოგავი პროექტები, როგორებიცაა:

- სადგურ “პოლიტექნიკურზე” ავარიული განათების ქსელის მოდერნიზაციის პროექტი: დამონტაჟებულია მძლავრი ინვერტორი, რომელიც სააკუმულიატოროდან მიღებულ ძაბვას გარდაქმნის ცვლად ძაბვად (220ვ, 50 ჰვ) და კვებავს ლუმინისცენტურ ნათურებს. ამასთან ერთად შესრულდა დასამუხტი აგრეგატების მოდერნიზაციის სამუშაოები;
- სადგურ „წერეთელზე“ დამონტაჟდა წყალსაქაჩის და ვენტილატორების ძრავების მკვებავი ძაბვის მასტაბილიზირებელი მოწყობილობები;

- ნაწილობრივ შესრულებულია “ორთაჭალჰესიდან” შემომყვანების სამონტაჟო სამუშაოები: არსებობს ორი შემომყვანი ფ. #18 და ფ.#7, რომლებიც კვებავს წევის ორ ქვესადგურს.

კომპანიის ვიზუალური დათვალიერების საფუძველზე, რადგან მეტროპოლიტენში ძირითადი ელექტრომოწყობილობა-დანადგარები მოძველებულია, არსებობს ელენერგის დაზოგვის დიდი პოტენციალი.

გამოიკვეთა ელ.ენერგის მოხმარების შემცირების დამატებით უზარ-მაზარი პოტენციალი, რომლის დაწვრილებითი ენერგოაუდიტის ჩატარების საფუძველზე შესაძლებელი გახდება საპილოტო პროექტების შექმნა, ხოლო მათი განხორციელება მოძრაობის უსაფრთხოების გაუმჯობესებასთან ერთად განაპირობებს ელექტროენერგის მნიშვნელოვან დაზოგვას, შეამცირებს მგზავრთა გადაყვანის თვითღირებულებას და გამოიწვევს მგზავრთა ნაკადის გაზრდას და კლიმატის დარბილებას.

1.4. ელექტროტრანსპორტის მართვის სისტემა

მრავალ საწარმოში ელექტროტრანსპორტის მართვისათვის ჯერ კიდევ გამიყენება სამოციან წლებში დანერგილი როგორც, ტექნიკურად ასევე, მორალურად მოძველებული მართვის რელე-კონტაქტორული სისტემა. როგორც მოძრაობის უსაფრთხოების, საიმედოობის და ენერგომოხმარების მხრივ მართვის ასეთი სისტემა ვერ პასუხობს დღევანდელ მაღალ მოთხოვნებს და საჭიროებს მოდერნიზაციას.

ნახ.1.1-ზე ნაჩვენებია წევის ამძრავის რელე-კონტაქტორული სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა.

ნახ-1.-დან ჩანს, რომ პანტოგრაფიდან მიღებული ძაბვა ($U_{ქს}$) მოდებულია წევის ძრავებზე ($U_{ქრ}$) და მიმდევრობით ჩართულ რეზის-ტორზე ($U_{რეზ}$), შესაბამისად:

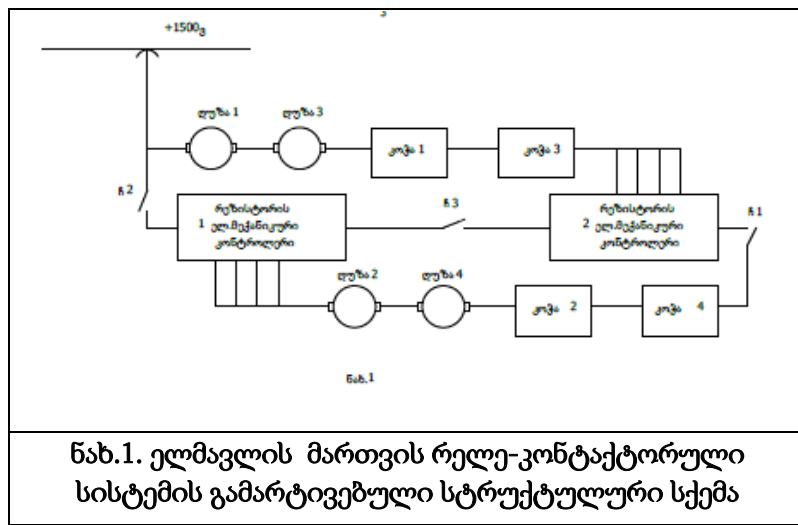
$$U_{ქს} = U_{რეზ} + U_{ქრ}$$

რაც შეეხება საერთო დენს, იგი განაწილდება წევის ძრავებს და რეზისტორს შორის ისე, რომ რეზისტორში გამავალი დენის ძალა ($I_{რგბ}$) ტოლია წევის ძრავების ჯამური ($I_1 + I_2$) დენის (წევის წრედი ჩართულია სერიეს-პარალელის მიხედვით).

$$I_{რგბ} = I_1 + I_2$$

წევის ძრავების წრედის მოხმარებული ჯამური სიმძლავრე (P_{Ψ}) კი ტოლია:

$$P_{\Psi} = P_{რგბ} + P_{ძრ}$$



ნახ.1. ელმაგლის მართვის რელე-კონტაქტორული სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა

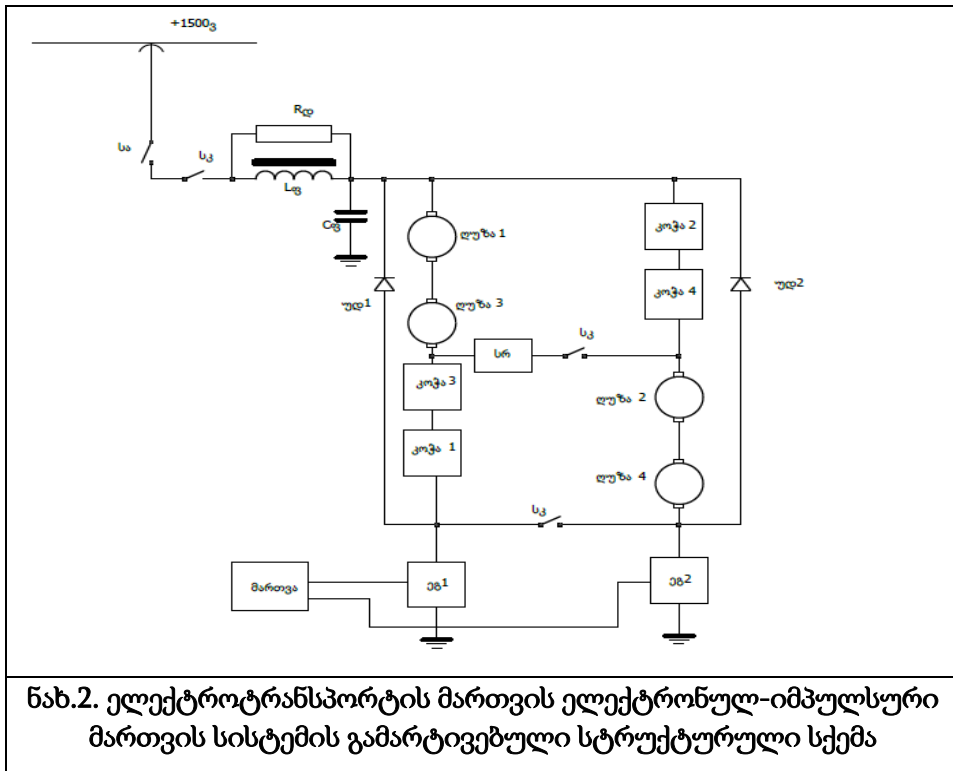
სადაც $P_{რგბ}$ -არის რეზისტორებზე გამოყოფილი სიმძლავრე, ხოლო $P_{ძრ}$ -წევის ძრავების მიერ მოხმარებული სიმძლავრე (სასარგებლო სიმძლავრე).

ნახ.2.-ზე ნაჩვენებია ელექტროტრანსპორტის მართვის ელექტრო-ნული-იმპულსური მართვის სისტემის გამარტივებული სტრუქტურული სქემა.

ნახ.2.-ზე ნაჩვენებ ელმატარებლის მართვის სისტემის მოდერნიზებულ სქემაში არ მონაწილეობს ე.წ. გამშვები რეზისტორები, რაც იმას ნიშნავს, რომ ელენერჯის დანაკარგები მნიშვნელოვნად არის შემცირებული, თუმცა არსებობს უმნიშვნელო დანაკარგები ძალოვან რეზისტორებზე, რომელიც შეიძლება უგულებლვყოთ. სამართლიანია ტოლობა $U_{ქს} \cdot I_{ქს} = U_{ძრ} \cdot I_{ძრ}$, მაშინ ქსელიდან წევის წრედებზე დენის ძალა ტოლია:

$$I_{ქს} = U_{ძრ} \cdot I_{ძრ} / U_{ქს}$$

მართვის რელე-კონტაქტორული სისტემასთან შედარებით ელექტრონულ-იმპულსური სქემის გამოყენებით მნიშვნელოვნად დაიზოგება მოხმარებული ელექტროენერგია და ამალდება მოძრაობის უსაფრთხოება და საიმედოობა. ასევე, მართვის სქემის მოდერნიზაცია ხელს შეუწყობს კლიმატის დარბილებას ელექტროენერგიის გენერაციის ადგილზე (თბოელექტროსადგური).



1.5. რეაქტიული ენერგიის კომპენსაცია

1.5.1. რეაქტიული ენერგიის წარმოშობის მიზეზები და მისი უარყოფითი გავლენა სიმძლავრის კოეფიციენტზე

მუდმივი დენის წრედებისაგან განსხვავებით ცვლადი დენის წრედებში განიხილება ე.წ. მყისა სიმძლავრე, რომელიც წარმოადგენს დროის მოცემულ მომენტში დენისა და ძაბვის სიდიდეების ნამრავლს.

აქტიური სიმძლავრის ცნების ქვეშ განიხილავენ მყისა სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობას, რომელიც ფაქტიურად წარმოადგენს სასარგებლოდ მოხმარებულ სიმძლავრეს. როცა ძაბვა და დენი იცვლება სინუსოიდური კანონით, ანუ

$$U = U_m \cdot \sin \omega \cdot t, \quad i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

მაშინ მყისა სიმძლავრე:

$$S = U \cdot I = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = U_m \cdot I_m \cdot (\sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)) = \\ U_m I_m \cdot \frac{1}{2} \cdot [\cos(\omega \cdot t - \omega \cdot t - \varphi) - \cos(2\omega \cdot t + \varphi)]$$

ფორმულის $\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$ და დენისა და ძაბვის

ეფექტურ ი მნიშვნელობების: $J = \frac{J_m}{\sqrt{2}}; U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ გათვალისწინებით, იქნება:

$$S = U \cdot I = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) - U \cdot I \cdot \cos(2\omega \cdot t + \varphi)$$

ამ ფორმულაში პირველი შესაკრები მუდმივი რიცხვია და დამოკიდებულია დენისა და ძაბვის ეფექტურ მნიშვნელობაზე და მათ შორის ძვრის კუთხის კოსინუსზე (დამყარებული პროცესების შემთხვევა).

რაც შეეხება მეორე შესაკრებს, მისი საშუალო მნიშვნელობა ნულის ტოლია და იგი იცვლება სინუსოიდური კანონით, ამთან მისი სიხშირე ორჯერ მეტია.

აქედან გამომდინარე მოთხოვნილი სიმძლავრის საშუალო მნიშვნელობა, რომელიც ცნობილია აქტიური სიმძლავრის სახით, გამოისახება ფორმულით

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

სიმძლავრის კოეფიციენტი ტოლია $K = \frac{P}{S} = \cos(\varphi)$ და, რაც უფრო ახლოსაა იგი 1-თან, მით უფრო უკეთესია ელწრედი სიმძლავრის მოხმარების თვალსაზრისით.

მეორე შესაკრების მდგენელის განხილვა მიმდევრობით შეერთებული K, L, C წრედის მაგალითზე, როცა წრედში დამყარებულია დენი $I = I_m \cdot \sin \omega t$ მაშინ ამ წრედისათვის მაგნიტური და ელექტრული ველის ენერჯიათა ჯამი იქნება:

$$W_{m\vartheta} = W_m + W_\vartheta = \frac{Li^2}{2} + \frac{CU_c^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2} \cdot \sin^2 \omega t + \frac{CI_m^2}{2\omega c^2} \cos^2 \omega t = \\ = \frac{LI^2}{2} (1 - \cos 2\omega t) + \left(\frac{I^2}{2\omega^2 c} (1 + \cos 2\omega t) \right) = \\ = \left(\frac{LI^2}{2} + \frac{I^2}{2\omega^2 c} \right) + \left(\frac{I^2}{2\omega^2 c} - \frac{LI^2}{2} \right) \cos 2\omega t$$

$$W_{m90} = \frac{LI^2}{2} + \frac{I^2}{2\omega^2 c} = \frac{LI^2}{2} + \frac{I^2}{\omega^2 c} = \frac{LI^2}{2} + \frac{\left(I \cdot \frac{1}{\omega c} \right)^2 \cdot c}{2} = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2}$$

სადაც, I და U დენისა და ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობებია. შესაბამისად $W_{m,90}$, არის ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა. ენერგიის ცვლადი ნაწილის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$W_{m,90} = \frac{4}{T} \int_{t=-T/8}^{t=+T/8} W_{m,9} dt = \frac{2}{\pi} \left(LI^2 - \frac{I^2}{\omega^2 c} \right) =$$

$$= \frac{2}{\pi \omega} I^2 (X_i - X_c) = \frac{2}{\pi \omega} UI \sin \varphi = \frac{2}{\pi \omega} Q$$

ამ ფორმულაში სიდიდე $Q = UI \sin \varphi$ არის რეაქტიული სიმძლავრე- ვოლტ ამპერ რეაქტიული (ვ ა რ). რეაქტიული სიმძლავრე პროპორციულია პერიოდის მეოთხედის განმავლობაში ენერგიის საშუალო მნიშვნელობის, რომელიც გადაიცემა ენერგიის წყაროს მიერ.

ერთი პერიოდი დროის განმავლობაში ეს ენერგია წყაროს მიერ, ორჯერ გადაეცემა დატვირთვის წრედს და ორჯერ უბრუნდება მას, ე.ი. რეაქტიული ენერგია არის ენერგიის ის ნაწილი, რმელიც იცვლება ელენერგიის წყაროსა და მიმღებს შორის ამიტომ იგი არ წარმოადგენს სასარგებლოდ მოხმარებულ ენერგიას.

სრული წარმოსახვითი სიმძლავრე S განისაზღვრება $S = U \cdot J$ ვ.ა (ვოლტამპერი). საბოლოოდ რაოდენობრივად კავშირი აქტიურ, რეაქტიულ და სრულ სიმძლავრეს შორის არის:

$$P^2 + Q^2 = S^2 \quad P = U \cdot J \cdot \cos \varphi, \quad Q = U \cdot J \cdot \sin \varphi, \quad K = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

$[P]$ = ვტ (ვატი); $[Q]$ = ვარ(ვოლტამპერრეაქტიული), $[S]$ = ვა (ვოლტამპერი).

1.5.2. რეაქტიული ენერგიის მოხმარების გამომწვევი მიზეზები და მისი უარყოფითი გავლენა ელენერგიის მოხმარებლებზე

სიმძლავრის კოეფიციენტის გამოსახულებიდან ჩანს, რომ, რაც მცირეა სიმძლავრის კოეფიციენტი (მუდმივი ძაბვის პირობებში) სიმძლავრის კოეფიციენტის გაზრდით იგივე სიმძლავრის მისაღებად საჭიროა უფრო მცირე სიდიდის დენი. მით უფრო მეტი სიდიდის დენის მოთხოვნაა საჭირო

ელენერგის წყაროდან (გენერატორი, ქვესადგური, და სხვა). რეაქტიული ენერჯის რხევა ქსელსა და დატვირთვას შორის წარმოებს შემაერთებელი კაბელების, საჭაერო ხაზების დახმარებით და იწვევს დანაკარგებს (გათბობის გამო). რეაქტიული ენერჯის მოხმარება განპირობებულია ელექტრო წრედში რეაქტიული ელემენტების (ინდუქციურობა L და C ტევადობა) არსებობა.იმის და მიხედვით თუ რომელი რეაქტიული ელემენტი ჭარბობს სიდიდით, გვაქვს: ელწრედები სადაც, რეაქტიულ ენერჯიას ინდუქციური ხასიათი აქვს, რაც ნიშნავს რომ დენი ჩამორჩება ძაბვას გარკვეული კუთხით, რაც ფაქტიურად ნიშნავს დროის მიხედვით მოდებული ძაბვა წინ უსწრებს დენს. ამ დროს $Q = U \cdot J \cdot \sin \varphi > 0$, და რეაქტიული ენერჯია დადებითია.

ტევადური დატვირთვის შემთხვევასი კი პირიქით $\varphi < 0$, $Q = U \cdot J \cdot \sin \varphi < 0$ და რეაქტიული სიმძლავრე უარყოფითია. პრაქტიკულად ყველა საწარმოში, სადაც გვაქვს ტრანსფორმატორები,ძრავები, გრძელი საკაბელო და საჭაერო ხაზები დატვირთვას ინდუქციური ხასიათი აქვს და უქმ სვლაზე გააჩნიათ მცირე სიმძლავრის კოეფიციენტი. ასე, მაგალითად მეტროპოლიტენის და რკინიგზის ქვესადგურებში სიმძლავრის კოეფიციენტი $K = \frac{0,2}{0,4}$ ფარგლებში, რაც იმას ნიშნავს, რომ მცირეა სიმძლავრის აქტიური მოხმარება რეაქტიულთან შედარებით უქმი სვლის რეჟიმიდან დატვირთვების რეჟიმში მკვეთრი გადასვლის დროს (ელმავალი ან ელექტრომატარებელი შედის წევის რეჟიმში). ინდუქტიურობის გამო ადგილი ექნება ძაბვის ვარდნებს, ხოლო პირიქით შემთხვევებში -გადაძაბვებს.

აღნიშნული ძაბვის რყევების გამომწვევი დამატებით მიზეზებს წარმოადგენს ინდუქციურობის არსებობა ანუ რეაქტიული ენერჯის მოხმარება აღნიშნულ წრედებში. გარდა ძაბვის რყევებისა ადგილი აქვს, ქვესადგურის დადგმული სიმძლავრის არაეფექტურ გამოყენებას. ასე მაგალითად, თუ ქვესადგურის დადგმული სიმძლავრეა $S=1$ მგვა და $K=0.5$, მაშინ მაქსიმალური აქტიური სიმძლავრე ტოლი იქნება $P = S \cdot \cos \varphi = 1 \cdot 0.5 = 500$ კვა. ე.ი. ვღებულობთ სიმძლავრის ნახევარს [9].

გარდა აღნიშნულისა შეიძლება დამახინჯდეს დენისა და ძაბვის ფორმები, რაც გამოიწვევს მაღალსიხშირული ჰარმონიკების გაჩენას დატვირთვის წრედებში, რომლებიც განაპირობებენ ძრავების და ტრანსფორმატორების

გაუთვალისწინებელ გადახურებას, ამავე დროს ხელს უშლიან სიგნალიზაციის ელექტრონული მოწყობილობების გამართულ მუშაობას და შედეგად მთლიანი მოწოდებლობა მუშაობს ხარვეზებით. გარდა აღნიშნულისა, რეაქტიული ენერჯის რხევა ქსელსა და დატვირთვას შორის იწვევს ელენერჯის გაუთვალისწინებელ კარგვებს, რაც თავის მხრივ განპირობებულია შემაერთებელი კაბელებისა და საჰაერო ხაზების დამატებით გახურებასთან დიდი დენების არსებობის გამო.

1.5.3. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მეთოდები

დადგენილია, რომ მომხმარებლების უმრავლესობა მოიხმარს ინდუქციურ რეაქტიულ დენს. ამიტომ კომპენსაციისათვის საჭიროა ტევადური ხასიათის მაკორექტირებელი მოწყობილობების გამოყენება. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია მნიშვნელოვნად ამცირებს დანაკარგებს შემაერთებელ სადენებში. განვიხილოთ მარტივი მაგალითი: ვთქვათ, ენერჯის აქტიური მდგენელია 4 ერთეული, რეაქტიული მდგენელი 3 ერთეული, მაშინ სრული ენერჯია 5 ერთეულის ტოლი იქნება. $4^2+3^2=5^2$. თუ მოხდება რეაქტიული ენერჯის სრული კომპენსაცია, მაშინ აქტიური და სრული ენერჯი აღმოჩნდება ერთმანეთის ტოლი. იმ შემთხვევაში როცა არ ხდება კომპენსაცია მაშინ მკვებავი ქსელი დაიტვირთება 25 %-ით მეტად (რადგან 4 ერთეულის ნაცვლად მოთხოვნილია 5 ერთეული) და შესაბამისად დანაკარგებიც გაიზრდება 56 %-ით ($4^2=16$ ერთეულის ნაცვლად იქნება $5^2=25$ ერთეული), ეს იმას ნიშნავს, რომ ენერგოეფექტურობის თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციას [10].

ტევადური დენის მოთხოვნა შესაძლებელია სინქრონული კომპენსატორების და ელძრავების გამოყენებით, ასევე, შესაძლებელია კონდესატორების ბატარეის გამოყენებითაც.

რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციისათვის შესაძლებელია დაბალი ძაბვის ნებისმიერი სიმძლავრის სინქრონული ძრავების გამოყენება. ასევე, შესაძლებელია მაღალი ძაბვის სინქრონული ძრავების გამოყენება 1600კვტ სიმძლავრემდე.

აღსანიშნავია, რომ დღეისათვის რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციისათვის უფრო ფართო გავრცელება ჰპოვა კონდენსატორულმა სისტემებმა შემდეგი უპირატესობების გამო:

- ✓ კონდენსატორის კომპენსატორებად მუშაობის დროს, 1 კვარ საკო-მპენსაციო სიმძლავრის შემთხვევაში, მასზე ხვედრითი დანაკარგები შეადგენს 0,5ვტ-ს, რაც ნიშნავს -დანაკარგები კონდენსატორების ბატარეაზე არ აღემატება კომპენსატორების სიმძლავრის 0,05%-ს, მაშინ, როცა ეს სიდიდე სინქრონული კომპენსატორებისათვის აღწევს 10%-დე.
- ✓ კონდენსატორული კომპენსატორი არ შეიცავს მბრუნავ ნაწილებს სინქრონული კომპენსატორებისაგან განსხვავებით და შესაბამისად არ საჭიროებენ დამატებით მომსახურებას;
- ✓ სინქრონულ კომპენსატორთან შედარებით კონდენსატორული კომპენსატორის სამონტაჟო სამუშაოები მარტივია;
- ✓ კონდენსატორულ კომპენსატორს აქვს სიმძლავრის დიდი დიაპაზონი და პრაქტიკულად ნებისმიერ სიმძლავრეზე შესაძლებელია მისი გამოყენება, როგორც დაბალი, ასევე მაღალი ძაბვის გამანაწილებელ მოწყობილობაზე;
- ✓ კონდენსატორული კომპენსაციის მეთოდის დანერგვისათვის შედარებით დაბალი კაპიტალდაზიანდება საჭირო და პრაქტიკულად პროექტის მარტივი უკუგება 1-2 წლის ფარგლებშია.

გარდა აღნიშნულისა, კონდენსატორულ კომპენსატორებში შესაძლებელია ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოება, კერძოდ შესაძლებელია ისეთი სისტემების აგება, სადაც გამოყენებული იქნება ფილტრაციის ფუნქცია, რაც იმას ნიშნავს, რომ ძაბვის ფორმის დამახინჯების შემთხვევაში გაიფილტრება მაღალსიხშირული ჰარმონიკები ე.ი. ქსელი გასუფთავდება მაღალსიხშირული ჰარმონიკებისაგან, რაც აუცილებელია ქსელში ჩართული მოწყობილობების ნორმალური მუშაობისათვის.

კონდენსატორული კომპენსატორების გამოყენებით გავრცელებულია რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის შემდეგი მეთოდები:

- ✓ ინდივიდუალური (არარეგულირებადი) კომპენსაცია. როდესაც კომპენსაციის მოწყობილობა (კმ) ჩაერთვება უშუალოდ

ელმომხმარებელთან, მაგალითად ძრავთან. გამოყენება დაბალ სიმძლავრეების (20კვტ-დე) შემთხვევებში;

- ✓ ჯგუფური კომპენსაციის მეთოდი. კომპენსაციის მოწყობილობა (კმ) ჩაირთვება რამოდენიმე ელტექნიკური მოწყობილობის პარალელურად, მეთოდი ასევე, არალეგურირებადია (დატვირთვის წრედებთან მიერთებულია მუდმივი პარამეტრის კმ) და რადგან რეაქტიული ენერჯის მოხმარება დამოკიდებულია დატვირთვის სიდიდეზე ამიტომ სხვადასხვა სიმძლავრეებზე ადგილი ექნება არასრულყოფილ კომპენსაციას;
- ✓ ცენტრალიზებული კომპენსაცია (როგორც წესი რეგულირებადი). კმ ჩაირთვება ქვესადგურის ან ელენერჯის წყაროს გამანაწილებელ მოწყობილობაზე დაბალი ან მაღალი ძაბვის მხარეს. ორივე შემთხვევაში სისტემა შეიცავს კმ-ის ძალოვან ნაწილს, კომპენსატორების ბატარეას, მაკომუტირებელ მოწყობილობას, გამზომ მოწყობილობებს და ავტომატური მართვის ბლოკს. გამზომი მოწყობილობების მიერ ინფორმაცია მიეწოდება ავტომატური მართვის ბლოკს, სადაც განისაზღვრება დროის მოცემულ მომენტში სიმძლავრის კოეფიციენტი და კმ-ში შეირჩევა შესაბამისი ტევადობა, რომლის ჩართვაც დატვირთვის წრედში მოხდება სათანადო ბრძანების სიგნალის საფუძველზე., რომელსაც უზრუნველყოფს ავტომატური მართვის ბლოკი.

კონდესატორების ბატარეის ჩართვა რეგულირების პროცესში ამა თუ იმ საფეხურზე შეიძლება განხორციელდეს კონდაქტორების ან ტირისტორების სასუალებით. პირველ შემთხვევაში სისტემის ეს ნაწილი ინერციულია. გარდა ამისა, შეუძლებელია კონდესატორების ჩართვა სასურველ -საჭირო დროს , მაშინ როცა კონდესატორში დენი არ გაივლის კომუტაციის მომენტში. მეორე შემთხვევასი კი კომუტაციის მოწყობილობა პრაქტიკულად ინერციის გარეშეა და შესაძლებელია კონდესატორების ჩართვა დროის სასურველ მომენტებში.

1.5.4. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის ინოვაციური ტექნოლოგიები

რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის თანამედროვე სისტემების გამოყენებით ხორციელდება რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია $K= 0.95-0.97$

ფარგლებში (გადაკომპესირების თავიდან ასაცილებლად -გამორიცხოს მეტი ტევადობის ჩართვა ვიდრე საჭიროა) [11]. გაზომვის პროცესი მიმდინარეობს პრაქტიკულად უწყვეტად. წინასწარ სისტემის დამზადებამდე ხდება ობიექტზე ჩანაწერების გაკეთება რეაქტიული ენერჯის მოხმარების შესახებ, რის მიხედვითაც ირჩევენ კონდესატორის ბატარეის საფეხურების რაოდენობას (მზადდება მოდულების სახით). კომპენსატორების მუშაობის ყოველ საფეხურზე ჩაირთვება მსგავსი კონფიგურაციის მოდულები. ძალოვანი მოდულები მაღალი ხარისხისაა და აღჭურვილია მართვის და სიგნალიზაციის თანამედროვე სისტემებით. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის თანამედროვე სისტემაში გამოყენებულია კომპანია “ELSPEC” -ის მიერ შექმნილი „ექვალიზერი“ . აღნიშნული სისტემა გამოიყენება ელენერჯის პარამეტრების ხარისხის გაუმჯობესებისათვის.

„ექვალიზერი“-ს კონტროლერი იყენებს ფურიეს სწრაფ გარდაქმნას, რისთვისაც სამივე ფაზაში შართული გადამწოდებიდან მიღებული ინფორმაციების საფუძველზე თითოეული ციკლის (პერიოდის) განმავლობაში ახდენს მათ შეფასებას და თხევადკრისტალიან, დიდ გრაფიკულ ეკრანზე გამოაქვს ინფორმაცია ან გადასცემს ამ ინფორმაციას პროგრამული უზრუნველყოფის კვანძს. თავის მხრივ პროგრამული უზრუნველყოფის კვანძი განახორციელებს სათანადო სისტემურ სტატუსს, გაზოვების შედეგებს და მონაცემებს ასახავს რეალური დროის მიხედვით.

აღნიშნულ სისტემაში ელექტრონული კომუნიკაციის და სწრაფი გაზომვების საფუძველზე განისაზღვრება დროის მოცემულ მომენტში რეაქტიული ენერჯის მოხმარება და რა ტევადობაა საჭირო მისი კომპენსაციისათვის და საკარისად სწრაფად ($0,25 \div 1$) ციკლის შესაბამისი დროის განმავლობაში ჩაირთვება კომპენსაციის ძალოვანი მოდული. ასევე, სისტემის მიერ კონტროლდება , მაღალსიხშირული ჰარმონიკების გავლენა ქსელზე და მისი ლიკვიდაციის შესაძლებლობები.

ამრიგად თანამედროვე ტექნოლოგიებით აღჭურვილი სიტემა „ექვალიზერი“ წარმოადგენს მნიშვნელოვნად სრულყოფილ სისტემას, სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესების მიზნით, რადგანაც ამ კოეფიციენტის სწრაფი კორექტირება ფაქტიურად ნიშნავს მის უწყვეტ კონტროლს. იგი ძირეულად

განსხვავდება ადრინდელი სისტემისაგან, სადაც ფაქტიურად წარმოებს რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია საშუალო დატვირთვის მიხედვით, განსხვავებულ პირობებში კი ადგილი აქვს არასრულყოფილ კომპენსაციას.

1.6. თბილისის მეტროპოლიტენის საგვირაბო ესკალატორების მართვისა და კონტროლის სისტემების მოდერნიზაციის ზოგადი დახასიათება

თბილისის მეტროპოლიტენში, 21 საესკალატორო სადგურზე ექსპლუატაციაშია ექვსი ტიპის 62 ესკალატორი. ამათგან გარდა სამი ერთელი თანამედროვე «Thyssenkrupp Fahrtreppen GmbH»-ის Victoria Tube FT 955“ ესკალატორებისა ესკალატორების ელ. მართვა ხორციელდება რელე-კონტაქტორული სისტემით. [12].

თბილისის მეტროპოლიტენში არსებული ძველი საბჭოთა ტიპის საგვირაბო ესკალატორები განსხვავდება, როგორც აწევის სიმაღლით, ასევე ელ.დაცვის მოწყობილობათა რაოდენობით. მათი მექანიკური ნაწილების შეცვლა ხდება კაპიტალური შეკეთების ფარგლებში, რომელიც ხორციელდება 10-12 წელიწადში ერთხელ. რაც შეეხება ელ.მართვისა და ბლოკირების მოწყობილობებს, მათი შეცვლა/მოდერნიზაცია არ განხორციელებულა.

დღეისათვის, ელექტრო და ბლოკირების სისტემის გაყვანილობა მოძველებულია, რაც ხშირად იწვევს შეფერხებებს ესკალატორების ექსპლუატაციაში. ესკალატორების სამანქანოში რელეები და კონტაქტორები მოძველებულია და მუდმივი დენის რელეები ვერ უზრუნველყოფენ საჭირო პარამეტრების შენარჩუნებას.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ასევე მგზავრთა უსაფრთხო გადაყვანისა და მომსახურების ხარისხის გაზრდის უზრუნველსაყოფად, საჭიროა ესკალატორების მართვის და კონტროლის მოწყობილობების შეცვლა თანამედროვე ტიპის მოწყობილობებით, რაც მიზნად ისახავს რელე-კონტაქტორული მოწყობილობების ჩანაცვლებას, მართვის კარადების გაბარიტების შემცირების, რეაქტიული ენერჯის მაქსიმალურად შემცირებას, მოხმარებული სიმძლავრის კოეფიციენტის გაზრდას, ელ.ძრავების

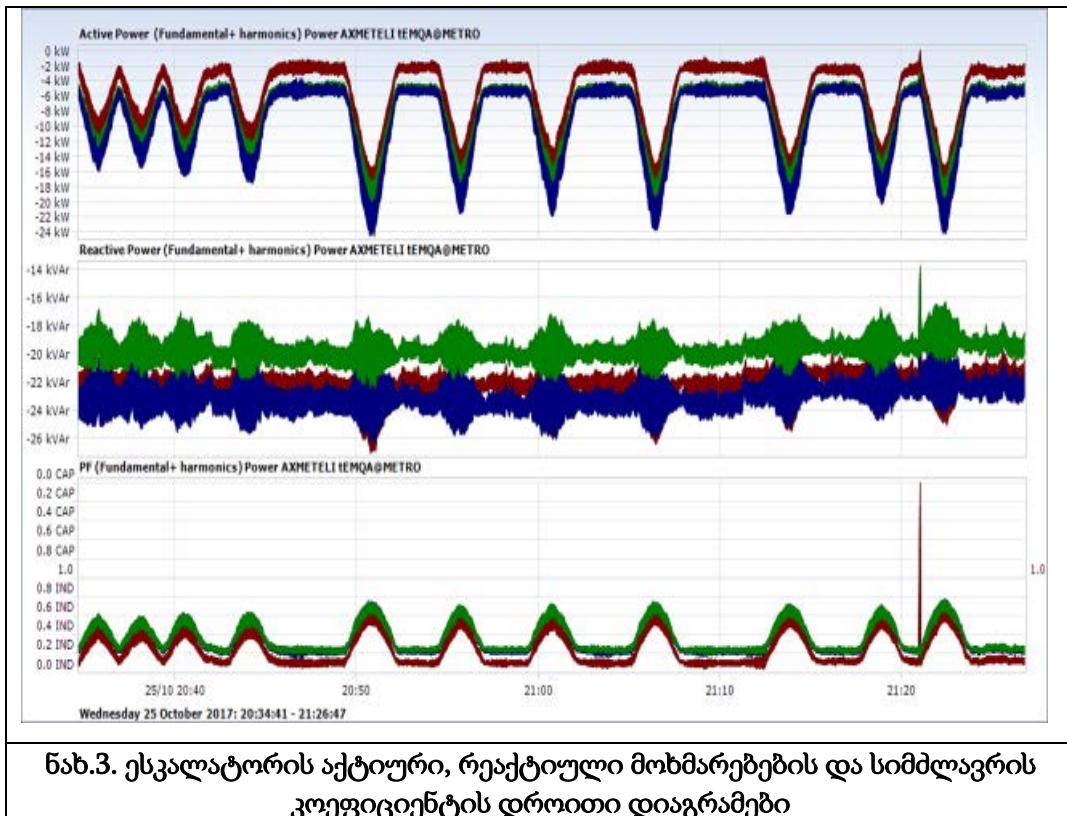
გამართული/შეუფერხებელი მუშაობის უზრუნველყოფას და სხვა. საბჭოთა ტიპის ყველა საგვირაბო ესკალატორის მოდერნიზაციისათვის საჭირო შემდეგი ღონისძიებების ჩატარება:

- შესაცვლელია ელექტრო და ბლოკირების სისტემის გაყვანილობა (მეორადი კომუტაციის) მთლიანად შეცვლა;
- მართვის ფარიდან მთავარ ელ.ძრავებამდე მიმავალი ძალოვანი ალუმინის კაბელების შეცვლა შესაბამისი კვეთის სპილენძის კაბელებით;
- ელ.მართვის კარადების შეცვლა ესკალატორების სამანქანო განყოფილებაში;
- ესკალატორების მართვის პულტების შეცვლა მეტროსადგურების ზედა და ქვედა ვესტიბიულებში;
- სიხშირულ გარდამქმნელთან თავსებადობის მისაღწევად, ესკალატორების ძალოვანი ფაზურ-როტორიანი ძრავების მოდერნიზაცია/გადაკეთება ან ჩანაცვლება მოკლედ-შერთული ძრავებით;
- ძალოვანი სიხშირული გარდამქმნელების მონტაჟი, ელ.ძრავების მდორე გაშვებისა და ელ.ენერგიის დაზოგვის უზრუნველსაყოფად;
- ესკალატორების მართვის მოდულის (სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფის) შემუშავება და ინსტალაცია;
- ბრუნვისა და აჩქარების (საბჭოური/მომკველბული ტიპის) რელეს შეცვლა თანამედროვე ტიპის მოწყობილობით;
- ესკალატორის მუშაობაში წარმოქმნილი უწყესივრობებისა და გაჩერების მიზეზების (შეცდომების) შესახებ ინფორმაციის ასახვის, ასევე დამახსოვრების ფუნქციის მქონე მონიტორების ინსტალაცია;
- მართვის კარადის აღჭურვა დისტანციური მართვის მოწყობილობებით, შემდგომში დისპეტჩერული მართვის უზრუნველსაყოფად.

ესკალატორების ელექტრული დაცვის მოწყობილობები (ბლოკ-კონტაქტები) ესკალატორების ტიპების მიხედვით, რომლებიც უნდა შეიცვალოს თანამედროვე ტიპის ანალოგიური მოწყობილობებით.

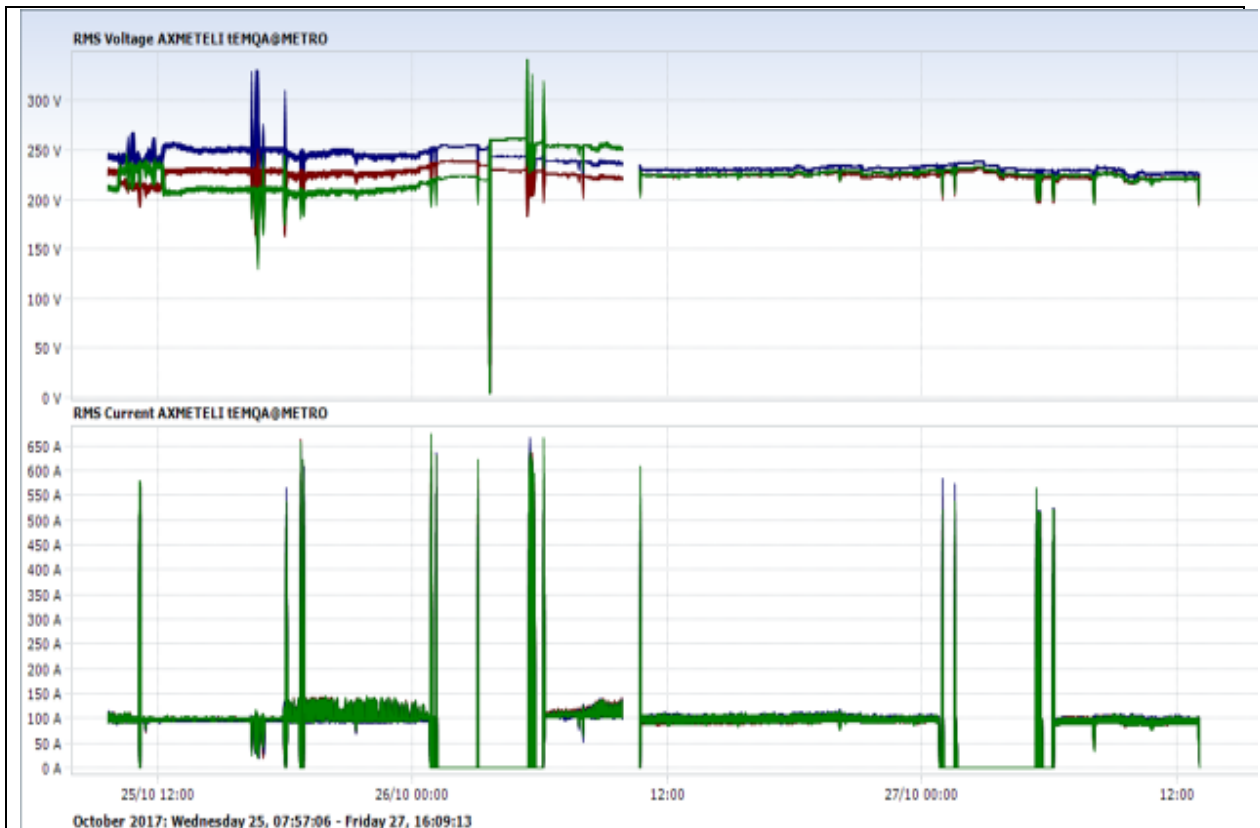
1.6.1. დროითი დიაგრამები (მეტროსადგური „ახმეტელის თეატრი“ №2 ესკალატორი)

ესკალატორების მუშაობის რეჟიმების შესწავლა ჩატარებულია G4400 ტიპის ელექტრონული ანალიზატორის გამოყენებით. ნახ.3-5 მოცემულია აქტიური და რეაქტიული მოხმარებების, სიმძლავრის კოეფიციენტის, ძაბვის და დენის ეფექტური მნიშვნელობების, აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრეების მოხმარებების დროითი დიაგრამები.



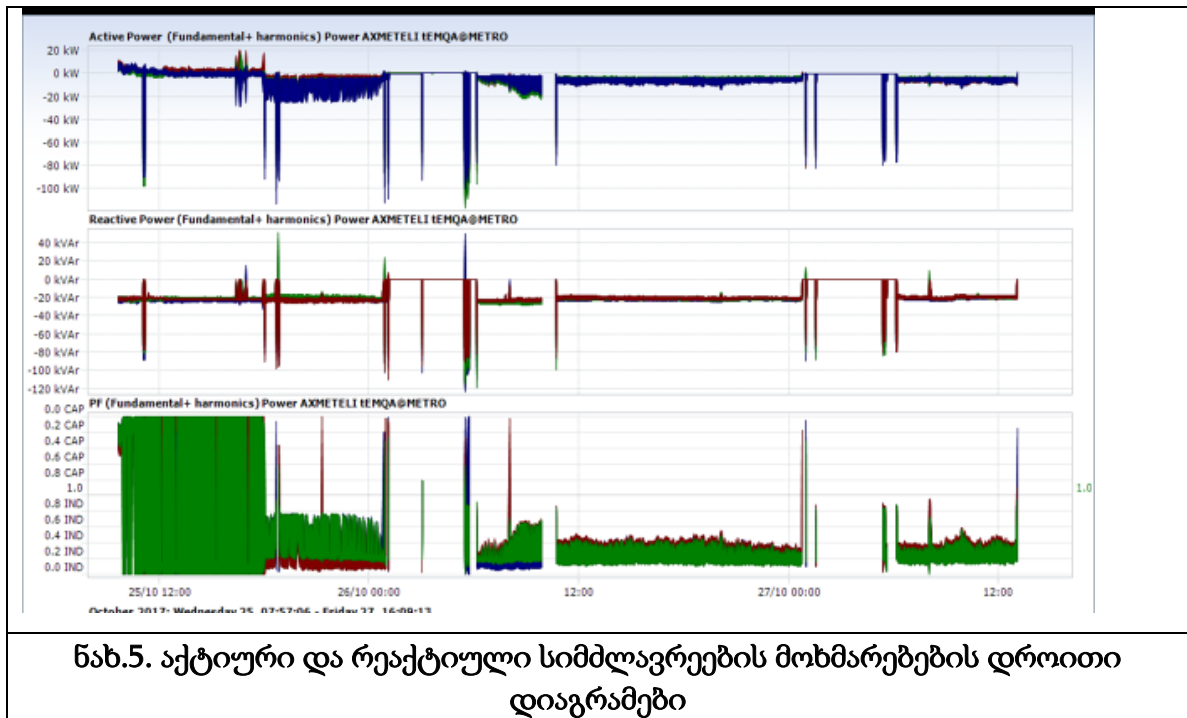
ნახ.3-ის პირველ დიაგრამაზე ნაჩვენებია ესკალატორის აქტიური მოხმარება (კვტ) ფაზების მიხედვით. საიდანაც ჩანს, რომ მოხმარებული სიმძლავრე იცვლება დატვირთვის ხარისხის მიხედვით და მაქსიმალური სიმძლავრეა 24 კვტ. მე-2 დიაგრამაზე ნაჩვენებია რეაქტიული მოხმარება (კვარ) რომლის მაქსიმალური სიდიდეც აღწევს (26-28) კილოვოლტამპერ რეაქტიულს. მე-3 დიაგრამაზე ნაჩვენებია, სიმძლავრის კოეფიციენტის ცვლილება დროის მიხედვით, (სიმძლავრის ფაქტორი PF). საიდანაც ჩანს, რომ იგი იცვლება დიდ ფარგლებში (იდეალური მნიშვნელობის 1-ის ტოლია) 0.01-დან 0.75-მდე, რაც არასასურველია იწვევს ენერჯის დიდ დანაკარგებს და საჭიროებს კორექტირებას.

ნახ.4-ის პირველ დიაგრამაზე ნაჩვენებია ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობის ცვლილება ფაზების მიხედვით საიდანაც ჩანს, რომ ადგილი აქვს გადამაბეზებს და არასტაბილური სიდიდის ძაბვის მოქმედება, ზოგიერთ რეჟიმში აღწევს 350 ვოლტამდე (ფაზური) და ვარდება 140 ვოლტამდე. მე-2 დიაგრამაზე ნაჩვენებია დენის ეფექტური მნიშვნელობის ცვლილება სხვადასხვა დროის მომენტებში, ამ დიაგრამიდან ჩანს, რომ გაშვების რეჟიმებში, დენი ფაზაში აღწევს 600-650 ამპერს.



ნახ.4. ფაზების მიხედვით ძაბვის და დენის ეფექტური მნიშვნელობების დროითი დიაგრამები

ნახ.5- ის პირველ დიაგრამაზე ნაჩვენებია აქტიური სიმძლავრის ცვლილება დროის მიხედვით, საიდანაც ჩანს, რომ აქტიური მოხმარება ზოგიერთ რეჟიმებში აღწევს 100-120 კვტ-ს ცალკეულ ფაზაში. მე-2 დიაგრამაზე ნაჩვენებია რეაქტიული მოხმარება(კვარ) სხვადასხვა რეჟიმებში საიდანაც ჩანს, რომ მისი საშუალო მნიშვნელობა 20 კვარ-ის ტოლია.



1.7. ენერგოაუდიტის ჩატარების და მონაცემების ანალიზის მეთოდები

ელექტროტრანსპორტის მიერ მოხმარებული ენერგიის ანალიზის მიზნით ენერგოაუდიტის ჩატარების დროს საჭიროა ენერგიის მოხმარების დაკავშირება გადაყვანილ მგზავრების რაოდენობასთან. ამისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ საწარმოს არსებული მონაცემებით (ბუღალტერიის მონაცემებით მრიცხველებით დაფიქსირებული ენერგიის ყოველთვიური მოხმარების საფასური, ელექტროენერგიის ტარიფი, გადაყვანილი მგზავრების შესაბამისი რაოდენობა). ზოგიერთ შემთხვევებში საჭირო ხდება უშუალოდ ადგილზე დამატებითი გაზომვების ჩატარება. განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა შეგროვებული ნედლი მონაცემების სანდოობის სკითხს [13-14].

ანალიზი ტარდება კორელაციურ-რეგრესიული მეთოდის გამოყენებით. აიგება საბაზისო წლისათვის ენერგიის თვიური მოხმარების (დამოკიდებული ცვლადი) წერტილოვანი გრაფიკი გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობის (დამოუკიდებელი ცვლადი-პრედიქტორი) მიხედვით. განისაზღვრება რეგრესიის განტოლების (წრფივი დამოკიდებულების) კუთხური კოეფიციენტი და თავისუფალი წევრის მნიშვნელობები უმცირესი კვადრატების მეთოდის

გამოყენებით. მოხმარებულ ენერჯისა და გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობას შორის კორელაციის კოეფიციენტი განსაზღვრავს ტრენდის ხაზის შეთახმების ხარისხს ფაქტიურ- ნედლ მონაცემებთან.

საბაზისო მონაცემებით შედგენილი ენერჯის ხარჯვის მოდელის გამოყენებით ტარდება მონიტორინგის წლის ენერჯის მოხმარების ანალიზი. დგინდება მონიტორინგის წელს ფაქტიური კუმულაციური დანაზოგის მნიშვნელობა, რაც შესაძლებელია სამიზნე დანაზოგისაგან (სავარაუდო დანაზოგი) აღმოჩნდეს რამდენადმე განსხვავებული. განსხვავება შეიძლება გაანგარიშებების ცდომილებებთან იყოს დაკავშირებული [15].

თავი 2. ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომ-ბაკურიანის“ მატარებლის ელმავლის ენერგოეფექტური ინოვაციური ტექნოლოგიები

2.1. ენერგოეფექტური ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია

“ბორჯომ-ბაკურიანის” ვიწროლიანდაგიანი მატარებელი რამდენიმე ათეული წელია ემსახურება მგზავრების გადაყვანას ბორჯომიდან საკურორტო ზონაში (ცემი, ლიკანი, წაღვერი, ბაკურიანი) ადრეულ წლებში ჯერ ორთქლმავლის, ხოლო შემდეგ წლებში ჩეხური წარმოების ელმავლის გამოყენებით [16].



1966 წლის ელმავლის მოდელი, როგორც წვევის აგრეგატების, ასევე მართვის და მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემებით მოძველებულია და ხასიათდება ელექტროენერჯის მაღალი მოხმარებით.

ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და

ინსტალაცია განხორციელდა ვიწროლიანდაგიანი "ბორჯომ-ბაკურიანი"-ს მატარებლის ელმავლის სიჩქარის, დენის ძალის და ძაბვის შემდეგი ძირითადი საწყისი მონაცემების პირობებში: კვების ძაბვის სიდიდე- მუდმივი ... 5 ვ; სიჩქარის ცვლილების დიაპაზონი..0 -30კმ/სთ; ძაბვის ცვლილების დიაპაზონი ... 0-200ვ; დენის ძალის ცვლილების დიაპაზონი ... 0-30ა; გადამწოდებიდან მიღებული ანალოგური სიგნალის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა 3ვ.

ანათვლების აღება განხორციელდა სიჩქარის, ძაბვის, დენის ძალის შესაბამისი ანალოგური სიგნალებიდან 1 მლ წმ-ში ერთხელ.

დამუშავდა შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა, ჩაწერილი და დამახსოვრებული სიგნალებიდან, შემდეგი ინფორმაციების მიღებისთვის: კოორდინატის, სიჩქარის, მოხმარებული დენის და ქსელის ძაბვის დროზე დამოკიდებულებების შესახებ[17].

განისაზღვრა იგივე სიდიეების დამოკიდებულება კოორდინატის მიხედვით; აღნიშნულის საშუალებას იძლევა შექმნილი იმიტატორი, სადაც ხელოვნურად შეიყვანება დენის ძალის, ძაბვის და სიჩქარის შესაბამისი სიგნალები [18].

მომზადების უსაფრთხოების მიზნით განხორციელებულია ვიდეო თვალთვალის ოთხარხიანი სისტემა. კვების ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობა შეადგენს AC220V ან DC12V. ვიდეოთვალთვალის არხების ფუნქციონალური დანიშნულებაა: I, II, III და IV არხი ემსახურება ელმავლის „წინა“ და „უკანა“ უბნების ხედვას და ელმავალზე მიბმული ვაგონების „მარცხენა“ და „მარჯვენა“ უბნის ხედვას შესაბამისად.

ვიდეოთვალთვალის სისტემა განხორციელებულია სერიული წარმოების ბლოკური შესრულებით რომლის ძირითადი ბლოკი განთავსებულია მემანქანის კაბინაში, ხოლო ვიდეო კამერები სპეციალურად გამოყოფილ ადგილებში. ელმავლის: „წინ“, „უკან“, „მარჯვნივ“, „მარცხნივ“; ვიდეოთვალთვალის სისტემა უზრუნველყოფს, მონიტორის ეკრანზე ყველა უბნის შესაბამისი გამოსახულებების ხარისხიან ჩვენებას, გააჩნია ერთი ან რამდენიმე გამოსახულების ჩვენების შესაძლებლობები.

ვიდეოთვალთვალის სისტემა ითვალისწინებს მიღებული ინფორმაციის დამახსოვრებას ერთი რეისის შესაბამისი დროის ფარგლებში (5სთ).

2.1.1. ძირითადი პარამეტრების სიგნალების კონტროლი და მონიტორის ეკრანზე ინფორმაცია

ელმავალი მოდერნიზაციის შემდეგ აღჭურვილია ანალოგური და ციფრული სიგნალების კონტროლის ინდიკაციის და მახსოვრობის მოწყობილობებით, რომელთა ფუნქციონალური დანიშნულებაა: ელმავლის ყველა სიგნალის დონის კონტროლი და შესაბამისი ინფორმაციის გამოტანა მონიტორის ეკრანზე რომლის სტრუქტურაში შედის მინიკომპიუტერი, სიგნალების მიმღები და პროცესორის პლატა.



ელმავალი მოდერნიზაციის შემდეგ

კონტროლდება შემდეგი პარამეტრები: ქსელის ძაბვა; საერთო მოხმარებული შესასვლელი დენი; წვევის ძრავების დენები, ურიკა-1 და ურიკა-2; დამხმარე მანქანების დენები სულ 5 ერთეული; გათბობის სისტემის დენები- ელმავლის კაბინის გათბობა და ვაგონების გათბობა; საერთო გამოსასვლელი დენი; ურიკების წვევის ძრავებიდან მიღებული ინფორმაცია, ძაბვის შესახებ, მოცურების შეფასებისთვის - ორი ერთეული. დამხმარე მანქანებისა და გათბობის სისტემის კონტაქტორებზე მიწოდებული დაბალი ძაბვის (48V) კონტროლი - სულ 7 ერთეული;

მონიტორის ეკრანზე გამოტანილი ინფორმაცია:

„ელმავლის ურიკა -1 და ურიკა -2-ის წვევის ძრავების დენები“, ასევე რეჟიმები „წვევის რეჟიმი“ და „დამუხრუჭების რეჟიმი“; სიგნალი- დამხმარე მანქანები და გათბობის კონტაქტორები „ჩართულია და არის ნორმალური მდგომარეობა“;

რომელიმე დამხმარე მანქანა „გამოირთო ავარიულად და აღინიშნება გამორთვის მიზეზი „გადატვირთვა“; „მოკლე მითითებანი ავარიული რეჟიმის შესახებ და მოძრაობის გაგრძელების რეკომენდაციებზე“. საჭიროების შემთხვევაში „თითოეული მართვის და კონტროლის პლატების სქემები“, მოკლე „საექსპლუატაციო ინსტრუქციები“, „ძალური სქემები წვეისა და დამუხრუჭების რეჟიმებისთვის“ და სხვა.

მთავარი ავარიული სიგნალის „Stop-ს“ ჩვენება განსაკუთრებულ შემთხვევებში:- „მაღალი ძაბვა მეტია დასაშვებ მნიშვნელობაზე ($U > U_{max}$)“; - „მაღალი ძაბვა ნაკლებია მის დასაშვებ მინიმალურ მნიშვნელობაზე ($U < U_{min}$)“; - მოხდა დენური გადატვირთვა; - „აღიძვრა მოცურების რეჟიმი“; - „საერთო შესასვლელი დენი განსხვავდება საერთო გამოსასვლელი დენისგან“, „იმოქმედა დიფერენციალურმა დაცვამ“;- მოხდა დენური გადატვირთვა წვეის ძრავების წრედებში, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს საერთო დენურ გადატვირთვას.



მართვის პულტი მოდერნიზაციის შემდეგ

ელმავლის მართვის პანელი მანიპულატორთან ერთად შეიცავს შემდეგ მოწყობილობებს:

- მთავარი ჩამრთველი ღილაკი, გასაღებით; ჯოისტიკი (მანიპულატორი) სტანდარტული ტიპი Sj 100; რევერსორის მართვის ღილაკი სამპოზიციანი „0“ , „წინ“ , „უკან“;

- საყვირისა და სატვენის მართვის დილაკები ორი ცალი ;
- სიფხიზლის დილაკი და ავარიული გაჩერების დილაკი;
- სიგნალების შემკრები პლატა, სათანადო გასართებით მართვის

სისტემაში ჩასართველად და ადგილობრივი კონტროლისთვის.

მართვის პანელის მექანიკური და ელექტრული პარამეტრები და მართვის პულტი

- მართვის პანელის ზომები 200x500 მმ;
- ჯოისტიკის პარამეტრები:

- მუშაობის ტემპერატურული დიაპაზონი (- 25 + 180°C); - დაცვის ხარისხი IP 65 ; - დასაშვები ვიბრაციის დონე 3 ჰც ; - მობრუნების კუთხე 120 გრად. ; - მუშაობის რესურსი 5 000 000 ციკლი ; - კვების ძაბვა DC 24V ; - მოხმარებული დენი არაუმეტეს 20 მა; - გამოსასვლელი ძაბვა DC10 ვ;

- მართვის დილაკების დასაშვები დენი არანაკლები 10 A;

ელმავლის მართვისთვის გათვალისწინებულია ორი მართვის პულტი.

მართვის პულტის დანიშნულება:

- ყველა სახის საკომუნიკაციო მოწყობილობების მართვა, როგორც დამხმარე ისე ძირითადი ელ.მოწყობილო-ბებისთვის;
- მინის მწმენდავების მართვა ორივე მხრისთვის;
- განათების ფარების მართვა ორივე მხარი-სთვის;
- პროექტორების მართვა;
- განათების ფარების მართვა: კაბინაში, პულტის შიგნით, ურიკებთან ქვემოთ, სასიგნალო დანიშნულებით(წითელი შუქები);
- დამხმარე მანქანების მართვა : ვენტილატორი 2ც , კომპრესორი 2ც , დინამო 1ც , კაბინის გათბობა , ვაგონების გათბობა . ჩამოთვლილ მოწყობილობებს ემსახურება ცალკეული კონტაქტორები (სულ7ც), რომლთა კოჭის წრედებშიც ჩართულია მართვის დილაკები
- სწრაფმომქმედი ამომრთველი;
- პანტოგრაფის საწყისი აწევისთვის მიკროკომპრესორების მართვა;
- ქვიშის მიწოდების მართვა სავალ რელსზე მოცურების დროს ;
- რაც შეეხება სხვა მოწყობილობებს , მათი მართვა განხორციელებულია მართვის პანელებიდან (ხაზური კონტაქტორი ,რევერსორი, დამუხრუჭების კონტაქტ-ორი).

- ყველა სახის სიგნალიზაცია შუქდიოდური ნათურებით, ასევე
- მონიტორის ეკრანზე წვევის წრედების დენების, ურიკა-1 და ურიკა-2 ორივე რეჟიმში (წვევა, დამუხრუჭება) ინდიკაცია.

მართვის პულტი განთავსებულია დახრილად მემანქანის მაგიდაზე, ისე, რომ მემანქანის მიერ თითოეული მართვის კლავიშის წვდომა არის ადვილად შესაძლებელი, ასევე კარგად ჩანს სასიგნალო ნათურები. პულტი აღჭურვილია სიგნალიზაციის ელექტრონული პლატებით ჩამრთველ-ამომრთველების კლავიშებიანი სისტემით, სათანადო წარწერებით, არის ადვილად მოხსნადი დაკავშირებული სათანადო გასართებით.

2.1.2. ელმავლის მართვის სისტემის ელექტრონული პლატები

ელექტრონული პლატების ფუნქციონალური დანიშნულება:

პლატა-1 „ძირითადი კვანძები“, "დაცვის სისტემები და სენსორები“ მისი ფუნქციონალური დანიშნულებაა: ქსელი ძაბვის, შესასვლელი და გამოსასვლელი დენების კონტროლი, სიჩქარის კონტროლი, ურიკების დენების კონტროლი და ამ სიგნალების მიხედვით „Stop“- სა სიგნალის გამომუშავება ავარიულ სიტუაციებში, რომელიც თავის მხრივ მოიცავს რეჟიმებს :

- ქსელის ძაბვა მეტია მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ;
- ქსელის ძაბვა ნაკლებია მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ;
- შესასვლელი დენი მეტია მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე;
- შესასვლელი და გამოსასვლელი დენები ერთმანეთისგან განსხვავებულია (დიფერენ-ციალური დაცვა);
- ურიკის დენები მეტია მათ დასაშვებ მნიშვნელობაზე : (წვევის წრედების დენური დაცვა);
- „Stop“- სა ნიშნავს სწრაფმომქმედი ამომრთველის ამორთვას ზემოთ ჩამოთვლილი ავარიული რეჟიმების წარმოშობის დროს.

პლატა-2 „დამხმარე მანქანების მართვისა და კონტროლის პლატა“ ამ პლატის დანიშნულებაა დამხმარე მანქანების (ვენტილატორების, კომპრესორების, დინამომანქანის, გათ-ბობის სისტემის) ჩართვა-გამორთვა და მათი კონტროლი მუშაობის პროცესში. კონტროლი ნიშნავს მათ მიერ მოხმარებული დენის გაზომვას

და საჭიროების შემთხვევაში მათ ამორთვას მაღალი ძაბვის ქსელიდან სათანადო მიზეზის დაფიქსირებით.

პლატა-3 „დიაგნოსტიკის პლატა“, რომლის დანიშნულებაც ყველა სიგნალის დონის გაზომვა, მათი შედარება სასურველ ეტალონურ მნიშვნელობასთან და შესაბამისად საჭიროების შემთხვევაში ამორთვის სიგნალების ფორმირება. ამ პლატას სიგნალები მიეწოდებათ სათანადო სენსორებიდან, (სენსორების რაოდენობა 15), და მისი დანიშნულებაც არის დიაგნოსტიკის (შეფა-სების) სიგნალების ფორმირება და დამახსოვრება ხანგრძლივად, რაც საბოლოოდ აისახება მონი-ტორის ეკრანზე .

პლატა-4 „წვეისა და დამუხრუჭების რეჟიმების მართვის პლატა“ .მისი დანიშნულებაც:

- წვეის რეჟიმში აწარმოოს წვეის ძრავების დენის სტაბილიზაცია ჯოისტიკიდან მიღებ-ული შეკვეთის სიგნალის მიხედვით;
- ასევე შეასრულოს დენის შეზღუდვის ფუნქციაც, რაც იმას გულისხმობს, რომ ჯოისტიკის სახელურის გადაწვეით მაქსიმალურად მივიღებთ წვეის ძრავების დასაშვები დენის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მოძრაობის პროცესში მემანქანეს შეუძლია არეგულიროს წვეის დენი 0-დან მის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე ;
- მემანქანეს აქვს შესაძლებლობა ამორთოს წვეის ძრავები ქსელიდან ან ჩართოს და მდოვრედ გაზარდოს წვეის ძრავების დენი სასურველ მნიშვნელობამდე;

იგივე პლატა დაღმართზე ჩამოსვლისას უზრუნველყოფს დამუხრუჭების რეჟიმის აღძვრას და მის რეგულირებას სასურველი კანონით კერძოდ:

- რელიეფის მიხედვით მემანქანეს შეუძლია დააყენოს სამუხრუჭე რეჟიმის შესაბამისი დენი,რომელიც რეგულირდება ჯოისტიკის სახელურის მოძრაობით.

ორივე შემთხვევაში ელექტრონული პლატა განახორციელებს ე.წ. განივ-იმპულსურ მოდულაციის 400 ჰც სიხშირით.

პლატა-5 „აკუმლატორების ბატარეის ავტომატური დამუხტვის პლატა“. მისი ფუნქციონალური დანიშნულებაც აკონტროლოს აკუმულატორის ბატარეის დამუხტვის დენი და ძაბვა, აწარმოოს ელმავლის ოპერატიული ძაბვის

სტაბილიზაცია მოძრაობის მთელ დიაპაზონში მიუხედავად იმისა, თუ როგორი დატვირთვა ექნება ოპერატორულ ქსელს და რა სიდიდით იქნება გენერატორის (დინამოს) პირველადი ძრავის კვების ძაბვა, იგულისხმება რომ კვების ძაბვის სიდიდე დასაშვებ დიაპაზონზე (1200-1800). პლატა-5 ჩართულია გენერატორის აგზნების გრაგნილის წრედებში და ავტომატურად არეგულირებს მის დენს ისე, რომ აუმულატორის ბატარეის ძაბვის სტაბილიზაცია მოხდეს წინასწარი შეკვეთის მიხედვით, რაც თავის მხრივ განისაზღვრება აკუმულატორის ბატარეის ტიპის და მონაცემების მიხედვით.

ჩატარებულია შემდეგი ტიპის სამუშაოები:

- დაამუშავებულია თითოეული ტიპის ელექტრონული პლატის პრინციპული და ნაბეჭდი სქემები;
- გაანგარიშებულია და შეირჩეულია თითოეული კომპონენტის პარამეტრები;
- დამზადებულია ნაბეჭდი სქემების მიხედვით პლატები;
- ჩატარებულია სამონტაჟო და გამართვა-გაწყობის სამუშაოები ელმავალზე, მართვის პულტის შიგნით გამოყოფილ ადგილზე;

კვების ბლოკების სისტემა (5 კვების ბლოკი):

შეიცავს სერიული წარმოების კვების ბლოკებს.

უწყვეტი მოქმედების კვების ბლოკები UPS-1 და UPS-2 მათი დანიშნულებათა, ელმავლის ოპერა-ციული ძაბვის ხარჯაზე მივიღოთ AC220V ძაბვა სხვადასხვა მოწყობილობების კვებისთვის.

UPS-1 განკუთვნილია ელმავლის საკუთარი მოხმარების წრედების კვებისთვის. მასზე მიერთებულია კბ-1 და კბ-2 კვების ბლოკები AC/DC ტიპის, რომლებიც გვაძლევს 12V მუდმივ ძაბვას არანაკლებ 30A დენს და განკუთვნილია:

- კბ-1 კვებავს ყველა სახის განათების მოწყობილობებს და შეიცავს იგივე პარამეტრების გარდამქმნელის AC220/DC12 დენი არანაკლებ 30A.

UPS-2 განკუთვნილია ყველა სახის ელექტრო-ნული მოწყობილობების კვებისთვის და შეიცავს კბ-3, კბ-4 და კბ-5 კვების ბლოკებს.

- კბ-3 კვების ბლოკი AC220/DC24 დენი არანაკლებ 5A განკუთვნილია ჯოისტიკების კვებისთვის.
- კბ-4, სტანდარტული კვების ბლოკი AC220/DC 12, +5 გამოყენებულია ელექტრონული პლატების კვებისთვის, კვების ბლოკი ტოპია ATX... და იგი

წარმოადგენს სტანდარტულ სერიული წარმოების ბლოკს კომპიუტერული სისტემისთვის .

- კბ-5 AC220v/DC12V დენი არანაკლებ 12A ემსახურება ძალოვანი ტრანზისტორების დრაივერების კვებას.

კვების ბლოკების სისტემა განლაგებულია მართვის პულტის შიგნით, ელექტრონული პლატების გასწვრივ. რაც შეეხება კბ-5 ბლოკს იგი განთავსებულია დრაივერებთან ახლოს ძალური მოდულის კომპლექტში.

დამხმარე მანქანების ძალური პანელი შეიცავს 7 კონტაქტორს:

- ვენტილატორი -1 -ის კონტაქტორი;
- ვენტილატორი-2-ის კონტაქტორი;
- კომპრესორი-1-ის კონტაქტორი;
- კომპრესორი -2-ის კონტაქტორი;
- დინამოს კონტაქტორი;
- კაბინის გათბობის კონტაქტორი;
- ვაგონების გათბობის კონტაქტორი.

თითოეული კონტაქტორის ძალურ წრედში ჩართულია დენის ტრანსფორმატორი და ძალური წრედებში 1500V ძაბვას ღებულობს დნობადი მაღალი ძაბვის მცველების გავლით.

ძალური პანელების შედგენილობაში შედის ასევე რეზისტორების პანელები :

- დემფერის რეზისტორების პანელი, რომელიც შეიცავს 20ც ძალურ რეზისტორს 120 ომი 200ვტ, ყველა რეზისტორი ჩართულია პარალელურად და მიიღება 6 ომი 4000ვტ პარამეტრების მქონე რეზისტორი.
- მოცურების საწინააღმდეგო კვანძის რეზისტორების პანელი, რომელიც შეიცავს ორ ძაბვის გადამწოდს და 4ცალ რეზისტორს.
- რეზისტორებითა და ძალოვანი ძრავებით უნდა შეიქმნას ბოგირული სქემა რომლის ერთ-ერთ მხარში ჩართულია ძაბვის გადამწოდი . ორივე ურიკისთვის აღნიშნული სქემები იდენტურია. მოცურების შემთხვევაში ერთ-ერთი ძრავაზე მოსული ძაბვა 0-ის ტოლია ირღვევა ბოგირის

წონასწორული მდგომარეობა რის გამოც ძაბვის გადამწოდი გვამღევს სიგნალს.

- ფილტრის კონდენსატორის საწყისი დამუხტვის რეზისტორების პანელი, რომელიც შეიცავს 6 ცალ 200ვტ-იან რეზისტორს, რომლებიც ჩართულია პარალელურად. სწრაფმომქმედი ამომრთველის აღდგენისთანავე ფილტრის კონდენსატორი იწყებს დამუხტვას და ბაზური კონტაქტორის ჩართვისას დამუხტულია სრულყოფილად . ეს იცავს მის კონტაქტებს დაზიანებისგან.
- რეზისტორების პანელი ფილტრის კონდენსატორის პარალელურად 2ც 20 ომი 200ვტ, მისი დანიშნულებაა განმუხტოს ფილტრის კონდენსატორი ძალოვანი წრედის გამორთვის შემდეგ. რეზისტორების პანელები შედის გადამწოდებისა და ძალური პანელების მნიშვნელობაში.

გადამწოდების სისტემა მოიცავს ყველა სენსორს (15ცალი) და იმ პანელებს , რომლებზეც განლაგებულია აღნიშნული სენსორები

- დენის გადამწოდები დამხმარე მანქანების წრედებისთვის, გამოყენებულია 7 ცალი 50 ამპერიანი დენის გადამწოდი ; ძაბვის გადამწოდები მოცურების საწინააღმდეგო სისტემისთვის 2 ცალი ქსელის ძაბვის კონტროლი 1ც სულ 4 ც. ტიპი LV100-4000/SP6;
- დენის გადამწოდები ძალოვანი წრედებისთვის: შესასვლელი დენის სენსორი (200 ამპერიანი მაღალი ძაბვის), გამოსასვლელი დენის სენსორი , იგივე 1ც, ურიკის დენებისთვის იგივე ტიპის 2ც სულ 4ც. [19-23].

2.2. ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზის სხვადასხვა უბნებზე ელმავლის ძირითადი პარამეტრების გამოცდა მოდერნიზაციამდე და მოდერნიზაციის შემდეგ

ბორჯომ-ბაკურიანის სხვადასხვა უბნებზე დაკვირვებების მონაცემე-ბი ელმავლის მოდერნიზაციამდე და მოდერნიზაციის შემდეგ მოყვანილია ცხრილებში (ცხრ.1-11).

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი ბორჯომიდან (კმ)	სიჩქარე, კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე კვტ	დრო, სთ	ენერგია, კვტ.სთ
2,4	18,0	135,2	1455	196,7	0.133	26,16
4,6	18,3	150,4	1427	214,6	0.12	25.75
6,5	13,6	160,0	1471	235.3	0.14	32,9
8,4	14,	160,1	1473	235,8	0.133	31.36
10,5	16,8	145,4	1509	219,4	0.125	27.43
12,4	14,3	140,1	1510	211,6	0.133	28.14
14.7	11,9	129,8	1500	194,7	0.193	37.57
						209,37
ელენერგიის ძველი მოხმარება მოდერნიზაციამდე 209,37 კვტ.სთ						
ცხრ.1. უბანი: ბორჯომი-წალვერი მოდერნიზაციამდე						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი ბორჯომიდან (კმ)	სიჩქარე, კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე, კვტ	დრო, სთ	ენერგია, კვტ.სთ
2,3	15.1	70,	1450	101,5	0.133	13.69
4,4	17,	80,5	1420	113,6	0.12	13.27
6,6	14.5	85,0	147	124,15	0.138	1
8,	15.4	82,3	1475	120,95	0.133	16.65
11	16.1	75,8	1510	112,	0.125	13.6
12,8	15.3	70,3	1500	105	0.133	13.7
14.7	14.4	65,6	1520	97,5	0.193	18.62
						108,5
ელენერგიის ახალი მოხმარება მოდერნიზაციის შემდეგ 108,5 კვტ.სთ.						
ელენერგიის დანაზოგი 48,2% (100,9კვტ.სთ)						
ცხრ.2. უბანი: ბორჯომი-წალვერი მოდერნიზაციის შემდეგ						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი წალვერი- დან (კმ)	სიჩქარე, კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე, კვტ	დრო, სთ	ენერჯია, კვტ.სთ
0,6	12	135,3	1450	196,19	0,05	9,81
1,15	13,8	150,1	1420	213,14	0,04	8,53
1,55	7,3	160	1470	235,20	0,055	12,94
1,9	9,2	160,	1475	236,44	0,038	8,98
2,4	11,	145,8	1500	218,70	0,042	9,19
	13,3	140,5	1500	110,75	0,045	9,48
3,5	10,0	131,6	1500	195,90	0,05	9,80
						68,72
ელექტროენერჯიის ძველი მოხმარება მოდერნიზაციამდე 68.72კვტ.სთ						
ცხრ.3. უბანი: წალვერი-ცემი მოდერნიზაციამდე						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი წალვერიდან (კმ)	კმ/სთ	ამპერი	ვოლტი	კვტ	სთ	კვტ.სთ
0.5	10	70,1	1440	100,94	0,05	5,05
1	15	80,4	1430	114,97	0,04	4,60
1,5	13,	15,3	1485	121,	0,015	6,97
2,0	15,8	82,3	1475	121,39	0,038	4,61
2.0	11,9	75,8	152	115,22	0,012	4,84
3,0	8,9	70,3	1501	115,12	0,045	4,75
3.5	10	65,9	1109	99,44	0,05	4,9
						35,8
ელენერჯიის ახალი მოხმარება მოდერნიზაციის შემდეგ, 35,8 კვტ.სთ ელექტროენერჯიის დანაზოგი 47,9% (32,9კვტ.სთ)						
ცხრ.4. უბანი: წალვერი-ცემი მოდერნიზაციის შემდეგ						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი ცემიდან, (კმ)	სიჩქარე, კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე, კვტ	დრო, სთ	ენერგია, კვტ.სთ
1	16	134,9	1450	195,6	0,065	12,23
1,9	13,4	100,1	1025	213,9	0,067	14,33
3	16,9	161,9	1470	238,0	0,065	15,47
3,9	10,7	159,3	1405	235,0	0,071	16,68
4,	14,9	145,6	1509	219,7	0,067	10,72
5,8	19,1	14	1520	212,8	0,047	10,00
						83,4
ელექტროენერჯის ძველი მოხმარება მოდერნიზაციამდე 83,4 კვტ.სთ						
ცხრ.5. უბანი: ცემი-ლიბანი მოდერნიზაციამდე						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი ცემიდან (კმ)	სიჩქარე, კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე, კვტ	დრო, სთ	ენერგია, კვტ.სთ
1	16,0	69,2	1052	100,48	0,0625	6,28
1,8	11,9	78,9	1440	113,02	0,067	7,61
207	03,8	05,7	1479	126,75	0,065	8,24
3,9	16,9	81,9	1478	121,05	0,071	8,09
5	16,4	70,5	1509	116,95	0,067	0,84
5.8	17	70,1	1500	105,15	0,047	4,94
					0.383	43,5
ელენერჯის ახალი მოხმარება მოდერნიზაციის შემდეგ 43,5 კვტ.სთ. დაზოგვა 47,8% (39,9 კვტ.სთ)						
ცხრ.6. უბანი: ცემი-ლიბანი მოდერნიზაციის შემდეგ						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი ლიბანიდან (კმ)	სიჩქარე, კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე, კვტ	დრო, სთ	ენერგია, კვტ.სთ
0,9	0,2	135,4	1449	196,2	0,11	21,6
0,7	8,9	149,3	0428	013,2	0,09	19,2
3	01,8	059,0	1467	233,3	0,11	25,7
3,9	11,8	160,1	1479	236,8	0,076	18,0
5	13,	145,8	1508	219,9	0,084	10,5
						102,9
ელექტროენერჯის ძველი მოხმარება მოდერნიზაციამდე 102,9 კვტ.სთ						
ცხრ. 7. უბანი: ლიბანი-საკოჭავი მოდერნიზაციამდე						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი ლიბანიდან (კმ)	სიჩქარე კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლ- ავრე კვტ	დრო სთ	ენერგია კვტ.სთ
0,9	10	69,1	144	100,1	0,09	9,0
2	13,8	79,2	1408	111,5	0,08	8,92
2,	7,3	84,9	146,	124,0	0,11	13,63
4	15,8	82,	1495	123,2	0,076	9,36
5	11,9	70,9	1509	114,5	0,084	9,62
						50,6
ელექტროენერჯის ახალი მოხმარება მოდერნიზაციის შემდეგ 50,6 კვტ.სთ დაზოგვა 50,8% (52,3 კვტ.სთ)						
ცხრ.8. უბანი: ლიბანი-საკოჭავი მოდერნიზაციამდე						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი საკოჭავიდან (კმ)	სიჩქარე კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე კვტ	დრო სთ	ენერგია კვტ.სთ
0,9	12,5	133,2	1450	193.14		13.91
1,7	11,9	140,5	1420	212.2		14.22
2,6	15,3	160,1	1470	235.35		13.09
3,4	13,6	159,8	1475	235.71		13.91
4,6	19,2	143,9	1510	117.29		13.58
5,7	17,6	140,5	1505	211.45		13.22
6,9	17,9	130,9	1547	202.50		13.57
8,2	16,3	140,1	1499	210.01		16.80
						113,1
ელენერჯის ძველი მოხმარება მოდერნიზაციამდე 113.1კვტ.სთ						
ხრ.9. უბანი: საკოჭავი-ბაკურიანი მოდერნიზაციამდე						

ძირითადი პარამეტრები						
მანძილი საკოჭავიდან (კმ)	სიჩქარე კმ/სთ	დენის ძალა, ამპერი	ძაბვა, ვოლტი	სიმძლავრე კვტ	დრო სთ	ენერგია კვტ.სთ
1	13.9	70.2	1455	102.14	0.072	7.35
1,9	13.4	80.8	1418	114.57	0.067	7.68
3	18.6	84.5	1479	124.98	0.059	7.37
3,8	13.6	82.6	1475	111.84	0.059	7.19
11,9	17,6	75.1	1588	119.26	0.0625	7.45
6	17.6	69.9	1507	105.14	0.0625	6.18
6,9	13.4	65.3	1513	98.80	0.067	6.62
8,2	16.3	65	1555	101.08	0.08	8.09
					58,3	
ელენერგიის ახალი მოხმარება მოდერნიზაციის შემდეგ 58,3კვტ.სთ დანაზოგი 48,4% (54,8კვტ.სთ)						
ცხრ. 10. უბანი: საკოჭავი-ბაკურიანი მოდერნიზაცია შემდეგ						

ცხრ.11-ში მოცემულია ენერგოეფექტური ღონისძიების მაჯამებელი შედეგები. ბორჯომი-ბაკურიანის რკინიგზაზე მოდერნიზაციის ენერგოეფექტური ღონისძიებით დაიზოგა ენერგიის 48,6%.

უბნის დასახე- ლება	უბნის სიგრძე კმ	ელ. ენერგი- ის ხარჯი მოდერნიზა- ციამდე კვტ.სთ	ელ. ენერგი- ის ხარჯი მოდერნი- ზაცი- ის შემდეგ კვტ.სთ	ელ.ენერ- გიის დანაზოგი კვტ.სთ	ელ.ენერ- გიის დანა- ზოგი [%]
ბორჯომი- წალვერი	14.7	209.37	108.5	100.9	48,2
წალვერი- ცემი	3.5	168.7	31,8	32.9	47.9
ცემი- ლმზინი	5.8	83.4	43.5	39,9	47,8
ლიბანი- საკოჭავი	5	102.9	50,6	52,	50,8
საკოჭავი- ბაკურიანი	8.2	113.1	58,3	154,8	48,4
ჯამი	37.2	577,49	296,7	280,8	48,6
ცხრ.11. ენერგოეფექტური ღონისძიების მაჯამებელი შედეგები					

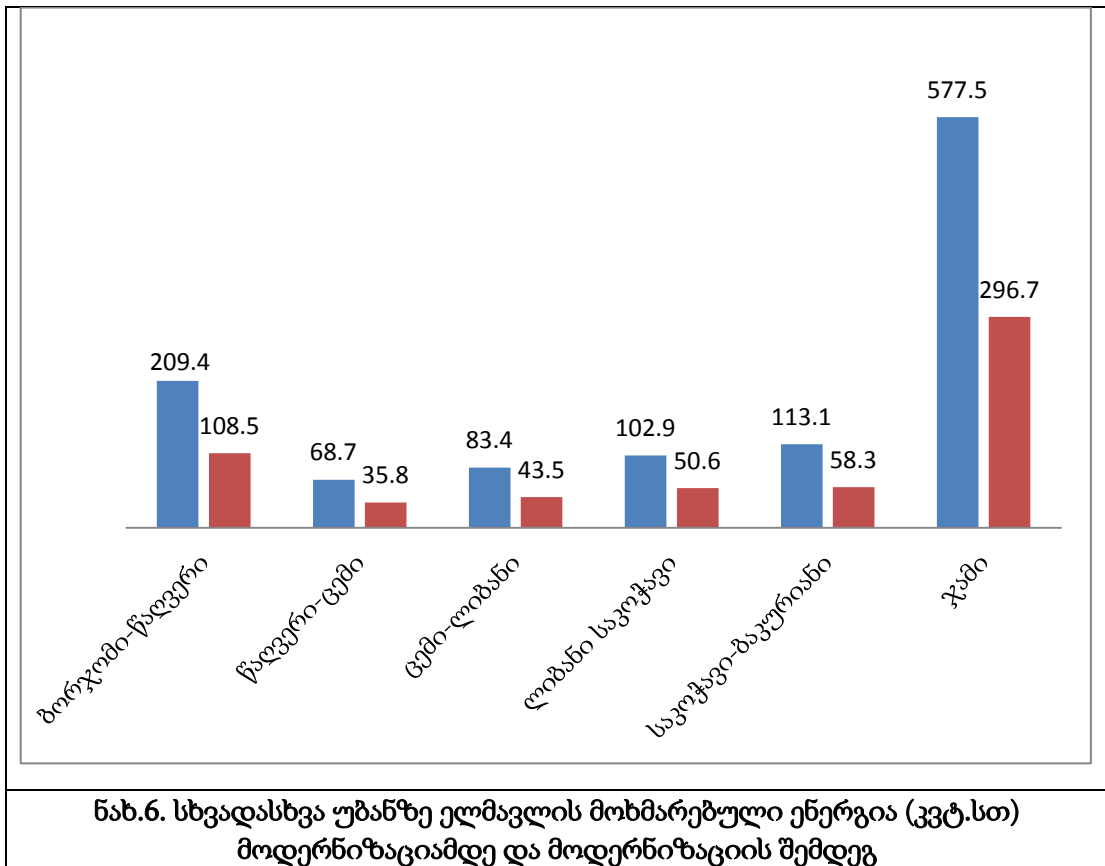
ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზის უბნებზე ელენერგის დანაზოგების მონაცე-მები შემოწმებული ერთგაროვნებაზე (ცხრ.2.12, ვარიაციის კოეფ. ტოლია 2,5%).

უბნის დასახელება	ელ.ენერ-გის დაზოგვა %	გადახრა საშუალოდან	გადახრის კვადრატი	დაზოგვის (%) ვარიაციის კოეფიციენტი
1	2	3	4	5
ბორჯომი - ქალაქი	48,	00,42	0,1764	2.5%
წაღვერი- ცემი	47.9	-1.2	0,5184	
ცემი-ლიბინი	40,8	-0082	0.6724	
ლიბანი-საკოჭავი	50,8	2,18	4,7524	
საკოჭავი-ბაკურიანი	48,4	-0,22	0,0084	
საშუალო	48.6	7.11E-15	6,108	
საშუალო სტანდარტული გადახრა			1,24	
ვარიაციის კოეფიციენტი, %			2,55	
ცხრ.12. უბნების მიხედვით დანაზოგების მნიშვნელობების ერთგაროვნებაზე შემოწმება				

ცხრ.12-ში მოცემულია უბნების მიხედვით ენერგის დაზოგვის მნიშვნელობები %-ში (სვეტი2). ამ მონაცემების ხაზოვანი ვარიაცია (სვეტი2) ტოლია 50,8-47,8=3%, ხოლო საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა უდრის 48,6. ცალკეული მონაცემების საშუალო მნიშვნელობიდან გადახრების ჯამი ტოლია ნულის.

საშუალო მნიშვნელობიდან ცალკეული მონაცემების გაბნევა დახასიათებული საშუალო სტანდარტული გადახრით ტოლია 1,24 და უბნების მიხედვით დაზოგვის მონაცემების ვარიაციის კოეფიციენტისათვის მიღებულია 2,55%<33%, შესაბამისად უბნების მიხედვით დაზოგვის მნიშვნელობები ერთგაროვანია.

ნახ.6. ნაჩვენებია ელმავლის მოხმარებული ენერგია მოდერნიზაციამდე და მის შემდეგ.



ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზაზე მატარებელი მოძრაობს აღმართზე საშუალო დახრილობით 35მ/კმ. საშუალო სიჩქარე ტოლი იყო 13.67კმ/სთ (რელიეფის მიხედვით სიჩქარე იცვლებოდა 11კმ/სთ-დან 15.6კმ/სთ-დე). მთლიანი მანძილის დაფარვას ელმავამა მოანდომა 2.7სთ. სიჩქარის ცვლილების ვარიაციის კოეფიციენტი შეადგინა 17.2% საშუალო ძაბვა ტოლი იყო 1470ვ. ძაბვის ცვლილების ვარიაციის კოეფიციენტი ტოლი იყო 0.4% ცხრ.1. მოცემულია რკინიგზის ცალკეული უბნების მიხედვით დენის ძალის, მოხმარებული სიმძლავრის და ენერგიის ექსპერიმენტული მონაცემები ელმავლებისათვის მოდერნიზაციამდე და მოდერნიზაციის შემდეგ.

ცხრ.1-12-დან ჩანს, რომ ელმავლის მოძველებული რელე-კონტაქტორული მართვის სქემის ნაცვლად, თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მართვის სქემის დანერგვით ერთიდაიმავე პირობებში მოძრაობისას ერთ რეისზე ელმავალი ტრასაზე- ბორჯომი-ბაკურიანი მოიხმარს მნიშვნელოვნად ნაკლებ ელექტროენერგიას და ენერგიის დანაზოგი შეადგენს 577.5კვტ.სთ - 296.7კვტ.სთ =280.8კვტ.სთ

საწყის მონაცემებად აღებულია ელექტროენერჯის ძველი (ელმავლის მოდერნიზაციამდე) და ახალი (ელმავლის მოდერნიზაციის შემდეგ) წლიური მოხმარებები (კვტ.სთ/წ). ელექტროენერჯის მოხმარებაზე მოქმედი ტარიფის და დისკონტირებისა და ინფლაციის მონაცემები. ანგარიშის პერიოდად აღებულია 10 წელი. შეფასებულია მოდერნიზაციის განხორციელებისათვის საჭირო ინვესტიციის მნიშვნელობა და პროექტის წინასწარი შეფასებისათვის- მარტივი უკუგების კოეფიციენტი.

იანგარიშება დაზოგილი ენერჯის და თანხების ყოველწლიური მაჩვენებლები (10წელი) და მათი პირვანდელი ღირებულებები (ნულოვანი წლისათვის). პროექტის განხორციელების შემდეგ გაანალიზებულია მოდერნიზაციის შედეგების უზრუნველსაყოფად დამატებითი ინვესტიციები (პირვანდელი ღირებულებებით) და დგინდება საბოლოოდ საჭირო ინვესტიციის მნიშვნელობა, რომელშიც ასევე გასათვალისწინებელია მოდერნიზაციის მოწობილობა დანადგარების ნარჩენი ღირებულებაც).

საბოლოოდ დადგენილია პროექტის ძირითადი ეკონომიკური მაჩვენებლები: მარტივი უკუგება (PV); წმინდა ეკონომია (NPV) და ფარდობა-ეკონომია /ინვესტიცია (NPV/Q) პარამეტრები [24].

2.3. „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი

ცხრ.13.-ში მოცემულია „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი.

საწყისი მონაცემები

ელექტროენერჯის ძველი მოხმარება	419750 კვტ.სთ/წ
ელექტროენერჯის ახალი მოხმარება	215423 კვტ.სთ/წ
ელექტროენერჯის დანაზოგი	204327 კვტ.სთ/წ
ელექტროენერჯის ტარიფი	0,168 ლ/კვტ.სთ
თანხის წლიური დანაზოგი	34327 ლ/წ
ინვესტიცია	55000 ლ
დისკონტირება და ინფლაცია	0,15
ანალიზის პერიოდი	10 წ

დანაზოგები				ინვესტიცია			
წელი	წლიური დანაზოგი, ლ/წ	წლიური დანაზოგის პირვანდელი ღირ-ბა, (ჯამი)	წლიური დანაზოგის პირვანდელი ღირ-ბა, (ჯამი)	წელი	ინვესტიცია, ლ	ინვესტიციების პირვანდელი ღირ-ბა, ლ	ინვესტიციების პირვანდელი ღირ-ბა, (ჯამი) , ლ
0	0	0	172279	0	55000	55000	55652
1	34327	29850	172279	1			1243
	34327	25656		2			
3	34327	22571		3			
4	34327	19627		4			
5	34327	17067		5	2500	1243	
6	34327	14840		6			
7	34327	12905		7			
8	34327	11222		8			
9	34327	9758		9			
10	34327	8485		10			
ნარჩენი ღირებულება მე-11 წელს 5% 11					2750	591	

რეზულტატი

PV	მარტივი უკუგება	1,60 წ
NPV	წმინდა ეკონომია	116627 ლ
NPV/Q	ეკონომია/ინვესტიცია	3.1
IRR	რენტაბელურობის შიდა ნორმა	0.62

ცხრ. 13 . „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი

2.4. მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის განუსაზღვრელობის შეფასება

ელექტროკაბელის იზოლაციის წინაღობა ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრია რომლის ნორმებში შენარჩუნება აქტუალური ამოცანაა. ესპლუატაციის დროს ძალოვანი კაბელები ყოველთვის იმყოფება სხვადასხვა გარე ნეგატიური ზემოქმედების ქვეშ და კაბელის იზოლაცია წარმოადგენს გარემოს ზემოქმედებისაგან დაცვის საშუალებას [25].

იზოლაციის მასალა ესპლუატაციის დროს კარგავს თავის ხარისხს, ძველდება, ირღვევა იზოლაცია და ამ არასასურველი ცვლილებების ერთ-ერთ მაჩვენებელს წარმოადგენს მუდმივი დენის მიმართ იზოლაციის წინაღობის დადაბლება. კაბელების იზოლაციის წინაღობა მუდმივი დენის მიმართ ნორმირებულია სტანდარტით. კაბელის პასპორტში მითითებულია ნორმალური წინაღობა ლაბორატორიული პირობებში გამოცდების მიხედვით 20°C ტემპერატურის დროს. გამოცდის დროს დაცული უნდა იყოს მაღალი ძაბვაზე მუშაობის უსაფრთხოების წესები [26].

ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავალში გამოყენებულია ძალოვანი კაბელი კვეთით 70 კვ.მმ. მუდმივი მუშა ძაბვა ტოლია 1500 ვოლტის. კაბელის იზოლაციის პერიოდული კონტროლი მნიშვნელოვანი საექსპლუატაციო ამოცანაა. გაზომვის შედეგის უტყუარობის (სიზუსტის) შესაფასებლად გამოყენებულია ახალი მიდგომა - „განუსაზღვრელობის“ კონცეფციის გამოყენებით, რომელიც სრულდება სახელმძღვანელო დოკუმენტში და ლიტერატურაში მოცემული ალგორითმის ანალოგიურად [27]. საწყისი მონაცემებია:

1. გაზომვის ობიექტი - ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის ძალოვანი კაბელი III CPM1500 ;
2. გასაზომი სიდიდე-კაბელის იზოლაციის ელექტროწინაღობა;
3. გაზომვის ერთეული- მგომი;
4. გამოყენებული ხელსაწყო-კაბელების ელექტროიზოლაციის წინაღობის საზომი (PEAKMETER PM890 C/D) ;
5. გაზომვის მეთოდი- ირიბი მეთოდი;

6. გაზომვის პირობები- ძაბვის წყაროდ გამოყენებულია ლაბორატორიული ავტოტრანსფორმატორი და ამამაღლებელი ტრანსფორმატორი გამმართველ-თან და ფილტრთან ერთად. ძაბვის და დენის ძალის გაზომვა ხორციელდებოდა PEAKMETER PM890 C/D ტიპის მულტიმეტრებით. გარემო ჰაერის ტემპერატურის 25 °C დროს და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის 60% პირობებში.

2.4.1. სამოდულო ფუნქციის შედგენა და შესასვლელი სიდიდეების- ძაბვის და დენის ძალის გაზომვების შედეგები

კაბელის იზოლაციის გაზომვის სამოდულო ფუნქციას აქვს სახე

$$\bar{R} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} \quad (1)$$

სადაც, \bar{R} - არის იზოლაციის წინაღობა, მგომი; \bar{V} - ძაბვის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, ვოლტი; \bar{I} - დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, მიკროამპერი.

გაზომვის სქემის შესასვლელი სიდიდეებია: გაზომვის სერიის დამუშავებით მიღებული მონაცემების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები \bar{V} და \bar{I} ; გამოსასვლელი სიდიდეა - კაბელის იზოლაციის წინაღობა R .

ძაბვის პირდაპირი გაზომვების 12 სერიის შედეგი (ვოლტი) მოცემულია ცხრ.14-ში:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
500	465	490	505	515	525	505	495	500	490	510	520

ცხრ.14. ძაბვის გაზომვების დაუმუშავებული სერია (ნედლი მონაცემები)

დენის ძალის პირდაპირი გაზომვების 12 სერიის შედეგი (მკა) მოცემულია ცხრ.15-ში:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
308	299	303	295	309	310	315	333	311	293	319	310

ცხრ.15. დენის ძალის გაზომვების დაუმუშავებული სერია (ნედლი მონაცემები)

2.4.2. ძაბვის და დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო

არითმეტიკული მნიშვნელობების პირველადი შეფასება (\bar{V}) ვ და (\bar{I}) მკა

ცხრ.14.-ის მიხედვით \bar{V} მნიშვნელობის შეფასება (ვ) გამოთვლილია

ფორმულით

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{500 + 465 + 490 + 505 + 515 + 525 + 505 + 495 + 500}{12} + \frac{490 + 510 + 520}{12} = 501.67 \quad (ვ)$$

ცხრ.15. მიხედვით \bar{I} მნიშვნელობის შეფასება (მკა) გამოთვლილია ფორმულით

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = \frac{308 + 299 + 303 + 295 + 309 + 310 + 315 + 333 + 311}{12} + \frac{293 + 319 + 310}{12} = 308.75 \quad (მკა)$$

2.4.3. გაზომვის მონაცემების შემოწმება უხეში ცდომილებების შესაძლო არსებობაზე. ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება

ძაბვის და დენის ძალის გაზომვის ცალკეული შედეგებში შესაძლებელია არსებობდეს ისეთებიც (ისეთი), რაც შეიძლება შეიცავდეს უხეში ტიპის ცდომილებას. რადგან უცნობია (არ არის დადგენილი) გაზომვის მონაცემებში უხეში შეცდომების შესაძლო არსებობის მიზეზები, ამიტომ უხეში შეცდომების აღმოსაჩენად გამოთვლილია სტიუდენტის- t_{\max} კოეფიციენტი ფორმულით:

$$t_{\max} = \frac{|A_i - \bar{A}|_{\max}}{s}, \quad (2)$$

სადაც, $|A_i - \bar{A}|_{\max}$ - არის გაზომვის ცალკეულ შედეგსა და ცდის მონაცემებით გაანგარიშებული საშუალო არითმეტიკულ სიდიდის შორის მაქსიმალური სხვაობის აბსოლუტური მნიშვნელობა; s - ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება.

ცხრ.15. მიხედვით ძაბვის მაქსიმალური აბსოლუტური გადახრა საშუალო მნიშვნელობიდან (501.67ვ) შეადენს $|V_i - \bar{V}|_{\max} = 36.67$ ვ. s - ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება ტოლია (ვ):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2817}{12-1}} = 16.00$$

სტიუდენტის სტატისტიკა (2) ფორმულით ტოლია $t_{\max} = 2.2914$. სტიუდენტის კოეფიციენტი სარწმუნო (სანდო) ალბათობით $P=0.95$ და თავისუფლების ხარისხით $k=n-1=12-1=11$ ტოლია $t(0.95;11) = 2.20$. რადგან, $t_{\max} = 2.29 > t(0.95;11) = 2.2$, ამიტომ გაზომვის შედეგებიდან უნდა გამოირიცხოს ცდის მონაცემი (465), როგორც უხეში ცდომილებით „დამძიმებული“ და იგივე ალგორითმით ჩატარდეს დანარჩენი მონაცემების შემოწმება შესაძლო უხეში ცდომილების შემცველი მონაცემის აღმოსაჩენად, მანამ სანამ არ დაკმაყოფილდება უტოლობა: $t_{\max} < t(0.95;k)$.

დარჩენილი 11 შედეგის ანალოგიური განხილვით მიიღება: $|V_i - \bar{V}|_{\max} = 20$; $s=10,488$; $t_{\max}=1.907$; $t(0.95;10) = 2.26$. რადგან, $t_{\max} = 1.907 < t(0.95;11) = 2.26$ ამიტომ ცალკეული გაზომვების ($n=11$) არცერთი მონაცემი არ შეიცავს უხეში ტიპის ცდომილებას.

ცხრ. 15. მიხედვით დენის ძალის მაქსიმალური აბსოლუტური გადახრა საშუალო მნიშვნელობიდან (308.75მკა) შეადენს $|I_i - \bar{I}|_{\max} = 24.25$ მკა. s -ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება, ტოლია:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1306}{12-1}} = 10.897 \text{ მკა}$$

სტიუდენტის სტატისტიკა (2) ფორმულით ტოლია $t_{\max} = 2.225$. სტიუდენტის კოეფიციენტი სარწმუნო (სანდო) ალბათობით $P=0.95$ და თავისუფლების ხარისხით $k=n-1=12-1=11$ ტოლია $t(0.95;11) = 2.20$. რადგან, $t_{\max} = 2.225 > t(0.95;11) = 2.2$, ამიტომ გაზომვის შედეგებიდან უნდა გამოირიცხოს ცდის მონაცემი (333), როგორც უხეში ცდომილებით „დამძიმებული“ და იგივე ალგორითმით ჩატარდეს

დანარჩენი მონაცემების შემოწმება შესაძლო უხეში ცდომილების შემცველი მონაცემის აღმოსაჩენად, მანამ სანამ არ დაკმაყოფილდება უტოლობა: $t_{\max} < t(0.95; k)$.

დარჩენილი 11 შედეგის ანალოგიური განხილვით მიიღება: $|I_i - \bar{I}|_{\max} = 13.545$; $s=8,153$; $t_{\max}=1.66$; $t(0.95;10) = 2.26$. რადგან, $t_{\max} = 1.661 < t(0.95;11) = 2.26$ ამიტომ ცალკეული გაზომვების ($n=11$) არცერთი მონაცემი არ შეიცავს უხეში ტიპის ცდომილებას.

გაზომვების ორივე სერიის ერთობლივი განხილვის საფუძველზე რადგან ძაბვის გაზომვის დროს მონაცემი 465 ვ (მეორე სერია) უხეში გაზომვას მიეკუთვნება ამიტომ შესაბამისი დენის გაზომვის მონაცემიც 299მკა უნდა გამოვრიცხოთ დამუშავების ცხრილიდან, ანალოგიურად ამოსაღებია წყვილი 333 მკა და 495 ვოლტ (მე-8 სერია). შესაბამისად დამუშავებისათვის რჩება ათი წყვილი სერია.

2.4.4. შესასვლელი სიდიდეების ძაბვის და დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების დაზუსტებული შეფასება (\bar{V}) ვ და (\bar{I}) მკა

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{500 + 490 + 505 + 515 + 525 + 505 + 500 + 490 + 510 + 520}{10} = 506.00, \text{ ვ}$$

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = \frac{308 + 303 + 295 + 309 + 310 + 315 + 311 + 293 + 319 + 310}{10} = 307.30 \text{ მკა}$$

2.4.5. გამოსასვლელი სიდიდის \bar{R} შეფასება

$$\bar{R} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} = \frac{506.00}{307.3} = 1.647 \text{ მგომი}$$

2.4.6. გაზომვათა ცდომილების წყაროების ანალიზი

ძაბვის და დენის ძალის გაზომვებს ახასიათებს გაზომვის როგორც შემთხვევითი ცდომილების ასევე სისტემატური ცდომილების გამოურიცხავი მდგენელები.

ძაბვის გაზომვის შედეგის (საშუალო არითმეტიკულის) შემთხვევითი ცდომილების საშუალო კვადრატული გადახრის (სკვ) შეფასება და მისი ფარდობითი მაჩვენებელი ტოლია:

$$U_A(\bar{V}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1240}{10(10-1)}} = 3.71184, \quad 3 \quad \hat{U}_A(V) = \frac{3.71184}{506} \cdot 100 = 0.73\%$$

მულტიმეტრით (PEAKMETER PM890 C/D) ძაბვის გაზომვის გამოურიცხავი სისტემატური ცდომილების საზღვრებია (კალიბრების მონაცემებით) $\theta_V = \pm(0.5\% \cdot V + 3) = \pm(0.5 \cdot 506/100 + 3) = \pm 5.53$ ვ, რომელშიც უცნობი მნიშვნელობა შეიძლება იყოს თანაბარი ალბათობით განაწილებული. ასეთი განაწილებისათვის საშუალო კვადრატული გადახრა შეესაბამება B ტიპის განუსაზღვრელობას- $U_B(\bar{V})$, რომელიც ტოლია $U_B(\bar{V}) = \theta_V / (L\sqrt{3})$ ვ. სადაც $L=1,1$, როცა $P=0.95$, ანუ

$$U_B(\bar{V}) = 5.53 / (1.1\sqrt{3}) = 2.9059 \text{ ვ} \quad \text{და} \quad \hat{U}_B(\bar{V}) = \frac{2.9059}{506} \cdot 100 = 0.57\%$$

ძაბვის გაზომვის განუსაზღვრელობა (A და B) ტიპის მეთოდებით განსაზღვრული) ტოლია

$$U(\bar{V}) = U_{AB}(\bar{V}) = \sqrt{[U_A(\bar{V})]^2 + [U_B(\bar{V})]^2} = \sqrt{3.71184^2 + 2.9059^2} = 4.7140 \text{ ვ}$$

მულტიმეტრით (PEAKMETER PM890 C/D) დენის ძალის გაზომვის შემთხვევითი ცდომილების საშუალო კვადრატული გადახრის (სკვ) შეფასება და ფარდობითი მაჩვენებელი ტოლია:

$$U_A(\bar{I}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{602}{10(10-1)}} = 2.5863, \quad 3 \quad \hat{U}_A(\bar{I}) = \frac{2.5863}{307.3} \cdot 100 = 0.84\%$$

მულტიმეტრით დენის ძალის გაზომვის გამოურცხავი სისტემატური ცდომილების საზღვრებია (კალიბრების მონაცემებით) $\theta_I = \pm(0.8\% \cdot V + 3) = \pm(0.8 \cdot 307.3/100 + 3) = \pm 5.45$, რომელშიც უცნობი მნიშვნელობა შეიძლება იყოს თანაბარი ალბათობით განაწილებული. ასეთი განაწილებისათვის საშუალო კვადრატული გადახრა შეესაბამება B ტიპის განუსაზღვრელობას- $U_B(\bar{I})$, რომელიც ტოლია $U_B(\bar{I}) = \theta_I / (L\sqrt{3})$ მკვ. სადაც $L=1,1$, როცა $P=0.95$. ანუ $U_B(\bar{I}) = 5.45 / (1.1\sqrt{3}) = 2.8639$ მკვ და $\hat{U}_B(\bar{I}) = \frac{2.8639}{307.3} \cdot 100 = 0.93\%$

დენის ძალის გაზომვის განუსაზღვრელობა (A და B) ტიპის მეთოდებით განსაზღვრული) ტოლია

$$U(\bar{I}) = U_{AB}(\bar{I}) = \sqrt{[U_A(\bar{I})]^2 + [U_B(\bar{I})]^2} = \sqrt{2.5863^2 + 2.8639^2} = 3.85887 \text{ მკვ}$$

2.4.7. შესასვლელი სიდიდეების მგრძობიარობის კოეფიციენტები

ძაბვის მგრძობიარობის კოეფიციენტი

$$C_V = \frac{\partial R}{\partial V} = \frac{1}{I} \Big|_{I=\bar{I}} = \frac{1}{307.3} = 3.254 \cdot 10^{-3} \text{ მკვ}^{-1}$$

დენის ძალის მგრძობიარობის კოეფიციენტი

$$C_I = \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{V}{I^2} \Big|_{\substack{V=\bar{V} \\ I=\bar{I}}} = -\frac{506.00}{307.3^2} = -5.411 \cdot 10^{-3} \text{ ვ/მკვ}^2$$

2.4.8. შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები

შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები მოცემულის ცხრ.16-ში.

სიდიდე	მონაცემები
შესასვლელი სიდიდე- ძაბვა V, ვ	განუსაზღვრელობის ტიპი- A განაწილება- ნორმალური შეფასებული მნიშვნელობა- 506 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 0,003254 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 3,71184
	განუსაზღვრელობის ტიპი- B განაწილება- თანაბარი შეფასებული მნიშვნელობა- 506 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 3,71184 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,9059
შესასვლელი სიდიდე- დენის ძალა I, მკა	განუსაზღვრელობის ტიპი- A განაწილება- ნორმალური შეფასებული მნიშვნელობა- 307,3 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 0,005411 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,5863
	განუსაზღვრელობის ტიპი- B განაწილება- თანაბარი შეფასებული მნიშვნელობა- 307,3 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 0,005411 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,8639
ცხრ. 16. შესასვლელი სიდიდეების კრებულთა მახასიათებლები	

2.4.9. გაზომვათა შედეგის ცდომილების წყაროების ანალიზი

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_A(\bar{V})$ ტოლია

$$U_{AV}(R) = \frac{\partial R}{\partial V} \cdot U_A(\bar{V}) = 3.254 \cdot 10^{-3} \cdot 3.71184 = 0.01208 \text{ მგომი}$$

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_A(\bar{I})$ ტოლია

$$U_{AI}(R) = \frac{\partial R}{\partial I} \cdot U_A(\bar{I}) = -5.411 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5863 = -0.01399 \text{ მგომი}$$

A ტიპის მიხედვით გამოთვლილი ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა ტოლია

$$U_A(R) = \sqrt{(U_{AV}(R))^2 + (U_{AI}(R))^2} = \sqrt{0.01208^2 + (-0.01399)^2} = 0.01849 \text{ მგომი}$$

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_B(\bar{V})$ ტოლია

$$U_{BV}(R) = \frac{\partial R}{\partial V} \cdot U_B(\bar{V}) = 3.254 \cdot 10^{-3} \cdot 2.9059 = 0.00946 \text{ მგომი}$$

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_B(\bar{I})$ ტოლია

$$U_{BI}(R) = \frac{\partial R}{\partial I} \cdot U_B(\bar{I}) = -5.411 \cdot 10^{-3} \cdot 2.8639 = -0.015497 \text{ მგომი}$$

B ტიპის მიხედვით გამოთვლილი ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა ტოლია

$$U_B(R) = \sqrt{[U_{BV}(R)]^2 + [U_{BI}(R)]^2} = \sqrt{0.00946^2 + (-0.015497)^2} = 0.01815 \text{ მგომი}$$

კაბელის იზოლაციის წინაღობის მნიშვნელობის ჯამური განუსაზღვრელობა A და B ტიპის განუსაზღვრელობების გათვალისწინებით ტოლი იქნება:

$U_C(R) = \sqrt{[U_A(R)]^2 + [U_B(R)]^2} = \sqrt{0.01849^2 + 0.01815^2} = 0.0259 \text{ მგომი}$ და ფარდობითი განუსაზღვრელობა :

$$\hat{U}_C(R) = U_C(R) / \bar{R} \cdot 100 = 0.0259 / 1.647 \cdot 100 = 1.57\%$$

იზოლაციის წინაღობის გაზომვის კომბინირებული სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლა ჩატარებული იყო ორი დაშვებით: 1. სამოდულო

ფუნქცია $R = \bar{V}/\bar{I}$ წრფივი ხასიათისაა და განვიხილეთ მისი გაშლა ტეილორის მწკრივად პირველი რიგის წევრების საშუალებით; 2. შესასვლელ სიდიდეებს (პრედიქტორებს) შორის არ არსებობს ნიშნადი კორელაცია (სრულად დამოუკიდებელი სიდიდეებია). შესამოწმებელია ამ დაშვებების სამართლიანობა.

2.4.10. სამოდულო ფუნქციის ანალიზი (არაწრფივი დამოკიდებულების გათვალისწინება)

შესამოწმებელია კონკრეტული გაზომვების პირობებისათვის სამოდულო ფუნქციის საგრძნობი არაწრფივობის გავლენა კომბინირებული სტანდარტული განუსაზღვრელობის გაანსაზღვრაში. ამისათვის სამოდულო ფუნქციის გაშლაში შევაფასოთ უფრო მაღალი (მეორე რიგის წევრების) გავლენა ფორმულით:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right)^2 + \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial^3 f}{\partial x_i \partial x_i \partial x_j^2} \right] \cdot U^2(x_i) \cdot U^2(x_j) \quad , \quad (3)$$

ჩვენი შემთხვევისათვის (ორი ცვლადის $-R=f(V,I)$ ფუნქცია) ფორმულა (3) მიიღებს სახეს

$$\begin{aligned} \Delta = & \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial V_i \partial I_j} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial V_i} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial V_i \partial V_i \partial I_j^2} \right] \cdot U^2(V_i) \cdot U^2(I_j) = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial V^2} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial V} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial V^3} \right] \cdot U^4(V) + \\ & + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial V \partial I} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial V} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial V \partial I^2} \right] \cdot U^2(V) \cdot U^2(I) + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial I \partial V} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial I} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial I \partial V^2} \right] \cdot U^2(I) \cdot U^2(V) + \\ & + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial I^2} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial I} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial I^3} \right] \cdot U^4(I). \end{aligned} \quad (4)$$

ფორმულაში (4) შემავალი კერძო წარმოებულებებისა და მათი შეფასებების $V = \bar{V}$ და $I = \bar{I}$ გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \frac{\partial R}{\partial V} = \frac{1}{\bar{I}}; \quad \frac{\partial^2 R}{\partial V^2} = 0; \quad \frac{\partial^3 R}{\partial V^3} = 0; \quad \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{\bar{V}}{\bar{I}^2}; \quad \frac{\partial^2 R}{\partial I^2} = \frac{2\bar{V}}{\bar{I}^3}; \quad \frac{\partial^3 R}{\partial I^3} = -\frac{6\bar{V}}{\bar{I}^4}; \quad \frac{\partial^2 R}{\partial I \partial V} = \frac{\partial^2 R}{\partial V \partial I} = -\frac{1}{\bar{I}^2}; \\ \frac{\partial^3 R}{\partial V \partial I^2} = \frac{2}{\bar{I}^3}; \end{aligned}$$

საბოლოოდ მიიღება გამოსახულება:

$$\Delta = \left[\frac{3}{\bar{I}^2} \cdot U^2(\bar{V}) + \frac{8 \cdot \bar{V}^2}{\bar{I}^4} \cdot U^2(\bar{I}) \right] \cdot \frac{U^2(\bar{I})}{\bar{I}^2} \quad (5)$$

ფორმულაში (4) მონაცემების რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მიიღება

$$\Delta = \left[\frac{3}{307.3^2} \cdot 4.7140^2 + \frac{8 \cdot 506^2}{307.3^4} \cdot 3.85887^2 \right] \cdot \frac{3.85887^2}{307.3^2} = 5.629 \cdot 10^{-7} \text{ მგომი}^2$$

მაშინ იზოლაციის წინაღობის გაზომვის კომბინირებულ სტანდარტული განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა $U_c(R)^*$ პრაქტიკულად მიიღება იგივე და სამოდულო ფუნქციის არაწრფივობა გავლენას არ ახდენს საბოლოო შედეგზე.

$$U_c(R)^* = U_c(R) = \sqrt{[U_A(R)]^2 + [U_B(R)]^2 + \Delta} = \sqrt{0.01849^2 + 0.01815^2 + 5.629 \cdot 10^{-7}} \cong 0.0259 \text{ მგომი}$$

2.4.11. ძაბვისა და დენის ძალის გაზომვის შედეგებს შორის კორელაციის შემოწმება

იზოლაციის წინაღობის გაზომვის კომბინირებული (ჯამური) სტანდარტული განუსაზღვრელობის ანგარიში ჩატარებული იყო იმ დაშვებით, რომ შესასვლელ სიდიდეებს (პრედიქტორებს) შორის არ არსებობს ნიშნადი კორელაცია (სრულად დამოუკიდებელი სიდიდეებია). შევამოწმოთ ამ დაშვების სამართლიანობა, რისთვისაც ვიანგარიშოთ კორელაციის კოეფიციენტი ამ სიდიდეებს შორის და ნიშნადი კორელაციის შემთხვევაში შევაფასოთ მის მიერ შეტანილი წვლილი ჯამურ განუსაზღვრელობაში.

შევაფასოთ პრედიქტორებს (V და I) შორის კორელაციური ხარისხი გამოსახულებით (5):

$$r(\bar{V}, \bar{I}) = \frac{CP_{VI}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (V_k - \bar{V})^2 \cdot \sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}} = \frac{\sum_{k=1}^n (V_k - \bar{V}) \cdot (I_k - \bar{I})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (V_k - \bar{V})^2 \cdot \sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}}$$

ფორმულაში (5) შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით კორელაციის კოეფიციენტისათვის მიიღება:

$$r(\bar{V}, \bar{I}) = \frac{427}{\sqrt{1240 \cdot 602.1}} = 0.4942$$

ექსელის პროგრამული გამოთვლებით კორელაციის კოეფიციენტები მოცემულია ცხრ.17 :

	V	I	R
V	1	0.494177216	0.392003104
I	0.494177216	1	0.60578647
R	0.392003104	-0.60578647	1

ცხრ.17. კორელაციის კოეფიციენტები $r(V,I)$; $r(V,R)$ და $r(I,R)$.

$r(\bar{V}, \bar{I}) = 0.4942$ მიუთითებს საშუალო სიძლიერის კორელაციაზე დაბვასა და დენის ძალას შორის, შესაბამისად იგი შეიძლება აღმოჩნდეს ნიშნადი იზოლაციის წინაღობის გაზომვისას.

პრედიქტორების იზოლაციის წინაღობასთან მიმართებაში კორელაციის ხარისხი შემდეგია: საშუალო დადებითი კავშირია $r(V,R)=0,39$ დაბვასა და წინაღობას შორის და უარყოფითი ძლიერი კავშირია $r(V,I)=-0,6$ დენის ძალასა და წინაღობას შორის.

შესამოწმებელია პრედიქტორებს შორის არსებული კორელაცია ნიშნადია თუ არა წინაღობის გაზომვის არსებული პირობებისათვის.

კორელაციის არსებობის დროს კომბინირებული განუსაზღვრელობის დისპერსია იანგარიშება ფორმულით

$$U_c^2(Y) = \sum_{i=1}^N C_i^2 \cdot U^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N C_i C_j r(x_i, x_j) U(x_i) U(x_j), \quad (6)$$

ორი V და I ცვლადი სიდიდის შემთხვევაში ($N=2$) ფორმულა (6) ჩაიწერება:

$$U_c^2(R) = C_V^2 \cdot U^2(\bar{V}) + C_I^2 \cdot U^2(\bar{I}) + 2C_V C_I r(\bar{V}, \bar{I}) U(\bar{V}) U(\bar{I}) \quad (7)$$

რიცხვითი მიშველობების ჩასმით მიიღება:

$$U_c^2(R) = (3.254 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (4.7140)^2 + (-5.411 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (3.85887)^2 + 2 \cdot 3.254 \cdot 10^{-3} \cdot (-5.411 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.4942 \cdot 4.714 \cdot 3.85887 = 0.0003547$$

კომბინირებული განუსაზღვრელობისთვის მივიღებთ ახალ დაზუსტებულ მნიშვნელობას

$$U_c(R) = 0.0188 \text{ მგომი, ანუ}$$

$$\hat{U}_c(R) = U_c(R) / \bar{R} * 100 = 0.0188 / 1.647 * 100 = 1.14\%$$

2.4.12. თავიუფლების ხარისხთა ეფექტურობის რიცხვი და გაფართოებული განუსაზღვრელობა

თავიუფლების ხარისხთა ეფექტურობის რიცხვი იანგარიშება ველს-სატერსვეიტის ფორმულით, რომელიც ჩვენი შემთხვევისთვის ჩაიწერება

$$v_{\text{ფ}} = (10 - 1) \cdot \left(1 + \frac{U_B^2(R)}{U_A^2(R)} \right)^2 \quad (8)$$

ფორმულაში რიცხვითი მნიშვნელობების $n=10$; $U_B(R) = 0.01815$ მგომი და $U_A(R) = 0.01849$ მგომი, მიიღება

$$v_{\text{ფ}} = (10 - 1) \cdot \left(1 + \frac{0.01815^2}{0.01849^2} \right)^2 = 34.73$$

$$v_{\text{ფ}} = 34 \text{ (დამრგვალება უმცირეს მთელ რიცხვამდე)}$$

$P=0.95$ სანდო ალბათობისათვის მოცვის კოეფიციენტი k განისზღვრება როგორც სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი $k = t_p(v_{\text{ფ}}) = t_{0.95}(34) = 2.03$, რასაც შეესაბამება გაფართოებული განუსაზღვრელობის შეფასება $U(R) = k \cdot U_c(R) = 0.0188 \cdot 2.03 = 0.038$ მგომი, ანუ $\hat{U}(R) = U(R) / \bar{R} \cdot 100 = 2.3\%$.

საბოლოოდ, დასმული ამოცანის- მაღალი ძაბვის კაბელის იზოლაციის ელექტრული წინაღობის ინტერვალური შეფასება (განუსაზღვრელობა) იქნება $(1.609 \leq R \leq 1.685)$ მგომი, $P = 0.95$.

თავი 3. მეტროპოლიტენის ელექტროტრანსპორტის ენერგომომხმარების კორელაცია - რეგრესიული ანალიზი

3.1. საბაზო მოდელის დამუშავება მეტროპოლიტენის ჯამური ელექტრომომხმარების მონაცემების მისედვით

3.1.1. ენერგომომხმარების ნედლი მონაცემები საბაზისო და მონიტორინგის წლებში

საქართველოს სატრანსპორტო კომპანიის მეტროპოლიტენი ელექტროენერჯის ერთ-ერთი მსხვილი მომხმარებელია (70ათასი მგვტსთ/წ), რომლის ძირითადი ნაწილი (50-60%) მოდის წვევის აგრეგატებზე, ხოლო დანარჩენი: ხმარდება ესკალატორების, წყალსაქაჩების, ვენტილატორების, განათების და სხვა მომხმარებლებს. კომპანიის ძირითადი ენერგეტიკული მოწყობილობა და, ელექტრო მატარებლების მართვის სისტემა მოძველებულია, რაც განაპირობებს ენერჯის დიდ დანაკარგებს, შესაბამისად მაღალ ელექტრო მოხმარებას და დაახლოებით ერთი რიგით დადგმული ელექტრული სიმძლავრის საჭიროებას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ტრანსპორტის საიმედოობა და მგზავრების გადაყვანის კომფორტის ამაღლება. ბოლო წლებში კომპანიაში განხორციელდა ენერგოეფექტური ღონისძიებების პაკეტი, რომელიც მოიცავდა: განათების არსებული ვარვარა ნათურების შეცვლას თანამედროვე ეფექტური ნათურებით; ავარიული განათების მოდერნიზაციას ენერჯის დაზოგვით და მუშაობის საიმედოობის ამაღლებით; ძალოვანი კაბელების შეცვლას მოძრაობის უსაფრთხოების გაზრდით და ენერჯის დაზოგვით; სამგზავრო ვაგონების მოდერნიზაციას მგზავრობის კომფორტის ამაღლებით; ვენტილაციის სისტემის მოდერნიზაციას და სხვა.

ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარებით მნიშვნელოვნად დაიზოგა ენერგო მოხმარება, ამაღლდა მოძრაობის უსაფრთხოება და მგზავრობის კომფორტი. მიუხედავად აღნიშნულისა, კიდევ რჩება ენერჯის კარგვის მნიშვნელოვანი წყაროები, რაც დაკავშირებულია: ელექტრომატარებლების მართვის არსებული მოძველებულ-რელეკონტაქტორულ სისტემასთან; მესამე

რელსის (საკონტაქტო რელსი) მოდერნიზაციასთან; ცალკეული მსხვილი მოხმარებლების მრიცხველებით აღჭურვა (გამიჯვნა საერთო აღრიცხვიდან) მონიტორინგის ჩასატრებლად და სხვა მნიშვნელოვან ენერგოეფექტურ ღონისძიებებთან.

ჩატარებულია ფოკუსირებული ენერგოაუდიტი, რომლის მიზანია კორელაციური კავშირის დადგენა მოხმარებულ ელექტროენერგიასა და გადაყვანილ მგზავრების რაოდენობას შორის, რათა გაირკვეს წევის აგრეგატების და სხვა დამხმარე მოწყობილობა-აგრეგატების უფრო თანამედროვე დანადგარებით შეცვლისა, ან მათი მართვის გაუმჯობესებული პრინციპებით განხორციელების საინვესტიციო ეფექტიანობა და რენტაბელობა.

ელექტროენერგიის მოხმარების შეგროვებული მონაცემები-საბაზისო მონაცემები მოპოვებულია გაზომვის სტაციონარული მრიცხველების ჩვენებებით, რომლებიც მუდმივად- უწყვეტ რეჟიმში აღრიცხავს წევის აგრეგატების და კომპანიის ჯამური ელექტროენერგიების ხარჯებს და რაოდენობებს.

გადაყვანილ მგზავრის და მოხმარებული ენერგიას შორის არის სტატისტიკური დამოკიდებულება, როცა გადაყვანილ მგზავრის სიდიდის ცვლილება იწვევს მოხმარებული ენერგიის საშუალო მნიშვნელობის ცვლილებას, ანუ ადგილი აქვს მათ შორის კორელაციას. დამოუკიდებელი ცვლადია გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა (პრედიქტორი), ხოლო დამოკიდებული ცვლადი-მოხმარებული ენერგია. მათ შორის დამოკიდებულება არის პირდაპირი, ე.ი. ადგილი აქვს დადებით კორელაციას-გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობის გაზრდა იწვევს ენერგიის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის გაზრდას. P

პრედიქტორსა და მოხმარებულ ენერგიას შორის მკაცრი კავშირის დადგენა შეუძლებელია, რადგან მოხმარებული ენერგიის მნიშვნელობა განისაზღვრება არა მარტო კონკრეტული პრედიქტორის მნიშვნელობით, არამედ სხვა (გაუთვალისწინებელი ან არაკონტროლირებადი) ფაქტორებით, აგრეთვე იმით, რომ ცვლადების მნიშვნელობების გაზომვა უცილობლად „დამძიმებულია“ ზოგიერთი შემთხვევითი ხასიათის ცდომილებებით. რადგან ჩვენ შემთხვევაში აღებულია მხოლოდ ერთი პრედიქტორი ამიტომ ვიხილავთ წყვილი რეგრესიის შემთხვევას. რეგრესიის განტოლების შედგენა მოიცავს ორ ეტაპს:

1. დამოკიდებულების სახის დადგენა (სპეციფიკაციის ეტაპი);
2. რეგრესიის კოეფიციენტების განსაზღვრა (იდენტიფიკაციის ეტაპი)

რეგრესიის კოეფიციენტების განსაზღვრა ხდება უმცირესი კვადრატების მეთოდით, რომლის თანახმადაც ენერჯის მოხმარების ღირძის მიმართ წრფიდან “წერტილების” გადახრის კვადრატების ჯამი არის მინიმუმი.

ხაზოვანი წყვილი კორელაციის შემთხვევაში ცვლადებს შორის მჭიდრო კავშირია, თუ კორელაციის კოეფიციენტი მეტია 0.7, ხოლო სუსტი-როცა ნაკლებია 0.3-ზე.

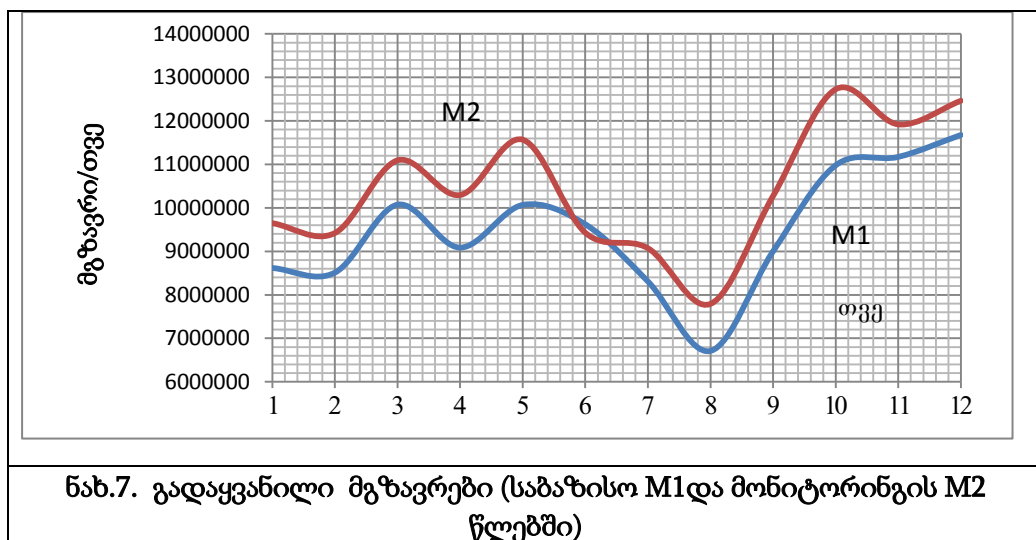
ელექტროენერჯის მოხმარების მონიტორინგის ჩასატარებლად დამუშავებელია გასული წლის (საბაზისო წელი) ელექტროენერჯის მოხმარების მოდელი. ცხრ.18.-ში მოცემულია საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვანილი მგზავრებისა და შესაბამისი მოხმარებული ელექტრო ენერჯების ნედლი მონაცემები [28-30].

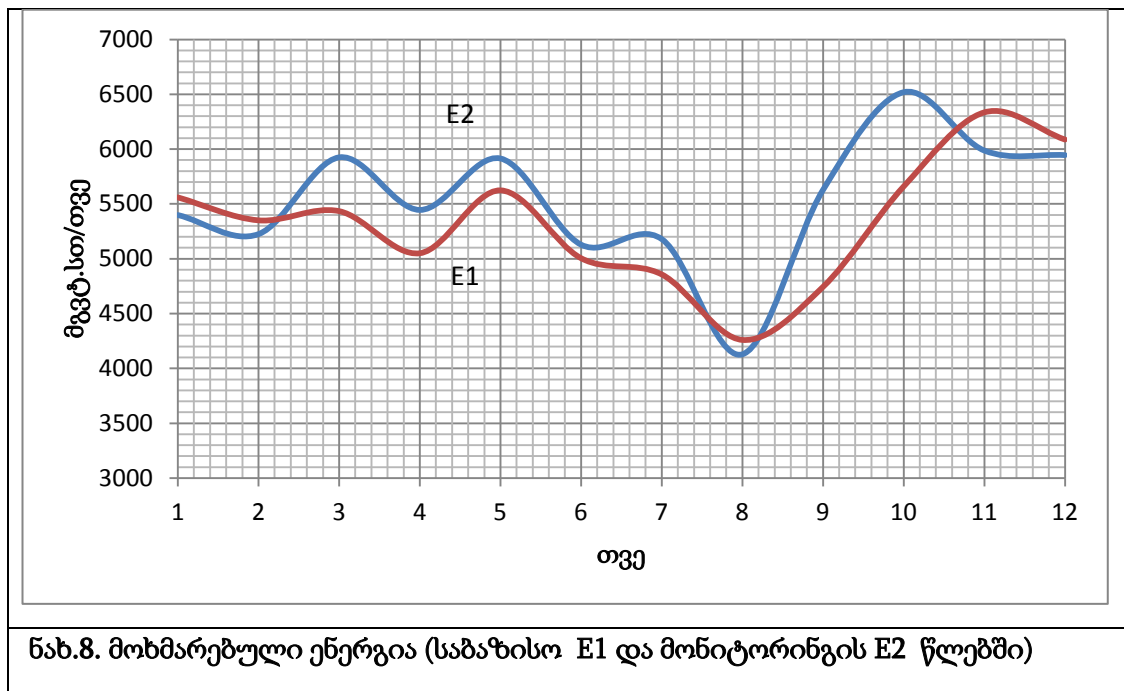
მონიტორინგის წელს გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა გაიზარდა 10.6%-ით ხოლო მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა კი მხოლოდ - 3.8 %-ით (ცხრ.18.) ერთ გადაყვანილ მგზავრზე დახარჯული ელექტროენერჯის რაოდენობები საბაზისო და მონიტორინგის წლებში ტოლია შესაბამისად 0.562კვტ.სთ/მგზ და 0.527 კვტ.სთ/მგზ. შედეგად მონიტორინგის წელს საბაზო წელთან შედარებით დაიზოგა 0.034კვტ.სთ/მგზ. საბაზისო და მონიტორინგის წელს კომპანიაში არ განხორციელებულა მნიშვნელოვანი ენერგოეფექტური პროექტი, ამიტომ მოხმარებული ელექტრო ენერჯის დაზოგვის გარკვეული ნაწილი (პრაქტიკულად საინვესტიციო ნულოვანი ხარჯების პირობებში) დაკავშირებულია საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესებასთან.

თვე	საბაზისო წელი		მონიტორინგის წელი	
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერგომომხმარება მგვტ.სთ/თვე	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერგომომხმარება მგვტ.სთ/თვე
	M ₁	E ₁	M ₂	E ₂
1	8617861	5560.0	9648409	5399,1
2	8510834	5350.5	9421612	5224,9
3	10074382	534.3	11092912	5925
4	9086141	505.5	10294992	5445.4
5	10067881	5623.9	11568562	5914.6
6	9623134	5005.0	9429023	5128.5
7	8308241	4857.4	9072002	5179.6
8	6710592	4260.0	7792065	4129
9	9001031	4744.0	10274432	5628.5
10	10978550	5659.7	12728132	6519.1
11	11172312	6335.1	11920222	5986.9
12	11676755	6087.2	12463734	5945.3
ჯამი	11382771	63967.6	125706797	66425.9

ცხრ.18. საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვანილი მგზავრებისა და შესაბამისი მოხმარებული ელექტრო ენერგიების ნედლი მონაცემები

G ნახ.7. ნაჩვენებია თვეების მიხედვით საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვანილი მგზავრებისა და ნახ.8. მოხმარებული ელექტროენერგიების რაოდენობები.





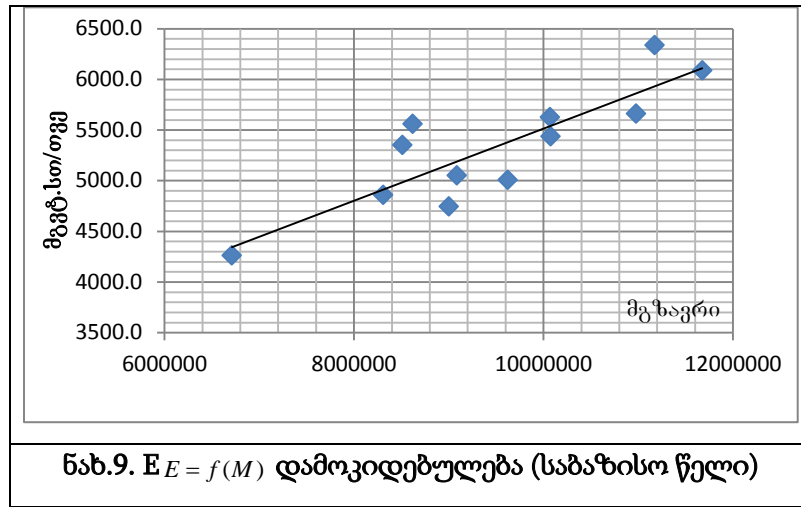
3.1.2. საბაზისო წელი (მონიტორინგის ჩასატარებლად მოდელის შემუშავება)

	<i>M1</i>	<i>E1</i>
M1	1	
E1	0.85768296	1

ცხრ.19. კორელაციის კოეფიციენტი (მგზ.-ენერგ.)

გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობასა და კომპანიის მიერ მოხმარებულ ენერჯიას შორის (ნახ.9. და ცხრ.19.). არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი-

პირსონის კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია $r=0.86$. დეტერმინაციის კოეფიციენტი $r^2=0.735620075$.



გრაფიკის (ნახ.9.) სახე გადაყვანილ მგზავრებსა და მოხმარებულ ელექტროენერგიას შორის მონაცემების შესაბამისად პრაქტიკულად არის წრფე განტოლებით $E = k \cdot M + e$, სადაც E -არის ელექტროენერგიის მოხმარება მგვტ.სთ/თვე; M - იგივე პერიოდში გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა მგზ./თვე; k -პროპორციულობის კოეფიციენტი გადაყვანილ მგზავრებსა და ელექტროენერგიის მოხმარებას შორის (აბცისათა ღერძის მიმართ წრფის დახრის კუთხის ტანგენსი); e -გადაყვანილი მგზავრების ნულოვანი რაოდენობის შესაბამისი ელექტროენერგიის მოხმარების მნიშვნელობა (მგვტ.სთ/თვე), რომელიც მოიცავს ორი მდგენელს:

1. წვეის აგრეგატებისა და მოწყობილობების ენერჯის დანაკარგები მგზავრების გადაყვანის პროცესში და ენერჯის დანაკარგები დამხმარე პროცესების უზრუნველყოფაზე. შესაბამისად -პარამეტრი $\eta = KP / (KP + e)$ განსაზღვრავს მგზავრების გადაყვანის პროცესის ეფექტიანობას. აქედან გამომდინარე მიუთითებს მისი მნიშვნელობის შემცირების აქტუალურობაზე კომპანიისათვის. ენერგოეფექტურობის მაჩვენებელი გამოდგება დანაკარგების აღმოსაჩენად, მისი ანალიზისათვის და შემდგომში დანაკარგების აღმოსაფხვრელად. წრფის დეტერმინაციის კოეფიციენტი $r^2=0.86^2=0.74$, ნიშნავს მოხმარებული ენერჯის ვარიაციის 74% განისაზღვრება გადაყვანილი მგზავრების ვარიაციით, ხოლო დანარჩენი $100-74=26\%$ არის

აუხსნელი ანუ შემთხვევითი ვარიაცია. შესაბამისად 0,26 არის არადეტერმინაციის კოეფიციენტი. წრფე გრაფიკზე (ნახ.9.) გამოსახავს ენერგიის მოხმარების ძირითად ტენდენციას. ტრენდის ხაზის მიმართ “წერტილების” გაბნევა ასახავს კომპანიის მართვის ხარისხის, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობის, მომსახურების ხარისხის, ტექნოლოგიური პროცესების არასტაბილურობის და სხვა მრავალი ფაქტორების გავლენას.

რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე: $E_1 = 0.00035546 * M_1 + 1958.866739$ (ცხრ.20). ამ ფორმულით გამოითვლება მოსალოდნელი ენერგომოხმარება საბაზისო წელს. სადაც E_{E_1} - არის ენერგიის ყოველთვიური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე; M_1 -იგივე პერიოდში გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა. 0.00035546- არის წრფის აბცისათა ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი.

SUMMARY OUTPUT					
<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.857682969				
R Square	0.735620075				
Adjusted R square	0.709182082				
Standard Error	314.3750036				
Observations	12				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	2749926.658	2749926.658	27.82435441	0.00036028
Residual	10	988316.4286	98831.64286		
Total	11	3738243.087			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	1958.866739	645.6221949	3.034075896	0.012589237	520.3308432
M1	0.00035546	6.73873E-05	5.274879564	0.00036028	0.000205312

ცხრ.20. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები (საბაზისო წელი)

როცა გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა ნულის ტოლია მაშინ ენერგიის მოხმარება ტოლია- 1958.866739 მგვტსთ (წრფის თავისუფალი წევრი), რომელიც შეესაბამება ენერგიის ხარჯს დამხმარე პროცესების -ესკალატორების, განათების, წყალსაქაჩების და სხვა პროცესების უზრუნველყოფას. მგზავრების გადაყვანის დროს დამატებით ადგილი აქვს აგრეთვე ენერგიის დანაკარგებს უშუალოდ ძირითადი პროცესის განხორციელებისას.

3.1.3. ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრა

ცხრ.21. მოცემულია ელექტრო ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის გაანგარიშება.

დაკვირვების თვე	საბაზისო წელი				
	გადაყვანილი მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერჯომოხმარება მგვტ.სთ/თვე	მოსალოდნელი ჯამური ენერჯომოხმარება მგვტ.სთ/თვე	სხვაობა მგვტ.სთ	სხვაობის კვადრატი მგვტ.სთ ²
	M_1	E_1	E_1^*	$E_1 - E_1^*$	$(E_1 - E_1^*)^2$
1	861786	5560.0	5022.17161	537.8	289259.4
2	8510834	5350.5	4984.127793	366.4	134228.6
3	10074382	5434.3	5539.906565	-105.6	11152.7
4	9086141	5050.5	5188.626419	-138.1	19078.9
5	10067881	5623.9	5537.595719	86.3	7448.4
6	9623134	5005.0	5379.505951	-374.5	140254.7
7	8308241	4857.4	4912.114085	-54.7	2993.6
8	6710592	4260.0	4344.213771	-84.2	7092.0
9	9001031	4744.0	5158.373218	-414.4	171705.2
10	10978550	5659.7	5861.302122	-201.6	40643.4
11	11172312	6335.1	5930.176763	404.9	163962.8
12	11676755	6087.2	6109.486071	-22.3	496.7
ჯამი	113827714	63967.6	63967.6	0.0	988316.4
საშუალო	9485642.8	5330.6	5330.6		314.4
					90.75224
					6
					1.7

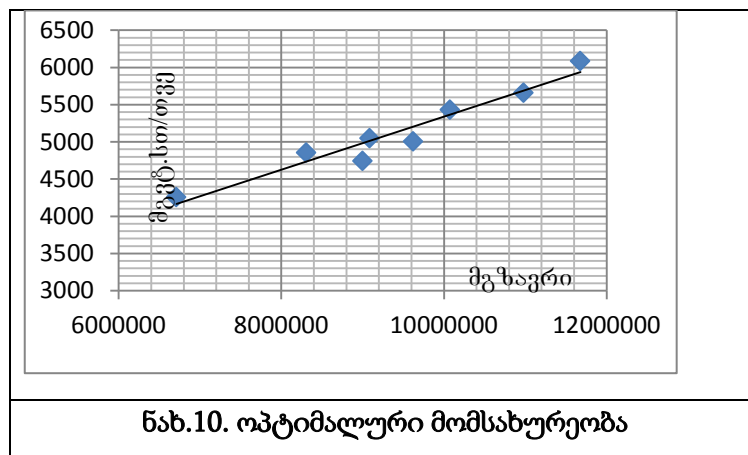
ცხრ.21. ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა

ელექტროენერჯის თვიური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა შეადგენს 1.7%-ს.

აპროქსიმაციის ხაზის (ნახ.9.) ქვევით მოთავსებული "წერტილები": 4260; 4857.4; 47444.0; 5050.5; 5005,0; 5434.3; 5659.7; 6087.2. შეესაბამება ოპტიმალურ ოპერაციულ მომსახურეობას. გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობასა და კომპანიის მიერ მოხმარებულ ელექტრო ენერჯიას შორის (ოპტიმალური ოპერაციული მომსახურების შემთხვევა) სურათი ნაჩვენებია ცხრ.22. და ნახ.10-ზე.

თვე	საბაზისო წელი (ოპტიმალური მომსახურება)	
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერგომომხმარება მგვტ.სთ/თვე
	M ₁	E ₁
3	10074382	5434.3
4	9086141	5050.5
6	9623134	5005.0
7	8308241	4857.4
8	6710592	4260.0
9	9001031	4744.0
10	10978550	5659.7
12	11676755	6087.2
ჯამი	75458826	41098.1
საშუალო	432353	5137.3

ცხრ.22. ოპტიმალური მომსახურება



გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობასა და კომპანიის მოხმარებულ ელექტროენერგიას შორის (ოპტიმალურ რეჟიმში) არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი-პირსონის კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია $r=0.97$ (ცხრ.23.), ხოლო წრფის დეტერმინაციის კოეფიციენტი $r^2=0.972=0.93$, ე.ი. მოხმარებული ენერგიის ვარიაციის 0.93% განისაზღვრება გადაყვანილი მგზავრების ვარიაციით. დანარჩენი $100-93=7\%$ არის აუხსნელი, ანუ შემთხვევითი ვარიაცია. შესაბამისად 0,07 არის არადეტერმინაციის კოეფიციენტი. შედეგად რეგრესიის განტოლების შერჩევის სიზუსტე მაღალია.

კორელაცია $r(M'_1, E'_1)$		
	M'_1	E'_1
M'_1	1	
E'_1	0.966711393	1

ცხრ.23. კორელაცია $r(M'_1, E'_1)$

წრფე გრაფიკზე (ნახ.10.) გამოსახავს ენერჯის მოხმარების ძირითად ტენდენციას. ტრენდის ხაზის მიმართ წერტილების გაბნევა მიუთითებს ისეთ ფაქტორებზე როგორცაა: კომპანიის მართვის ხარისხი, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა, ტექნოლოგიური მომსახურების ხარისხი, პროცესების არასტაბილურობა და სხვა.

რეგრესიის განტოლებას (ცხრ.24.) აქვს სახე $E'_1=0.000356426 \cdot M'_1+1775.32855$, სადაც E'_1 - არის ენერჯის ყოველთვიური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე; M'_1 - M' -იგივე პერიოდში გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა. 0.000356426-წრფის აბცისათა ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი. როცა გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა ნულის ტოლია მაშინ ენერჯის მოხმარება ტოლია 1775.32855 მგვტსთ (წრფის თავისუფალი წევრი), რომელიც შეესაბამება ენერჯის ხარჯს დამხმარე პროცესების-ესკალატორების, განათების, წყალსაქაჩების და სხვა პროცესების უზრუნველყოფას.

SUMMARY OUTPUT					
<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.966711393				
R Square	0.934530917				
Adjusted R Square	0.923619404				
Standard Error	158.1133539				
Observations	8				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	2141143.483	2141143.483	85.64631254	8.99333E-05
Residual	6	149998.996	24999.83267		
Total	7	2291142.479			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	1775.32855	367.5504019	4.830163538	0.002909775	875.9651155
M1	0.000356426	3.85137E-05	9.254529299	8.99333E-05	0.000262186

ცხრ.24. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები (საბაზისო წელი, ოპტიმალური ექსპლუატაცია)

3.1.4. ელექტრო ენერჯის მოხმარების (ექსპლუატაციის ოპტიმალური რეჟიმი)

საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრა და სამიზნე დანაზოგი

ცხრ.25. მოცემულია ელექტრო ენერჯის მოხმარების (ექსპლუატაციის ოპტიმალური რეჟიმი) საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრის მონაცემები.

თვე	საბაზისო წელი (ოპტიმალური ოპერაციული მომსახურება)				
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერჯომომხმარება მგვტ.სთ/თვე	მოსალოდნელი ჯამური ენერჯომომხმარება მგვტ.სთ/თვე	სხვაობა მგვტ.სთ	სხვაობის კვადრატი მგვტ.სთ ²
	M' ₁	E' ₁	E' _{1*}	E' ₁ -E' _{1*}	(E' ₁ -E' _{1*}) ²
3	10074382	5434.3	5366.100229	68.2	4651.2
4	9086141	5050.5	5013.865442	36.6	1342.1
6	9623134	5005.0	5205.263709	-200.3	40105.6
7	8308241	4057.4	4736.601657	120.8	14592.2
8	6710592	4260.0	4167.158014	92.8	8619.6
9	9001031	4744.0	4983.530025	-239.5	57374.6
10	10978550	5659.7	5688.369212	-28.7	821.9
12	11676755	6087.2	5937.227628	150.0	22491.7
ჯამი	75458826	41098.1	41098.1	0.0	149999.0
საშ.	9432353	5137	5137		158.1
					55.901512
					1.1

ცხრ.25. ენერჯის მოხმარების (ოპტიმალური ექსპლუატაცია) საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა

E

ელექტროენერჯის თვიური მოხმარების (ოპტიმალური ექსპლუატაციის პირობებში) საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა შეადგენს 1.1 %-ს.

მგზავრების გადაყვანის დროს დამატებით ადგილი აქვს აგრეთვე ენერჯის დანაკარგებს უშუალოდ ძირითადი პროცესის განხორციელებაზე.

ოპტიმალური ოპერაციული რეჟიმის განხორციელების შემთხვევაში ენერჯის მოსალოდნელი დაზოგვის მნიშვნელობის გაანგარიშება მოცემულია ცხრ.26.

თვე	საბაზისო წელი				
	ფაქტიური ოპერაციული რეჟიმი			ოპტიმალური ოპერაციული რეჟიმი	
	1	2	3	3*	3**
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა (საბაზისო წელი)	ენერგომოხმარება (ფაქტიური, მრიცხველებით), მგვტ.სთ / თვე (საბაზისო წელი)	მოსალოდნელი მოხმარება, ფორმულით E ₁ მგვტ.სთ	მოსალოდნელი მოხმარება, ფორმულით E ₂ მგვტ.სთ	ენერგიის ეფექტური რეჟიმით დანაზოგი მგვტ.სთ/ თვე
1	8617861	5560.0	5022.2	4847.0	-175.2
2	8510834	5350.5	4981.1	4808.8	-175.3
3	10074382	5434.3	5539.9	5366.1	-173.8
4	9086141	5050.5	5188.6	5013.9	-174.8
5	10067881	5623.9	5537.6	5363.8	-173.8
6	9623134	5005.0	5379.5	5205.3	-174.2
7	8308241	4857.4	4912.1	4736.6	-175.5
8	6710592	4260.0	4344.2	4167.2	-177.1
9	9001031	4744.0	5158.4	4983.5	-174.8
10	10978550	5659.7	5861.3	5688.4	-172.9
11	11172312	6335.1	5930.2	5757.4	-172.7
12	11676755	6087.2	6109.5	5937.2	-172.3
ჯამი	113827714	63967.6	63967.6	61875.1	-2092.5 -3.27

ცხრ.26. ოპტიმალური ოპერაციული მომსახურებით მიღებული ენერგიის დანაზოგი

ოპტიმალური ოპერაციული მომსახურებით მიღებული ენერგიის შესაძლო დანაზოგი ტოლია ენერგიის ჯამური მოხმარების-3.27%-ს.

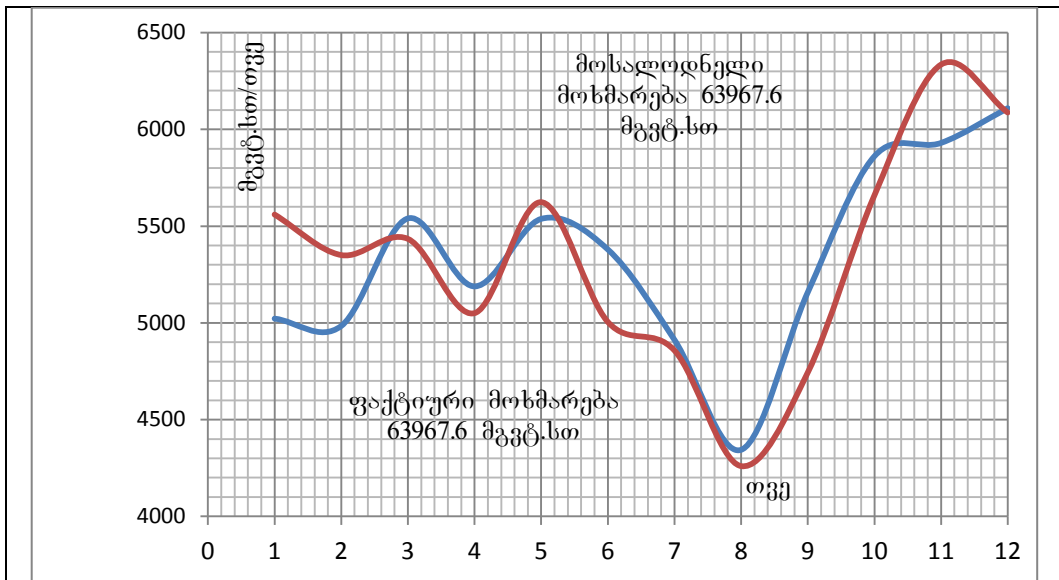
შესაბამისად სამიზნე დაზოგვის (ინვესტიციის გარეშე) მნიშვნელობად მივიღოთ 3.27%.

ფაქტიური მოხმარების და სამიზნე დაზოგვის გაანგარიშების მონაცემები მოცემულია ცხრ.27.

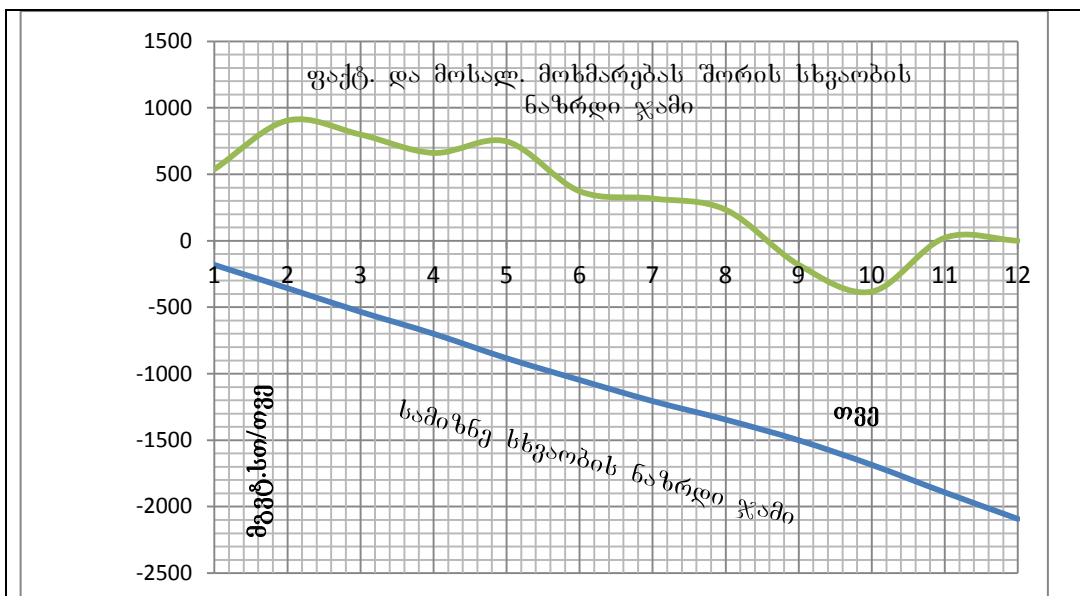
ნახ.11. მოცემულია ენერგიის ფაქტიური და მოსალოდნელი მოხმარებების სხვაობების ცვლილება თვეების მიხედვით საბაზისო წელს. ნახ. 12. მოცემულია ენერგიის ფაქტიურ და მოსალოდნელ მოხმარებებს შორის სხვაობების ნაზრდი ჯამების და სამიზნე სხვაობების ნაზრდი ჯამების ცვლილების ხასიათი მონიტორინგის წელს თვეების მიხედვით.

						3.27%		
თვე	საბაზისო წელი (ფაქტიური ოპერაციული რეჟიმი)					სამიზნე (ოპერაციული რეჟიმი)		
	1	2	3	4	5	6	7	8
	გადაყვა-ნილ მგზავრთა რაოდენობა (საბაზისო წელი)	სულ ენერგომოხმარება (ფაქტიური, მრიცხველებით), მგვტ.სთ / თვე	მოსალოდნელი მოხმარება, ფორმულით E ₁ მგვტ.სთ	განსხვავება ფაქტობრივ და მოსალოდნელ მოხმარებას შორის მგვტ.სთ/თვე	ფაქტობრივ და მოსალოდნელ მოხმარებას შორის სხვაობის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ	0,9673 (ფაქტ), წლიური ხარჯების შემცირება 3,27%-ით	სამიზნე დაზოგვა (ფაქტიური) მგვტ.სთ/თვე	სამიზნე სხვაობის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ
1	8617861	5560.0	5022.2	537.8	537.8	5378.2	-181.8	-181.8
2	8510834	5350.5	4984.1	366.4	904.2	5175.5	-175.0	-356.8
3	10074382	5404.3	5539.9	-105.6	798.6	5256.6	-177.7	-534.5
4	9086141	5050.5	5188.6	-138.1	660.5	4885.3	-165.2	-699.6
5	10067881	5623.9	5537.6	86.3	746.8	5440.0	-183.9	-883.5
6	9623134	5005.0	5379.5	-374.5	372.3	4841.3	-163.7	-1047.2
7	8308241	4857.4	4912.1	-54.7	317.6	4698.6	-158.8	-1206.0
8	6710592	4260.0	4344.2	-84.2	233.3	4120.7	-139.3	-1345.3
9	9001031	4744.0	5158.4	-414.4	-181.0	4588.9	-155.1	-1500.5
10	10978550	5659.7	5861.3	-201.6	-382.6	5474.6	-185.1	-1685.5
11	11172312	6335.1	5930.2	404.9	22.3	6127.9	-207.2	-1892.7
12	11676755	6087.2	6109.5	-22.3	0.0	5888.1	-199.1	-2091.7
113827714	63967.6	63967.6	0.0			61875.9	-63967.6	
				61875.9	-	63967.6	=	-2091.7
								-3.27
								%

ცხრ.27. ფაქტიური მოხმარების და სამიზნე დაზოგვის გაანგარიშების მონაცემები



ნახ.11. ფაქტიური და მოსალოდნელი მოხმარება თვეების მიხედვით



ნახ.12. ენერგიების სხვაობების ნაზრდი ჯამების ცვლილება თვეების მიხედვით

ენერჯის ოპტიმალური ოპერაციული მოხმარების შესაბამისი ენერჯის დაზოგვის მნიშვნელობა ტოლია -2091,7 მგვტ.სთ/წ, ანუ ჯამური მოხმარების - 3,27%. მონიტორინგის წელს ენერჯის მოხმარების სამიზნე დაზოგვად ამ უკანასკნელის მიღება გვამლევს ცხრ. 3.11. მოყვანილ გაანგარიშებების მონაცემებს.

ცხრ.28. მოცემულია საბაზისო და მონიტორინგის წლების ენერჯის მოხმარების ფაქტიური და ოპტიმალური რეჟიმებით მუშაობებს შორის ენერჯის მოხმარების შესაძლო დანაზოგის მაჯამებელი მონაცემები.

კომპანიის საბაზისო წლის ჯამური ფაქტიური ენერჯო მოხმარება შეადგენს 63967,6მგვტ.სთ/წ. (სვეტი3), იგივე, მოსალოდნელი მოხმარება- 63967,6მგვტ.სთ/წ გაანგარიშებული რეგრესიის E_1 განტოლებით (სვეტი-4).

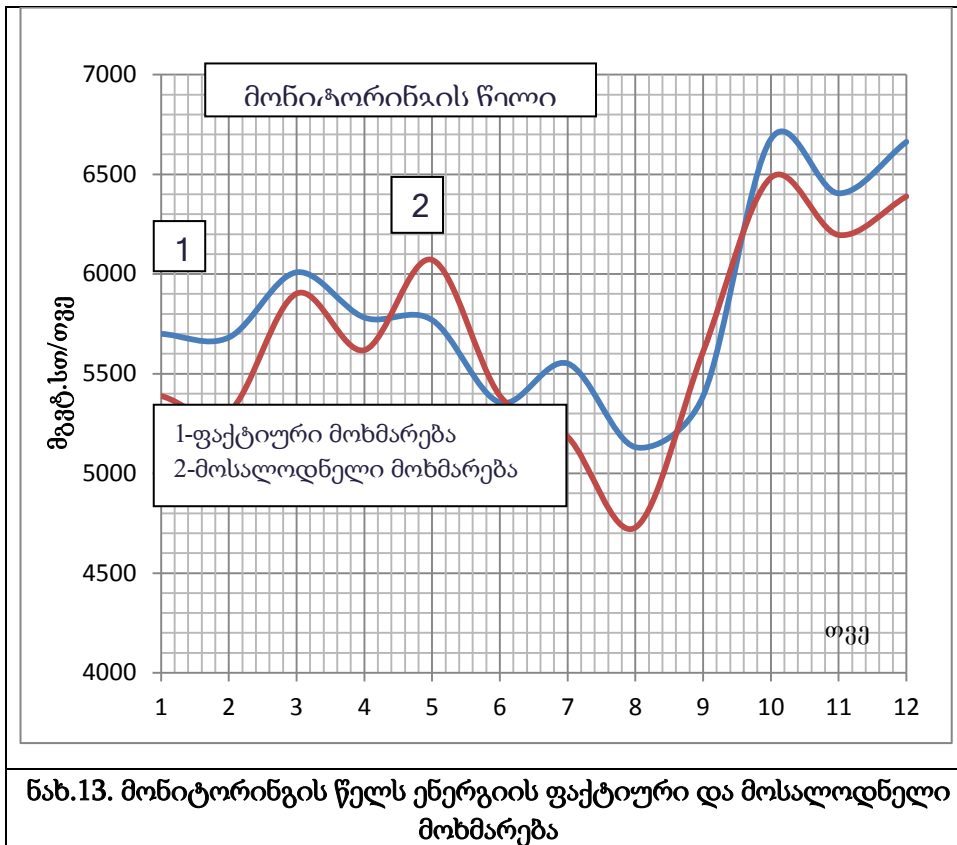
მონიტორინგის წელს გადაყვანილი მგზავრების და მოხმარებული ენერჯის

ნედლი მონაცემები თვეების მიხედვით მოცემულია შესაბამისად B და C სვეტებში, ხოლო მმოსალოდნელი მოხმარება გაანგარიშებული საბაზისო მოდელის ფორმულით მოცემულია $E_1=0.00035546*M_1+1958.866739$, სვეტ D-ში: 68269.6 მგვტ.სთ/წ, მონიტორინგის წელს ენერჯის მოხმარების შემცირება (დაზოგვა) ტოლია 66425,9-68269,6 =-1843.7 მგვტ.სთ/წ. ანუ მონიტორინგის წელს ფაქტიური კუმულაციური დანაზოგი ტოლია -1843.7მგვტ.სთ/წ. (2,88%) სამიზნე დანაზოგად მიღებული გვქონდა 3.27% დაზოგვა, ანუ მიზანი (2092მგვტ.სთ/წ) შეუსრულებელი დარჩა 0.39 %-ით. (249მგვტ.სთ/წ).

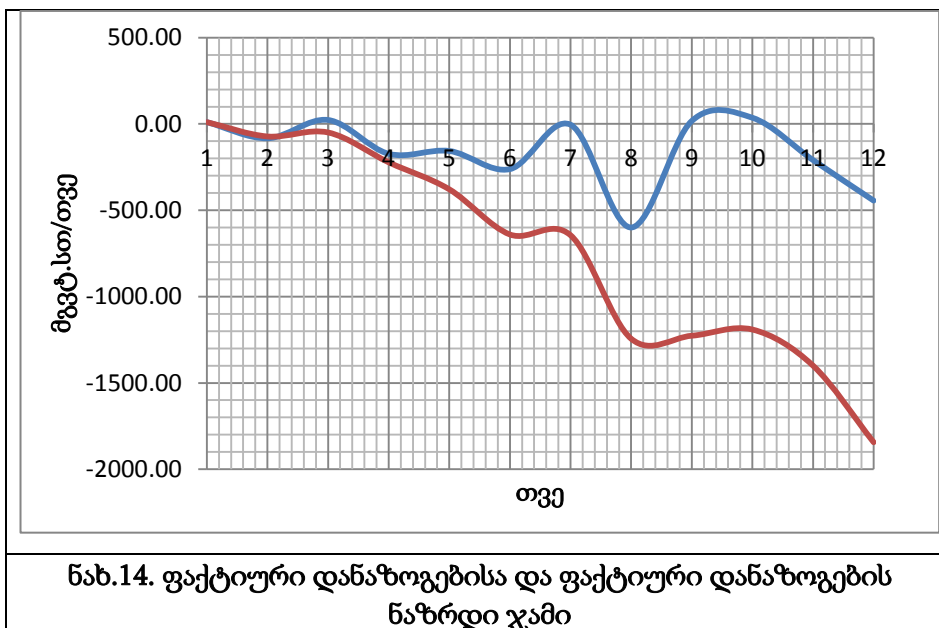
ნახ.13. მოცემულია მონიტორინგის წელს თვეების მიხედვით ფაქტიური (1) და მოსალოდნელი (2) ენერჯის მოხმარების გრაფიკები.

მოსალოდნელი მოხმარება გაანგარიშებულია წინა წლის მონაცემების მიხედვით შედგენილი რეგრესიის მოდელის განტოლებით $E=0,00035546*M_1+1958.866739$, მგვტ.სთ/თვე.

ნახ.14. მოცემულია მონიტორინგის წელს ფაქტიური დანაზოგებისა და ფაქტიური დანაზოგების კუმულაციური ჯამების ცვლილებები თვეების მიხედვით.



ნახ.13. მონიტორინგის წელს ენერჯის ფაქტიური და მოსალოდნელი მოხმარება



ნახ.14. ფაქტიური დანაზოგებისა და ფაქტიური დანაზოგების ნაზრდი ჯამი

საბაზისო და მონიტორინგის წლების მაჯამებელი მონაცემები								
	2	3	4	5	6	7	8	9
	საბაზისო წელი					სამიზნე მოხმარება		
ოვე	გადაყვანილი მცზავრი	ფაქტური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე	მოსალოდნელი მოხმარება მგვტ.სთ/თვე, E1	სხვაობა (ფაქტ-მოსალ) მგვტ.სთ/თვე	სხვაობის ნაზრდი ჯამი მგვტ.სთ/თვე	მოხმარების სამიზნე შმცილება მგვტ.სთ/თვე	ძენერგის დაზოგვა მგვტ.სთ/თვე	დაზოგვის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ/თვე
1	8617861	5560.0	5022.2					
2	8510834	5350.5	4984.1					
3	10074382	5434.3	5539.9					
4	9086141	5050.5	5188.6					
5	10067881	5623.	5537.6	M				
6	9623134	5005.0	5379.5					
7	8308241	4857.4	4912.1					
8	6710592	4260.0	4344.2					
9	9001031	4744.0	5158.4					
10	10970550	5659.7	5861.3					
11	11172312	6335.1	5930.2					
12	11676755	6087.2	6109.5					
ჯამი	113827714	63967.6	63967.6			სამიზნე მოხმარება		
მონიტორინგის წელი						-3.27%	სხვ-ბა	ნაზ. ჯ.
1	9648400	5399.1	5388.5	10.6	10.6	5212.3	176.20	176.20
2	9421612	5224.9	5307.9	-83.0	-72.4	5134.3	173.57	349.77
3	11092912	5925	5902.0	23.0	-49.3	5709.0	192.99	542.76
4	10294992	5445.4	5618.3	-172.9	-222.2	5434.6	183.72	726.48
5	11568562	5914.6	6071.0	-156.4	-378.7	5872.5	198.52	925.01
6	9652674	5125.5	5390.0	-261.5	-640.2	5213.8	176.25	1101.2
7	9072702	5179.6	5183.8	-4.2	-644.4	5014.3	169.51	1270.8
8	7792065	4129	4728.6	-599.6	-1244.1	4574.0	154.63	1425.4
9	10274432	5628.5	5611.0	17.5	-1226.6	5427.5	183.48	1608.9
10	12728132	6519.1	6483.2	35.9	-1190.7	6271.2	212.00	1820.9
11	11920222	5986.9	6196.0	-209.1	-1399.8	5993.4	202.61	2023.5
12	12463734	5945.3	6389.2	-443.9	-1843	6180.3	208.93	2232.4
ჯამი	125930448	66425.9	68269.6	-1843		66037	2232	
A	B	C	D	E	F	G	დააკლდა 249	
E=0,00035546*M1+1958.866739, მგვტ.სთ/თვე								
წლიური დანაზოგი -1843მგვტ.სთ/წ (2,88%)								
სამიზნე დანაზოგი ვერ შესრულდა 249 მგვტ.სთ/წ (0,39%)								
ცხრ.28. ენერგომოხმარების მონიტორინგის შედეგები M								

3.2. საბაზისო მოდელის დამუშავება უშუალოდ წვევის აგრეგატების ენერგომოხმარების მონაცემებით

საბაზისო მოდელის შექმა კომპანიის ჯამური ელექტრო-მოხმარების ნაცვლად უშუალოდ წვევის აგრეგატების ელექტრომოხმარების (ფაქტიური) მონაცემების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა წვევის აგრეგატების მოხმარების გამიჯვნით საერთო მოხმარებიდან.

წვევის აგრეგატების ენერგო მოხმარების ფაქტიური მონაცემების (უშუალოდ წვევის აგრეგატების მოხმარების გამიჯვნით კომპანიის ჯამური ელექტრო მოხმარებიდან ინდივიდუალური მრიცხველით) მოპოვების და დამუშავების შემდეგ საბაზისო მოდელის დამუშავება აამაღლებს მოდელის სიზუსტეს.

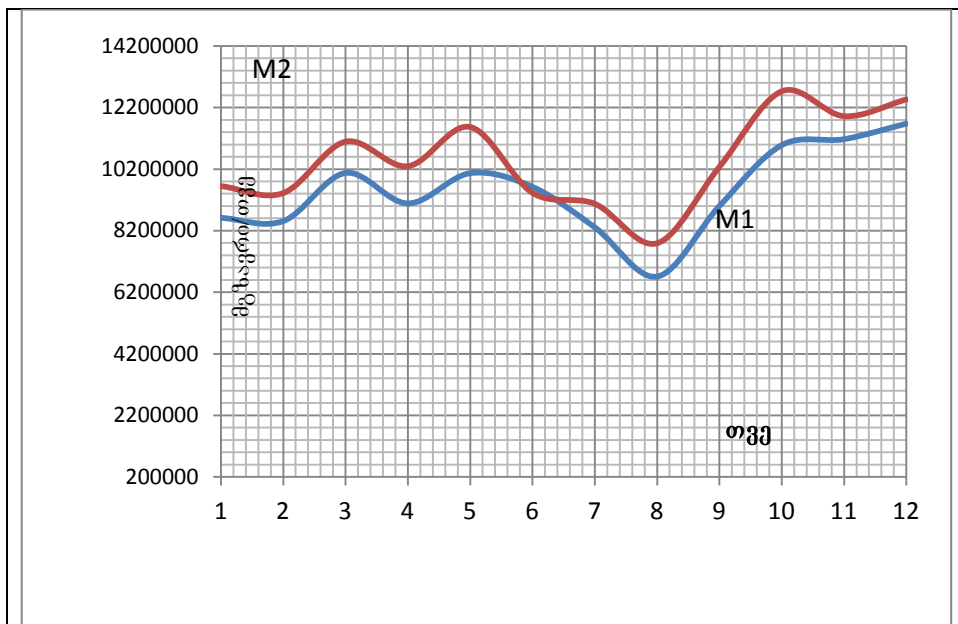
ახალი მოდელის დასამუშავებლად გამოყენებულია საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვანილი მგზავრებისა და მოხმარებული ენერგიების (უშუალოდ წვევის აგრეგატების) ფაქტიური ნელდი მონაცემებით (ცხრ.29.)

თვე	საბაზისო წელი		მონიტორინგის წელი	
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერგომოხმარება მგვტ.სთ/თვე	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერგომოხმარება მგვტ.სთ/თვე
	M ₁	E ₁	M ₂	E ₂
1	8617861	3113.4	9648409	3064
2	8510834	2911.08	9421612	3015
3	10044382	3002.23	11092912	3294
4	9086141	3126.5	10294992	3160
5	10067881	3265.5	11568562	3360
6	9623134	2909.1	9429023	3065
	8308241	2842.2	9072702	3035
8	6710592	2624.3	7792065	2793
9	9001031	2976.5	10274432	3142
10	10978550	3245.4	12728132	3546
11	11172312	3412.7	11920222	3410
12	11676755	3489.6	12463734	3510
ჯამი	113827714	36918.5	125706797	38394.4
საშუალო	9485643	3076.5	10475566	
	0.3243			0.3125
	კვტ.სთ/მგზ			კვტ.სთ/მგზ

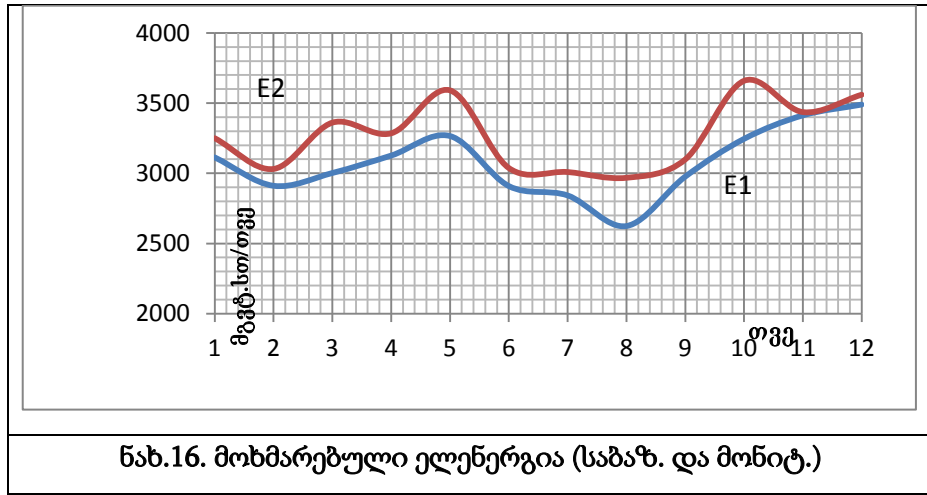
ცხრ.29. საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვანილ მგზავრებისა და შესაბამისი მოხმარებული ელენერგიების ნელდი მონაცემები

მონიტორინგის წელს გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა გაიზარდა 10.4%-ით ხოლო მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა კი მხოლოდ – 6.4 %-ით (ცხრ.29) ერთ გადაყვანილ მგზავრზე დახარჯული ელექტროენერჯის რაოდენობები საბაზისო და მონიტორინგის წლებში ტოლია შესაბამისად 0.324კვტ.სთ/მგზ და 0.313 კვტ.სთ/მგზ. შედეგად მონიტორინგის წელს საბაზო წელთან შედარებით დაიზოგა 0.012კვტ.სთ/მგზ. მონიტორინგის წელს კომპანიაში არ განხორციელებულა მნიშვნელოვანი ენერგოეფექტური პროექტი, ამიტომ მოხმარებული ელექტრო ენერჯის დაზოგვის გარკვეული ნაწილი (საინვესტიციო ხარჯების გარეშე) დაკავშირებულია საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გაუმჯობესებასთან.

ნახ.15. ნაჩვენებია თვეების მიხედვით საბაზისო და მონიტორინგის წლებში გადაყვანილი მგზავრების და ნახ.16. მოხმარებული ელექტრო ენერჯების რაოდენობები.

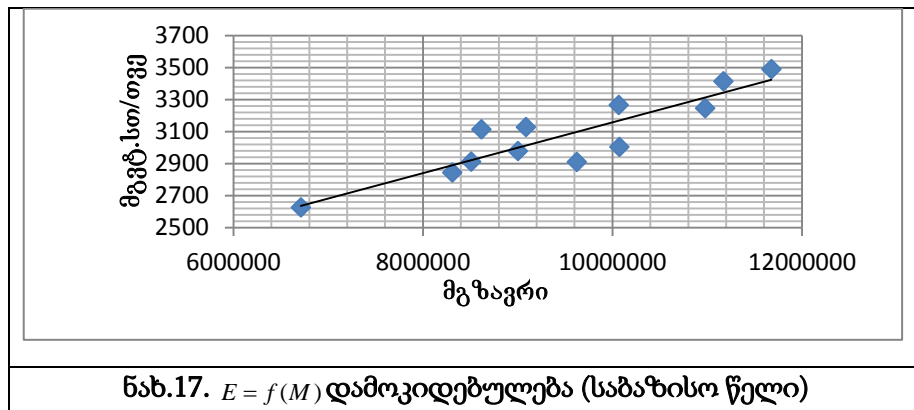


ნახ.15. გადაყვანილი მგზავრები (საბაზისო და მინიტორ)



3.2.1. საბაზისო წლის მოდელის შემუშავება

გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობასა და კომპანიის მიერ მოხმარებულ ენერგიას შორის (ნახ.17. და ცხრ.30.). არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი-პირსონის კორელაციის კოეფიციენტი ტოლია $r=0.9$.



korelacia	<i>M1</i>	<i>E1</i>
M1	1	
E1	0.897021428	1
0.804647442		
ცხრ.30. კორელაცია $r(M1,E1)=0.897$; $r^2=0.80$.		

საბაზისო წელს: წრფის დეტერმინაციის კოეფიციენტი $R^2=0.892=0.81$, ე.ი. მოხმარებული ენერგიის ვარიაციის 81% განისაზღვრება გადაყვანილი მგზავრების

ვარიაციით. დანარჩენი $100-81=19\%$ არის აუხსნელი ანუ შემთხვევითი ვარიაცია. შესაბამისად 0,19 არის არადეტერმინაციის კოეფიციენტი. წრფე გრაფიკზე გამოსახავს ენერჯის მოხმარების ძირითად ტენდენციას ტრენდის ხაზის მიმართ წერტილების გაბნევა მიუთითებს. ისეთ ფაქტორებზე როგორცაა: კომპანიის მართვის ხარისხი, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა, მომსახურების ხარისხი, ტექნოლოგიური პროცესების არასტაბილურობა და სხვა. რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე სადაც E_{i1} - არის ენერჯის ყოველთვიური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე; M_1 -იგივე პერიოდში გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა. 0.0001588-წრფის აბცისათა ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი. როცა გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა ნულის ტოლია მაშინ ენერჯის მოხმარება ტოლია 1570.22657 მგვტსთ/თვე (წრფის თავისუფალი წევრი), რომელიც შეესაბამება ენერჯის ხარჯს დამხმარე პროცესების -ესკალატორების, განათების, წყალსაქაჩების და სხვა პროცესების უზრუნველყოფას. M მგზავრების გადაყვანის დროს დამატებით ადგილი აქვს აგრეთვე ენერჯის დანაკარგებს უშუალოდ ძირითადი პროცესის განხორციელებაზე. პროცესის ენერგეტიკული ეფექტიანობა (η) განისაზღვრება $\eta=0.0001588*M_1/(0.0001588*M_1+1570.22657)$. საშუალო ეფექტიანობა ტოლი იქნება (საშ.გდაყვანილი მგზავრი=9485642.8 მგზ/თვე): 49%. რეგრესიის ფორმულის კოეფიციენტების მნიშვნელობები 1570.226569 და 0,0001588 მოცემულია ცხრ.31.

SUMMARY OUTPUT					
<i>Regression Statistics</i>					
Multiple R	0.897021428				
R Square	0.804647442				
Adjusted R square	0.785112186				
Standard Error	115.4319028				
Observations	12				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	548830.5057	548830.5057	41.18950125	7.6551E-05
Residual	10	133245.2419	13324.52419		
Total	11	682075.7476			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	1570.226569	237.0589189	6.623781869	5.89965E-05	1042.026381
M1	0.0001588	2.47432E-05	6.41790474	7.6551E-05	0.000103668

ცხრ.31. რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტები (საბაზისო წელი)

3.2.2. ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრა

ცხრ.32. მოცემულია ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრის მონაცემები.

ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა შეადგენს 1.1%-ს. საბაზისო წელს:

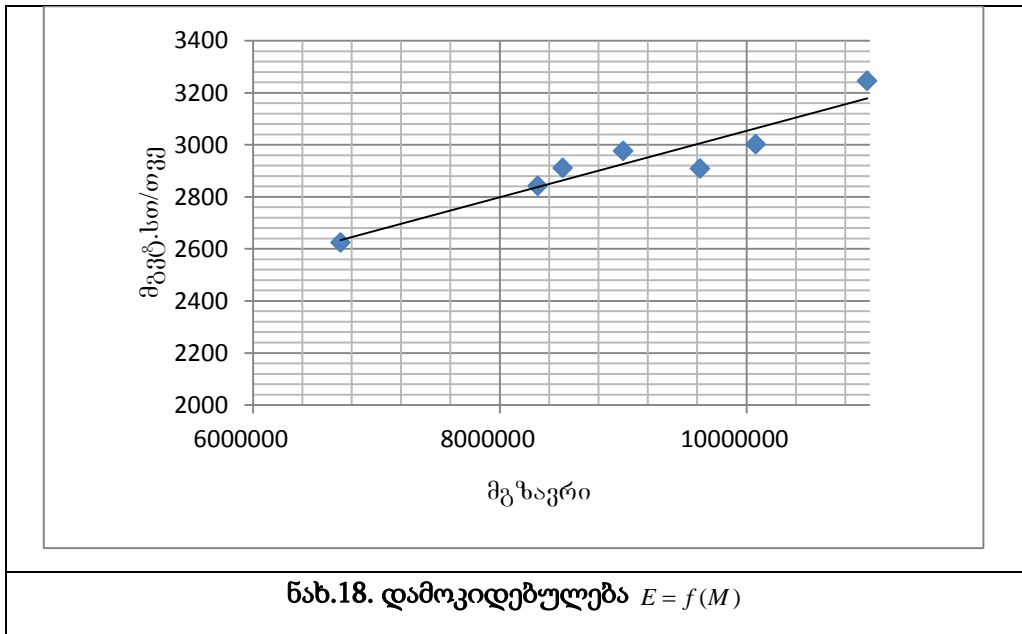
აპროქსიმაციის ხაზის ქვევით მოთავსებული “წერტილები”: 2624.3; 2842.2; 2976.5; 2911.1; 2909.1; 3002,2; 3245,4. შეესაბამება ოპტიმალურ ოპერაციულ მომსახურებას.

თვე	sabaziso weli				
	გადაყვან მგზავრთა რაოდენ.	წვეის ძრავების ენერჯომოხმარება მგვტ.სთ/თვე	მოსალოდნელი ენერჯომოხმარება მგვტ.სთ/თვე	სხვაობა მგვტ.სთ	სხვაობის კვადრატი მგვტ.სთ ²
	M ₁	E ₁	E ₁ *	E ₁ -E ₁ *	(E ₁ -E ₁) ²
1	8617861	3113.4	2938.742896	174.7	30505.1
2	8510834	2911.08	2921.747008	-10.7	113.8
3	10074382	3002.23	3170.038431	-167.8	28159.7
4	9086141	3126.5	3013.10576	113.4	12858.3
5	10067881	3265.5	3169.006072	96.5	9311.1
6	9623134	2909.1	3098.380248	-189.3	35827.0
7	8308241	2842.2	2889.57524	-47.4	2244.4
8	6710592	2624.3	2635.868579	-11.6	133.8
9	9001031	2976.5	2999.590292	-23.1	533.2
10	10978550	3245.4	3313.620309	-68.2	4654.0
11	11172312	3412.7	3344.389715	68.3	4666.3
12	11676755	3489.6	3424.495263	65.1	4238.6
ჯამ.	113827714	36918.5	36918.6	0.0	133245.2
საშ.	9485643	3077			115.4 33.32 1.1

ცხრ.32. ენერჯის მოხმარ.საშ. მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა

გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობასა და კომპანიის მიერ მოხმარებულ ენერჯიას შორის (ნახ.18. და ცხრ.33). არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი-პირსონის კორელაცია ტოლია $r=0.94$. ხოლო წრფის დეტერმინაციის კოეფიციენტი $r^2=0.942=0.89$, ე.ი. მოხმარებული ენერჯის ვარიაციის 89% განისაზღვრება

გადაყვანილი მგზავრების ვარიაციით. დანარჩენი $100-89=11\%$ არის აუხსნელი ანუ შემთხვევითი ვარიაცია. შესაბამისად 0,11 არის არადეტერმინაციის კოეფიციენტი.



korelacia	$M'1$	$E'1$
$M'1$	1	
$E'1$	0.9448850	1

ცხრ.33. კორელაცია $r(M1,E1)=0.897$; $r^2=0.80$.

წრფე გრაფიკზე გამოსახავს ენერჯის მოხმარების ძირითად ტენდენციას. ტრენდის ხაზის მიმართ წერტილების გაბნევა მიუთითებს ისეთ ფაქტორებზე როგორცაა: კომპანიის მართვის ხარისხი, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა, მომსახურების ხარისხი, ტექნოლოგიური პროცესების არასტაბილურობა და სხვა.

საბაზისო წელს ოპტიმალური მომსახურების მონაცემები მოცემულია ცხრ.34.

თვე	საბაზისო წელი (ოპტიმალური მომსახურება)	
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	wevis agregatebis ენერგომოხმარება მგვტ.სთ/თვე
	M ₁	E ₁
2	8510834	2911.1
3	10074382	3002.2
6	9623134	2909.1
7	8308241	2842.2
8	6710592	2624.3
9	9001031	2976.5
10	10978500	3245.4
ჯამი	63206764	20511
საშ.	9029538	2930
ცხრ. 34. ოპტიმალური მომსახურება		

რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე: $E_1^* = 0.000127823 \cdot M_1 + 1775.936126$. (ცხრ.3.18.), სადაც E_1^* - არის ენერგიის ყოველთვიური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე; M_1 - იგივე პერიოდში გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა. 0.00012782 -წრფის აბცისათა ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი.

როცა გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა ნულის ტოლია მაშინ ენერგიის მოხმარება ტოლია 1775.93613 მგვტსთ/თვე (წრფის თავისუფალი წევრი), რომელიც შეესაბამება ენერგიის ხარჯს დამხმარე პროცესების -ესკალატორების, განათების, წყალსაქაჩების და სხვა პროცესების უზრუნველყოფას.

3.2.3. ენერგიის ოპტიმალური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშ.კვადრატ. განუსაზღვრელობის განსაზღვრა და სამიზნე დანაზოგი

ცხრ.35. მოცემულია ენერგიის ოპტიმალური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობის განსაზღვრის მონაცემები.

ენერგიის ოპტიმალური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა შეადგენს 0.86% -ს.

დაკვირვების თვე	sabaziso weli (optimalur ¹ operaciuli momsaxureba)				
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა	ჯამური ენერგომომხმარება მგვტ.სთ/თვე	მოსალოდნელი ჯამური ენერგომომხმარება მგვტ.სთ/თვე	სხვაობა მგვტ.სთ	სხვაობის კვადრატი მგვტ.სთ ²
	M ₁	E ₁	E ₁ [*]	E ₁ -E ₁ [*]	(E ₁ -E ₁ [*]) ²
2	8510834	2911.08	2863.81646	47.3	2233.8
3	10074382	3002.23	3063.673856	-61.4	3775.3
6	9623134	2909.1	3005.993983	-96.9	9388.4
7	8308241	2842.2	2837.920415	4.3	18.3
8	6710592	2624.3	2633.704127	-9.4	88.4
9	9001031	2976.5	2926.474912	50.0	2502.5
10	10978550	3245.4	3179.247323	66.2	4376.2
ჯამი	63206764	20510.8	20510.8	0.0	22383.1
საშ.	9029538	2930	2930		66.9
					25.3
					0.86

ცხრ.35. ენერჯის ოპტიმალური მოხმარების საუკეთესო მნიშვნელობის საშუალო კვადრატული განუსაზღვრულობა

თვე	optimaluri reJimiT				
	1	2	3	3*	3**
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა (საბაზისო წელი)	ოპტიმალური ენერგომომხმარება (ფაქტობრივი, მრიცხველებით), მგვტ.სთ / თვე (საბაზისო წელი)	მოსალოდნელი მომხმარება, ფორმულით E ₁ მგვტ.სთ	მოსალოდნელი მომხმარება, ფორმულით E ₂ მგვტ.სთ	ენერჯის ეფექტური რეჟიმით დანაზოგი მგვტსთ/ თვე
1	8617861	3113.4	2938.7	2877.5	-61.3
2	8510834	2911.08	2921.7	2863.8	-58.0
3	10074382	3002.23	3170.0	3063.6	-106.4
4	9086141	3126.5	3013.	2937.3	-75.8
5	10067881	3265.5	3169.0	3062.8	-106.2
6	9623134	2909.1	3098.4	3006.0	-92.4
7	8308241	2842.2	2889.6	2837.9	-51.7
8	6710592	2624.3	2635.9	2633.7	-2.2
9	9001031	2976.5	2999.6	2926.4	-73.1
10	10978550	3245.4	3313.6	3179.2	-134.4
11	11172312	3412.7	3344.4	3204.0	-140.4
12	11676755	3489.6	3424.5	3268.5	-156.0
ჯამი	113827714	36918.51	36918.6	35860.7	-1057.9
					-2.87

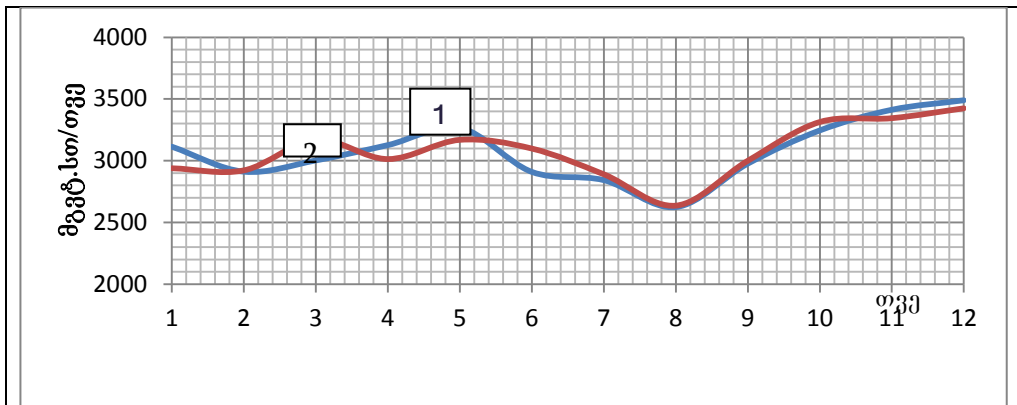
ცხრ.36. ოპტიმალური ოპერაციული მოხმარების შესაბამისი მაქსიმალური სამიზნე დაზოგვა

ოპერაციული მომსახურების გაუმჯობესებით მიიღება 2,87% ენერჯის დანაზოგი. სამიზნე დანაზოგად მივიღოთ წევრის ძრავების ფაქტიური მოხმარების 2.87%. ცხრ.37. მოცემულია ფაქტიური მოხმარების და სამიზნე დანაზოგის გაანგარიშების მონაცემები.

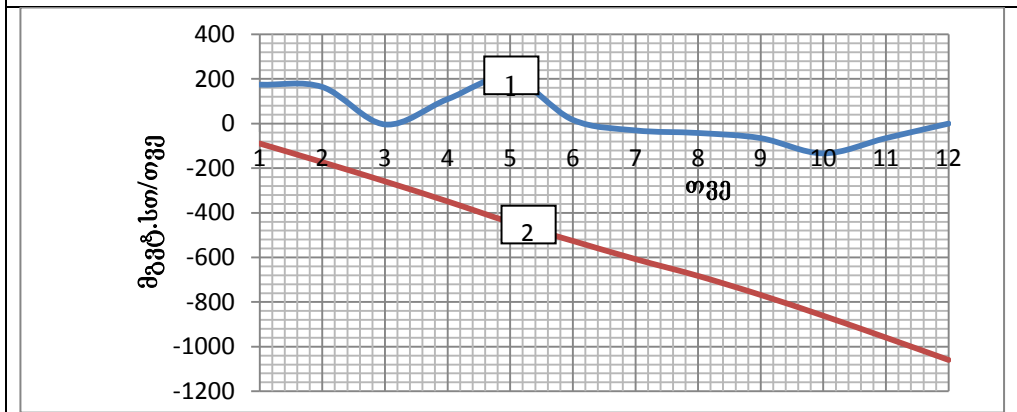
ნახ.19 და ნახ.20. ნაჩვენებია ფაქტიური და მოსლოდნელი მოხმარების და ფაქტიური და სამიზნე მოხმარების ნაზრდი ჯამების ცვლილების ხასიათი თვეების მიხედვით.

						2.87%		
თვე	საბაზისო წელი (ფაქტიური ოპერაციული რეჟიმი)					სამიზნე (ოპტიმალური ოპერაციული რეჟიმი)		
	1	2	3	4	5	6	7	8
	გადაყვანილ მგზავრთა რაოდენობა (საბაზისო წელი)	სულ ენერგომომხმარება ფაქტიური (მრიცხველებით), მგვტ.სთ / თვე	მოსალოდნელი მოხმარება, ფორმულით E _i მგვტ.სთ	განხვავება ფაქტობრივ და მოსალოდნელ მოხმარებას შორის მგვტ.სთ/თვე	ფაქტიური და მოსალოდნელ მოხმარებას შორის სხვაობის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ	0,9673 (ფაქტიური), წლიური ხარჯების შემცირება 3,27%-ით	სამიზნე დაზოგვა (ფაქტიური) მგვტ.სთ/თვე	სამიზნე სხვაობის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ
1	8617861	3113.4	2938.7	174.7	174.7	3024.0	-89.4	-89.4
2	8510834	2911.1	2921.7	-10.7	164.0	2827.5	-83.5	-172.9
3	10074382	3002.2	3170.0	-167.8	-3.8	2916.1	-86.2	-259.1
4	9086141	3126.5	3013.1	113.4	109.6	3036.8	-89.7	-348.8
5	10067881	3265.5	3169.0	96.5	206.1	3171.8	-93.7	-442.5
6	9623134	2909.1	3098.4	-189.3	16.8	2825.6	-83.5	-526.0
7	8308241	2842.2	2889.6	-47.4	-30.6	2760.6	-81.6	-607.6
8	6710592	2624.3	2635.9	-11.6	-42.2	2549.0	-75.3	-682.9
9	9001031	2976.5	2999.6	-23.1	-65.2	2891.1	-85.4	-768.3
10	10978550	3245.4	3313.6	-68.2	-133.5	3152.3	-93.1	-861.5
11	11172312	3412.7	3344.4	68.3	-65.2	3314.8	-97.9	-959.4
12	11676755	3489.6	3424.5	65.1	0.0	3389.4	-100.2	-1060
	113827714	36919	36919	0.0		35859	-36919	
				36919	-	35859	=	1060
							დაზოგ.	1060

ცხრ.37. ფაქტიური მოხმარების და სამიზნე დაზოგვის გაანგარიშების მონაცემები



ნახ.19. ფაქტიური (1) და მოსალოდნელი (2) მოხმარება



ნახ.20. ფაქტიური (1) და სამიზნე (2) მოხმარებების ნაზრდი ჯამები

3.2.4. საბაზისო და მონიტორინგის წლების ენერჯის მოხმარების შესაძლო დანაზოგის მაჯამებელი მონაცემები

ცხრ.38. მოცემულია საბაზისო და მონიტორინგის წლების ენერჯის მოხმარების ფაქტიური და ოპტიმალური რეჟიმებით მუშაობებს შორის ენერჯის მოხმარების შესაძლო დანაზოგის მაჯამებელი მონაცემები.

კომპანიის საბაზისო წლის ჯამური ფაქტიური ენერჯომოხმარება შეადგენს 36918,6მგვტ.სთ/წ. (სვეტი3). იგივე, მოსალოდნელი მოხმარება- 36918,6მგვტ.სთ/წ გაანგარიშებული რეგრესიის E_1 განტოლებით (სვეტი- 4). მონიტორინგის წელს გადაყვანილი მგზავრების და მოხმარებული ენერჯის ნედლი მონაცემები თვეების მიხედვით მოცემულია შესაბამისად AA და B სვეტებში, ხოლო მოსალოდნელი მოხმარება 38840.5 გაანგარიშებული საბაზისო მოდელის ფორმულით $E_1=0.0001588 \cdot M_1+1570.226569$ მგვტ,სთ/წ, მოცემულია სვეტში D DD.

საბაზისო და მონიტორინგის წლების მაჯამებელი მონაცემები

	2	3	4	5	6	7	8	9
	საბაზისო წელი				სამიზნე მოხმარება			
თვე	გადაყვანილი მგზავრი	F ფაქტური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე	მონიტორინგის მოხმარება მგვტ.სთ/თვე E1	სხვაობა (ფაქტ.- მოსაღ.)მგვტ.სთ/თვე	სხვაობის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ/თვე	მოხმარების სამიზნე შემცირება მგვტ.სთ/თვე	დაზოგვა, მგვტ.სთ/თვე	დაზოგვის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ/თვე
1	8617861	2938.7	2938.7					
2	8510834	2921.7	2921.8					
3	10074382	3170.0	3170.0					
4	9086141	3013.1	3013.1					
5	10067881	3169.0	3169.0					
6	9623134	3098.4	3098.4					
7	8308241	2889.6	2889.6					
8	6710592	2635.9	2635.9					
9	9001031	2999.6	2999.6					
10	10978550	3313.6	3313.6					
11	11172312	3344.4	3344.4					
12	11676755	3424.5	3424.5					
j	113827714	36918.6	36918.6			სამიზნე მოხმარება		
მონიტორინგის წელი							სხვ-ბა	ნაზ. ჯ
1	9648400	3064	3102.4	-38.0	-38.0	2976.4	87.95	87.95
2	9421612	3015	3066.4	-51.4	-89.4	2928.5	86.53	174.48
3	11092912	3294	3331.8	-38.0	-127.4	3199.2	94.53	269.01
4	10294992	3160	3205.1	-45.1	-172.4	3069.3	90.69	359.70
5	11568562	3360	3407.3	-47.3	-219.8	3263.6	96.43	456.13
6	9652674	3065	3103.1	-38.0	-257.8	2977.1	87.97	544.10
7	9072702	3035	3011.0	24.0	-233.7	2947.9	87.10	631.21
8	7792065	2793	2807.6	-15.0	-248.7	2712.5	80.15	711.35
9	10274432	3142	3201.8	-60.0	-308.7	3051.6	90.17	801.52
10	12728132	3546	3591.5	-45.0	-353.7	3444.7	101.78	903.31
11	11920222	3410	3463.2	-52.9	-406.6	3312.4	97.87	1001.18
12	12463734	3510	3549.5	-39.5	-446.1	3409.3	100.74	1101.92
j	125930439	38394.4	38840.4					
დანაზოგი -446,1მგვტ.სთ/წ (1,21%)								
AA	B	446.2	D	E	F	G	H	I
სამიზნე მნიშვნელობას დააკლდა 611,8მგვტ.სთ/წ (1,66%)								
E=0,0001588+1570,226569								

ცხრ.38. ენერგომოხმარების მონიტორინგის შედეგები

შესაბამისად მონიტორინგის წელს ენერჯის მოხმარების შემცირება (დაზოგვა) ტოლია $38840.5-39286.6=-446.1$ მგვტ.სთ/წ (სვეტები EE და F), ანუ მონიტორინგის წელს ფაქტიური კუმულაციური დანაზოგი ტოლია -446.1 მგვტ.სთ/წ., რაც მონიტორინგის წელს ფაქტიური მოხმარების 1,21%-ს შეადგენს. სამიზნე დანაზოგად მიღებული გვექონდა 2,87% დაზოგვა (სვეტები G.HH და I), ანუ მიზანი შეუსრულებელი დარჩა 1.66 %-ით. ე.ი. კუმულაციური სხვაობა-611.8 მგვტ.სთ/წ. რაც დააკლდა მოსალოდნელ მნიშვნელობას.

ცხრ.38. მონიტორინგის მოსალოდნელი მოხმარება გაანგარიშებულია წინა (საბაზისო) წლის მონაცემების მიხედვით შედგენილი რეგრესიის მოდელის განტოლებით $E E_1=0,0001588*M1+1570.226569$, მგვტ.სთ/თვე.

3.3. ენერგოეფექტური ღონისძიება მეტროპოლიტენში: მესამე რელსის მოდერნიზაცია

3.3.1. მესამე რელსის ტექნიკური მონაცემები და მოდერნიზაციის გაანგარიშება

მეტროს მატარებლების დენმიმღებთან მოსრიალე კონტაქტის განსახორციელებლად გამოყენებულია მყარი საკონტაქტო სადენი-მესამე რელსი. მეტროპოლიტენის მატარებლის ძრავებიანი ვაგონი (4 ძრავი) ელენერჯიას იღებს საკონტაქტო რელსიდან. საკონტაქტო რელს აქვს ძირითადი რელსების მსგავსი ფორმა და მზადდება რბილი ფოლადისაგან. იგი მაგრდება კრონშტეინებზე, ეს უკანასკნელი კი საიზოლაციო მასალით განმხოვლებული -ძირითადი რელსების შპალებზე [31].

ამჟამად მსოფლიოს მრავალ მეტროპოლიტენში გამოყენებულია REHAU-ს ბიმეტალური საკონტაქტო რელსი. ენერგოეფექტური ღონისძიება მდგომარეობს ფოლადის საკონტაქტო რელსის შეცვლა REHAU-ს ბიმეტალური რელსით. ელექტროეკონომია მიიღწევა არსებულ ფოლადის საკონტაქტო რელსში ელენერჯის დანაკარგების შემცირებით, რადგან ბიმეტალური რელსის ელექტრული წინაღობა მნიშვნელოვნად ნაკლებია ფოლადის რელსთან შედარებით.



ეკონომიკურ ეფექტთან ერთად არანაკლებ მნიშვნელოვანია უსაფრთხოების საკითხი: რელსი ნაკლებად ცხელდება. ამასთან რელსის ბიმეტალური მასალა მედეგია ზეთების, ბენზინის, სარეცხი საშუალებების და სხვა ტექნიკური სითხეების მიმართ, რომლებიც გამოიყენება მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის დროს.

პროექტის სასიცოცხლო ციკლი მრავალ წელს მოიცავს. ახალი რელსის დანერგვა დადებითი ეკონომიკური ეფექტის მიღწევასთან ერთად გამოიწვევს მოძრაობის უსაფრთხოებისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან ამაღლებას. მესამე რელსის ტექნიკური და მოდერნიზაციის გაანგარიშების მონაცემები მოცემულია ცხრ.39.

ცხრ.39. მოცემულია არსებული მესამე რელსის REHAU-ს ბიმეტალური რელსით ჩანაცვლების ტექნიკური გაანგარიშების ძირითადი მონაცემები ენერჯის დაზოგვის და პროექტის განსახორციელებლად საჭირო ინვესტიციის მაჩვენებლები.

1	მეტროპოლიტენის მესამე რელსის ჯამური სიგრძე, კმ	69
2	საკონტაქტო ხაზზე საშუალო დატვირთვა, ა	3000
3	ფოლადის რელსის ელექტრული წინაღობა, მიკ.ომი/მ	19
4	ბიმეტალური რელსის REHAU ელექტრული წინაღობა, მიკ.ომი/მ	6.8
5	ფოლადის და ბიმეტალური რელსების ხვედრითი წინაღობების ფარდობა	2.79
6	დღე-ღამეში საკონტაქტო რელსი დატვირთვის ქვეშაა, სთ	18
7	წელიწადში საკონტაქტო რელსი დატვირთვის ქვეშაა, სთ	6570
8	ელენერგიის ტარიფი	0.168
განგარიშება		
9	P- დანაკარგების სიმძლავრე	
10	I -დენის ძალის საშუალო მნიშვნელობა	
11	R- რელსის ელექტრული წინააღმდეგობა	
12	P=I²R დანაკარგების სიმძლავრე	
13	სიმძლავრის დანაკარგები ფოლადის რელსის 1მ-ზე, ვტ/მ	171
14	იგოვე, კვტ/კმ	171
15	სიმძლავრის მნიშვნელოვანი ნაწილი მიდის რელსის გათბობაზე	
16	სიმძლავრის დანაკარგები ბიმეტალურ REHAU-ს რელსის 1000 მეტრზე	61,2
17	სიმძლავრის დანაკარგების სხვაობა	109,8
18	დაზოგილი ენერგია კონტაქტური ხაზის ერთ კილომეტრზე წელიწადში	721386
19	დაზოგილი თანხა კონტაქტური ხაზის ერთ კილომეტრზე წელიწადში, ლარი/კმ/წ	121193
20	საკონტაქტო რელსის (ინსტალაციით) ინვესტიცია, ლარი	507000
ცხრ.39. საკონტაქტო რელსის ტექნიკური მონაცემები და ენერგიის დაზოგვის განგარიში		

3.3.2. მეტროპოლიტენის საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი

ცხრ.40. მოცემულია საკონტაქტო რელსის 1კმ სიგრძის მოდერნიზაციის ტექნიკური და ეკონომიკური ანალიზი. რელსის მოდერნიზაციის შედეგად წელიწადში დაიზოგა 721386კვტ.სთ/წ/ კმ 460784 ლარის ინვესტიციით. მარტივმა უკუგებამ შეადგინა 4.2 წელი, ხოლო წმინდა ეკონომიამ -147454 ლარი. მიღებული თანხით შესაძლებელია პროექტის განვითარება - შიდა ინვესტიციის გამოყენება მესამე რელსის კიდევ სხვა უბნების მოდერნიზაციის მიზნით.

საწყისი მონაცემები							
ელექტროენერჯის ძველი მოხმარება				1123470 კვტ.სთ/წ			
ელექტროენერჯის ახალი მოხმარება				402084 კვტ.სთ/წ			
ელექტროენერჯის დანაზოგი				721386 კვტ.სთ/წ			
ელექტროენერჯის ტარიფი				0,168 ლ/კვტ.სთ			
საკონტაქტო რელსის დატვირთვა				18 სთ/დღ-ღ			
თანხის წლიური დანაზოგი				121193 ლ/წ			
ინვესტიცია				507000 ლ			
დისკონტირება და ინფლაცია				0,15 -			
ანალიზის პერიოდი				10 წ			
დანაზოგები				ინვესტიცია			
წელი	წლიური დანაზოგი, ლ/წ	წლიური დანაზოგის პირვანდელი ღირება, ლ/წ	წლიური დანაზოგის პირვანდელი ღირება, (ჯამი) ლ/წ	წელი	ინვესტიცია, ლ	ინვესტიციების პირვანდელი ღირება, ლ	ინვესტიციების პირვანდელი ღირება, (ჯამი) , ლ
0	0	0	608239	0	507000	507000	460784
1	121193	105385	608239	1	1500	1304	8273
2	121193	91639		2	1500	1134	
3	121193	79686		3	1500	986	
4	121193	69292		4	1500	858	
5	121193	60254		5	2500	1243	
6	121193	52395		6	1500	648	
7	121193	45561		7	1500	564	
8	121193	39618		8	1500	490	
9	121193	34451		9	1500	426	
10	121193	29957		10	2500	618	
ნარჩენი ღირებულება მე-11 წელს 50%				253500	54488		
რეზულტატი							
PB მარტივი უკუგება				4.18 წ			
NPV წმინდა ეკონომია				147454 ლ			
NPV/Q ეკონომია/ინვესტიცია				1.3			
IRR რენტაბერულობის შიდა ნორმა				0.22			
ცხრ.40. საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაციის ეკონომიკური ანალიზი							

3.4. მეტროპოლიტენის მართვის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია ფინანსური დანახარჯების გარეშე

ქ.თბილისის მუნიციპალიტეტის მერიის სამსახურის ავტოსატრანსპორტო გაერთიანება მოიცავს ქალაქის მეტროპოლიტენის, ავტობუსების და საბაგირო ტრანსპორტის სამსახურებს.

პროექტის საზღვრებად შერჩეულია თბილისის მეტროპოლიტენი, რომელიც ელენერგის ერთ-ერთი მსხვილი მომხმარებელია - საშუალოდ წელიწადში მოიხმარს 70 მილიონი კვტ.სთ (9 მეგავოლტამპერი სიმძლავრე). ამავე დროს მეტროპოლიტენში დადგმული ელექტრული სიმძლავრე გაცილებით მაღალია და შეადგენს 144 მეგავოლტამპერ-ს.

ასეთი დიდი სხვაობა დადგმულ და მოხმარებულ სიმძლავრეს შორის გამოწვეულია მეტროპოლიტენის როგორც უმაღლესი კატეგორიის საიმედოობის მომხმარებლის და აგრეთვე რიგი მოძველებული ტექნიკის გამოყენების გამო.

არსებული სტრუქტურის მიხედვით ფუნქციონირებს ექსპლუატაციის, ტექნიკის, კონტროლის, საინფორმაციო და ფინანსური სამსახურები.

ექსპლუატაციის მიმართულებაში გაერთიანებულია: რამდენიმე ელდეპო, მოძრაობის სამსახური, მოძრაობის ორგანიზაციის განყოფილება, მატარებ-ლების ექსპლუატაციის უსაფრთხოების და მგზავრთა მომსახურების ხარისხის სამსახურები.

ტექნიკის დარგი მოიცავს შემდეგ ერთეულებს: სალიანდაგო და გვირაბნაგებობათა სამსახურებს, ელ.მექანიკური საამქროს, გაერთიანებულ სახელოსნოებს, ელმომარაგების, სამშენებლო, ტექნიკური უსაფრთხოების სატარნსპორტო-სამეურნეო, ლაბორატორიული და სახანძრო უსაფრთხო-ების სამსახურებს.

კონტროლის სფეროს ემსახურება: შიდა აუდიტისა და კონტროლის, მგზავრთა მონიტორინგის, ადმინისტრაციულ სამართალდარღვევათა საქმის წარმოების და დაცვის სამსახურები;

საინფორმაციო ტექნოლოგიების სამსახურებია: საინფორმაციო, სიგნალიზაციისა და კავშირგაბმულობის სამსახურები;

ფინანსური სამსახურებია: ცენტრალური ბუღალტერია და ცენტრალური საწყობი.

თითოეულ სამსახურში გამოყოფილია პროვნება, რომელსაც დამატებით ევალება (მხოლოდ შეთავსებით) ენერგის დაზოგვის კუთხით საქმიანობა. სხვადასხვა სამსახურების ასეთი კადრების ერთმანეთთან საქმიანი კავშირი გართულებულია და არაეფექტურია.

მიზანშეწონილად მიგვაჩნია კომპანიის მართვის სტრუქტურაში ტექნიკური დარგის დირექტორის სამსახურთან ჩამოყალიბდეს ენერგეტიკული საბჭო, რომლის შემადგენლობაში შევლენ სხვადასხვა სამსახურებიდან წარმომადგენლები. ენერგეტიკული საბჭოს საქმიანობა იქნება კომპანიაში მოხმარებული ელენერგიის არსებული მდგომარეობის სისტემური ანალიზი, ენერგიის კარგვების გამოვლენა და მათი შემცირების შესაძლებლობების შესწავლა, ენერგოეფექტური ღონისძიებების დასახვა- განხილვა, ინოვაციური წინადადებების პრიორიტეტების დადგენა და პროექტების განხორციელებისათვის ფინანსური უზრუნველყოფის მოძიება. [32-33]

კომპანიის მართვის სტრუქტურის ასეთი ოპტიმიზაცია არ მოითხოვს დამატებით ფინანსურ ხარჯებს, აამაღლებს თანამშრომლების პასუხისმგებლობას და უფრო ქმედითუნარიანს გახდის ენერგეტიკული საბჭოს წევრების საქმიანობას ენერგიის დაზოგვის კუთხით და კომპანიის ენერგეტიკული პოლიტიკა ფართო მასებისათვის უფრო გამჭვირვალე და გასაგები გახდება.

თავი 4. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია სს „საქართველოს რკინიგზაზე“ წევის ქვესადგურებში

4.1. ავჭალის ქვესადგური

„ზაპკისი“ არის წევის ქვესადგური, რომელსაც წევის წრედების კვებისათვის აქვს უტმრუ-6300/35 ტიპის ორ გამმართველ აგრეგატი. ქვესადგურს გააჩნია ორი შემომყვანი 35კვ-ზე და მასში დამონტაჟებული ტრანსფორმატორები შესაბამის მოწყობილობებთან ერთად გარდაქმნიან მიღებულ ძაბვას სასურველი სიდიდის ძაბვად. კერძოდ, წნევის წრედებს მიეწოდებათ მუდმივი ძაბვა, 3300 ვოლტი (ნომინალური მნიშვნელობა).

ქვესადგურის ორივე გამმართველი აგრეგატი ჩართულია პარალელურად და სათანადო ფიდერების დახმარებით, ეს ძაბვა მიეწოდება საკონტაქტო ქსელს. გარდა გამმართველი აგრეგატებისა, ქვესადგური შეიცავს ძალოვან ტრანსფორმატორებსაც. კერძოდ, პირველ სექციაზე დამონტაჟებულია ტრანსფორმატორი, ტმ-250/35 , რომელიც გამოიყენება ქვესადგურის საკუთარი წრედების კვებისათვის და მეორე სექციაზე დამონტაჟებულია ტრანსფორმატორი, ტმ-1500/35/10 , რომელიც გამოიმუშავებს 10 კვოლტს ცვლად ძაბვას და ეს ძაბვა მიეწოდება რკინიგზის გასწვრივ გამავალ 10კვოლტიან ქსელს.

ქვესადგურში გათვალისწინებულია ოპერატიული კვების წყარო, სააკუმლიატორო ბატარეა თავისი მკვებავი მოწყობილობით და დაცვის სისტემა, რომელიც იცავს ზემოთ ჩამოთვლილ ყველა მოწყობილობას ანომალური რეჟიმების აღდგრის დროს. ასევე, დამონტაჟებულია სასიგნალო მოწყობილობები, რომლებიც გვამცნობს ინფორმაციას მოწყობილობების ჩართვა, ამორთვა ან ავარიული ამორთვის რეჟიმების შესახებ.

4.1.1. კომპანია „ELSPEC“- ის ელექტრონული ანალიზატორი

რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მიზანშეწონილობის საკითხი შესწავლილი იქნა ს/ს „საქართველოს რკინიგზა“-ს ქვესადგურების გამანაწილებელ მოწყობილობაზე დაკვირვებების საფუძველზე.

ამ მიზნით გამოყენებული იქნა კომპანია „ELSPEC“- ის მიერ დამზადებული ელექტრონული ანალიზატორი, რომელიც დისკრეტულად იღებს ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობებს (ანათვლებს) და იმახსოვრებს მას ხანგრძლივ რეჟიმში. ქვესადგურში გამანაწილებელ მოწყობილობაზე დაყენებული იქნა ასეთი ანალიზატორი და ჩანაწერები გაკეთდა დღე-ღამური დაკვირვების რეჟიმში. ანალიზატორის გააჩნია შემდეგი ფუნქციები:

- დროის ნებისმიერ მომენტში, სამივე ფაზაში დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობების ჩაწერა;
- მიღებული ძაბვისა და დენის ფორმის მიხედვით ეგრეთწოდებული „ჰარმონიკების კოეფიციენტი“, რომელიც ფაქტობრივად მიუთითებს ჰარმონიულ შემადგენლობაზე, შეფასება;
- დენისა და ძაბვისთვის ეფექტური მნიშვნელობების განსაზღვრა;
- აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების განსაზღვრა;
- სიმძლავრის კოეფიციენტის განსაზღვრა;
- არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტის განსაზღვრა.

განხილული პარამეტრებიდან ენერგოეფექტურობის თალსაზრისით, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სიმძლავრის კოეფიციენტის განსაზღვრას, რადგან იგი გვიჩვენებს რეაქტიული ენერგიის მოხმარებას. აღნიშნული ქვესადგურისთვის განისაზღვრა, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით იცვლება დიდ ფარგლებში (0.2-0.9). [34-35]

4.1.2. ძაბვის, დენის და სიმძლავრის დროითი დიაგრამები

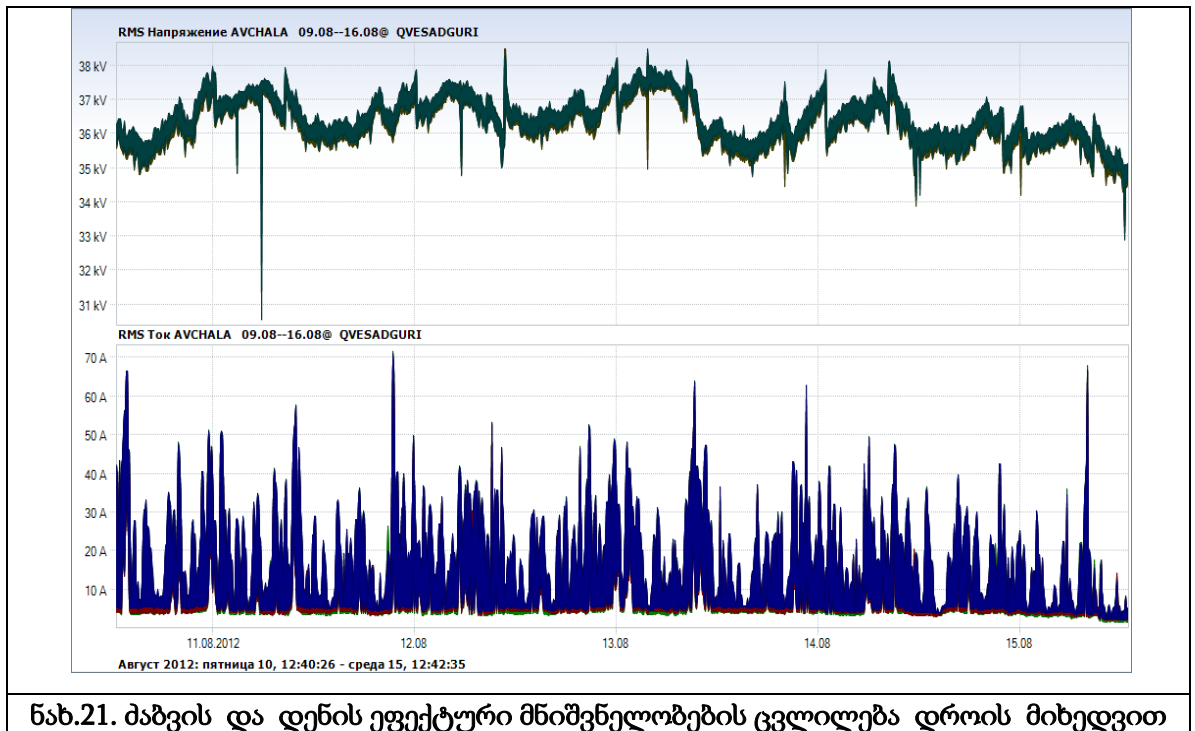
დაკვირვება განხორციელდა კომპანია „ELSPEC“ -ის წარმოების ელექტრონული ანალიზატორის გამოყენებით.

ექსპერიმენტი ჩატარდა „ზაჰესის“ და „მოლითის“ ქვესადგურებში. კვლევებით დადგინდა, რომ გაუთვალისწინებელი ძაბვის ვარდნების და გადაძაბვების მნიშვნელოვან გამომწვევ ფაქტორს წარმოადგენს რეაქტიული ენერგიის არსებობა ელექტრომატარებლების კვების სისტემაში. [36-39]

აღნიშნული ქვესადგურებისათვის განისაზღვრა შემდეგი პარამეტრები:

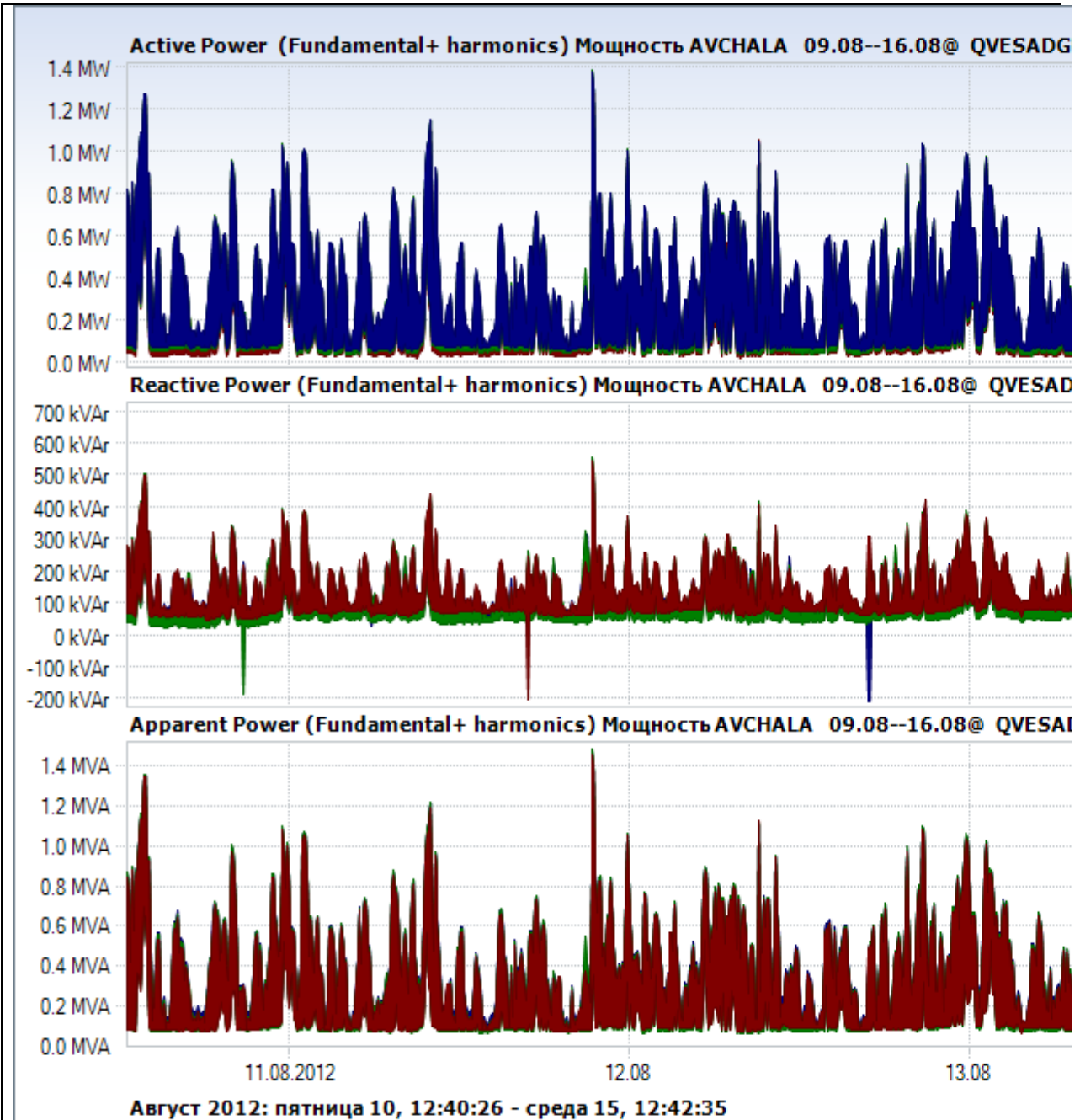
- ✓ აქტიური და რეაქტიული ენერგიების მოხმარება;

- ✓ ძაბვის ცვლილების დიაპაზონი;
- ✓ სიმძლავრის კოეფიციენტი;
- ✓ მაღალსიხშირული დენების ჰარმონიკების შემადგენლობა;
- ✓ დენისა და ძაბვის დამახინჯების კოეფიციენტი და სხვა
- ✓ ენერგეტიკული მაჩვენებლები.



ნახ, 21-23-ზე ნაჩვენებია ძაბვის, დენის და სიმძლავრის შესაბამისი დროითი დიაგრამები. კერძოდ ნახ.21-ზე ნაჩვენებია ძაბვის და დენის ეფექტური მნიშვნელობების ცვლილება დროის მიხედვით. ნახ.22-ზე აქტიური რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების ჩანაწერი. ნახ.23-ზე ძაბვის, დენის დამახინჯებების კოეფიციენტები და ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობის ცვლილება დროის მიხედვით.

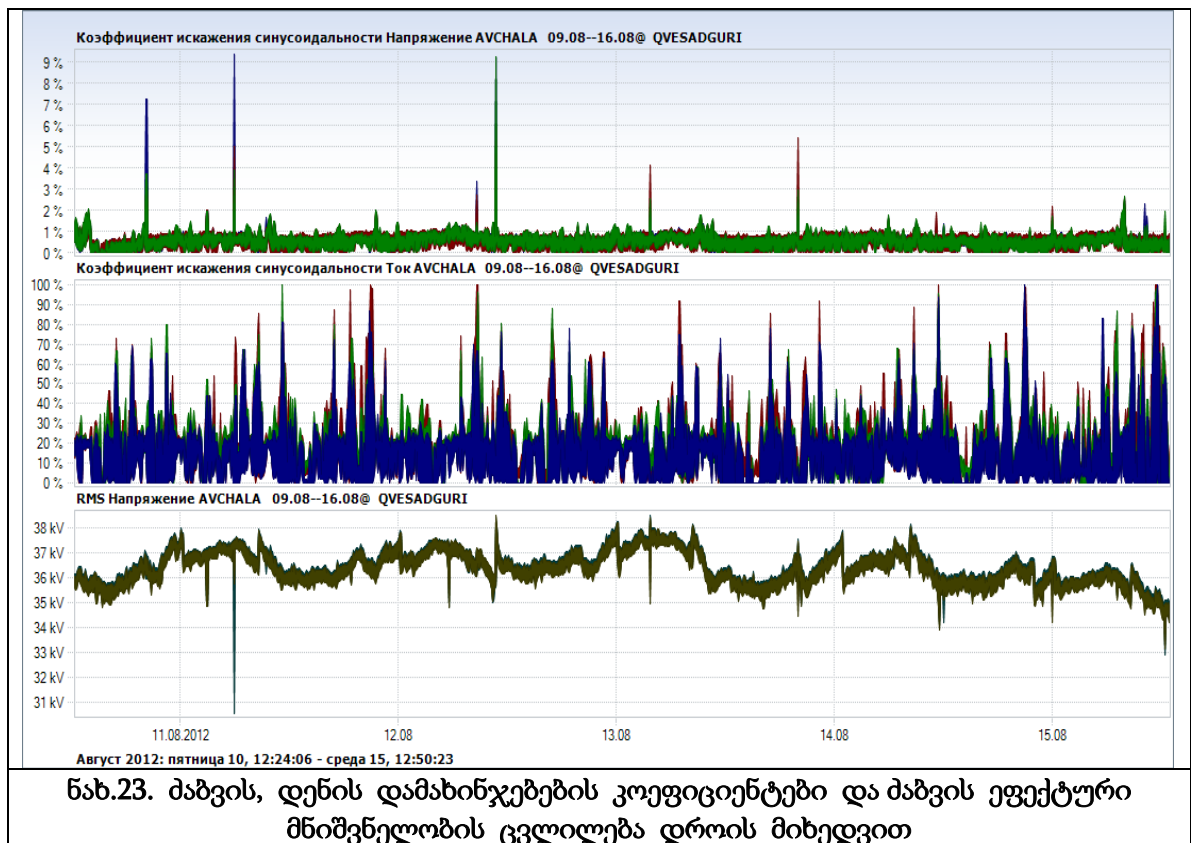
ნახ.22.-დან ჩანს, რომ ქვესადგურის მოხმარებული მაქსიმალური აქტიური სიმძლავრე 1.4 მეგავატი. რეაქტიულის მოხმარების მაქსიმალური მნიშვნელობაა 550კვარ. სრული სიმძლავრის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 1.6 MVA.



ნახ.22. აქტიური რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების ჩანაწერი

განხილული გრაფიკებიდან ჩანს, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტი დამოკიდებულია დატვირთვის ხარისხზე და მცირე დატვირთვების დროს დაბალი სიდიდისაა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ რეჟიმებში მოსალოდნელია ძაბვის რყევები (გადაძაბვები), რაც აზიანებს ელ-მატარებლებისა და ელ-აღვების ელექტრო ტექნიკურ მოწყობილობებს. ამიტომ, აუცილებელია ასეთ ქვესადგურებში ავტომატური, ელექტრონული კომპენსატორების დამონტაჟება, რომელიც სიმძლავრის კოეფიციენტს შეინარჩუნებს სიდიდით 1-ან ახლოს (ნაკლებია 1-ზე). ასეთივე მდგომარეობა დაფიქსირდა მოლითის ქვესადგურში. საბოლოოდ

დასაბუთებული იქნა, რომ რკინიგზის ქვესადგურები მოითხოვენ აღნიშნული მოწყობილობების დანერგვას ყველგან. ეს მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს ძაბვის ცვლილების შეზღუდვისათვის, რაც საბოლოოდ დაიცავს ელექტრო-ტექნიკური მოწყობილობებს, როგორც ქვესადგურში ასევე მის გარეთ, ხელოვნური დაზიანებებისგან.



დაკვირვების შედეგებიდან ჩანს, რომ საკმაოდ დიდია რექტიული ენერჯის მოხმარება ზოგიერთ მომენტებში და აღწევს 700 კვარ(კილოვოლტამპერ რექტიული), ხოლო აქტიური ენერჯის მოხმარება იცვლება 1,4 მგვტ-დე., ხშირია შემთხვევები, როცა ქვესადგური მუშაობს უქმ სვლასთან ახლო რეჟიმებში.

ნაჩვენებია, ასევე, ქვესადგურის ძაბვის და დენის ცვლილებები. როგორც დიაგრამებიდან ჩანს ძაბვა იცვლება 30კვ-დან 39 კვ-დე , ადგილი აქვს ძაბვის სწრაფ ჩავარდნებსაც. ანალოგიური მახასიათებლები გადაღებული იქნა ქვესადგურ მოლითისთვისაც, სადაც აღინიშნა იგივე ხასიათის პრობლემები.

რექტიული ენეჯის კომპენსაციის მოწყობილობების დანერგვით აღნიშნული პრობლემა (ძაბვის რყევები, გადაძაბვები და ძაბვის ვარდნები)

პრაქტიკულად მოისპობა, რადგანაც სწრაფი ელექტრონული მოწყობილობების სასუალებით მუდმივად ხდება რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია თანამედროვე მაღალი ხარისხის კონდენსატორების გამოყენებით. აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად:

- ელექტრონული ანალიზატორის საშუალებით განისაზღვრება მოხმარებული რეაქტიული ენერჯის სიდიდე, რომელიც ინდუქტიური ხასიათისაა;
- ელექტრონული კონტროლერის საშუალებით განისაზღვრება კონდენსატორის ტევადობის სიდიდე, რომელიც ცაირთვება წრედში ავტომატურად ელექტრონული სწრაფი ჩამრთველების გამოყენებით;
- აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს რამოდენიმე მილიწამის განმავლობაში;
- რეაქტიული ენერჯის კომპენსატორის (კონდენსატორის) ჩართვა -ამორთვა ცვლადი დენის წრედში იმდენად სწრაფად მიმდინარეობს, რომ შეიძლება დაუშვათ პროცესის მიმდინარეობა პრაქტიკულად უწყეტად ხორციელდება;

რეაქტიული ენერჯის სწრაფი და ზუსტი კომპენსაცია თავის მხრივ გამორიცხავს შემდეგს:

- გადაძაბვებს და ხელს უწყობს ძაბვის მნიშვნელობის შენარჩუნებას და სიმძლავრის სტაბილიზაციას;
- ზრდის ელექტროქსელის დატვირთვისუნარიანობას;
- იცავს ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებს დაზიანებისაგან და შედეგად ამცირებს მომსახურების ხარჯებს;
- პრაქტიკულად ნულამდე მცირდება რეაქტიული ენერჯის მოხმარება და იძლევა ელექტროენერჯის დაზოგვას 8-12%-ის ფარგლებში.[40-41].

4.1.3. რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მიზანშეწონილობა და ეკონომიკური შეფასება

რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მიზანშეწონილობის საკითხი განხილულია „ზაჰესი“-ს ქვესადგურის მაგალითზე.

საწყისი მონაცემები

ელექტროენერჯის წლიური დანაზოგი 150000 კვტ.სთ/წ
 ელექტროენერჯის ტარიფი 0,168 ლ/კვტ.სთ
 თანხის წლიური დანაზოგი 252000 ლ/წ
 ინვესტიცია 353600 ლ
 დისკონტირება და ინფლაცია 0.15 -
 ანალიზის პერიოდი 10 წ

დანაზოგები				ინვესტიცია			
წელი	წლიური დანაზოგი, ლ/წ	წლიური დანაზოგის პირვანდელი ღირ-ბა, ლ/წ	წლიური დანაზოგის პირვანდელი ღირ-ბა, (ჯამი) ლ/წ	წელი	ინვესტიცია, ლ	ინვესტიციების პირვანდელი ღირ-ბა, ლ	ინვესტიციების პირვანდელი ღირ-ბა, (ჯამი) , ლ
0	0	0	1264730	0	353600	353600	368636
1	252000	219130	1264730	1	3536	3075	18836
2	252000	190548		2	3536	2674	
3	252000	165694		3	3536	2325	
4	252000	144082		4	3536	2022	
5	252000	125289		5	5000	2486	
6	252000	108947		6	3536	1529	
7	252000	94736		7	3536	1329	
8	252000	82379		8	3536	1156	
9	252000	71634		9	3536	1005	
10	252000	62291		10	5000	1236	
ნარჩენი ღირებულება მე-11 წელს 5%					17680	3800	

რეზულტატი

PV მარტივი უკუგება 1.40 წ
 NPV წმინდა ეკონომია 896094 ლ
 NPV/Q ეკონომია/ინვესტიცია 3.4
 IIR რენტაბელურობის შიდა ნორმა 0.70

ცხრ.41. „ავჭალის“ რკინიგზის ქვესადგურში რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშება

ცხრ.41-ში მოცემულია პროექტის ეკონომიკური პარამეტრების გაანგარიშების შედეგები.

ინოვაციური პროექტის განხორციელებისათვის დანადგარებისა და მოყწობილობების (500კვარ სიმძლავრის 11 საფეხურიანი ექვალაიზერი, 600კვა სიმძლავრის ტრანსფორმატორი, ელექტროენერჯის ხარისხის ანალიზატორი, სამონტაჟო მასალები) შესაძენ თანხასთან და სამონტაჟო სამუშაოებთან და სატრანსპორტო ხარჯებთან ერთად ტოლია 353600ლარი, ხოლო წლიური

დანაზოგი ელექტროენერჯის მოხმარების შემცირებით შეადგენს 252000 ლარს. შესაბამისად მარტივი უკუგება ტოლია 1,4 წ. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დასაბუთებულია რეაქტიული ენერჯის კომენსაციის მიზანშეწონილობა ქვესადგურებში [42].

დასკვნა

1. პირველად, შემოთავაზებული და განხორციელებულია ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოძველებული რელე-კონტაქტორული მართვის პრინციპის ჩანაცვლება თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მართვის მეთოდით. მართვის ენერგოეფექტური ინოვაციური ტექნოლოგიის დანერგვით მიღებულია ელექტროენერგიის დაზოგვის მაღალი მაჩვენებელი: მარტივი უკუგება 1,6 წ; წმინდა ეკონომია 116627ლ; ეკონომია/ინვესტიციაზე 3.1.

2. ელმავლის მართვის ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდის სავსე გამოცდამ, ელექტროენერგიის მოხმარების მნიშვნელოვან შემცირებასთან ერთად, აჩვენა მაღალი საექსპლუატაციო შედეგები, რაც დადებითად აისახება მოძრაობის უსაფრთხოებაზე და გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე.

3. პირველად, ელმავლის მაღალი ძაბვის კაბელის (მუდმივი დენის 1500 ვ ძაბვა) ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრის-იზოლაციის წინაღობის გაზომვის შედეგის შეფასების მეთოდად გამოყენებულია, უცხოეთში უკანასკნელ ათწლეულში, ერთადერთ აღიარებულ მეთოდად მიჩნეული მეთოდი- გაზომვის შედეგის შეფასების „განუსაზღვრელობა“. ამ მეთოდით კაბელის ინტერვალური შეფასებისათვის მიღებულია $P = 0.95$ სანდო ალბათობით და $k = 2,03$ მოცვის კოეფიციენტით ინტერვალი ($1.609 \leq R \leq 1.685$) მგომი.

4. მაღალი ძაბვის კაბელის იზოლაციის გაზომვის პერიოდული კონტროლი შედეგის უტყუარობის (სიზუსტის) შესაფასებლად - „განუსაზღვრელობის“ კონცეფციის გამოყენებით მნიშვნელოვანი საექსპლუატაციო ამოცანა გადაწყვეტილია მაღალი საიმედოობით, რაც ამცირებს მომსახურებაზე გაწეულ ხარჯებს. შექმნილია 12 ეტაპისაგან შედგენილი სამეზბნი პარამეტრის გაზომვის შედეგის „განუსაზღვრელობის“ შეფასების ავტომატიზირებული გაანგარიშების ალგორითმი.

5. ენერგოეფექტური ტექნოლოგიური ინოვაციის მაგალითია მეტროპოლიტენში მატარებლების დენმიმღებთან მოსრიალე კონტაქტის განსახორციელებლად გამოყენებული ლითონის საკონტაქტო სადენის-მესამე რელსის

შეცვლა მაღალეფექტური REHAU-ს ბიმეტალური საკონტაქტო რელსით. ეკონომიკური გაანგარიშებით ყოველი 1კმ საკონტაქტო რელსის REHAU-ს ბიმეტალური რელსით შეცვლის ეფექტი შეფასებულია შემდეგი პარამეტრებით: $PV=4.18\text{წ}$ (მარტივი უკუგება); $NPV= 147454\text{ლ}$ (წმინდა ეკონომია) და $NPV/Q=1,32$ (ეკონომია/ინვესტიცია).

6. აღსანიშნავია პროექტის განვითარების შესაძლებლობა-საპილოტე დანერგვით მიღებული თანხების გამოყენება მესამე რელსის შესაცვლელად სხვა უბნებზეც (რელსის საერთო სიგრძე შეადგენს 69კმ-ს).

7. მეტროპოლიტენში გადაყვანილ მგზავრებსა და ერთის მხრივ ჯამურ ელექტრომობილარებსა და მეორეს მხრივ უშუალოდ წვევის აგრეგატების მიერ მოხმარებულ ელექტროენერჯის ნედლი მონაცემების სტატისტიკური კორელაციურ-რეგრესიული მეთოდით დამუშავებით მიღებულია ელექტრო-მობილარების საბაზისო მოდელი, რაც გამოყენებულია მონიტორინგის წელს მონაცემების ანალიზისათვის. ელექტროენერჯის დანაზოგმა შეადგინა 3%-დე მნიშვნელობა (აღსანიშნავია- დაზოგვა მიიღება ინვესტიციების გარეშე).

8. საქართველოს რკინიგზის ავჭალის ქვესადგურში რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციით მიღებული ეფექტი შეფასებულია შემდეგი პარამეტრებით: $PV=1,4\text{წ}$ (მარტივი უკუგება); $NPV=896094\text{ლ}$ (წმინდა ეკონომია) და $NPV/Q=3,4$ (ეკონომია/ინვესტიცია).

9. მეტროპოლიტენის მართვის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია-ფინანსური დანახარჯების გარეშე, ითვალისწინებს კომპანიის მართვის სტრუქტურაში სხვადასხვა სამსახურებიდან წარმომადგენლებით შექმნილი ენერჯეტი-კული საბჭოს ჩამოყალიბებას, რაც ხელს შეუწყობს ენერჯის დანაკარგების აღმოჩენას, მათ ანალიზს და ენერგოეფექტური ღონისძიებების პრიორი-ტეტების მიხედვით დანერგვას ენერჯის ეფექტურად დაზოგვის მიზნით.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. https://www.google.com/search?q=iso50001&rlz=1C1GCEA_enGE973GE974&oq=iso50001&aqs=chrome..69i57.31001j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8 ISO 50001. (ბოლოს გადამოწმებულია 02.05.2022)
2. არაბიძე გ., გუდიაშვილი მ., მიქიაშვილი თ., ჯიშკარიანი თ. ენერგოეფექტურობა და გარემოს დაცვა. თბილისი: „სტუ“, 2015, 125გვ.
3. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. ენერგოეფექტური ღონისძიებები ელექტრულ ტრანსპორტზე. „ენერჯია“, 2021, №2(98), გვ.62-68.
4. Розенфельд В. Е. Теория Электрической Тяги. М.: Транспорт, 1983, 328 с.
5. Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М. Подвижной Состав. М.: Транспорт, 1980, 471 с.
6. Семенов Б.Ю. Силовая Электроника. М.: Солон-Р, 2001, 411 с.
7. Константинов Б., Зайцев Г., Пиковский А. Качество электроснабжения промышленных предприятий. Ленинград : "Изд. Ленинградского университета", 1973, 80 с.
8. Литвак Л. Повышение коэффициента мощности на промышленных предприятиях. Москва : "Госэнергоиздат ", 1957, 191с.
9. Либерман А., Поляков Б. Снабжение промышленных предприятий реактивной энергией (Улучшение $\cos \Phi$). Азерхозиздат, 1937г, 79 с. Ростов - на Дону: Азчерхозиздат, 1937, 169 с.
10. ქობალაია მ., მუსელიანი თ. რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია გამანაწილებელ ქსელებში. თბილისი, „სტუ“, 2009, 110 გვ.
11. Wolfgang Hofmann., Jürgen Schlabbach., Wolfgang Just. Reactive Power Compensation. A practical guide. Copyright© 2012, John Wiley & Sons, Ltd, 302p.
12. მურჯიკნელი გ., აზმაიფარაშვილი ზ. ძალური ელექტრონიკა და ინტელექტუალური ელექტროამპრევეები. თბილისი: „სტუ“, 2022, 108 გვ.
13. არაბიძე გ., კილურაძე ო., გუდიაშვილი გ., ჯიშკარიანი თ. ენერგოაუდიტი სამრწველო სექტორში. თბილისი, „სტუ“, 2011, 275 გვ.
14. მიქიაშვილი თ. ენერგოაუდიტი. თბილისი: „სტუ“, 2010, 217 გვ.

15. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. მეტროპოლიტენის ენერგომომხმარების კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი. „ენერჯია“, 2022, №1(101), გვ. 48-56.
16. ხურცილავა გ. ჩს-11 ტიპის ელმავლის ენერგოეფექტური მართვის სისტემის გამოკვლევა საველე პირობებში. „ენერჯია“, 2021, №4(100), გვ.64-67.
17. Judie Roselli., Evan Gulick.. Information and communications technology. ISBN:9781626180703. Nova Science Publishers, 2013, 127 p.
18. ხურცილავა გ., ხურცილავა შ., ო.კილურაძე. ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომი-ბაკურიანის“ მატარებლის ელმავლის ენერგოეფექტური ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია. „ენერჯია“, 2021, №2(98), II ნაწილი, გვ.167-173.
19. დგებუაძე გ., სხირტლაძე ი. ძალური ელექტრონიკა, გაანგარიშების საფუძვლები. თბილისი: „სტუ“, 2009, 124 გვ.
20. მელიქიშვილი ვ. ანალოგიური და დისკრეტული ელექტრონიკა. თბილისი: „სტუ“, 2009, 167 გვ.
21. პოპოვი ვ., ნიკოლაევი ს. ზოგადი ელექტრონიკა ელექტრონიკის საფუძვლებით. თბილისი: „სტუ“, 1985, 542 გვ.
22. მერაბიშვილი პ., ხოსროშვილი გ. ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლები. თბილისი: „განათლება“, 1988, 310 გვ.
23. მერაბიშვილი პ., ზუბიაშვილი ლ., კობახიძე ი. ელექტრონიკა და ელექტრონიკის საფუძვლები. თბილისი: „სტუ“, 1990, 159 გვ.
24. Kenneth F. Johnson., Thomas R. Veliotti. Energy research developments. New York, 2009, 382 p.
25. Куинджи В., Смидович Г. Гибкие токопроводы в системах электроснабжения промпредприятий. Москва: "Энергия", 1974, 184 стр.
26. ჟვანია რ. გაზომვის განუსაზღვრელობის თეორიის საფუძვლები. თბილისი: საქართველოს სტანდარტების და მეტროლოგიის ეროვნული სააგენტო, 2012, 233 გვ.
27. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის „განუსაზღვრელობის“ შეფასება. „ენერჯია“, 2021, №1(97), გვ. 21-29.
28. Colleration and Regressive Analysis. Arcler Press, 2019, 210 p.
29. Карлберг К. регрессионный анализ. Изд.-во “Вильямс”, 2017, 215с.

30. Максимова Т. Г., Попова И. Н. Модель парной линейной регрессии. Университет ИТМО, Санкт-петербург, 2018, 152с.
31. ხურცილავა გ., ხურცილავა შ., კილურაძე ო. მეტროპოლიტენის მატარებლების საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია. „ენერჯია“, 2021, №2(98), II ნაწილი, გვ. 173-175.
32. Wayne C. Turner.. Energy Management Handbook. ISBN: 0-88173-228-1. Fairmount press, 950 p.
33. Michael F. Hordeski. New Technologies for Energy Efficiency. ISBN: 0-88173-369-5. New York, 2021, 388 p.
34. Naser Mahdavi Tabatabaei., Ali Jafari Aghbolaghi., Nicu Bizon. Reactive Power Control in AC Power Systems: Fundamentals and Current Issues. ISBN: 9783319511177. April 13th, 2017, 634p.
35. Hidaia Mahmood Alassouli.. Reactive Power Compensation. ISBN-13:9781715318086. December 21th, 2021.
36. Emmanuel F. Santos Cavalcanti., Marcos Ribeiro Barbosa. Energy efficiency. New York, 2012, 239p.
37. Konrad A. Hofman. Energy efficiency, recovery and storage. New York, 2007, 277p.
38. David M. Bergmann.. Energy efficiency research. New York, 2009, 219p.
39. David I. Matthews. Innovations in Energy. New York, 2012, 180p.
40. დვალი დ , დგებუაძე გ., გუნია რ., სიხარულიძე ი . ლაბორატორიული სამუშაოები სამრეწველო ელექტრონიკაში. თბილისი, 1981, 86გვ.
41. დოლაბერიძე გ., მუსელიანი თ. ელექტრონიკა. თბილისი: „სტუ“, 2009, 266 გვ.
42. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. თბილისის მეტროპოლიტენში ელექტროენერჯიის მოხმარების ანალიზი. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - ენერჯეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები. 25-26 ოქტომბერი 2018, ქუთაისი, ავ. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, მოხსენებათა კრებული, გვ.110-113.