



საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

მაია ფიცხელაური

საქართველოში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების
განხორციელების ეფექტიანობის გამოკვლევა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 0160, საქართველო

2023 წ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ფაკულტეტი: ენერგეტიკა

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით მათა ფიცხელაურის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „საქართველოში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების განხორციელების ეფექტიანობის გამოკვლევა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 2023 წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი/ხელმძღვანელები: პროფესორი მ. ჯიშკარიანი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2023 წ.

ავტორი: მათა ფიცხელაური

დასახელება: „საქართველოში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების განხორციელების ეფექტიანობის გამოკვლევა“

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: ენერგეტიკის და ელექტროინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: _____

ინდივიდუალური პროცნებების 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

პირველ თავში განხილულია ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები, როგორც მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი პოლიტიკის შემუშავებისა და პროგრესის მონიტორინგისთვის. გამოკვლეულია შენობების, მრეწველობის და ტრანსპორტის სექტორებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება და მათი დამახასიათებელი ელემენტების განსხვავებული კომბინაციით შეფასებულია ქვეყნის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებელი ეროვნულ დონეზე ინტერდისციპლინური მიდგომით: ხელოვნური ინტელექტის - მათლასის სიმულაციური აპლიკაცია გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის გამოყენებით. არსებული განუსაზღვრელობის პირობებში შერჩეულია სამი ყველაზე მნიშვნელოვანი ინდიკატორი და ამ ინდიკატორების ზეგავლენა საბოლოო მაჩვენებელზე აჩვენებს რომ ქვეყნის ეროვნული ენერგოეფექტურობა შეფასდა 100-დან 17.3 ქულით, რომელიც ბევრად ჩამორჩება განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ მნიშვნელობას. აღნიშნული გარემოება აიხსნება იმით, რომ საქართველოში უკვე შემოღებულია კანონები შენობებისა და ენერგოეფექტურობის შესახებ, მაგრამ მათი აღსრულების მექანიზმები ჯერ კიდევ საჭიროებს დახვეწას.

მეორე თავში წარმოდგენილია ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება საქართველოს საცალო ვაჭრობის ობიექტის მაგალითზე. შექმნილია ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების ახალი დიზაინის ალგორითმი, რომელიც რეალიზებულია კომპიუტერულ პროგრამაში. მეთოდოლოგიის შექმნა განიხილება როგორც გზამკვლევი, რათა სამრეწველო, საზოგადოებრივი სერვისის და საჯარო სამსახურის ობიექტებმა, ენერგოეფექტურობის კანონის შესაბამისად, სახელმძღვანელოდ გამოიყენონ და მაკონტროლებელ ორგანოებს წარუდგინონ ამ მეთოდოლოგიით მომზადებული ენერგოაუდიტის ანგარიშები. ელექტროენერჯის მოხმარებაზე ზემოქმედების ფაქტორების, ანუ ცვლადების ასარჩევად გამოიყენება ალბათობის ანალიზი (Probability Analysis). ცვლადების შესაბამისობის დადგენის მიზნით ჩატარებულია კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი, რაც გულისხმობს გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეების კორელაციური კავშირის დადგენას მოხმარებულ ელექტროენერჯისთან. განსაზღვრულია საბაზისო დონე, რომელიც საჭიროა რეგრესიის ფორმულის შესაქმნელად და დადგენილია საკვლევი ობიექტის ენერგოეფექტურობის მიზანი -19,7%. შესწავლილია ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები და გამოვლინდა ენერგოდაზოგვის სამიზნე, ანუ ენერჯის დაზოგვის პოტენციალი - კომპრესორის ძრავა. რათა მიღწეული იქნას სამიზნე მაჩვენებელი (წლიური მოხმარება 23319 კვტსთ ნაცვლად 29040 კვტსთ), გაკეთებულია კომპრესორის ძრავას შეცვლის მოდელირება, შემდეგ ეტაპზე კი იგეგმება გათბობის და განათების სისტემის მოდერნიზაცია. კომპრესორის ძრავას არჩევა განხორციელდა სიმძლავრის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის (ეფექტიანობის) მიხედვით სამრეწველო სტანდარტების და უსაფრთხოების ტექნიკის წესების გათვალისწინებით. ენერგოეფექტური ღონისძიების დანერგვის შემდეგ ელექტროენერჯის მოხმარება 11%-ით მცირდება. გათბობისა და გაგრილების სისტემების რეაბილიტაციით კი მომავალ პერიოდში ობიექტი მიუახლოვდება სამიზნე მაჩვენებელს $\approx 20\%$ -იან შემცირებას. ენერგეტიკული

პროექტის დაგეგმვისას ადგილი აქვს პროექტის დროში გახანგრძლივებას, რაც იწვევს ფინანსურ დანახარჯებს, ამიტომ განხორციელდა პროექტის (Project Evaluation Review Technique) PERT ანალიზი. კომპიუტერული პროგრამა ProjectLibre-ს განტის გრაფიკმა დეტალურად ასახა პროექტის მიმდინარეობის პერიოდი და გამოვლინდა პროექტის დადგენილ ვადაში დასრულების და ფინანსურ ლიმიტში ჩატევის ალბათობა. ახალი დიზაინის ალგორითმის მიხედვით პროექტის ექვსწლიან ხარჯსარგებლიანობის ანალიზმა გამოავლინა პროექტის მომგებიანობა წმინდა დისკონტირებული ღირებულების (+137 ლარი) და ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმის (5%) მიხედვით. პროექტის არაენერგეტიკული (NEB) სარგებლიანობის ანგარიში აჩვენებს, რომ საკვლევ ობიექტში ენერგოეფექტური ღონისძიების გატარებით სათბურის გაზების ემისია შემცირდება 316კგ-ით CO₂ეკვ. წელიწადში. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ქ. თბილისის ტერიტორიაზე 87 სუპერ და ჰიპერმარკეტია და თითოეულ მათგანში მსგავსი ენერგოეფექტური ღონისძიების შედეგად დაიზოგება დაახლოებით ანალოგიური რაოდენობის ელექტროენერგია, მარტივი გაანგარიშებით შესაძლებელია დაიზოგოს: 265 მგტსთ, 87 ათასი ლარი და 28 ტCO₂ეკვ. სათბურის გაზის ემისია წელიწადში.

მესამე თავში წარმოდგენილია სამრეწველო საწარმოებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელების მრავალფაქტორიანი შეფასება. მრეწველობაში ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მზაობის და დღემდე უცნობი განწყობების შესწავლის მიზნით გაანალიზებულია რაოდენობრივი კავშირები მოტივებს, სირთულეებსა და სარგებელს შორის. საძიებო კვლევის შედეგად გამოვლენილი დომინანტი ფაქტორების საფუძველზე გაცემული პრაქტიკული რეკომენდაციები ხელს შეუწყობს ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების უფრო ფართო გავრცელებას. კვლევას საფუძველად დაედო საქართველოში განხორციელებული პროექტის - ინდუსტრიულ სექტორში ენერგოეფექტიანობის გაუმჯობესების გამოცდილება. დამუშავდა შესაბამისი კითხვარი, დაეგზავნა პროექტში მონაწილე ექსპერტებს. მიღებული პასუხების ექსპლორატორული კვლევის საფუძველზე გამოვლინდა, რომ მოტივაციის ფაქტორებს შორის დომინირებს ლეგიტიმაციის ფაქტორი, ანუ ქმედების ან ფაქტის სამართლიანობისა და კანონიერების აღიარება და შესაბამისად, სერტიფიცირება საშუალებას მისცემს სამრეწველო საწარმოებს, რათა გარე მხარეებს აჩვენონ, რომ მათ დანერგეს ენერჯის მართვის სისტემა. სირთულეების ფაქტორებს შორის დომინანტია უწყვეტი გამოზომი ინსტრუმენტების აუცილებლობა, რომელიც არსებულ სამრეწველო საწარმოებში გარკვეულ გამოწვევას წარმოადგენს. სარგებლის ფაქტორებს შორის მოწინავე ადგილი უკავია საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაციას, რადგან ენერჯის მართვის სისტემის სტანდარტის განხორციელება ორგანიზაციებს უზიძვებს შექმნან ისეთი პროცესები და სისტემები, რომლებიც აუცილებელია მათი ენერგომწარმოებლურობის გასაზრდელად.

Resume

The first chapter discusses energy efficiency indicators as an important tool for policy development and monitoring progress. The implementation of energy-efficient measures in the sectors of buildings, industry and transport has been investigated and the energy efficiency index of the country at the national level has been estimated by different combinations of their characteristic elements with an interdisciplinary approach: an artificial intelligence-Mathlab simulation application using a graphical neuro-fuzzy designer. The three most important indicators have been selected and the impact of these indicators on the final indicator shows that the country's national energy efficiency was rated at 17.3 points out of 100, which is far behind the similar values of developed countries. This circumstance is explained by the fact that Georgia has already introduced laws on buildings and energy efficiency, but their enforcement mechanisms still need to be refined.

The second chapter presents the implementation of energy efficient measures on the example of a retail trade facility in Georgia. A new design algorithm for measures to improve energy efficiency has been created, which is implemented in a computer program. The creation of the methodology is considered as a guide so that the industrial and public service facilities, in accordance with the energy efficiency law, use it as a guide and submit the energy audit reports prepared with this methodology to the controlling bodies. Probability analysis is used to select factors or variables affecting electricity consumption. Correlation-regression analysis was conducted in order to determine the relevance of the variables, which means determining the correlation between heating and cooling degree days and the consumed electricity. The paper defines the base level needed to create the regression formula and sets the goal of energy efficiency of the research object -19.7%. Important energy consumers have been studied and the target of energy saving, i.e. energy saving potential - the compressor motor - has been identified. In order to reach the target rate (annual consumption of 23319 kWh instead of 29040 kWh), the modeling of replacing the compressor motor has been done, and the heating and lighting system modernization is planned at the next stage. The selection of the compressor was carried out according to the power and coefficient of action (efficiency) taking into account the industrial standards and the rules of safety techniques. After the introduction of energy-efficient measures, electricity consumption is reduced by 11%. With the rehabilitation of the heating and cooling systems, the facility will approach the target figure of $\approx 20\%$ reduction in the future period. When planning an energy project, there is an extension of the project time, which leads to financial costs, so a PERT analysis of the project (Project Evaluation Review Technique) was carried out. The Gantt chart of the computer program ProjectLibre showed in detail the period of the project and revealed the probability of the completion of the project within the set period and the probability of hitting the financial limit. According to the new design algorithm, the six-year cost-effectiveness report of the project revealed the profitability of the project according to the net discounted value (+137 GEL) and the internal rate of investment redemption (5%). The non-energy benefit (NEB) report of the project shows that the greenhouse gas emission will be reduced by 316 kg CO₂eq. per year. If we take into account that there are 87 super and hypermarkets in the territory of Tbilisi, and as a result of such energy-

efficient measure, approximately the same amount of electricity will be saved in each of them, by simple calculation it is possible to save: 265 MWh, 87 thousand GEL and 28 tCO₂eq. Greenhouse gas emissions per year.

The third chapter presents a multi-factor evaluation of the implementation of energy efficient measures in industrial enterprises. Quantitative links between motivations, difficulties and benefits are analyzed in order to study the willingness to implement measures to improve energy efficiency in the industry and the hitherto unknown attitudes. The practical recommendations issued on the basis of the dominant factors identified as a result of the exploratory research will contribute to the wider spread of measures to improve energy efficiency. The research was based on the experience of the project implemented in Georgia - the improvement of energy efficiency in the industrial sector. An appropriate questionnaire was processed and sent to the experts participating in the project. Based on the exploratory research of the received answers, it was revealed that the legitimacy factor dominates among the motivation factors. Difficulty factor among them, the need for continuous measuring instruments is dominant, which is a certain challenge in existing industrial enterprises. Optimizing the production process is at the forefront of the benefits, as the implementation of the energy management system standard encourages organizations to create the processes and systems necessary to increase their energy productivity.

შესავალი.....	13
ლიტერატურის მიმოხილვა.....	18
I თავი. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები, როგორც მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი პოლიტიკის შემუშავებისა და პროგრესის მონიტორინგისთვის.....	22
1.1. ენერგოეფექტურობის მნიშვნელოვანი ინდიკატორები.....	22
1.2. საქართველოს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ანგარიში გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის გამოყენებით	36
II თავი. ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელება საქართველოს საცალო ვაჭრობის ობიექტის მაგალითზე.....	53
2.1. ობიექტის ენერგოაუდიტის პროცესი, მონაცემთა შეგროვება და სამიზნე მაჩვენებლების განსაზღვრა.....	53
2.2. ენერგიის მნიშვნელოვანი მომხმარებლებების და დაზოგვის პოტენციალის გამოვლენა.....	64
2.3. ენერგეტიკული და ფინანსური გამოთვლები, პროექტის შეფასება.....	72
III თავი. ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მრავალფაქტორიანი შეფასება.....	86
3.1. კითხვარის შედგენის მეთოდოლოგია და რესპოდენტთა შედეგების დამუშავება.....	86
3.2. ექსპლორატორული კვლევა ენერგიის მართვის სისტემის დანერგვასთან დაკავშირებული ფაქტორების კავშირ-ურთიერთობების დასადგენად.....	93
დასკვნა	102
გამოყენებული ლიტერატურა	104

ცხრილების ნუსხა

	88
ცხრილი 1. ელექტროენერჯის დაზოგვის გამოთვლის მონაცემები	34
ცხრილი 2. სათბურის გაზების ემისიის შემცირების გამოთვლის მონაცემები	35
ცხრილი 3. ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები კატეგორიების მიხედვით	37
ცხრილი 4. მსოფლიოს ენერგოეფექტური ქვეყნების პირველი ათეული	37
ცხრილი 5. საქართველოს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები სექტორების მიხედვით	42
ცხრილი 6. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების რაოდენობრივი შეფასება	44
ცხრილი 7. შემავალი და გამომავალი ცვლადები და მათი შესაბამისი თერმები ...	46
ცხრილი 8. ცვლადების თერმები და პარამეტრების დიაპაზონი	47
ცხრილი 9. 2021 წლის ელექტროენერჯისა და ბ.გაზის ქვითრების მონაცემები ...	56
ცხრილი 10. გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეების კომპონენტები	58
ცხრილი 11. კვლევის ობიექტის გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეები	58
ცხრილი 12. ექსელის ფუნქცია ANOVA-ს ცხრილის მაჩვენებლები და P-Value	59
ცხრილი 13. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები	63
ცხრილი 14. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები SEU	64
ცხრილი 15. გაგრილების სისტემის ელემენტებს შორის ელექტროენერჯის მომხმარების განაწილება	66
ცხრილი 16. გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო კომპონენტები სამაცივრო ტევადობის მიხედვით	68

ცხრილი 17. კვლევის ობიექტის გაგრილების დატვირთვის ანგარიში	69
ცხრილი 18. ენერგოეფექტური ტექნოლოგიის დანერგვის ანგარიში	74
ცხრილი 19. პროექტის ფარგლებში განსახორციელებელი ღონისძიებები	75
ცხრილი 20. ოპერაციების აღნიშვნები და სავარაუდო დრო	76
ცხრილი 21. ოპერაციების მიმდინარეობის ვარიაციები, სტანდარტული გადახრა და კრიტიკული გზა	78
ცხრილი 22. ოპერაციების ღირებულებების ვარიაციები, სტანდარტული გადახრა და კრიტიკული გზა	79
ცხრილი 23. ენერგოაუდიტის პროექტის ფინანსური ანგარიში	81
ცხრილი 24. ენერგოეფექტური ღონისძიებით მიღებული შედეგი	83
ცხრილი 25. ობიექტის მიმდინარე და მომავალი ენერგოეფექტური ღონისძიებები	84
ცხრილი 26. გამოკითხვაში მონაწილე რესპოდენტთა პასუხების ანალიზი	87
ცხრილი 27. მოტივაციის ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზი	94
ცხრილი 28. სირთულეების ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზი	96
ცხრილი 29. სარგებლის ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზი	97

ნახაზების ნუსხა

83.

ნახაზი 1. ISO 50001-ის „დაგეგმე-გააკეთე-შეამოწმე-იმოქმედე“ ციკლი	23
ნახაზი 2. ენერგოაუდიტის პროცესის შემადგენელი კომპონენტები	28
ნახაზი 3. ფაზი-ლოგიკის სისტემის შემადგენელი ელემენტები	46
ნახაზი 4. მიკუთვნების ფუნქციის მამდანი-1 ტიპი	47
ნახაზი 5. ცვლადის “სამშენებლო სტანდარტები” მიკუთვნების ფუნქცია	48
ნახაზი 6. ცვლადის “ ენ.მენეჯმ. სისტემის დანერგვა” მიკუთვნების ფუნქცია	48
ნახაზი 7. ცვლადის “ სატრანსპორტო პოლიტიკა” მიკუთვნების ფუნქცია	49
ნახაზი 8. IF-THEN წესების პროგრამული განხორციელება	49
ნახაზი 9. წესების რაოდენობრივი გამოხატულება და მიღებული შედეგი	50
ნახაზი 10. გამომავალი ცვლადის გრაფიკული გამოხატულება	51
ნახაზი 11. ენერჯის მართვის სისტემის ალგორითმი	54
ნახაზი 12. კვლევის ობიექტის ელექტროენერჯის რეალური და მოსალოდნელი მოხმარება	60
ნახაზი 13. მოხმარებული ელექტროენერჯის რეალური დანაზოგი (მონიტორინგის პერიოდში)	62
ნახაზი 14. საბაზისო დონე, დანაზოგის კუმულაციური ჯამი და მიზანი	63
ნახაზი 15. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები SEU	65
ნახაზი 16. გაგრილების სისტემის ელემენტებს შორის ელექტროენერჯის მოხმარების განაწილება	66
ნახაზი 17. მცირე სამაცივარო გამაგრილებლის სქემა	70
ნახაზი 18. ინდუსტრიული მცირე სამაცივრო კომპრესორი ცივი შენახვისთვის ..	73
ნახაზი 19. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტური პროექტის განტის გრაფიკი	76
ნახაზი 20. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტ. პროექტის ქსელური დიაგრამა	77

ნახაზი 21. კვლევის ობიექტის მიმდინარე და მომავალი ღონისძიებების შეფასების რადარი	85
ნახაზი 22. საწარმოებისთვის ISO 50001 მიღების მოტივაციის ფაქტორები	89
ნახაზი 23. ISO 50001 მიღების სირთულესთან დაკავშირებული ფაქტორები	91
ნახაზი 24. ISO 50001 დანერგვით მიღებულ სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორები	92
ნახაზი 25. ლაიკერტის სკალით მიღებული რესპოდენტთა შედეგების პროგრამული განხორციელება	94
ნახაზი 26. მოტივაციის ფაქტორების ვიზუალური გამოსახულება	95
ნახაზი 27. მოტივაციის ფაქტორების პროცენტული განაწილება	95
ნახაზი 28. სირთულესთან დაკავშირებული ფაქტორების ვიზუალური გამოსახულება	96
ნახაზი 29. სირთულესთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება	97
ნახაზი 30. სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორების ვიზუალური გამოსახულება	98
ნახაზი 31. სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება	98

შესავალი

მეცნიერული სიახლე.

- შექმნილია ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების ახალი დიზაინის ალგორითმი, რომელიც რეალიზებულია კომპიუტერულ პროგრამაში. მეთოდოლოგიის შექმნა განიხილება როგორც გზამკვლევი, რათა სამრეწველო, საზოგადოებრივი სერვისის და საჯარო სამსახურის ობიექტებმა, ენერგოეფექტურობის კანონის შესაბამისად, სახელმძღვანელოდ გამოიყენონ და მაკონტროლებელ ორგანოებს წარუდგინონ ამ მეთოდოლოგიით მომზადებული ენერგოაუდიტის ანგარიშები. სახელმწიფოს მიერ ჯერ შემუშავებული არ არის განსახორციელებელი ღონისძიებების მწყობრი სისტემა (ISO50001 სტანდარტის შესაბამისად) და ოფიციალური ანგარიშის ფორმა.

- გამოკვლეულია შენობების, მრეწველობისა და ტრანსპორტის სექტორებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება. განსხვავებული კომბინაციით, კერძოდ, ინტერდისციპლინური მიდგომით: ხელოვნური ინტელექტის - მათაბის სიმულაციური აპლიკაციით და გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის გამოყენებით, შეფასებულია ქვეყნის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებელი ეროვნულ დონეზე.

- მრეწველობაში ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მზაობისა და დღემდე უცნობი განწყობების შესწავლის მიზნით, გაანალიზებულია რაოდენობრივი კავშირები ამ ღონისძიებების განხორციელების მოტივებს, სირთულეებს და სარგებელს შორის. საძიებო კვლევის შედეგად გამოვლენილი დომინანტი ფაქტორების საფუძველზე გაცემული პრაქტიკული რეკომენდაციები ხელს შეუწყობს ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების უფრო ფართო გავრცელებას.

თემის აქტუალურობა.

საქართველო წარმოადგენს გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის ხელმომწერ სახელმწიფოს, რომლის ვალდებულებაცაა ენერგოეფექტური ღონისძიებების რეალიზების საფუძველზე სამრეწველო, საზოგადოებრივი სერვისის და საყოფაცხოვრებო სექტორში

მოხმარებული ენერჯის ეფექტურად გამოყენება და მისი მინიმუმამდე დაყვანა. ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება და სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების რაციონალურად გამოყენება განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსათვის, როგორც იმპორტულ ენერგორესურსებზე ორიენტირებულ და გამწვავებული ეკოლოგიური სიტუაციის მქონე ქვეყნისთვის. საქართველოს ენერგოეფექტურობის კანონის მიხედვით, პირველი კატეგორიის სამრეწველო საწარმოებს გააჩნიათ ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების შესახებ ანგარიშის წარდგენის ვალდებულება ყოველ ოთხ წელიწადში, ხოლო სხვა ენერგომომხმარებლებისთვის ამ ეტაპზე რეკომენდებულია. სახელმწიფოს მიერ ენერგოაუდიტის ჩატარების მოთხოვნას ესაჭიროება **სამეცნიერო ჩარჩო**, რომელსაც ვთავაზობთ კომპლექსური კვლევის საფუძველზე მიღებული შედეგების დაინტერესებულ მხარეთათვის გაზიარების გზით.

პრაქტიკული მნიშვნელობა.

საქართველოში ენერგოდანაზოგების გამოთვლის მეთოდოლოგია ჯერ კიდევ შემუშავების პროცესშია, ამიტომ დარგის განვითარების ხელშეწყობის მიზნით, მეცნიერული კვლევის საფუძველზე ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების მეთოდოლოგიის შექმნა ხელს შეუწყობს ენერგოეფექტურობის კანონქვემდებარე აქტების მომზადების პროცესში ეროვნულ და სექტორულ დონეზე ენერგოდანაზოგის გამოთვლის მეთოდოლოგიის შემუშავებას და ენერგო-აუდიტორთა აკრედიტაციის და სერტიფიცირების სქემების შემუშავებას. კვლევის პრაქტიკული გამოცდილება დაეხმარება ენერგომომხმარებელ ობიექტებს სისტემური მიდგომის გამოყენებით უწყვეტი ენერგოეფექტიანობის, ენერგო-ეკონომიურობის და ენერგოუსაფრთხოების მიღწევაში შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში.

მეცნიერული კვლევის საფუძველზე შექმნილი ენერჯის მართვის სისტემის მეთოდოლოგია და შესაბამისი პროგრამული პაკეტი, როგორც პრაქტიკული გზამკვლევი შესაძლებელია გამოიყენონ იმ ობიექტებმა, რომელთაც გააჩნიათ სახელმწიფოს წინაშე ენერგეტიკული ანგარიშგების ვალდებულება. ნაშრომში მეთოდურად ჩამოყალიბებულია, თუ როგორ უნდა განისაზღვროს საბაზისო დონე (Baseline) კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზისთვის რეგრესიის ფორმულის შესაქმნელად, დანაზოგის კუმულაციური ჯამის ანგარიში და

გრაფიკული გამოსახვა. საქართველოში ენერგოეფექტურობის კანონის მიღება და ენერჯის მართვის სისტემის (ISO50001 სტანდარტის შესაბამისად) აქტიური გამოყენება მნიშვნელოვანია როგორც ენერგომომხმარებელი ობიექტების ღირებულებისა და ეფექტურობის, ასევე გარემოს და მდგრადი ენერგეტიკული განვითარების თვალსაზრისით. კვლევის შედეგები უკვე აპრობირებულია ქ.თბილისის საცალო ვაჭრობის ობიექტზე, სადაც საბაზისო და მონიტორინგის პერიოდში განხორციელდა დეტალური ენერგოაუდიტი, განისაზღვრა ენერჯის მოხმარების შემცირების სამიზნე მაჩვენებელი და შემდეგ დაიგეგმა მისი განხორციელების სტრატეგია. მიზნის დადგენა სავალდებულოა ენერგოეფექტურობის შესახებ კანონით, ითვალისწინებს მოქმედებებს პარიზის შეთანხმების ფარგლებში ეროვნულად განსაზღვრული წვლილის (Nationally Determined Contributions, NDCs) შესასრულებლად.

პრობლემა, რომლის გადაწყვეტისთვის არის მიძღვნილი ნაშრომი - საერთაშორისო თანამეგობრობის მდგრადი განვითარების 2030 წლის დღის წესრიგში გათვალისწინებულია ეკონომიკის, მრეწველობის და გარემოს მდგრადობა. გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის სპეციალიზებული სამრეწველო განვითარების სააგენტო (UNIDO) ხელს უწყობს მდგრად სამრეწველო განვითარებას, ავრცელებს სფეროსთან დაკავშირებულ ცოდნას და უზრუნველყოფს ტექნიკურ მხარდაჭერას მსოფლიო თანამეგობრობის 170-ზე მეტი ქვეყნისთვის, მათ შორის ეხმარება საქართველოს სამრეწველო და ენერგეტიკულ ობიექტებს ენერგოეფექტური ოპერაციების დანერგვაში ენერჯის მართვის სისტემის ISO50001 სტანდარტის შესაბამისად. საქართველოში სამრეწველო ენერგოეფექტურობის იმპლემენტაცია მოიცავს ნებაყოფლობითი შეთანხმების სქემის შემუშავებას და წამახალისებელი ღონისძიებების გატარებას. საქართველოს მთავრობისა და სამრეწველო ენერგოეფექტურობის სამუშაო ჯგუფმა 2021 წელს ჩაატარა კვლევა საწარმოებში ენერგოეფექტურობის, სამიზნე დანაზოგის და ინვესტიციების დაფინანსების ფორმებთან დაკავშირებით, საიდანაც ირკვევა, რომ საწარმოები აცნობიერებენ ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარების აუცილებლობას და დაფინანსების შესაძლებლობებს ხედავენ საკუთარი კაპიტალის გამოყენებით. აღსანიშნავია, რომ საერთაშორისო ბანკებიდან ან საფინანსო ინსტიტუტებიდან შესაძლებელია კონცესიური/შელავათიანი სესხის

(Concession Loan) ადება, რომელიც გაცემულია უფრო ხელსაყრელი პირობებით, ვიდრე მსესხებელს შეეძლო მოეპოვებინა ბაზარზე. შეღავათიანი პირობები შეიძლება იყოს ერთი ან რამდენიმე, მაგ. დაბალი საპროცენტო განაკვეთი (ყველაზე გავრცელებული), გადავადებული ან შემოსავალზე დამოკიდებული გადახდები. აღნიშნული კვლევით აგრეთვე დადგინდა, რომ ინდუსტრიული ობიექტებისთვის ენერგოეფექტური ღონისძიებები მათთვის სიახლეა, მაგრამ რადგან კანონთან არის დაკავშირებული, ინტერესს იჩენენ ენერგოეფექტური შესყიდვების, დაბეგვრის შეღავათების მიმართ, ხოლო საგრანტო ან დაბალკრედიტიანი დაფინანსება მათთვის პრიორიტეტულია. საქართველოში საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითებია საწარმო “ნატახტარის“ მიერ ენერჯის მართვის სისტემის სერტიფიკატის (ISO50001) მოპოვება (2014წ.) და ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვა თბილისის სატრანსპორტო კომპანიაში (2019წ.). აღნიშნული დადებითი შედეგები ბევრად ჩამორჩება მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ პროცესებს, მაგ. გერმანიაში თითქმის 7000 კომპანია და საჯარო დაწესებულება ფლობს ISO50001-ის ენერჯის მართვის სერტიფიკატს, ხოლო მსოფლიოში დაახლოებით 20000 კომპანიას გააჩნია ISO50001 სერტიფიკატი (**International Standard Organization, 2023**). კვლევის პროცესში გამოვლინდა ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის შესახებ (ISO50001 სტანდარტის საფუძველზე) უფრო გაფართოებული ანალიზის საჭიროება, სამრეწველო საწარმოებსა და საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებში.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები.

1. კვლევის ობიექტია საქართველოში ენერჯის მომხმარებელი სამრეწველო, საზოგადოებრივი სერვისის და საჯარო სამსახურის ობიექტები, რომლებსაც გააჩნიათ ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის და ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების შესახებ ანგარიშის წარდგენის ვალდებულება ენერგოეფექტურობის კანონის შესაბამისად.

2. კვლევაში გამოყენებულია ენერჯის მოხმარებაზე გარკვეული ზემოქმედების ფაქტორების (ცვლადების) კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი, რაც გულისხმობს გათბობის და გაგრილების გრადუს-დღეების კორელაციური კავშირის დადგენას მოხმარებულ ელექტროენერჯიასთან.

3. გამოყენებულია კვლევების რაოდენობრივი შეფასების ფაზი-ლოგიკის მეთოდი, რომელიც ეფუძნება პროგრამული სისტემის ხელოვნურ ინტელექტს და აყალიბებს სიმულაციას პროგრამული უზრუნველყოფა MATLAB-ის საშუალებით. განხორციელებულია საქართველოს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ანგარიში გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის გამოყენებით.

4. გამოყენებულია ექსპლორატორული ფაქტორული კვლევა, რომელიც საჭიროა მრავალვარიანტულ სტატისტიკაში ცვლადების შედარებით დიდი ნაკრების ძირითადი სტრუქტურის გამოსავლენად. გამოიყენება სკალის შემუშავებისას და ემსახურება ფარული კონსტრუქციების ერთობლიობის იდენტიფიცირებას, როცა მკვლევარს არ აქვს აპრიორი ჰიპოთეზა გაზომვადი ცვლადების ფაქტორების ან შაბლონების შესახებ. ნაშრომში არსებობს გაზომვადი ცვლადების რაოდენობა, რომლებიც, სავარაუდოდ, დაკავშირებულია „დაუკვირვებელი“ ფაქტორების რაოდენობასთან. ნაშრომში განხორციელდა ე.წ. „გაზომვადი“ და „დაუკვირვებელი“ ფაქტორების იდენტიფიცირება და მათი კორელაციის გამოკვლევა.

5. აპრობირებულია ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი პრაქტიკული მაგალითი ჩვენს მიერ შექმნილი ალგორითმის მიხედვით Microsoft Excel-ის პროგრამის საშუალებით, რომელიც გამოირჩევა გასაგები ინტერფეისით და შაბლონებისა და ტენდენციების თვალსაჩინოდ მოსახერხებელი გამოყენებით. კვლევის რაოდენობრივი და ვიზუალური გამოსახვისთვის გამოყენებულია პროგრამები და აპლიკაციები MATLAB, PERT, DERE E DAYS, PROJECTLIBRE, Regression function in EXCEL.

ლიტერატურის მიმოხილვა

სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობის პერიოდში ჩვენს მიერ განხორციელდა ინფორმაციის შეგროვება და ჩატარდა კვლევებისა და მიგნებების ანალიზი საქართველოს, აშშ-ს, განვითარებული ევროპული ქვეყნებისა და შორეული აღმოსავლეთის ქვეყნების: იაპონია, ტაივანი, კორეა და ჰონგ-კონგის წამყვანი მეცნიერების მიერ ბოლო 5 წლის გამოქვეყნებული ნაშრომების საფუძველზე. საქართველოში არსებობს ენერგეტიკული აუდიტის და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის 30 წლიანი გამოცდილება, 1996 წლიდან დღემდე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ექსპერტთა ჯგუფის მიერ ხორციელდება სამრეწველო, საზოგადოებრივი სერვისის, საჯარო და საყოფაცხოვრებო ობიექტების ენერგოაუდიტი, ოპტიმიზაციის და რეაბილიტაციის 100-ზე მეტი პროექტი ადგილობრივი და საერთაშორისო ორგანიზაციების ხელშეწყობით და დაფინანსებით. ამ სწავლულ ექსპერტთა ჯგუფის მიერ შეიქმნა კომპიუტერული პროგრამა, რომლის საშუალებით შენობის კონსტრუქციული ელემენტების თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზომვით განისაზღვრება თბური წინაღობა, თბოგადაცემის კოეფიციენტი და თბური დანაკარგები, რითაც შესაძლებელი გახდა ენერგოეფექტურობის დაზუსტებული შეფასება. ექსპერტთა ჯგუფის წევრების მიერ მერების შეთანხმების ფარგლებში, თბილისის, ქუთაისის, ბათუმის, ზუგდიდის, გორის, თელავის, ახალციხის, ბოლნისის, მცხეთის საჯარო შენობებში განხორციელდა ენერგოაუდიტი, არსებული პრობლემების იდენტიფიცირება და ანალიზი. ექსპერტთა ჯგუფის მიერ განხორციელებული ენერგოაუდიტის ასობით ანგარიშებს გააჩნია მნიშვნელოვანი წვლილი საქართველოში ენერგეტიკული პოლიტიკის ჩარჩოს და სტრატეგიული პროგრამების შემდგომი გაძლიერებისათვის. ამავე ჯგუფის მიერ დამუშავებულია ენერგოეფექტურობის და ენერგოაუდიტის სახელმძღვანელოები. თ. მიქიაშვილის ავტორობით შექმნილი ენერგოაუდიტის სახელმძღვანელოში განხილულია ენერჯის რაციონალური გამოყენების შესაძლებლობები, ტექნიკური და ეკონომიკური კრიტერიუმები სამრეწველო,

სერვისის, საჯარო და საყოფაცხოვრებო ობიექტებისთვის (მიქიაშვილი, თ. 2010). განხილულია საქართველოს მდგრადი განვითარების ცენტრის, რემისიის მიერ განხორციელებული საქმიანობის შედეგები და ენერგეტიკის მდგრადი განვითარების სამოქმედო გეგმები საქართველოს 10 ქალაქის მასშტაბით. მათ მიერ შემუშავებული დაბალემისიებიანი განვითარების სტრატეგიები ითვალისწინებს სუფთა ენერჯის განვითარებას და შეფასებულია ტრანსპორტის, ენერგეტიკის, მრეწველობის და შენობების სექტორები სხვადასხვა კრიტერიუმების გამოყენებით. ავტორთა ჯგუფი გარაბიდის ხელმძღვანელობით სახელმძღვანელოში ენერგოაუდიტი სამრეწველო სექტორში განხილავს სამრეწველო ობიექტებში ელექტროენერჯის მოხმარების საკითხებს, სავარაუდო პრობლემებს და გადაწყვეტის გზებს. განხილულია ელექტროამძრავებში ენერგოდაზოგვის და ექსპლუატაციის ეფექტური რეჟიმები, დანაკარგების შემცირება და ელექტროძრავას მუშაობის ეფექტურობაზე მოქმედი ფაქტორების გამოვლენა, მაღალეფექტური ელექტროძრავების მახასიათებლები, ელექტროენერჯის ეფექტური გამოყენების საკითხები, ენერგოდაზოგვა ტუმბოებში და ეფექტურობის ამაღლება, ცენტრიდანული ტუმბოების მწარმოებლურობის რეგულირების საკითხები, ენერგოდაზოგვა ვენტილატორებში და სიჩქარის რეგულირება, ელექტროდუმელების მუშაობის ენერგოეფექტური მეთოდები, ელექტროდაზოგვა განათების სისტემებში, განათების მახასიათებლები, სამრეწველო ჰაერის კომპრესორების მახასიათებლები, დაბალპოტენციური სითბოს რეგენერაცია, ენერგოაუდიტის პროექტის ღირებულებითი და ენერგოდაზოგვი შეფასებები (არაბიძე, გ. და სხვ. 2011). გ. არაბიძის და სხვა თანაავტორთა მიერ დამუშავებულ სახელმძღვანელოში ენერგოეფექტურობისა და გარემოს დაცვის შესახებ განხილულია სხვადასხვა სახის ენერჯის სამომხმარებლო მოთხოვნილებათა მართვის პროგრამები და გაზიარებულია განვითარებული ქვეყნების გამოცდილება ენერგორესურსების დაზოგვის საქმეში, ასევე წარმოდგენილია შენობების ენერგოაუდიტის ძირითადი მახასიათებლები და ენერგოაუდიტის ხელსაწყოთა ტექნიკა (არაბიძე, გ. და სხვ. 2014).

გარდა ამისა, შესწავლილ იქნა საკვლევ თემატიკასთან დაკავშირებული სადოკტორო დისერტაციები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

ენერგეტიკის ფაკულტეტის დოქტორანტი, გ.ხურცილავა სადისერტაციო ნაშრომში განიხილავს ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვას სარკინიგზო ტრანსპორტის სექტორში, სადაც ძველი, უკვე ამორტივებული ტექნიკის მაღალეფექტური საშუალებებით ჩანაცვლება იძლევა მნიშვნელოვან ეფექტს, გარდა ამისა, ფულადი ინვესტიციის გარეშე შესაძლებელია გარკვეული დანაზოგის მიღება საექსპლუატაციო რეჟიმის გაუმჯობესებით და მოდერნიზებით. გ.ხურცილავას მიერ განხორციელდა ბორჯომ-ბაკურიანის ელექტრომაგალის არაეფექტური რელე-კონტაქტორული მართვის მეთოდის შეცვლა მაღალეფექტური ელექტრონულ-იმპულსური მართვით, რამაც გამოიწვია ელექტროენერჯის მოხმარების ორჯერ შემცირება (ხურცილავა, გ. 2022). ნაშრომში გაანალიზებულია პრაქტიკაში ენერჯის მართვის სისტემის და 50001 საერთაშორისო სტანდარტის დანერგვის მსოფლიო გამოცდილება, კვლევები და გამოქვეყნებული ნაშრომები. ენერჯის მართვის სისტემის დანარგვის შესახებ ჩატარებულ კვლევაში ლიმ და ჩენგმა განახორციელეს აკადემიური სტატიების ფართო განხილვა, რომლითაც დადასტურდა, სხვადასხვა სამრეწველო და სერვისის ობიექტებში როგორ მიიღება ენერჯის დაზოგვის მნიშვნელოვანი შედეგები (Lee, D & Cheng, C. 2016). კერძოდ, ისინი ასაბუთებენ, თუ ენერჯის დაზოგვის ეს შედეგები როგორ არის დაკავშირებული სისტემის კონკრეტულ ფუნქციებთან. მანამდე, მესა და სხვათა მიერ ჩატარებულ კვლევაში განხილული იყო ოთხი ელემენტი, რომლებითაც გარანტირებულია წარმოების პროცესში ენერგოეფექტურობის სრული ინტეგრაცია, ესენია: სტრატეგია, იარაღი, პროცესი და ტექნოლოგია. შესაბამისად, ეფექტური ენერჯის მართვის სისტემის ფარგლები ამ ოთხ უმნიშვნელოვანეს ელემენტში უნდა იყოს გათვალისწინებული (May G., et al. 2012). იტალიელი მკვლევარების მერლის და სხვა ავტორთა მიერ ჩატარებული ფართო კვლევა, ეყრდნობა მსხვილმასშტაბიან გამოკითხვას რომლის ფარგლებშიც გაანალიზდა „ეკო-მენეჯმენტისა და აუდიტის გეგმის საფუძველზე“ ოფიციალური მართვის სისტემის დანერგვის მოტივაციები, ძირითადი სირთულეები და შედეგები ეკოლოგიური და ფინანსური ეფექტიანობის თვალსაზრისით. მეცნიერებმა ტოურაისმა და ვიდერიამ 80-მდე ნაშრომის განხილვის საფუძველზე გაანალიზეს ის მოტივები და სარგებელი, რომლებიც ორგანიზაციებს EMAS-ის მიღებისკენ უბიძგებს. ISO50001 სტანდარტის შესახებ, ჩიუმ და სხვა

თანავტორებმა გარკვეული ქეისების შესწავლის მეშვეობით გააანალიზეს ISO50001 სტანდარტის დანერგვით როგორ გაუმჯობესდა ეკოლოგიური ეფექტიანობის მაჩვენებლები (Chiu, T. & Lo, S. 2015). ეს კარგი შედეგებიც დამატებითი მოტივაციაა იმისათვის, რომ კონკურენტებმა ეს სტანდარტი დანერგონ და მიიღონ დამატებითი სარგებელი. მეცნიერებმა კარხერმა და ჯოხემმა დაადგინეს, რომ ფულადი დანაზოგების თვალსაზრისით ISO50001 სტანდარტის დადებითი შედეგები სხვა ორგანიზაციებსაც აღძრავს მის დასაწერად, უფრო მეტიც, ისინი იმასაც აცხადებენ, რომ მთავარი ხელშემწყობი ფაქტორი პერსონალის დადებითი დამოკიდებულებაა (Karcher, P. & Jochem, R. 2015). ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვით მიღებული ენერგოდანაზოგები სხვადასხვა რეჟიმებში და გეოგრაფიულ ტერიტორიებზე გააანალიზეს შოლეტმა და ვენკატმა, მათ ყურადღება გაამახვილეს აშშ-ში საკვებისა და სასმელის ლოგისტიკურ ჯაჭვზე (Cholette S. & Venkat K. 2009). უფრო მოგვიანებით, ჟაბურმა და სხვებმა გააანალიზეს ISO50001 სტანდარტით როგორ არის შესაძლებელი ნახშირორჟანგის გამონაბოლქვისა და მწვანე და დაბალნახშირბადიანი მიწოდების მართვის ოპტიმიზაცია (Jabbour A., et al. 2017). მეცნიერებმა მაკკანემ და სხვა თანავტორებმა შეიმუშავეს ამ გამონაბოლქვების სახელმწიფო, რეგიონულ და გლობალურ დონეზე ზემოქმედების შეფასების მეთოდოლოგია (McKane A., et al. 2017). საერთო ჯამში, კვლევათა მთელი ნაკადი ეძღვნება ტექნიკურ საკითხებს. თუმცა, არასაკმარისია კვლევა იმაზე, თუ რა გავლენა აქვს ამ სტანდარტს ორგანიზაციის მართვაში. კვლევის ამ მიმართულებით ერთი გამონაკლისია, კერძოდ ვულანდარმა და სხვა თანავტორებმა გააანალიზეს ISO50001 სტანდარტის დანერგვისას არსებული მოტივაციები და სირთულები, მაგრამ არ შეუსწავლიათ მოტივაციებსა და სარგებელს შორის არსებული კავშირი (Wulandary, M. 2015). მიუხედავად იმისა, რომ საკვლევ სფეროში ლიტერატურა საკმაოდ მოცულობითია, მაინც დგას საქართველოს მასშტაბით ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის ეფექტიანობის საკითხების უფრო დაწვრილებით შესწავლის აუცილებლობა იმის გათვალისწინებით, რომ კანონით სამრეწველო, საჯარო და სერვისის ობიექტებისთვის სავალდებულოა ენერგეტიკული აუდიტის ანგარიშის წარდგენა მაკონტროლებელი ორგანოებისთვის.

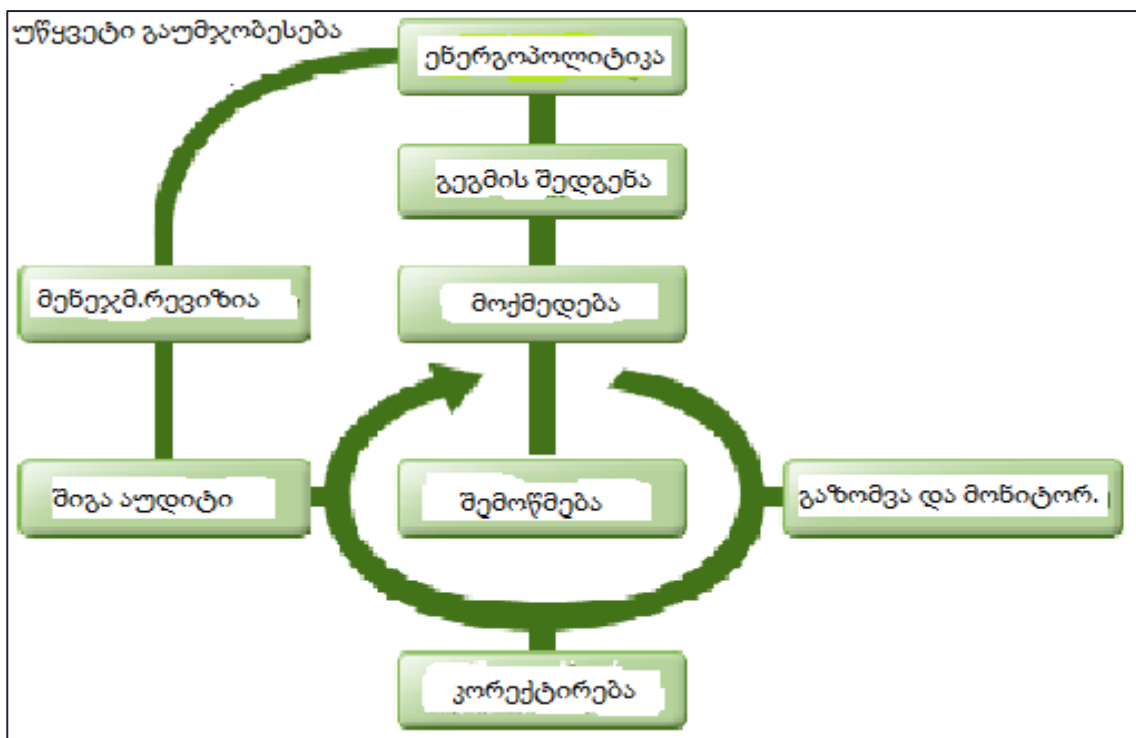
თავი 1.

ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები, როგორც მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი პოლიტიკის შემუშავებისა და პროგრესის მონიტორინგისთვის

1.1. ენერგოეფექტურობის მნიშვნელოვანი ინდიკატორები

ISO50001 წარმოადგენს სტანდარტების საერთაშორისო ორგანიზაციის (სსო) მიერ შემუშავებულ სტანდარტს, რომელიც განსაზღვრავს ენერჯის მართვის სისტემის მოთხოვნებს (**International Standard Organization, 2013**). ამ სტანდარტით განისაზღვრება ენერჯის მართვის სისტემის დაგეგმვის, დანერგვის, შენარჩუნებისა და გაუმჯობესების მოთხოვნები იმისათვის, რომ ორგანიზაციამ სისტემატური მიდგომის გამოყენებით შეძლოს უწყვეტი ენერგოეფექტურობის, მათ შორის, ენერგოეკონომიურობის, ენერგოუსაფრთხოების მიღწევა. ISO50001 სტანდარტი მსოფლიოში პირველი ენერჯის მართვის სტანდარტი არ არის, მის მიღებამდე დაახლოებით 14 რეგიონული და ლოკალური სტანდარტი არსებობდა. ეს შემთხვევითი არ არის, რადგან ISO50001 სტანდარტის ყველა წინამორბედი შემუშავებული იყო იმ პირთა მიერ, რომლებიც სტანდარტების საერთაშორისო ორგანიზაციაში უწყვეტი გაუმჯობესების მართვის მოდელში მუშაობდნენ. მიუხედავად ამისა, ISO50001 სტანდარტი რამდენიმე მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას ითვალისწინებს, განსაკუთრებით ევროპულ ენერგოსტანდარტთან EN 16001:2010 შედარებით (**Duglio, S. 2011**). გარემოსდაცვითი მართვის სისტემების შესახებ საერთაშორისო 14001 სტანდარტის შემოღების შემდეგ მსოფლიოში გარემოს და კლიმატის პრობლემების გადაწყვეტის ალბათობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა. ამ წარმატებული გზის შემდეგ, გარემოსდაცვითი მართვის ასპექტებთან დაკავშირებით სხვა მართვის სტანდარტებიც გავრცელდა, მათ შორის 14006 სტანდარტი ეკო-დიზაინის შესახებ, 14064 სტანდარტი სითბური გაზების რაოდენობის გაანგარიშებისა და ანგარიშგების შესახებ და 14031 სტანდარტი გარემოსდაცვითი ეფექტიანობის შეფასების შესახებ. სტანდარტი ISO50001-2011 წლის ივლისში გამოქვეყნდა ოფიციალურად, ის წარმოადგენს ენერჯის მართვის

სისტემის (EnMS) სახელმძღვანელოს. საერთაშორისო ეროვნული ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორში ფართო გამოყენების პირობებში, ივარაუდება, რომ ამ სტანდარტმა შესაძლოა გავლენა იქონიოს მსოფლიო ენერგომომხმარებლის თითქმის 60%-ზე (Anisimova, T. 2013). ISO50001 სტანდარტის სტრუქტურა შემუშავებულია მართვის სისტემების შესახებ სხვა სტანდარტების, კერძოდ, ISO9001 - ხარისხის მართვის სისტემები და ISO14001 - გარემოსდაცვითი მართვის სისტემების სტანდარტების მიხედვით, რადგან „დაგეგმე-გააკეთე-შეამოწმე-იმოქმედე“ (PDCA) ციკლს ეფუძნება (ნახ. 1), ამ სისტემებში ISO50001-ის ინტეგრირება მარტივია.



ნახ.1. ISO 50001-ის „დაგეგმე-გააკეთე-შეამოწმე-იმოქმედე“ უწყვეტი ციკლი

ენერჯის მართვის სისტემის კონტექსტში „დაგეგმე-გააკეთე-შეამოწმე-იმოქმედე“ უწყვეტი ციკლი შემდეგნაირად აიხსნება: „დაგეგმვა“ მოიცავს ენერგოანალიზს და საბაზისო ენერგოეფექტიანობის მაჩვენებლების, ამოცანების, მიზნების და სამოქმედო გეგმების შემუშავებას, რომლებიც აუცილებელია პოზიტიური შედეგების დასაღებად, ენერგოეფექტურობის და ორგანიზაციის ენერგოპოლიტიკის გასაუმჯობესებლად. პუნქტი „გაკეთება“ ენერჯის მართვის სამოქმედო გეგმების განხორციელებას გულისხმობს, ხოლო „შემოწმება“ პროცესების, ოპერაციების და იმ საკვანძო მახასიათებლების მუდმივი

მონიტორინგი და უწყვეტი გაზომვაა, რომლებითაც ფასდება ენერგოეფექტურობა და „მოქმედება“ ენერგოეფექტურობის და ენერჯის მართვის სისტემის უწყვეტად გასაუმჯობესებელი ქმედებებია.

საქართველოში ენერგოეფექტურობის კანონის მიღება გადამწყვეტი ეტაპია თავისუფალი ენერგეტიკული ბაზრის მომავალი განვითარებისთვის და მისი პოლიტიკის ჩარჩოს და პროგრამების შემდგომი გაძლიერებისათვის. ISO50001 სტანდარტი საინტერესოა სამრეწველო საწარმოების ხელმძღვანელებისთვის, ინჟინრებისთვის, კონსულტანტებისთვის, სერტიფიცირებული ორგანოებისა და პოლიტიკის შემქმნელთათვის. თუ კომპანია მუშაობს უშუალოდ ენერგეტიკულ და მსგავს სექტორებში, ან არის ფირმა, რომელიც იურიდიულად პასუხისმგებელია ენერჯისთან დაკავშირებულ საქმიანობებზე და სათბურის გაზების ემისიებზე, ISO50001 ენერჯის მართვის სისტემა პირდაპირ ეხება ასეთ კომპანიებს. კომპანიების მიერ ამ სისტემის დამკვიდრება და აქტიური გამოყენება მნიშვნელოვანია როგორც კომპანიის ღირებულებისა და ეფექტურობის, ასევე გარემოს და მდგრადი ენერგეტიკული განვითარების თვალსაზრისით. ენერჯის მართვის სისტემები (EMS) არის ავტომატიზაციის სისტემები, რომლებიც აგროვებენ ენერჯის გაზომვის მონაცემებს და ხდის მას მომხმარებლებისთვის ხელმისაწვდომს გრაფიკის, ონლაინ მონიტორინგის ხელსაწყოების და ენერჯის ხარისხის ანალიზატორების მეშვეობით, რაც საშუალებას აძლევს საწარმოებს ეფექტიანად მართონ ენერგორესურსები (Eccleston, M. 2013). ორგანიზაციის მართვის სისტემა არის ურთიერთდაკავშირებული ელემენტების ერთობლიობა, რათა ჩამოაყალიბდეს პოლიტიკა, ამოცანები და პროცესები მიზნების მისაღწევად. ამ სისტემის ელემენტები მოიცავს ორგანიზაციის სტრუქტურას, როლებსა და პასუხისმგებლობებს, დაგეგმვასა და ფუნქციონირებას. ზოგიერთ სისტემაში, მართვის სისტემის ფარგლები შეიძლება მოიცავდეს მთელ ორგანიზაციას, ორგანიზაციის სპეციფიკურ და იდენტიფიცირებულ ფუნქციებს, ორგანიზაციის კონკრეტულ და იდენტიფიცირებულ ნაწილებს (Ambec. M., et al. 2013). საწარმოს ან ორგანიზაციის ენერჯის მართვის სისტემის ფარგლები მოიცავს ყველა ენერჯის ტიპს მის საზღვრებში, ხოლო ენერჯის მართვის სისტემა არის ენერგეტიკული პოლიტიკის და ენერგეტიკული მიზნების სამოქმედო გეგმები და პროცესები,

ამიტომ პოლიტიკა წარმოადგენს ორგანიზაციის ზრახვებს და მიმართულებას, რომელიც ოფიციალურად გამოხატულია მისი უმაღლესი ხელმძღვანელობის მიერ (Bloom, N. & Reenen, J. 2013). ენერგეტიკული პოლიტიკა ორგანიზაციის განცხადებაა მისი საერთო განზრახვების, მიმართულებების და ვალდებულებების შესახებ, რომელიც დაკავშირებულია მის ენერგეტიკულ მაჩვენებლებთან და ოფიციალურად გამოხატულია უმაღლესი ხელმძღვანელობის მიერ (Canadian Foundry Association. 2003). ენერჯის მართვის გუნდი შედგება მომუშავეებისგან, რომლებსაც აქვთ პასუხისმგებლობა და უფლებამოსილება ენერგეტიკული მართვის სისტემის ეფექტური განხორციელებისთვის და ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესებისთვის. ენერგეტიკის მართვის გუნდის შემადგენლობის განსაზღვრისას მხედველობაში მიიღება ორგანიზაციის ზომა და ხელმისაწვდომი რესურსები. აღსანიშნავია, რომ ერთ ადამიანსაც შეუძლია შეასრულოს გუნდის როლი. ობიექტის დოკუმენტირებული ინფორმაცია უნდა იყოს კონტროლირებადი და სათანადოდ შენახული ორგანიზაციის მიერ (Clean Energy Ministerial CEM. 2013). საწარმოს ან ორგანიზაციის დოკუმენტირებული ინფორმაცია შეიძლება იყოს ნებისმიერი ფორმატით და ნებისმიერი წყაროდან და შეიძლება ეხებოდეს:

- ენერჯის მართვის სისტემას და მასთან დაკავშირებულ პროცესებს;
- ორგანიზაციის ფუნქციონირებისათვის შექმნილ ინფორმაციას (დოკუმენტაცია);
- მიღწეული შედეგების მტკიცებულებას (ჩანაწერები).

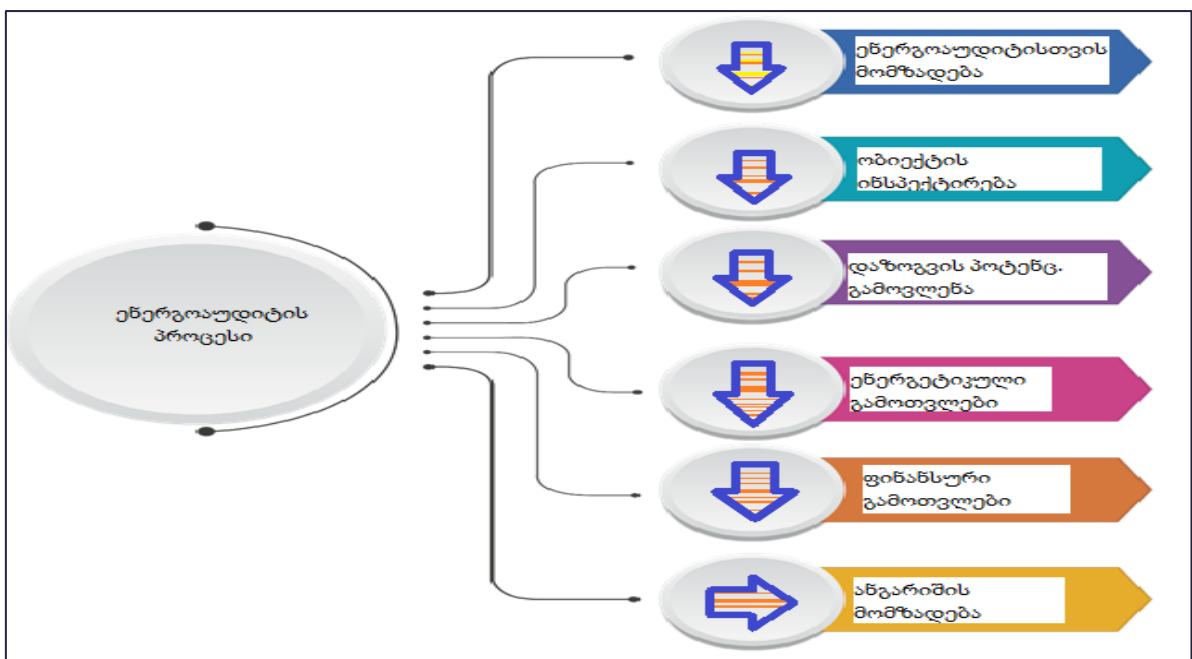
სამრეწველო ან მოსახურების პროცესი ურთიერთდაკავშირებული აქტივობების ერთობლიობაა, რომელიც გარდაქმნის შემავალ რესურსებს და გამოუშვებს შედეგებს - ფიზიკური (მაგ. ენერჯის მოხმარების პროცესები, როგორცაა სათბობის წვა) ან ბიზნესი ან მომსახურება (მაგ. შეკვეთის შესრულება). მონიტორინგი პროცესის ან აქტივობის სტატუსის განსაზღვრაა (Global Superior Energy Performance (GSEP) Partnership. 2013). სტატუსის დასადგენად შეიძლება საჭირო გახდეს შემოწმება, ზედამხედველობა ან კრიტიკული დაკვირვება. აუდიტი სისტემატური, დამოუკიდებელი და დოკუმენტირებული პროცესია აუდიტორული მტკიცებულების მოპოვებისა და ობიექტური შეფასების მიზნით, რათა დადგინდეს რამდენად არის შესრულებული აუდიტის

კრიტერიუმები (Graziella S. et al. 2015). აუდიტი შეიძლება იყოს შიდა (პირველი მხარე) ან გარე (მეორე მხარე ან მესამე მხარე) და ის შეიძლება იყოს კომბინირებული (ორი ან მეტი დისციპლინის გაერთიანება). შიდა აუდიტს ატარებს თავად ორგანიზაცია ან მისი სახელით გარე მხარე. სხვადასხვა პარამეტრების გაზომვა პროცესია შედეგის დასადგენად, გაზომვადი შედეგი შეიძლება ეხებოდეს როგორც რაოდენობრივ, ასევე თვისებრივ მიგნებებს (EnMS Practitioners Toolbox Factsheet. 2022). ენერჯის საბაზისო დონის (EnB) რაოდენობრივი მნიშვნელობა ენერგოეფექტურობის შედარების საფუძველს იძლევა. სტატისტიკური ფაქტორი გამოვლენილი ფაქტორია, რომელიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ენერგოეფექტურობაზე და უცვლელია, მაგალითად: ობიექტის ზომა, დამონტაჟებული აღჭურვილობის დიზაინი, ყოველკვირეული მორიგეების რაოდენობა, ასორტიმენტი (Goldberg, A., et al. 2011). რაოდენობრივი ფაქტორია შესაბამისი ცვლადი, რომელიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ენერგოეფექტურ ინდიკატორებზე და რეგულარულად იცვლება. მაგ. ამინდის პირობები, ოპერაციული პირობები (შიდა ტემპერატურა, განათების დონე), სამუშაო საათები და მწარმოებლურობა. კვლევის ობიექტის მისაღწევი შედეგი, ანუ მიზანი შეიძლება იყოს სტრატეგიული, ტაქტიკური ან ოპერატიული (Goldberg, A. & Reinaud, J. 2011). მიზნები შეიძლება ეხებოდეს სხვადასხვა დისციპლინას (როგორცაა ფინანსური, ჯანმრთელობა და უსაფრთხოება და გარემოსდაცვითი მიზნები) და შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა დონეზე (სტრატეგიული, ორგანიზაციის მასშტაბით, პროექტი, პროდუქტი და პროცესი). მიზანი შეიძლება გამოიხატოს სხვა გზით, მაგ. როგორც დასახული შედეგი, ოპერატიული კრიტერიუმი, როგორც ენერგეტიკული მიზანი, ან მსგავსი მნიშვნელობის მქონე სხვა სიტყვების გამოყენებით (Horvath, L. 2012). ეფექტურობა აჩვენებს, რამდენად შეესაბამება დაგეგმილი აქტივობების რეალიზება შედეგების მიღწევას. ენერჯის სამიზნე მაჩვენებელი ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესების რაოდენობრივი გამოხატულებაა, ხოლო მუდმივი გაუმჯობესება განმეორებადი აქტივობაა შედეგების გასაუმჯობესებლად. მრეწველობაში ენერჯის მართვის კონცეფცია ეხება ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესებას, სადაც ენერჯია წარმოდგენილია ელექტროენერჯის, საწვავის, ორთქლის, თბური ენერჯის, შეკუმშული ჰაერისა და სხვა მსგავსი საშუალებებით. ენერჯის მოხმარება საწარმოო ამ მომსახურების

პროცესში გამოყენებული ენერჯის რაოდენობაა (**International Energy Agency. 2013**). ენერგოეფექტურობა არის თანაფარდობა ან სხვა რაოდენობრივი კავშირი პროდუქციის გამომუშავებას, მომსახურებას, საქონელს ან ენერჯიას შორის. შემავალი და გამომავალი მოხმარებული ენერჯია უნდა იყოს მკაფიოდ განსაზღვრული რაოდენობისა და ხარისხის თვალსაზრისით და უნდა იყოს გაზომვადი, მაგალითად, ენერჯის გამოყენება ვენტილაციის, განათების, გათბობის, გაგრილების, ტრანსპორტირების, მონაცემთა საცავის და სამრეწველო წარმოების პროცესში (**International Energy Agency. 2014**). ენერჯის გამოყენებას ზოგჯერ მოიხსენიებენ, როგორც „ენერჯის საბოლოო მოხმარებას“. ენერჯის კვლევა ენერჯის მოხმარების ანალიზია მონაცემებსა და სხვა ინფორმაციაზე დაყრდნობით, რაც იწვევს ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლების (SEU) იდენტიფიკაციას და ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესების შესაძლებლობებს. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებელი იყენებს ენერჯის მნიშვნელოვან რაოდენობას და სთავაზობს მნიშვნელოვან პოტენციალს ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესებისთვის. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებელი (SEU) შეიძლება იყოს ობიექტები, სისტემები, პროცესები ან აღჭურვილობა. ენერგოაუდიტი არის სისტემატური პროცედურა, რომელსაც შეუძლია მიაწოდოს სათანადო ცოდნა შენობის ან სამრეწველო ობიექტის შენობების ჯგუფის ენერგომრიცხველის შესახებ და შემდეგ განსაზღვროს და რაოდენობრივად გაიანგარიშოს ენერჯის დაზოგვის შესაძლებლობები ხარჯ-სარგებლის ანალიზის მიხედვით. პრაქტიკაში ხშირად გამოიყენება კომპიუტერული პროგრამა „ენერჯის სიმულაციის საშუალება“ (EST), რომელიც საშუალებას იძლევა შეფასდეს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები, რომლებიც დაკავშირებულია ელექტროენერჯის წლიურ მოთხოვნილებებთან ელექტროძრავების, გამაგრილებელი დანადგარების, საკვების გაგრილებისა და ლიფტების ექსპლუატაციისთვის. შენობებში ენერჯის მოხმარების სიმულაცია არის პროცესი, რომელიც იყენებს შენობების ციფრულ 3D მოდელებს ენერჯის მოხმარებასთან დაკავშირებით მათი მუშაობის შესაფასებლად (**International Energy Agency. 2015**). ის მოიცავს შენობის გასათბობად ან გაგრილებისთვის გამოყენებულ ყველა სახეობის ენერჯის, ელექტროენერჯის და წყლის მოხმარებას. აღნიშნული კომპიუტერული პროგრამა აღწერს, თუ როგორ შეიძლება გამოიყენონ ეს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები

ენერგოეფექტური ქმედებების მიზანშეწონილობის შეფასებაში. აღნიშნული პროგრამის მიხედვით შესაძლებელია განისაზღვროს გამაგრებელი სისტემის სიმძლავრე კილოვატებში სერვისის ობიექტების გაგრძელების სისტემისთვის ფართობის ყოველ კვადრატულ მეტრზე (კვტ/მ²) **International Energy Agency. 2012).**

ენერგოაუდიტის განხორციელება უნდა შესრულდეს შემდეგი თანმიმდევრობით: ენერგიის ნაკადების აღრიცხვა, ენერგიის დაზოგვის ტექნოლოგიების იდენტიფიცირება და ენერგომომარაგების კონტრაქტების ოპტიმიზაცია (ნახ. 2).



ნახ.2. ენერგოაუდიტის პროცესის შემადგენელი კომპონენტები

ენერგოაუდიტის დაგეგმვისას გასათვალისწინებელია შემდეგი ასპექტები: დაზოგილი ენერგიის სპეციფიკური ღირებულება, აღჭურვილობის ზომა, ობიექტის ფუნქციონირების საათები წელიწადში, აღჭურვილობის მოსალოდნელი ექსპლუატაციის ვადა, ღირებულება და ხელმისაწვდომი ბიუჯეტი. რაციონალიზაციის ნებისმიერი მიზნის მისაღწევად და ენერგეტიკული მოდელის ასაგებად აუცილებელია ყველა ელექტრო და სხვა სახის ენერგიის მომხმარებელი აღჭურვილობის აღწერა, თითოეული მომხმარებლისთვის საჭიროა მოიძიოს შემდეგი სახის ინფორმაცია: აღჭურვილობის ერთეულების რაოდენობა, დადგმული სიმძლავრე, დატვირთვის ფაქტორი, სამუშაო საათები დღეში, თვეში

ან წელიწადში. სამრეწველო სექტორში ენერჯის მართვის განხორციელება არის ორი ტიპის: ვერტიკალური ზემოქმედება, რომელიც მიმართულია წარმოების სისტემაში კონკრეტული მოწყობილობის ოპტიმიზაციისკენ, მაგალითად, სათბობის გამომუშავება შრობისთვის, მაღალეფექტური ძრავებით ჩანაცვლება, ინვერტორების გამოყენება და ა. შ. ჰორიზონტალური ზემოქმედება მიმართულია წარმოების პროცესის გაუმჯობესებისკენ, მაგალითად, გენერაციის სისტემების ჩამოყალიბება, კონტრაქტების ოპტიმიზაცია, ისეთი მოქმედებები ელექტროსისტემებზე, როგორცაა დატვირთვის პიკის გათანაბრება, სიმძლავრის კოეფიციენტის კორექტირება, კონდიციონირების, ფოტოელექტრული სისტემების, სატუმბი და განაწილების სისტემების მართვა, განათება და ა.შ. ზემოქმედება თერმულ სისტემებზე, როგორცაა წვის კონტროლი, სითბოს აღდგენის სისტემები, მრეწველობაში ენერჯის ჩანაცვლების რაციონალიზაცია ტემპერატურულ დიაპაზონში, ალტერნატიული საწვავებით მომუშავე ძრავების შერჩევა, ორთქლის მილების იზოლაცია თერმული დანაკარგების შესამცირებლად, მოძრავი ბარიერების მონტაჟი სითბოს გაჟონვისთვის, ოთახის თერმოსტატების რეგულირება ავტომატური მართვის პროგრამით და სითბოს აღდგენა. პოტენციური ჩარევების ღონისძიებებს მიეკუთვნება მაღალეფექტური ძრავების შერჩევა, მილსადენის გაჟონვის შემაკავებელი ქმედებების განხორციელება, სისტემაში შემავალი ჰაერის ტემპერატურის დაქვეითება, წნევის შემცირება შეკუმშული ჰაერის სისტემებში, ინვერტორული გამამდიერებელი ტუმბოების მონტაჟი, ცივი დაგროვება, ორთქლის ხაზების იზოლაცია, სიმძლავრის კოეფიციენტის კორექცია, ასევე მიზანშეწონილია დაბალი დანაკარგის ტრანსფორმატორების დაყენება, კოგენერაცია, ქვაბში წვის პროცესის ოპტიმიზაცია, განათების რაციონალიზაცია და ა.შ. (**International Organization for Standardization ISO. 2011**). ენერჯის მართვის სისტემური განხორციელება მოითხოვს დამოუკიდებელი ცვლადების განხილვას, რომელთა ზუსტი იდენტიფიკაცია ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების განსაზღვრის და გაზომვის საშუალებას იძლევა. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები ISO50001 სტანდარტის მიხედვით შეიძლება იყოს მარტივი პარამეტრების, თანაფარდობის ან რთული მოდელის კონფიგურაციით. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები წარმოადგენს პირველადი ენერჯის, თბური ან ელექტროენერჯის სპეციფიკური

მოხმარების მნიშვნელობას, რომელიც დაკავშირებულია პარამეტრების განზომილებებთან, მაგალითად საკვლევი ფართობის განზომილებაა კვტს/მ², ხოლო მოცულობის - კვტს/მ³. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების შეფასებამ შეიძლება მოითხოვოს დიდი რაოდენობით მონაცემების შემოწმება, რომლებიც ხელმისაწვდომია, მაგ., წინა სამი წლის ენერჯის გადასახადების ქვითრები (Januard, F., et al. 2006). ასეთი ტიპის მონაცემების არ არსებობის შემთხვევაში ენერგეტიკული სტატუსის განსაზღვრის ერთადერთი გზა არის ენერგეტიკული დონისძიებების ჩატარება ზუსტი ენერგოაუდიტის საშუალებით. ენერგეტიკული და გარემოსდაცვითი პარამეტრების გამზომი კამპანიის მეშვეობით შესაძლებელია ენერჯის მოხმარებასთან დაკავშირებული ძირითადი მონაცემების ყოვლისმომცველი და სტრუქტურირებული მონაცემთა ბაზის შექმნა. ისტორიული მონაცემების ხელმისაწვდომობა ასევე იძლევა ენერგეტიკული სისტემების მკაფიოდ იდენტიფიცირების და კრიტიკული ობიექტების ენერგეტიკული განახლების საშუალებას. ზუსტი მონაცემების ფართო ხელმისაწვდომობა აუცილებელია ენერგეტიკული მდგომარეობის დეტალური შეფასებისთვის, წინააღმდეგ შემთხვევაში ადგილი ექნება დროში დაყოვნებას, რაც გაზრდის ენერგოაუდიტის ჩატარების ხარჯებს (Jelic, D. 2010). კვლევა ფოკუსირებულია შემდეგ ენერგოეფექტურობის ინდიკატორებზე: HVAC - გათბობა, ვენტილაცია და ჰაერის კონდიცირება; გათბობა (კვტ/მ³/წელი); გაგრილება (კვტ/მ³/წელი); ცხელი წყალი (კვტს/ადამიანი/წელი); განათება (კვტ/მ²/წელი); სურსათის გაგრილება და შენახვა (კვტ/მ²/წელი). ჩამოთვლილი ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები ითვალისწინებს შენობის ენერჯის მოთხოვნილების 80%-ზე მეტს იდუსტრიულ ან სერვისის სექტორში (Lanoie, P., et al. 2011). ზოგიერთი მათგანი არის პირველი დონის ინდექსები, რომლებიც დაკავშირებულია გათბობისა და გაგრილების მოთხოვნებთან და წლიური ენერჯის გადასახადის უფრო მაღალ პროცენტს შეადგენს. სხვა ენერგოეფექტურობის ინდიკატორებს აქვთ ცვლადი წონა შენობების დანიშნულების მიხედვით გამოყენებასთან მიმართებაში, მაგ., ლიფტებს შეიძლება ჰქონდეს უმნიშვნელო გავლენა სერვისის ობიექტის ენერგეტიკულ ბალანსზე, მაგრამ არა უმნიშვნელო საცხოვრებელი კორპუსისთვის. ყველა ჩამოთვლილი ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები საინტერესოა მომხმარებლების სხვადასხვა

კატეგორიებისთვის, როგორცაა ოფისები, საჯარო შენობები, სკოლები, საავადმყოფოები, სასტუმროები, რესტორნები და სუპერმარკეტები. არსებობს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების დამუშავების ორი განსხვავებული მეთოდი (Kahlenborn, W. et al. 2012). პირველ მეთოდს აქვს სტატისტიკური საფუძვლები, დაკარგული პარამეტრების ინდუქციური რეკონსტრუქციის განხორციელებით, დაწყებული იმ პარამეტრებიდან, რომლებიც საჭიროა ენერგოეფექტურობის განსაზღვრისათვის. ფაქტობრივად, ზოგიერთი ენერგოეფექტურობის ინდიკატორისთვის საშუალო მნიშვნელობები, რომლებიც ხასიათდება შეზღუდული სტანდარტული გადახრით, შეიძლება დამუშავდეს სტატისტიკაზე დაფუძნებული მიდგომით. ობიექტზე ჩატარებული ენერგოაუდიტიდან უზარმაზარი რაოდენობის მონაცემების ანალიზზე დაყრდნობით, ზოგიერთი ენერგოეფექტურობის ინდიკატორის მნიშვნელობები მცირედაა გადახრილი მთლიანი პოპულაციის საშუალო მნიშვნელობიდან. მეორე მეთოდი არის დედუქციური მიდგომა და შეიძლება გამოყენებულ იქნას იმ შემთხვევაში, როდესაც პირველი პროცედურის გამოყენება შეუძლებელია, მაგალითად, მონაცემთა გადაჭარბებული ცვლილება. საშუალო მნიშვნელობა, ფაქტობრივად არ არის რეალური და ნაკლებად მისაღებია მისი, როგორც ამოსავალი წერტილის გამოყენება ენერჯის მოხმარების გაანგარიშებისას. გათბობისა და გაგრილების მოთხოვნილების შემთხვევაში, არსებობს მრავალი ფაქტორი, მათ შორის კლიმატთან დაკავშირებული, რომელიც წარმოადგენს გაურკვევლობის ელემენტებს, რაც სტატისტიკურ პროგნოზს არასანდოს ხდის (McKane, A., et al. 2008). ასეთ პირობებში კვლევის ეს მეთოდი ეფუძნება კონკრეტული მომხმარებლის ისეთ მახასიათებლებს, როგორცაა კონსტრუქციის ტიპი, დანიშნულება, შენობის ზომა და ა.შ. სისტემების მახასიათებლების, ენერჯის მოხმარებისა და კონსტრუქციის ტიპის შეფასება ხორციელდება დედუქციური მიდგომით, რომელიც აანალიზებს შენობის სპეციფიკურ კონტექსტს: კლიმატური ფაქტორები, ტექნიკური მოთხოვნები, რეგულაციები და ა.შ. ენერგეტიკული სისტემების ენერგეტიკული ეფექტურობა დამოკიდებულია შენობის ზომაზე, დიზაინზე და გამოყენების დანიშნულებაზე (McKane, A., et al. 2009). ენერგომომხმარებელი ობიექტის დანიშნულება გავლენას ახდენს სისტემების ინტენსივობაზე და გამოყენების დროზე: მაგალითად, საოფისე შენობას სჭირდება

კონდიციონერი მხოლოდ სამუშაო საათებში და დღეებში, ხოლო საცხოვრებელმა შენობამ უნდა უზრუნველყოს კომფორტული კლიმატი მთელი დღის და წლის განმავლობაში. ანალოგიურად, სტრუქტურის დიზაინი გავლენას ახდენს დანადგარების სიმძლავრის ზომაზე, რადგან დიდი შუშის ზედაპირის მქონე შენობას აქვს უფრო მაღალი თბოგამტარობა. საყრდენი კედლების მქონე შენობასთან მიმართებაში მოითხოვება უფრო მაღალ თერმული სიმძლავრე როგორც ზაფხულის კონდიციონერების, ასევე ზამთრის გათბობისთვის (McKane, A., et al. 2007). ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები გამოიყენება ენერჯის დაზოგვის გასაზომად და შესაძლოა მოიცავდეს მაკრო დონეს ქვეყნის ეკონომიკის ფარგლებში ან წარმოდგენილი იყოს სექტორის ან ქვესექტორის მიხედვით: მრეწველობა, ტრანსპორტი, მშენებლობა, საზოგადოებრივი სერვისი ან საყოფაცხოვრებო მომხმარებელი. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ანალიზს გარკვეული მიზანები აქვს, რომელთა შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია ენერჯის მოხმარების შესახებ ინფორმაციის ორგანიზება, მონაცემთა ბაზის შექმნა, რომელიც აგროვებს ყველა მონაცემს, რომელიც საჭიროა ქვეყანაში ენერგოეფექტურობის მონიტორინგისთვის (Mey, J. 2011). ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ანალიზი ხელს უწყობს ენერჯის მოხმარებისა და ენერგოეფექტურობის ტენდენციების გამოვლენას და ბაზრის შესწავლას ახალი ტექნოლოგიების მოთხოვნის შესახებ, აგრეთვე ხელს უწყობს ენერგო-ეფექტურობის მაჩვენებლების ბენჩმარკინგს ქვეყნებს შორის და ეხმარება კლიმატის ცვლილების საერთაშორისო მოლაპარაკებებში (OECD. 2013). გარდა ამისა, ის ხელს უწყობს ენერგოეფექტურობის მიზნების დასახვას, ეროვნულ და საერთაშორისო დონეზე დასახული მიზნების მონიტორინგს და CO₂-ის შემცირების პროგრამების მხარდასაჭერად გაწეული ხარჯების მონიტორინგს სამომავლო ღონისძიებებისა და ქმედებების დასაგეგმად. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორებს შეუძლიათ გაზომონ ტექნიკურ-ეკონომიკური ღონისძიებების გრძელვადიანი გავლენა პროგნოზირების მოდელების შესაქმნელად და შეუძლია ენერგოეფექტურობის მრავალმხრივი სარგებლის გაზომვა (Reinaud, J. & Goldberg, A. 2011). ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები, რომელიც შედგენილია რამდენიმე ქვეინდიკატორისგან, არის:

ინვესტიცია სუფთა ენერჯეტიკის განვითარებისთვის - სუფთა ენერჯია მოდის გენერაციის ობიექტებიდან, რომლებიც არ წარმოქმნიან რაიმე სახის დაბინძურებას, განსაკუთრებით სათბურის გაზებს, როგორცაა ნახშირორჟანგი (CO₂), რომელიც იწვევს კლიმატის ცვლილებას. აქედან გამომდინარე, სუფთა ენერჯია განაპირობებს მიღწევებს გარემოს შესანარჩუნებლად და კრიზისის შესამსუბუქებლად არაგანახლებადი სათბობის (ნახშირი, ნავთობი და გაზი) ეტაპობრივად ჩასანაცვლებლად (**Reinaud, J. & Goldberg, A. 2012**). სუფთა ენერჯიაზე გაწეული ინვესტიცია გამოიყენება ისეთი პროექტების დასაფინანსებლად, რომლებიც მოიცავს განახლებად ენერჯიას, ენერგოეფექტურობას ან სათბობის ჩანაცვლებას. სუფთა ენერჯიის ყველა პროექტისთვის საერთოა ის, რომ იწვევს სათბურის გაზების ემისიების შემცირებას (**SEAI. 2013**). ქარის ენერჯიის პროექტის ინვესტირება განიხილება, როგორც სუფთა ენერჯიის ინვესტიცია, მაგრამ იმ შემთხვევაში, როდესაც დახმარება გამიზნულია ახალი ქვანახშირის ელექტროსადგურისთვის, რომელიც იყენებს სუპერკრიტიკულ ტექნოლოგიას, შეიძლება ჩაითვალოს სუფთა ენერჯიის ინვესტიციად.

დამატებითი სიმძლავრე განახლებადი ენერჯიის გამოყენებით - ეს მაჩვენებელი განისაზღვრება, როგორც პროექტის ან პროექტის კომპონენტის საანგარიშო ან შეწონილი სიმძლავრე, რომელიც მოიცავს განახლებადი ენერჯიის ტექნოლოგიებს. ამ ინდიკატორის მქონე პროექტები მოიცავს მცირე ჰიდრო, ქარის, მზის, გეოთერმული, ნარჩენების ენერჯიის და ბიომასის პროექტებს (**SEAI. 2011**). პროექტები შეიძლება იყოს ახალი მშენებლობა ან შექმნა, მაგალითად, კერძო სექტორის მიერ სახელმწიფო საკუთრებაში არსებული მცირე ჰიდროელექტროსადგურის გამოსყიდვა.

ენერჯეტიკული პროექტის განხორციელებით მიღებული ელექტროენერჯიის დანაზოგი - ენერჯეტიკული პროექტი ან პროექტის კომპონენტის განხორციელების შედეგად მიღებული ელექტროენერჯიის ან სხვა სახის ენერჯიის დანაზოგი. ეს მაჩვენებელი, შესაძლებელი დაკავშირებული იყოს განახლებადი ენერჯიის პროექტებთან, რამდენადაც ადგილი აქვს წიაღისეული სათბობის დაზოგვას. გენერაციის ენერგოეფექტური პროექტები უზრუნველყოფს დანაზოგს ტონა ნახშირის ან ნავთობის ეკვივალენტში (**Therkelsen, P., et al. 2013**). მეორეს მხრივ, რეაბილიტაციის პროექტმა, რომელიც იწვევს უკეთეს ეფექტურობას (მქკ-ის

ამაღლებას), შეიძლება უზრუნველყოს მონაცემები სათბობის ნორმატიული გამოყენების გაუმჯობესების შესახებ, ამ შემთხვევაში ელექტროენერჯის დანაზოგი გამოითვლება წლიური გამომუშავებისა და სათბობის ნორმატიული მაჩვენებლის გაუმჯობესების საფუძველზე (ცხრ. 1).

ცხრ. 1. ელექტროენერჯის დაზოგვის გამოთვლის მონაცემები

მონაცემები	დამატებითი მონაცემები	ელ.ენერჯის დაზოგვა (გვტსთ)
დანაზოგი მილიონი ტონა (ტნე)	1 მილიონი (ტნე) = 11,630 გვტსთ	დაზოგვა = დანაზოგი(მტნე) x 11,630
დანაზოგი ტონა ნახშირის ეკვივალენტში (ტნე)	HV - ნახშირის უდაბლესი წვის სითბო (მჯოული/ტონა)	დაზოგვა = დანაზოგი (ტნე) x HV x (გვტსთ/მჯოული)*
ტონა CO ₂ შემცირება	ქვეყნის ემისიის ფაქტორი (ტCO ₂ /გვტსთ)	დაზოგვა = ტონა CO ₂ შემცირება/ ქვეყნის ემისიის ფაქტორი
სათბობის ნორმატივის გაუმჯობესება (ჯოული/გვტსთ) სარეაბილიტაციო სამუშაოების შედეგად	წლიური გამომუშავება (გვტსთ) = სიმძლავრე (მგვტ) x 8760 (სთ) x დატვირთვის კოეფიციენტი /1000	დაზოგვა = გენერაცია x სითბობის ნორმატივის გაუმჯობესება (ჯოული/გვტსთ) x (გვტსთ/მჯოული)

ნახშირორჟანგის CO₂ ეკვივალენტური ემისიის შემცირება ელექტროსისტემაში - ძირითადი მიმართულებაა სათბურის გაზების ემისიის შემცირება განახლებად წყაროებზე მომუშავე ელექტროსადგურების სისტემაში ჩართვით. სუფთა ენერჯის პროექტის განხორციელების შემდეგ მიიღება წლიური CO₂-ის ეკვივალენტური ემისიის შემცირება, პროექტები მოიცავს განახლებადი ენერჯის გამომუშავებას, ენერგოეფექტურობის პროექტებს, გადაცემას და განაწილებას, სისტემების დანაკარგების შემცირებას და სუფთა საწვავის გამოყენებას, როგორცაა ბუნებრივი აირი ნახშირის ან ნავთობის ნაცვლად (McNeil, et al. 2016). აღნიშნული მაჩვენებელი მოცემულია წლიური შემცირების სახით ტონა CO₂-ში (ტCO₂/წელი). გაანგარიშებისას ძირითადად გამოყენება ქვეყნის ემისიის ფაქტორი, მაგრამ როდესაც კონკრეტული ქვეყნის ემისიის ფაქტორი მიუწვდომელია, გამოიყენება ეტალონური მაჩვენებელი, რომელიც გამოითვლება

ელექტროენერჯის გამომუშავებისა და CO₂ ემისიების საფუძველზე. ეს ნაგულისხმევი ფაქტორი საჭიროებისამებრ უნდა განახლდეს (ცხრ2).

ცხრ. 2. სათბურის გაზების ემისიის შემცირების გამოთვლის მონაცემები

მონაცემები	დამატებითი მონაცემები	შემცირებული ტCO ₂ ემისია
ელექტროენერჯის დანაზოგი (გვტსთ)	ქვეყნის ემისიის ფაქტორი (ტCO ₂ /გვტსთ)	ტCO ₂ = ელექტროენერჯის დანაზოგი (გვტსთ) x ქვეყნის ემისიის ფაქტორი (ტCO ₂ /გვტსთ)
განახლებადი ენერჯის დადგმული სიმძლავრე (მგვტ)	<ul style="list-style-type: none"> ქვეყნის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO₂/გვტსთ) გენერაცია (გვტსთ) = განახლებადი ენერჯის სიმძლავრე (მგვტ) x 8760 (სთ) x დატვირთვის კოეფიციენტი/1000 	ტCO ₂ = გენერაცია (გვტსთ) x ქვეყნის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO ₂ /გვტსთ)
სათბობის ნორმატივის გაუმჯობესება (ჯოული/კვტსთ)	<ul style="list-style-type: none"> სათბობის ნორმა პროექტის გენერირებამდე და მის შემდეგ; ელექტროსადგურის სიმძლავრე (მგვტ) x 8760 x დატვირთვის კოეფიციენტი (მგვტსთ); სათბობის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO₂/ტერაჯოული) 	ტCO ₂ = გენერაცია x 1000 x სხვაობა სათბობის ნორმატივში (ჯოული/კვტსთ) x სათბობის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO ₂ /ტერაჯოული)/10 ¹²
სათბობის ჩანაცვლება ნავთობიდან ან ნახშირიდან გაზზე	<ul style="list-style-type: none"> გენერაცია სათბობის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO₂/გვტსთ) 	ტCO ₂ = გენერაცია x (ნავთობის ან ქვანახშირის ემისიის კოეფიციენტი – გაზის ემისიის კოეფიციენტი)
წიაღისეული სათბობის დაზოგვა, (ტონა წელიწადში)	<ul style="list-style-type: none"> სათბობის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO₂/ტონა) 	ტCO ₂ = წიაღისეული სათბობის დანაზოგი x სათბობის ემისიის კოეფიციენტი (ტCO ₂ /ტონა)

დანაკარგების შემცირება ელექტროგადამცემ ხაზებში და მილსადენებში - ინდიკატორი მოიცავს დანაკარგების შემცირებას ელექტროენერჯის, გაზისა და ნავთობის გადამცემ ხაზებსა და მილსადენებში (Sorrell, S., et al. 2011). ელექტროგადამცემ ხაზებში დანაკარგების შემცირება არის ენერგოეფექტურობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებელი მიუხედავად იმისა, რომ ინდიკატორი არ განასხვავებს ახლად დაყენებულ და განახლებულ ხაზს და განახლებულ ხაზებს აქვს გარკვეული განსხვავებული კრიტერიუმები. განახლებული ელექტროგადამცემი ხაზები უნდა მოიცავდეს ძაბვის დონის გაზრდას, მაგ., დაბალი ძაბვის ხაზიდან მაღალ ძაბვის ხაზამდე, ხოლო გაზისა და ნავთობის

მილსადენებისთვის უნდა მოხდეს მილის დიამეტრის ან ხაზის სიმძლავრის გაზრდა.

დროზე დაფუძნებული ელექტროენერჯის ტარიფები - საქართველოში ახალი ბაზრის მოდელის დანერგვა ხელს შეუწყობს მომხმარებლებს გამოიყენონ ელექტროენერჯია არაპიკურ საათებში, შედარებით ნაკლები ტარიფით. დროზე დაფუძნებული ტარიფები საინტერესო იქნება ჰიბრიდული და ელექტროავტომობილების მფლობელებისთვის, რომლებიც დაიტენება ღამით.

ჭკვიანი მრიცხველები საყოფაცხოვრებო სექტორში - ენერჯის მართვის სმარტ-სისტემები მომხმარებელს საშუალებას მისცემს დააპროგრამონ როგორ და როდის მოიხმარს მათი სახლი ენერჯიას. თუ ენერჯის მოხმარება განხორციელდება არაპიკურ დროს - შესაბამისად დაიზოგება ენერჯია და ფული (**US Department of Energy. 2010**).

აღსანიშნავია, რომ შეიძლება რომელიმე მაჩვენებელმა გაზარდოს ენერჯის მოხმარება, მაგრამ მიიღება სხვა ეფექტი, კერძოდ, ენერგეტიკული პროექტების განხორციელების შედეგად მიღებული სარგებელი შესაძლებელია გაერთიანდეს ერთ დიდ კატეგორიაში, სადაც ადგილი აქვს ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებას, საზოგადოებრივი ცხოვრების დონის ამაღლებას, ენერგეტიკული უსაფრთხოების და ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას (მაგ. განახლებადი ენერჯის გამოყენების პროექტები) (**US Department of Energy. 2019**).

1.2. საქართველოს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ანგარიში გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის გამოყენებით

მსოფლიოში სულ უფრო მეტი ყურადღება ეთმობა ენერგოეფექტური ღონისძებების შესწავლას, აშშ-ს ენერგოეფექტური ეკონომიკის ამერიკული საბჭო იკვლევს ენერგოეფექტურ მაჩვენებლებს კატეგორიების მიხედვით: შენობები, მრეწველობა, ტრანსპორტი, თითოეული კატეგორიის დამახასიათებელი ელემენტები წარმოდგენილია მე-3 ცხრილში (**International Energy Efficiency Scorecard Rank. 2022**).

გამოქვეყნებული წლიური ანგარიშის (2022წ.) მიხედვით, დასახელებულია ყველაზე ენერგოეფექტური ქვეყნები, რომლებსაც მაქსიმალური 100-დან

მიკუთვნებული აქვთ ყველაზე მეტი ქულა, ხოლო პირველი ათეული წარმოდგენილია ცხრილში 4.

ცხრ. 3. ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები კატეგორიების მიხედვით

შენიშვნა	მრეწველობა	ტრანსპორტი
ტექნიკისა და აღჭურვილობის სტანდარტები	ნებაყოფლობითი შეთანხმებები მწარმოებლებთან	საწვავის ეკონომიის სტანდარტები სატრანსპორტო საშუალებებისთვის
კომერციული და საცხოვრებელი შენობის სტანდარტები	ენერგომენეჯმენტის მართვის სისტემის პოლიტიკა	ინვესტიცია სარკინიგზო გადაზიდვებში საგზაოს წინააღმდეგ
შენობის რეკონსტრუქციის წესები	სამრეწველო, კომერციული და საყოფაცხოვრებო ძრავების სტანდარტები	ჰკვიანი სატვირთო ინიციატივები
შენობის შეფასება	ენერგომენეჯმენტის მართვის სისტემის მენეჯერების უფლებამოსილება	ინვესტიცია წარმოების კვლევასა და განვითარებაში
მოწყობილობებისა და აღჭურვილობის ეტიკეტირება	სავალდებულო ენერგეტიკული აუდიტი	სატრანსპორტო ტექნიკისა და აღჭურვილობის ეტიკეტირება

ცხრ. 4. მსოფლიოს ენერგოეფექტური ქვეყნების პირველი ათეული

ადგილი	ქვეყანა	ქულა (1-100)
1	საფრანგეთი	74,5
2	ინგლისი	72,5
3	გერმანია	71,5
4	ნიდერლანდები	71,5
5	იტალია	68,5
6	ესპანეთი	66
7	იაპონია	63,5
8	ტაივანი	58,5
9	ჩინეთი	57,5
10	ამერიკის შეერთებული შტატები	54

ეკონომიკური საქმიანობის საერთაშორისო სტანდარტული სამრეწველო კლასიფიკაცია, შემოკლებით ISIC, არის გაეროს სტატისტიკის სამმართველოს (UNSD) ეკონომიკური საქმიანობის სტანდარტული კლასიფიკაცია მათ მიერ

განხორციელებული საქმიანობის მიხედვით და აერთიანებს სტატისტიკურ ერთეულებს მათი ხასიათის, ტექნოლოგიის, ორგანიზაციისა და წარმოების დაფინანსების მიხედვით. ISIC ფართოდ გამოიყენება, როგორც ეროვნულ, ისე საერთაშორისო დონეზე, ეკონომიკური საქმიანობის მონაცემების კლასიფიკაციისას მოსახლეობის, წარმოების, დასაქმების, მთლიანი შიდა პროდუქტის და სხვა ეკონომიკური აქტივობების სფეროებში. ეს არის ძირითადი ინსტრუმენტი ეკონომიკური ფენომენების შესასწავლად, მონაცემთა საერთაშორისო შედარებადობის და ჯანსაღი ეროვნული სტატისტიკური სისტემების განვითარების ხელშეწყობისთვის. ეკონომიკურ სტატისტიკაში მრეწველობა იყოფა სხვადასხვა სექტორებად, ან სამრეწველო დარგებად. ეკონომიკური საქმიანობის საერთაშორისო სტანდარტული სამრეწველო კლასიფიკაციის (ISIC) მიხედვით მრეწველობის სექტორის მთავარი დარგებია გადამამუშავებელი მრეწველობა, სამთო მრეწველობა, ელექტროენერჯის წარმოება და მშენებლობა. წარმოება შემდგომში იყოფა სხვადასხვა ინდივიდუალურ ქვედარგად, მაგალითად ინტენსიური სამრეწველო პროცესები, როგორცაა ფოლადის, ცემენტის, თუჯის წარმოება. ენერჯის ტრანსფორმაციის ინდუსტრიები ანუ ენერჯის წარმოების და ტრანსფორმაციის აქტივობები სხვადასხვა დონეზე: სამთო მოპოვება (ქვანახშირის მოპოვება, ნავთობისა და გაზის წარმოება), ელექტროენერჯის გენერაცია. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების შეფასებისთვის გამოყენებული მუხლი „საბოლოო ენერგომომხარება“ მოიცავს ყველა სახის საწვავს, რომელიც გამოიყენება მრეწველობაში, სამთო საქმიანობაში და მშენებლობაში. აქ არ გაითვალისწინება ენერჯის მოხმარება ტრანსფორმაციულ ინდუსტრიებში, მაგ. სათბობმოპოვება, გადამამუშავებელი ქარხნები, ელექტროსადგურები და სამრეწველო საწარმოების მიერ სატრანსპორტო მიზნებისთვის გამოყენებული საწვავი, მაგალითად, მათი ავტოპარკისთვის, „ტრანსპორტი საკუთარი მოხმარებისთვის“ შედის არა მრეწველობის, არამედ ტრანსპორტის სექტორში. „საბოლოო ენერგომომხარების“ სფეროში ორთქლის წარმოებისთვის სამრეწველო საქვებში გამოყენებული სათბობი შედის, მაგრამ არა გამომუშავებული თბური ენერჯია. თბური ენერჯის საბოლოო მოხმარებად ითვლება მხოლოდ სამრეწველო მომხმარებლების მიერ შეძენილი თბური ენერჯია. მრეწველობის საბოლოო ენერჯის მოხმარებიდან

გამოირიცხება ელექტროენერჯის და თბური ენერჯის, აგრეთვე ელექტროენერჯის ერთობლივი წარმოებისთვის გამოყენებული საბოლოო ელექტროენერჯის მოხმარება მრეწველობაში აერთიანებს როგორც შემენილ, ასევე თვითგამომუშავებულ ელექტროენერჯას. იმ შემთხვევაში, თუ საბოლოო მოხმარების რაოდენობა არ არის ხელმისაწვდომი, ტრანსპორტირებისთვის გამოყენებული საწვავი შეიძლება შეფასდეს ბენზინისა და დიზელის მოხმარებიდან. მუხლი „არაენერგეტიკული მოხმარება“ მოიცავს ენერგეტიკული პროდუქტების მოხმარებას ნავთობქიმიურ სექტორში ორგანული მასალების დამზადებისთვის, ამიაკის დამზადებისას, ღუმელებში ელექტროდის სახით (ნახშირბადი), აგრეთვე განსხვავებული ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების პროდუქტების გამოყენებისას (ასფალტი, ცვილი, ძრავას ზეთები და ა.შ.). ტრანსპორტის სექტორისთვის ენერგოეფექტურობის ინდექსი გამოითვლება სხვადასხვა ტიპის ავტომობილის დონეზე: სატვირთო და მსუბუქი ავტომობილები, მოტოციკლები, ავტობუსები, შიდა საჰაერო ტრანსპორტი, სარკინიგზო და საზღვაო ტრანსპორტი. საერთო ენერგოეფექტურობის ინდექსი კრებს ტენდენციებს ტრანსპორტის თითოეული ტიპისთვის ერთ მაჩვენებელში მთელი სექტორისთვის. საქონლის სატვირთო და მსუბუქი ავტომობილებით ტრანსპორტირებისთვის გამოიყენება ერთეული მოხმარება ტონა-კმ-ზე, რომელთა ძირითადი საქმიანობაა საქონლის გადატანა. მგზავრთა ტრანსპორტირებისთვის (მსუბუქი ავტომობილები, ავტობუსები, მატარებლები) გამოყენებულია საწვავის მოხმარება მგზავრ-კმ-ზე. მოტოციკლებისა და მსუბუქი სატრანსპორტო საშუალებებისთვის გამოყენებული მაჩვენებელი არის საწვავის ერთეულის მოხმარება თითო ავტომობილზე. სატრანსპორტო სექტორის „ენერჯის საბოლოო მოხმარება“ მოიცავს ტრანსპორტისთვის მოხმარებულ მთელ ენერჯიას ბუნკერების გარდა. იგი არ უნდა შეიცავდეს სატრანსპორტო კომპანიების შენობებში გამოყენებულ ენერჯიას (რკინიგზის სადგური, აეროპორტი, პორტები). ენერჯის მოხმარების მიხედვით ტრანსპორტის სექტორი კლასიფიცირდება გამოყენების რეჟიმის მიხედვით. ტრანსპორტის რეჟიმი წარმოადგენს სატრანსპორტო საქმიანობის კლასიფიკაციას ინფრასტრუქტურის ტიპის მიხედვით: საჰაერო, საზღვაო, საგზაო და სარკინიგზო ტრანსპორტი, მილსადენები. საგზაო ტრანსპორტი მოიცავს მთელ ენერჯიას, რომელსაც მოიხმარს საგზაო, მათ შორის

სოფლის მეურნეობის და სამრეწველო სატვირთო, კერძო ავტომობილები და მოტოციკლები, კომერციული და სამთავრობო ავტომობილები. საგზაო ავტომობილები ჩვეულებრივ კლასიფიცირდება შემდეგ კატეგორიებად: ორბორბლიანი, მოტოციკლები და მოპედები, ტრიციკლები, მსუბუქი, ფურგონები ან პიკაპები, ავტობუსები და სატვირთო ავტომობილები. ეს ბოლო კატეგორია ზომით იყოფა მსუბუქ, საშუალო სატვირთო, მძიმე სატვირთო ავტომობილები და საგზაო ტრაქტორები. სარკინიგზო ტრანსპორტი მოიცავს მხოლოდ მატარებლების ელექტროწვევის ენერჯის მოხმარებას. ენერჯის მოხმარება რკინიგზის სადგურებში და სხვა შენობებში (სახელოსნოები) შედის სხვა კატეგორიაში, ხოლო მოხმარებული ენერჯის ძირითადი წყარო არის ელექტროენერჯია და დიზელი (ქვანახშირი იმ ქვეყნებისთვის, რომლებიც ჯერ კიდევ იყენებენ ორთქლის მატარებლებს). საჰაერო ტრანსპორტი მოიცავს მხოლოდ ენერჯიას, რომელსაც იყენებს ყველა შიდა და უცხოური თვითმფრინავი (ანუ კერძო, კომერციული, სამხედრო ან სასოფლო-სამეურნეო თვითმფრინავები). აეროპორტის ენერგომოხმარება არ აღირიცხება ტრანსპორტის სექტორში, მაგრამ აღირიცხება სხვა სექტორში. საჰაერო ტრანსპორტისთვის ენერჯის ძირითადი წყაროა თვითმფრინავის საწვავი. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების შეფასება საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებისთვის ხორციელდება საწვავის და ელექტროენერჯის გამოყენების მიხედვით. საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებს მიეკუთვნება საჯარო და კერძო ოფისები, ჯანდაცვა და სოციალური სამუშაო, საბითუმო და საცალო ვაჭრობა, სასტუმროები და რესტორნები, განათლება და სხვა. ამ სექტორისთვის დამახასიათებელია სათბობის და თბური ენერჯის მოხმარება (ანუ ყველა ენერჯია ელექტროენერჯის გარდა). ისეთ ქვეყნებში, სადაც ელექტროენერჯის დიდი ნაწილი გამოიყენება სივრცის გასათბობად, მაგალითად საფრანგეთი, შვედეთი და ნორვეგია, ამ შემთხვევაში ელექტროენერჯის მოხმარება შედის თბური ენერჯის გამოყენებაში. ენერგოეფექტურობის საერთო ინდექსი აგროვებს ტენდენციებს დარგების მიხედვით და შესაბამისი ინდიკატორი არის ელექტროენერჯის ერთეულის მოხმარება თითო თანამშრომელზე. სერვისის ობიექტებში ენერჯის მოხმარება შენობების ჰომოგენური კატეგორიების მიხედვით კლასიფიცირდება: საბითუმო და საცალო ვაჭრობა (სექცია G); სასტუმრო და რესტორანი (სექცია I); კერძო

ოფისები (სექციები H, J, K, L, M, და N); საჯარო სამსახურები (სექცია O); განათლება (სექცია P); ჯანმრთელობა და სოციალური მუშაობა (სექცია Q); სხვა ფილიალები (სექცია R-S); განათება. საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებში ენერჯის მოხმარება შეიძლება დაიყოს სათბობის და „ენერჯის საბოლოო მოხმარების“ მიხედვით: სივრცის და წყლის გათბობა, სამზარეულო საჭიროებები, ჰაერის გაგრილება, განათება და სხვა. ამ სექტორის შესაბამისი აქტივობის მონაცემებია: ფილიალის მიხედვით დამატებული ღირებულება, დასაქმებულთა რაოდენობა ფილიალების მიხედვით, სართულის ფართობის ზომა (m^2) განშტოების მიხედვით. საზოგადოებრივი სერვისის ზოგიერთი ქვესექტორისთვის საქმიანობის სექტორული ინდიკატორებია: საწოლების რაოდენობა, საავადმყოფოები, სასტუმროებში ადამიანთა მიერ გათეული ღამეების რაოდენობა, მოსწავლეთა ან სტუდენტთა რაოდენობა. სართულის ან ოთახის ფართობი წარმოადგენს სივრცეს, რომელიც საჭიროებს გათბობას, გაგრილებას ან განათებას და იზომება m^2 -ში. საქართველოსთვის ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების რაოდენობრივი მნიშვნელობები ჯერჯერობით შეუსწავლელია, ხოლო შენობების, მრეწველობის და ტრანსპორტის სექტორებში განხორციელებულ ენერგოეფექტურ ღონისძიებებთან დაკავშირებით არსებობს სხვადასხვა გათვლები და შეფასებები, ამიტომ არსებული განუსაზღვრელობის პირობებში, გამოყენებულია მათლასის აპლიკაცია გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერი. მეთოდი ეფუძნება პროგრამული სისტემის ხელოვნურ ინტელექტს, აყალიბებს სიმულაციას პროგრამული უზრუნველყოფა MATLAB-ის საშუალებით. ციფრული ეკონომიკა ორიენტირებულია ციფრულ ტექნოლოგიებზე, და არსებითად მოიცავს საინჟინრო, ბიზნეს, ეკონომიკურ, სოციალურ და ა.შ. საქმიანობას, რომლებიც მხარდაჭერილია ციფრული საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებით. Fuzzy Logic System (FLS) არის ეფექტური ინსტრუმენტი მსოფლიოში სხვადასხვა გამოთვლითი პრობლემის გადასაჭრელად. ეს ტექნიკა გამოიყენება სხვადასხვა აპლიკაციებში გარკვეული წინასწარ განსაზღვრული პირობების საფუძველზე მოქმედებების კონტროლისთვის. მომავალში, ფაზი-ლოგიკის აპლიკაციების ფარგლები გაიზრდება ტექნოლოგიური წინსვლისა და ციფრული ტრანსფორმაციის გამო.

საქართველოს პირობებისთვის შერჩეულია სამი ყველაზე მნიშვნელოვანი ინდიკატორი და განსაზღვრულია ამ ინდიკატორების ზეგავლენა საბოლოო მაჩვენებელზე, ანუ ქვეყნის ენერგოეფექტურობის დონეზე (ცხრ. 5).

საქართველოში 2020 წელს მიღებული იქნა ორი კანონი ენერგოეფექტურობისა და შენობების ენერგოეფექტურობის შესახებ, რაც უდავოდ წინ გადადგმული ნაბიჯია ქვეყნის ევროპულ სტანდარტებთან დაახლოებისკენ, მაგრამ მათი განხორციელება გარკვეულ პრობლემებთან არის დაკავშირებული. ნაშრომში შესწავლილია საქართველოში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელების მდგომარეობა და გამოვლენილია შედეგები, კერძოდ საქართველოს ენერგეტიკისა და კლიმატის ეროვნული ინტეგრირებული გეგმის თანახმად, ენერგოეფექტურობის სტრატეგია ძირითადად მოიცავს 2025-2030 წლებს, დაწყებული 2022 წლიდან, როცა შენობების და ენერგოეფექტურობის შესახებ კანონები შევიდა მოქმედებაში, ეტაპობრივად განისაზღვრა შემდეგი ჩასატარებელი ღონისძიებები: საზოგადოებრივ და საჯარო სამსახურის შენობებს უნდა გააჩნდეს ენერგოეფექტურობის სერტიფიკატი, გარდა ამისა, აუცილებელი იქნება გათბობისა და გაგრილების სისტემების პერიოდული ინსპექტირება (საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო. 2022).

ცხრ.5. საქართველოს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები სექტორების მიხედვით

ინდიკატორი	განმარტება	საბოლოო მაჩვენებელი
სამშენებლო სტანდარტები (BStand)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ახალი მშენებლობა-რეაბილიტაცია; ✓ სოფლის სახლები; ✓ შენობების გათბობა განახლებადი ენერგიით 	ენერგო ეფექტურობის ინდიკატორი (EnEff)
ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვა (EnMS)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ მრეწველობაში; ✓ საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებში; ✓ საყოფაცხოვრებო სექტორში. 	
სატრანსპორტო პოლიტიკა (TPolicy)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ელექტრომანქანების და ჰიბრიდული ავტომობილების პოპულარიზაცია; ✓ რკინიგზის ელექტროფიკაცია და გამტარუნარიანობის გაზრდა; ✓ საწვავის რეგულაცია; ✓ ტექნიკური ინსპექტირება. 	

2022-2025 წლებში დაგეგმილია პოლიტიკის შემუშავება, ხოლო იმპლემენტაცია და ამოქმედება - 2030 წლისთვის, როდესაც სავალდებულო იქნება ენერჯის დაზოგვის სამიზნე მაჩვენებლების დადგენა, რეგულარული ენერგეტიკული აუდიტის დამადასტურებელ სერტიფიკატთან ერთად. აღნიშნული ღონისძიება კორელაციაშია მთავრობის მრეწველობის ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესების გრძელვადიან მიზნებთან, სადაც მრეწველობის სექტორების მიხედვით განსაზღვრულია 20-35%-იანი ენერგოეფექტიანობის მიღწევა. ტრანსპორტის სექტორში ასევე შემუშავებულია გრძელვადიანი სტრატეგია, კერძოდ სახმელეთო ტრანსპორტის სააგენტოს შექმნა, ელექტრო და ჰიბრიდული ავტომობილებისთვის გარკვეული საგადასახადო შეღავათების დაწესება, უსაფრთხოების რეგულაციების შემუშავება, ბიოდიზელის და ბიოეთანოლის უფრო ინტენსიური გამოყენება და სხვა. საქართველოს მთავრობას გააჩნია გამოკვეთილი სატრანსპორტო პოლიტიკა, რაც დაკავშირებულია ავტომობილების ტექნიკური ინსპექტირების რეგლამენტის ცვლილებასთან და გამონაბოლქვის ნორმის შემცირებასთან, მაგრამ ინვესტიცია ელექტროტრანსპორტის განვითარებაში უკეთესის სურვილს აჩენს. გარდა ამისა, გაანალიზებულია საქართველოს ენერგო და ელექტრომომხმარება დარგების მიხედვით (მრეწველობა, ტრანსპორტი, კერძო და სახელმწიფო სერვისის ობიექტები, მოსახლეობა, სხვა სექტორები). 2021 წლის ბალანსის მიხედვით ელექტროენერჯის უდიდეს ნაწილს (28%) მოიხმარს კერძო და სახელმწიფო სერვისის ობიექტები, ხოლო ტრანსპორტი, ჯამური ენერგეტიკული რესურსის (30%) უდიდესი მომხმარებელია. ენერგო და ელექტრომომხმარების ხვედრითი წონების და შესაბამის სფეროში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელების არასაკმაო სტატისტიკური მონაცემების პირობებში, კომპლექსური შეჯერების საფუძველზე განხორციელდა ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ექსპერტული შეფასება სტანდარტულ კოგნიტურ პრინციპებზე და შემფასებლის პირად ცოდნასა და გამოცდილებაზე დაყრდნობით (ცხრ. 6).

ცხრ. 6. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების რაოდენობრივი შეფასება

ინდიკატორი	მოქმედების სფერო	განმარტება	შეფასება, ქულა (1-100)
სამშენ. სტანდ. (BStand)	ახალი მშენებლობა-რეაბილიტაცია	მშენებლობის პროცესში სითბოს ეფექტური მოხმარება შენობების ენერგოეფექტურობის შესახებ (2020წ.) კანონის შესაბამისად	20
	სოფლის სახლები	ენერგოეფექტური შეშის ღუმელების და მზის ენერგიაზე მომუშავე წყლის გამაცხელებლების გამოყენება	10
	შენობების გათბობა განახლებადი ენერგიით	მზის და გეოთერმული ენერჯის წილი შენობების გასათბობად	5
			35
ენერგომ. სისტემის დანერგვა (EnMS)	მრეწველობა	ენერჯის მართვის სისტემების დანერგვა, სავალდებულო ენერგეტიკული აუდიტი	17
	საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტები	ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელებისთვის წამახალისებელი ფინანსური ან საგადასახადო შეღავათების დაწესება	9
	საყოფაცხოვრებო სექტორი	ინფორმაციის მიწოდება, გამოცდილების გაუმჯობესება	3.1
			29.1
სატრანს. პოლიტ. (TPolicy)	ელექტრომანქანების და ჰიბრიდული ავტომობილების პოპულარიზაცია	სახელმწიფო მხარდაჭერა და მოხმარებული საწვავის ეკონომიურობა	5
	რკინიგზის ელექტროფიკაცია და გამტარუნარიანობის გაზრდა	სარკინიგზო სატვირთო გადაზიდვების წახალისება და მოხმარების ზრდა, სატრანსპორტო დერეფნების განვითარება	18
	საწვავის რეგულაცია	საწვავის ხარისხის გაუმჯობესება	5
	ტექნიკური ინსპექტირება	ავტოტრანსპორტის ტექნიკური დათვალიერება	2.2

პრობლემის გადასაჭრელად გამოყენებულია ფაზი-ლოგიკის სისტემა, რომლის პროგრამული უზრუნველყოფის იმპლემენტაცია შედგება ოთხი ნაწილისგან:

1. წესების ბაზა შეიცავს წესების ერთობლიობას და IF-THEN პირობებს, რომლებიც მოწოდებულია ექსპერტების მიერ გადაწყვეტილების მიღებისთვის, ლინგვისტური ინფორმაციის საფუძველზე.

2. ფაზიფიკაცია გამოიყენება შემავალი ინფორმაციის, ანუ მკაფიო რიცხვების გადასაყვანად ბუნდოვან დაჯგუფებებად.

3. თანაკვეთის წერტილი განსაზღვრავს შემავალი ბუნდოვანი ინფორმაციის შესატყვის ხარისხს თითოეულ წესთან მიმართებაში. შემდეგ, გაფანტული წესები გაერთიანებულია საკონტროლო მოქმედებების შესაქმნელად.

4. დეფაზიფიკაცია გამოიყენება მიღებული ბუნდოვანი კომპლექტების მკვეთრ მნიშვნელობაში გადასაყვანად. შეცდომის შესამცირებლად არსებობს რამდენიმე დეფაზიფიკაციის მეთოდი და ყველაზე შესაფერისი გამოიყენება სპეციფიკურ საექსპერტო სისტემასთან ერთად.

პირველ რიგში, უნდა განისაზღვროს რამდენი ფაზი-თერმია საჭირო თითოეული ცვლადისთვის. პროგრამაში მოცემულია 4 ლინგვისტური ცვლადი, თითოეულ ცვლადს აქვს თავისი ფაზი-თერმები, ანუ მნიშვნელობები, რომელთა სინტაქსის შესაბამისი სემანტიკური ფორმებით წარმოდგენილია ფაზი-სიდიდეები.

“Edit Term” ლილაკზე დაჭერით გამოჩნდება თერმის რედაქტირების ურთიერთგადაკვეთის წერტილი (ინტერფეისი).

“Input/Output Source”-ში შეირჩევა, თუ რომელი კატეგორიის ცვლადი საჭიროებს რედაქტირებას (In, Out).

“Variable”-ში არჩეულია ცვლადი შემავალი კატეგორიისთვის “სამშენებლო სტანდარტები”, “ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვა”, “სატრანსპორტო პოლიტიკა”, გამომავალისთვის - “ენერგოეფექტურობის ინდიკატორი”.

ამის შემდეგ “Term’s Name”-ში გამოჩნდება ყველა ის ფაზი-თერმი, რომელიც მიზნულია განხილულ ცვლადთან (მათი არსებობის შემთხვევაში). აქედან შესაძლებელია თერმს შეეცვალოს სახელი და რიცხვითი მნიშვნელობა.

ზემოთ მოცემული პროცედურა ილუსტრირებულია ნახაზზე 3.

შემდეგი ეტაპია ფაზი-წესების განსაზღვრა, ხელმისაწვდომია ყველა წესის დათვალიერება და რედაქტირება “Edit Rule” ლილაკით. გამოსულ ფანჯარაში წარმოდგენილია წესის პირობები (Source In 1, Source In 2, Source In 3). ლინგვისტური ცვლადის არჩევის შემდეგ დადგინდება ის ოპერაცია, რომლის

შესრულება აუცილებელია წესების დასაკმაყოფილებლად, ამ შემთხვევაში ეს არის “Equal” ოპერატორი.



ნახ. 3. ფაზი-ლოგიკის სისტემის შემადგენელი ელემენტები

“Term” ველში კი გამოჩნდება ფაზი-თერმების ჩამონათვალი. ინტერფეისის ქვედა ნაწილში მოთავსებულია პარამეტრები, რომლებსაც მიიღებს სისტემა მიმდინარე წესის თითოეული პირობის შესრულების შედეგად. ცოდნის ბაზის შექმნა ხდება ადამიანის მიერ, მან უნდა გადაწყვიტოს რამდენი თერმი ექნება თითოეულ ლინგვისტურ ცვლადს (Hasan, Z., et al. 2022). წარმოდგენილმა ფაზი-სიმრავლემ შესაძლებელია მიიღოს ნებისმიერი მნიშვნელობა [0.1] ინტერვალიდან. მე-7 ცხრილში წარმოდგენილია 3 შემავალი და 1 გამომავალი ცვლადი და მათი შესაბამისი თერმები.

ცხრ. 7. შემავალი და გამომავალი ცვლადები და მათი შესაბამისი თერმები

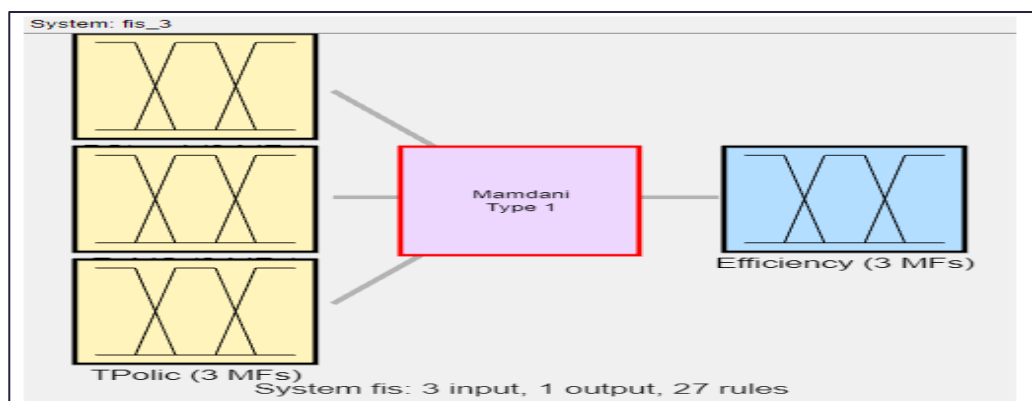
ცვლადი	თერმები (სიმრავლეები)		
სამშენებლო სტანდარტები, BStand	დაბალი	კარგი	შესანიშნავი
ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვა, EnMS	სუსტი	საშუალო	ძლიერი
სატრანსპორტო პოლიტიკა, TPolicy	ბუნდოვანი	ნორმალური	მკვეთრი
ენერგო ეფექტიანობის ინდიკატორი, EnEff	არაეფექტური	მარგინალური	ეფექტური

შემდეგ ეტაპზე განისაზღვრა თითოეული ცვლადის პარამეტრების დიაპაზონი (ცხრ. 8). BStand [დაბალი, კარგი, შესანიშნავი] {0, 0.5, 1.0}. EnMS [სუსტი, საშუალო, ძლიერი] {0, 0.5, 1.0}, TPolicy [ბუნდოვანი, ნორმალური, მკვეთრი] {0, 0.5, 1.0}, EnEff [არაეფექტური, მარგინალური, ეფექტური] {0, 0.5, 1.0}.

ცხრ. 8. ცვლადების თერმები და პარამეტრების დიაპაზონი

სამშენებლო სტანდარტები BStand		ენერგომენეჯმენტი ს სისტემის დანერგვა EnMS		სატრანსპორტო პოლიტიკა Tpolicy		ენერგო ეფექტიანობა EnEff	
პარამეტრ. დიაპაზ.	1 შემავალი ცვლადი	პარამეტრ დიაპაზ.	2 შემავალი ცვლადი	პარამეტრ. დიაპაზ.	3 შემავალი ცვლადი	პარამეტრ. დიაპაზ.	1 გამომავალი ცვლადი
0,0,20,40	დაბალი	0,0,20,40	სუსტი	0,0,20,40	ბუნდოვ.	0,0,20,40	არაეფექ.
20, 40, 60, 80	კარგი	20,40, 60, 80	საშუალო	20,40, 60, 80	ნორმალ.	20,40, 60, 80	მარგინალ.
60, 80,100,100	შესანიშნ.	60,80,100,100	ძლიერი	60,80,100,100	მკვეთრი	60,80,100,100	ეფექტური

კვლევაში გამოყენებული მათემატიკის პროგრამული პაკეტის მიკუთვნების ფუნქცია (Fuzzy Inference System, FIS) არის ხელოვნური ინტელექტის ცნობილი მიდგომა, რომელიც ემყარება ბუნდოვანი სიმრავლეების თეორიას და ბუნდოვან ლოგიკას კლასიკური მკვეთრი სიმრავლეების თეორიის გასავრცელებლად. კვლევაში გამოყენებულია მიკუთვნების ფუნქციის მამდანი-1 ტიპი, სადაც წარმოდგენილია სამი შემავალი და 1 გამომავალი ცვლადი (ნახ. 4).



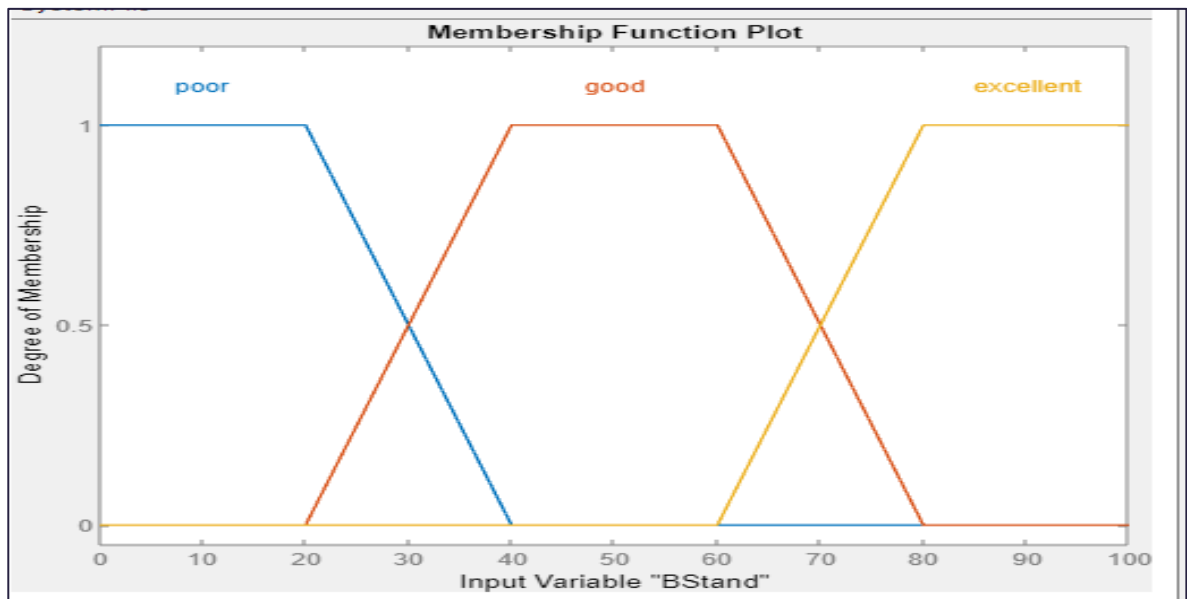
ნახ. 4. მათემატიკის მიკუთვნების ფუნქციის მამდანი-1 ტიპი

მამდანის -1 მოდელში თითოეული წესის ფორმულირება შემდეგნაირია:

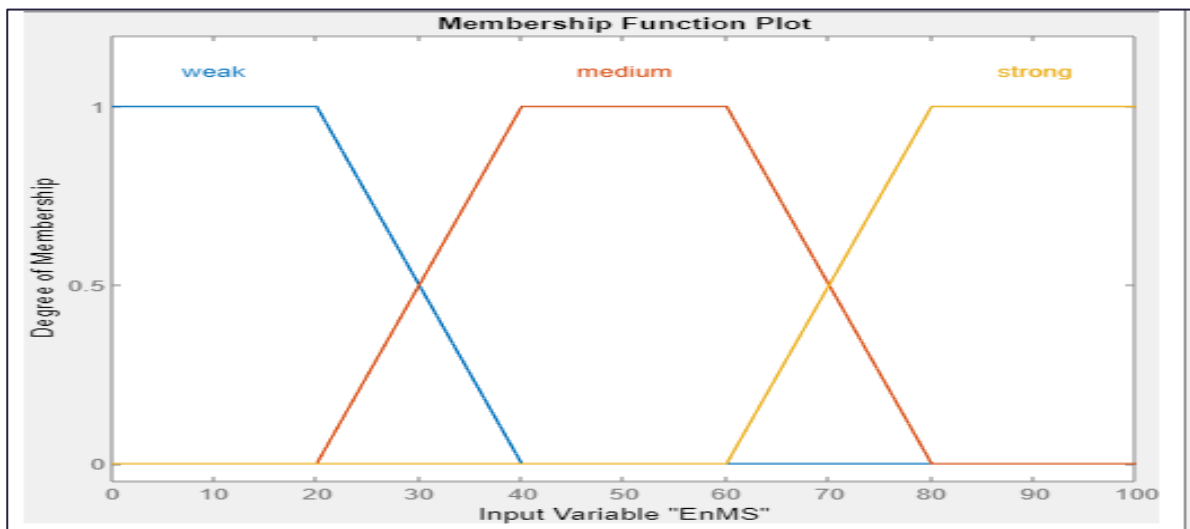
$$i\text{წესი: თუ } x_1 \text{ არის } A_{i1} \text{ და } \dots \text{ და } x_n \text{ არის } A_{in}, \text{ მაშინ } y \text{ არის } B. \quad (1)$$

სადაც, $x_1 \dots x_n$ - შემავალი ცვლადები; y არის გამომავალი ცვლადი. $A_1 \dots A_n$ და B არის შემავალი და გამომავალი ცვლადების ენობრივი მნიშვნელობები (ტერმები).

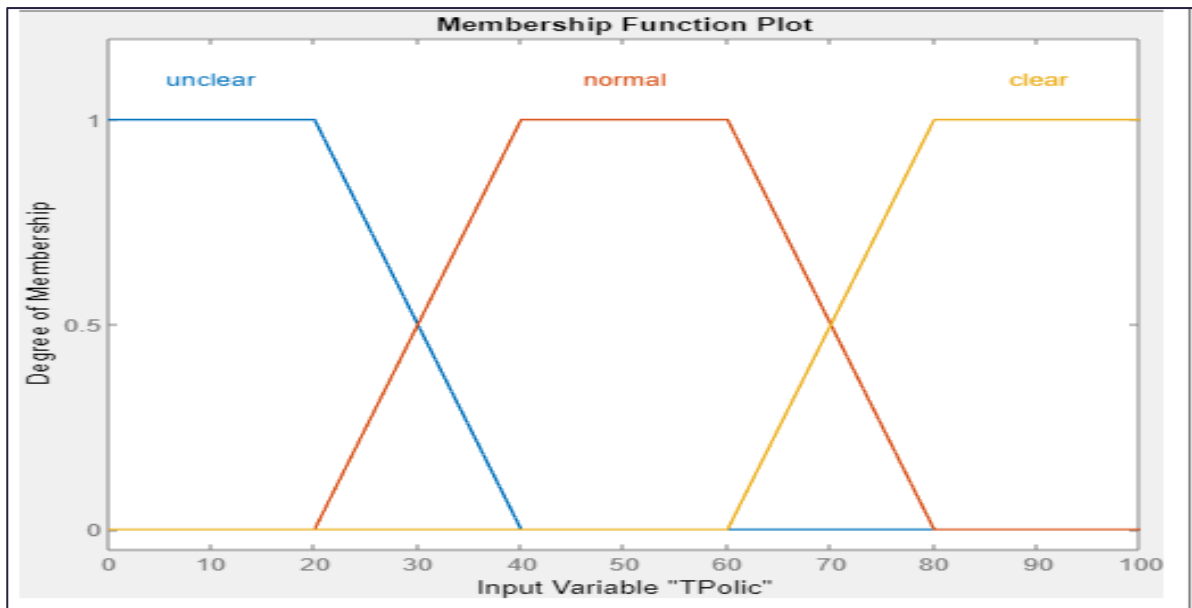
ფაზი-ნეირო დიზაინერის პროგრამა შესაძლებლობას იძლევა შეირჩეს სამკუთხედის, ტრაპეციის, გაუსის და სიგმოიდური წევრობის ფუნქციებიდან ერთ-ერთი. რამდენადაც პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება, თითოეული ცვლადისთვის განისაზღვრა ტრაპეციული მიკუთვნების ფუნქციები (ნახ. 5, 6, 7).



ნახ. 5. ცვლადის "სამშენებლო სტანდარტები" მიკუთვნების ფუნქცია



ნახ. 6. ცვლადის "ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვა" მიკუთვნების ფუნქცია



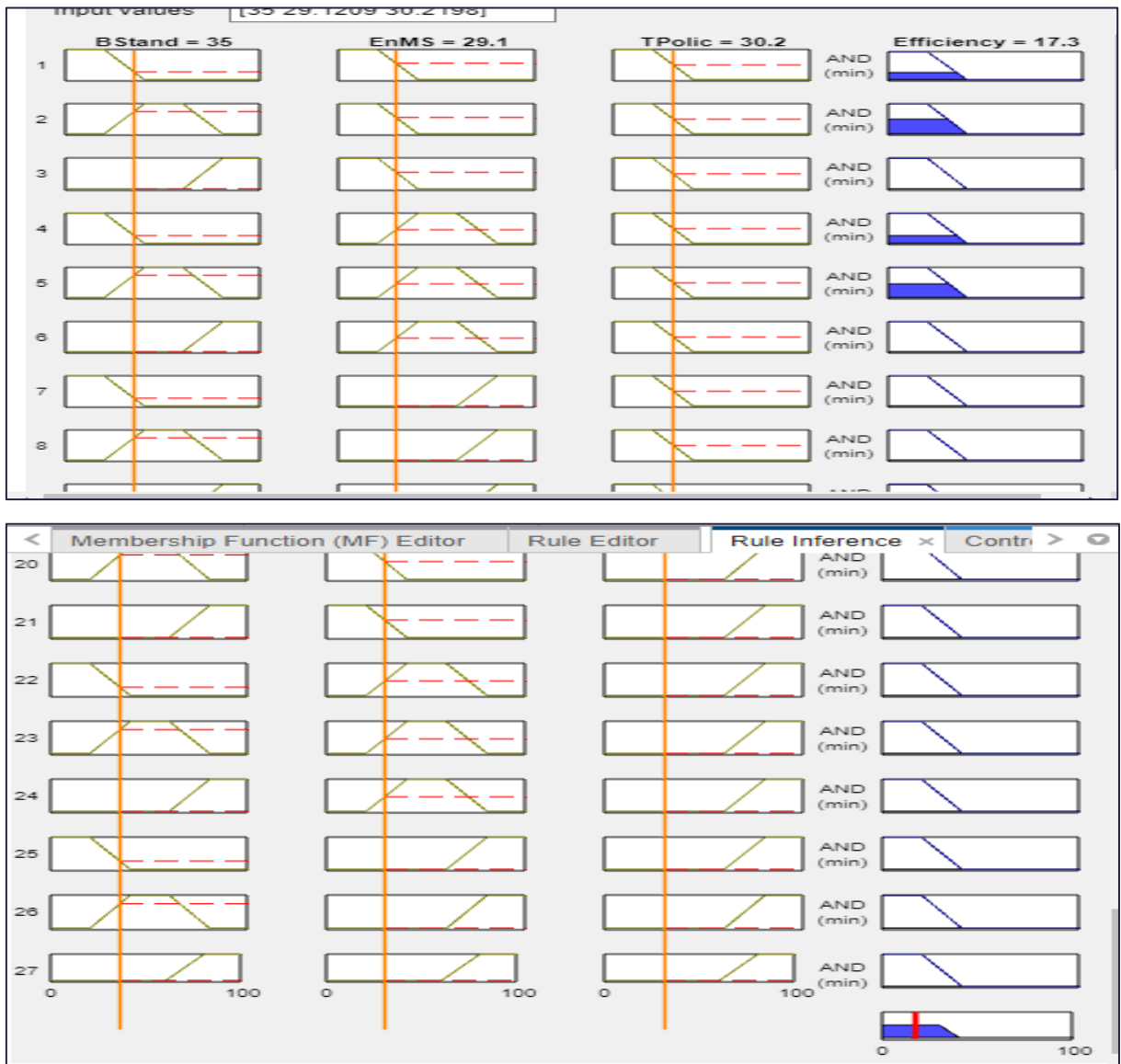
ნახ. 7. ცვლადის “სატრანსპორტო პოლიტიკა” მიკუთვნების ფუნქცია

რეგულირების წესებზე (Rule Base) დაფუძნებული მიდგომა დეტალურად განსაზღვრავს ან იძლევა წესების კრებულს, სადაც დადგენილია კონტროლი, ზომები, პროცედურები, თუ როგორ უნდა მოხდეს შედეგის მიღება. შემდეგი ეტაპზე დადგენილი წესების პროგრამული განხორციელებით განისაზღვრა 27 წესი, მაგალითად, მე-9 წესის თანახმად, თუ სამშენებლო სტანდარტები “შესანიშნავია”, ენერგომენეჯმენტის დანერგვა “ძლიერი” და სატრანსპორტო პოლიტიკა “ბუნდოვანი”, მაშინ ენერგოეფექტურობის ინდიკატორი არის “არაეფექტური” და ა.შ. (ნახ. 8).

	Membership Function (MF) Editor	Rule Editor	Rule Inference	Cont
9	If BStand is excellent and EnMS is strong and TPolic is unclear then Efficiency is ineffective		1	rule9
10			1	rule10
11	If BStand is good and EnMS is weak and TPolic is nor...		1	rule11
12	If BStand is excellent and EnMS is weak and TPolic is ...		1	rule12
13	If BStand is poor and EnMS is medium and TPolic is n...		1	rule13
14	If BStand is good and EnMS is medium and TPolic is n...		1	rule14
15	If BStand is excellent and EnMS is medium and TPolic ...		1	rule15
16	If BStand is poor and EnMS is strong and TPolic is nor...		1	rule16
17	If BStand is good and EnMS is strong and TPolic is nor...		1	rule17
18	If BStand is excellent and EnMS is strong and TPolic is...		1	rule18
19	If BStand is poor and EnMS is weak and TPolic is clear...		1	rule19
20	If BStand is good and EnMS is weak and TPolic is clea...		1	rule20
21	If BStand is excellent and EnMS is weak and TPolic is ...		1	rule21
22	If BStand is poor and EnMS is medium and TPolic is cl...		1	rule22
23	If BStand is good and EnMS is medium and TPolic is cl...		1	rule23
24	If BStand is excellent and EnMS is medium and TPolic ...		1	rule24
25	If BStand is poor and EnMS is strong and TPolic is cle...		1	rule25
26	If BStand is good and EnMS is strong and TPolic is cle...		1	rule26
27	If BStand is excellent and EnMS is strong and TPolic is...		1	rule27

ნახ. 8. IF-THEN წესების პროგრამული განხორციელება

Rule Viewer-ი არის MATLAB-ზე დაფუძნებული ბუნდოვანი დასკვნის დიაგრამის ვიზუალური გამოსახულება, რომელიც გამოიყენება ალგორითმის ბოლოს. მას შეუძლია აჩვენოს თუ რომელი წესებია აქტიური, ან როგორ მოქმედებს ინდივიდუალური წევრობის ფუნქციის ფორმები შედეგებზე. Rule Viewer-ი გამოიყენება ბუნდოვანი სისტემის დასკვნის პროცესის სანახავად. აქ შესაძლებელია შეიცვალოს შემავალი მნიშვნელობები და ვიზუალურად გამოჩნდეს თითოეული ბუნდოვანი წესის შესაბამისი გამომავალი მნიშვნელობა, აგრეგირებული გამომავალი ბუნდოვანი ნაკრები და დეფაზირებული გამომავალი მნიშვნელობა. კვლევის შემდეგ ეტაპზე გენერირებულია წესების რაოდენობრივი გამოხატულება და მიღებულია შესაბამისი შედეგი (ნახ.9).



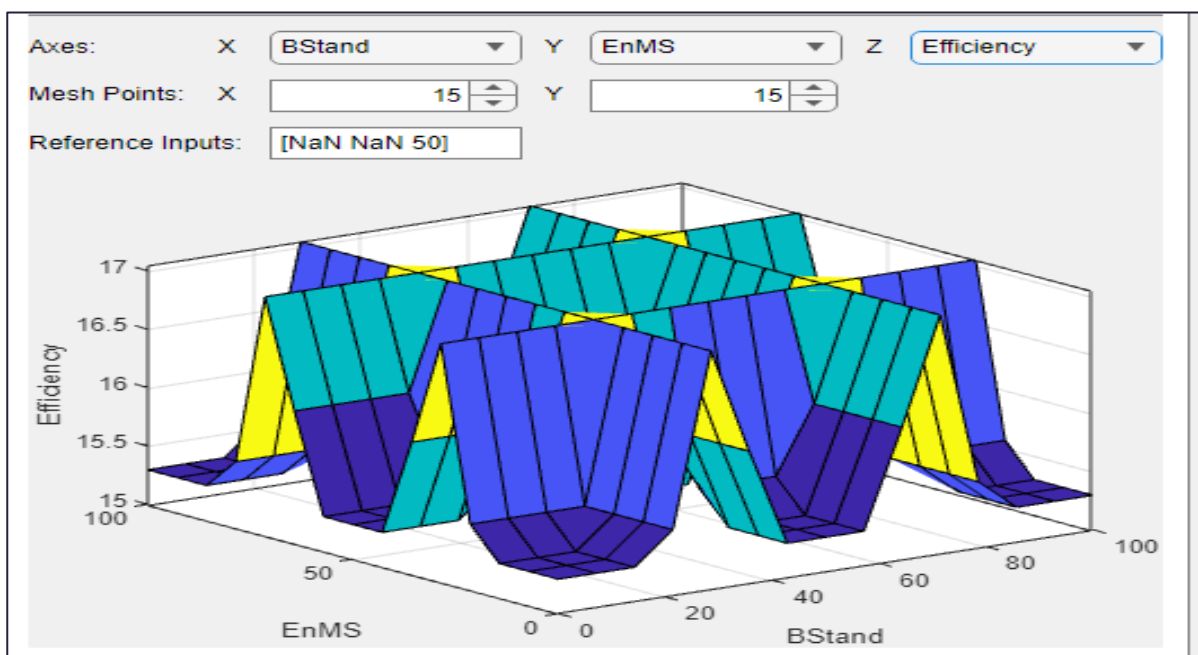
ნახ. 9. წესების რაოდენობრივი გამოხატულება და მიღებული შედეგი

დეფაზიფიკაცია არის ალგორითმის ბოლო ნაბიჯი. ცენტროიდული დეფაზიფიკაცია განლაგებს ბუნდოვანი ნაკრების სიმბიმის ცენტრს x-ღერძის გასწვრივ. ის გამოითვლება შემდეგი ფორმულის გამოყენებით, სადაც $\mu(x_i)$ არის x_i წერტილის განლაგება სივრცეში.

$$X_{\text{ცენტროიდული}} = \frac{\sum_i \mu(x_i) x_i}{\sum_i \mu(x_i)} \quad (2)$$

ამ საფეხურზე დეფაზიფიკატორი იყენებს მიკუთვნების ფუნქციას გამომავალი ცვლადის დასადგენად, საიდანაც ჩანს, რომ საქართველოში ენერგოეფექტურობის ინდიკატორი არის 17.3 ქულა, რომელიც ბევრად ჩამორჩება განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ მნიშვნელობებს.

მატრიცების ციფრული სახით ვიზუალიზაციისთვის გამოიყენება ზედაპირის მოდელირება (Surface Plot), ზედაპირის დიაგრამა გამოსახავს სამგანზომილებიან ურთიერთობას ორ განზომილებაში, ცვლადები (x) და (y) ღერძებზე და პასუხის ცვლადი (z) წარმოდგენილია გლუვი ზედაპირით. ზედაპირის მოდელირება ფართოდ გამოიყენება CAD-ში (კომპიუტერული დიზაინი) ილუსტრაციებისა და არქიტექტურული რენდერებისთვის, 3D ანიმაციაში თამაშებისთვის და ა.შ. ზედაპირის მოდელირება გამოსახავს კოორდინატებს 3-D სივრცეში. საბოლოოდ, გამომავალი ცვლადის გრაფიკულ გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე (ნახ. 10):



ნახ. 10. გამომავალი ცვლადის გრაფიკული გამოხატულება

Matlab-ის პროგრამული პაკეტი სპეციალურად შექმნილი სამეცნიერო და საინჟინრო გამოთვლებისთვის, ორგანზომილებიანი და სამგანზომილებიანი გრაფიკა არის ობიექტზე ორიენტირებული და ამგვარად, ის განიხილება, როგორც მატრიცაზე ორიენტირებული პროგრამირება. ის აერთიანებს გრაფიკულ ილუსტრაციებს ზუსტი რიცხვითი გამოთვლებით და არის ძლიერი, ადვილად გამოსაყენებელი და ყოვლისმომცველი ინსტრუმენტი ყველა სახის გამოთვლებისა და სამეცნიერო მონაცემების ვიზუალიზაციისთვის. მარტივი კომუნიკაცია საშუალებას იძლევა შექმნას ისეთი ინსტრუმენტები, რომელიც მორგებული იქნება საკვლევი სფეროს საჭიროებებს. Matlab-ის ძირითადი მახასიათებლებია: მოწინავე ალგორითმების შედგენის შესაძლებლობა მაღალი ხარისხის რიცხვითი გამოთვლებისთვის; ორგანზომილებიანი და სამგანზომილებიანი გრაფიკული მონაცემების შედგენა და ჩვენება; რამდენიმე აპლიკაციაში ხელმისაწვდომია სხვადასხვა მეთოდები ინოვაციური პრობლემების გადასაჭრელად. კვლევამ აჩვენა, თუ როგორ მუშაობს ფაზი-ლოგიკის სისტემა და როგორ უნდა შეფასდეს ენერგოეფექტურობის ინდიკატორი განუსაზღვრელობის პირობებში ფაზი-ლოგიკის საფუძველზე. ნაჩვენებია, თუ როგორ შეიძლება დამუშავდეს ქვეყნის სხვადასხვა სექტორის შესაფასებლად შექმნილი ინდიკატორები ექსპერტულ მოდელში. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ წარმოდგენილი აპლიკაციის გამოყენება შესაძლებელია კვლევის სფეროში უკვე გავრცელებულ მეთოდებთან კომბინაციაში. მაგალითად, ის შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც ნაბიჯი სხვა ეკონომეტრიული მოდელების გამოყენებამდე, რათა ხელახლა განხორციელდეს შემავალი ინფორმაციის მოდელირება. მას ასევე შეუძლია მრავალი დისციპლინის კვლევის ახალი სფეროების სტიმულირება, რომლებიც ითვალისწინებენ ინსტიტუციურ აზროვნებას, რომელიც ღირებულია მკვლევარებისთვის და პოლიტიკის შემქმნელებისთვის. იმის გამო, რომ ფაზი-ნიერონულ ლოგიკას მნიშვნელოვანი წვლილი გააჩნია კვლევაში ბუნდოვანი მონაცემების გამოყენებით, ხშირად გამოხატული ლინგვისტური ტერმინებით და საკმაოდ ახლოსაა ადამიანის აღქმასთან, მისი გამოყენების შესაძლებლობები ფართოა.

თავი 2.

ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელება საქართველოს საცალო ვაჭრობის ობიექტის მაგალითზე

2.1. ობიექტის ენერგოაუდიტის პროცესი, მონაცემთა შეგროვება და და სამიზნე მაჩვენებლების განსაზღვრა

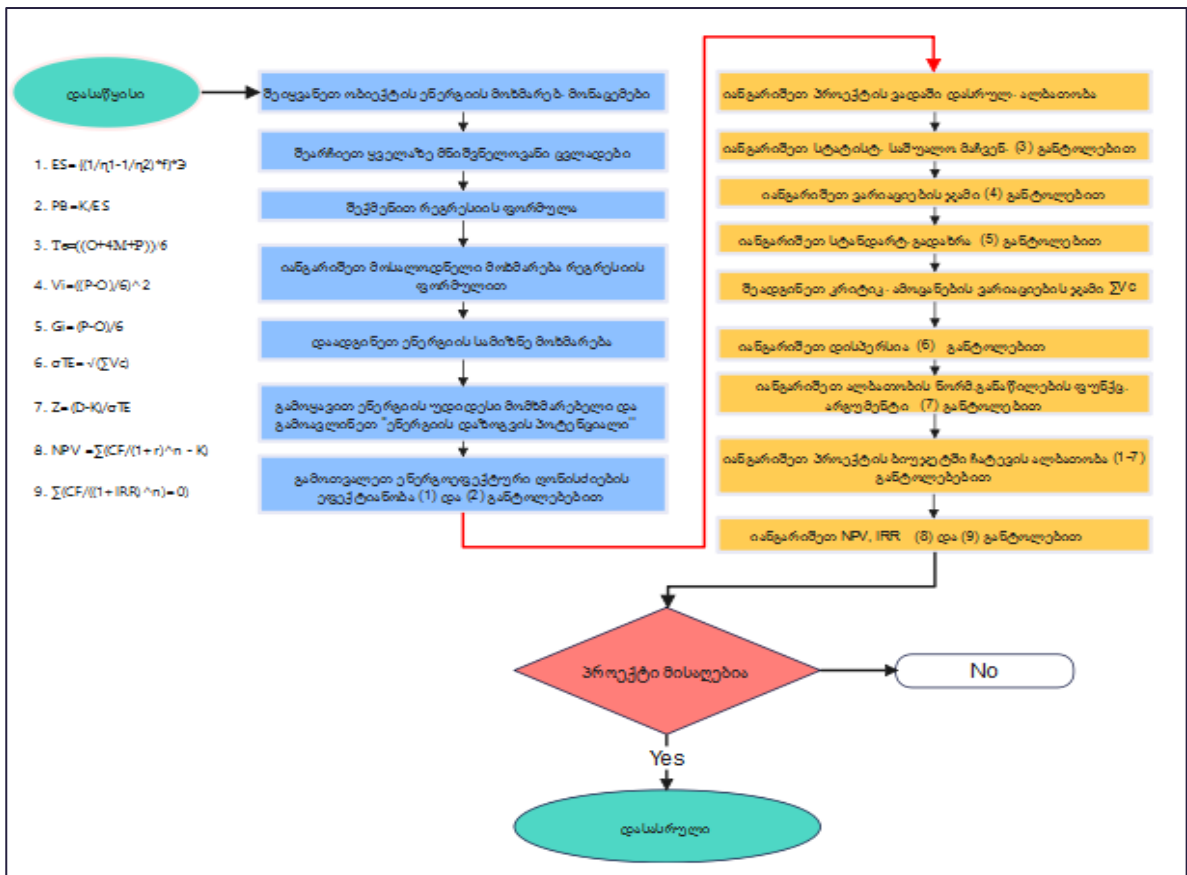
გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის სამრეწველო განვითარების სააგენტო (UNIDO) ავრცელებს ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებებთან დაკავშირებულ ცოდნას და პროგრამულ უზრუნველყოფას ISO50001 სტანდარტის შესაბამისად. ჩვენს მიერ შეთავაზებულია არსებული პროგრამული პაკეტის ახალი დიზაინის ალგორითმი, კერძოდ, დამატებულია ე.წ. პერტ-ანალიზი, ენერგოეფექტური პროექტის ვადაში და ლიმიტის ფარგლებში ჩატევის ალბათობის ანგარიში, რომელიც უფრო სრულყოფილს ხდის ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელებას, ამცირებს პროცესში არსებულ განუსაზღვრელობას და მინიმუმამდე დაჰყავს ფინანსური და ეკონომიკური დანაკარგების რისკები (ნახ.11).

ენერგოეფექტურობის კანონის მიხედვით, ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის და შესაბამისად, ენერგოაუდიტის განხორციელების ვალდებულება აქვთ პირველი კატეგორიის სამრეწველო ობიექტებს.

პირველი კატეგორიისაა ის საწარმო, რომელიც ამ სამი კრიტერიუმიდან 2-ს აკმაყოფილებს: აქტივები აღემატება 50 მლნ.ლარს ან გააჩნია 100 მლნ.ლარზე მეტი შემოსავალი ან დასაქმებული ჰყავს 250-ზე მეტი მომუშავე.

მეორე, მესამე და მეოთხე კატეგორიის საწარმოების, საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტების და საჯარო შენობებისთვის ენერგოაუდიტის ჩატარება ჯერჯერობით ნებაყოფლობითი და სასურველია.

მეორე კატეგორიის სამრეწველო საწარმოს კრიტერიუმებია: აქტივები 50 მლნ.ლარზე ნაკლებია ან გააჩნია 100 მლნ.ლარზე ნაკლები შემოსავალი ან დასაქმებული ჰყავს 250-ზე ნაკლები მომუშავე.



ნახ.11. ახალი დიზაინის ენერჯის მართვის სისტემის ალგორითმი

მესამე კატეგორიისაა ისეთი საწარმო, რომლის აქტივები 10 მლნ.ლარზე ნაკლებია ან გააჩნია 20 მლნ.ლარზე ნაკლები შემოსავალი ან დასაქმებული ჰყავს 50-ზე ნაკლები მომუშავე.

მეოთხე კატეგორიის საწარმოს კრიტერიუმებია: აქტივები 1მლნ.ლარზე ნაკლებია ან გააჩნია 2 მლნ.ლარზე ნაკლები შემოსავალი ან დასაქმებული ჰყავს 10-ზე ნაკლები მომუშავე.

რადგანაც სამრეწველო საწარმოები თავს იკავებენ მათი საქმიანობის შედეგების კონფიდენციალური ინფორმაციის გასაჯაროებისაგან, კვლევა ჩატარდა საცალო ვაჭრობის ობიექტის მაგალითზე, ქ.თბილისში მოქმედ (100მ²) სუპერმარკეტში პირობითი დასახელებით „კუთხის მარკეტი“, სადაც განხორციელდა ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვა. ინსპექტირების პროცესში შემოწმებული იქნა ენერგომრიცხველები, რომლებიც გამოიყენება ენერგეტიკის მიმწოდებლებსა და მომხმარებლებს შორის ენერჯის გადახდის საფუძვლად, ამიტომ სუპერმარკეტის მიერ შეძენილი ელექტროენერჯია არის ყველაზე მარტივი

გაზომვადი ენერჯია. სუპერმარკეტებში გამოყენებული სხვა მონიტორინგის სისტემები დაკავშირებულია ინსტალაციებთან და უმთავრეს მიზანთან, რასაც წარმოადგენს ამ სისტემების კონტროლი და რეგულირება. საკვლევი სუპერმარკეტის სისტემებია განათება, გათბობა, გაგრილება და სამაცივრო განყოფილება. განათებისთვის მოხმარებული ელექტროენერჯიის ღირებულების დაზოგვა მომავალში შესაძლებელია ე.წ. LED ნათურების გამოყენებით. გარდა ამისა, მიზანშეწონილია უკეთესი კონტროლის სისტემა და დღის სინათლის მაქსიმალური გამოყენება. ძველი განათების სისტემების ახალი ეფექტური ვერსიებით ჩანაცვლება ან დღის სინათლის სენსორების გამოყენება პერსონალისთვის განკუთვნილი ტერიტორიაზე. გათბობის სისტემები ფარავს სივრცისა და ონკანის წყლის გათბობის მოთხოვნას. სივრცის გათბობა საჭიროა გაყიდვების ზონაში და უკანა ოთახში მომხმარებლისა და პერსონალის თერმული კომფორტისთვის. გაყიდვების ზონა თბება თბილი ჰაერით, რომელიც უზრუნველყოფილია გათბობა-ცხელი წყალმომარაგების ცენტრალიზებული გათბობის სისტემით (გათბობის ქვაბი და რადიატორები). სუპერმარკეტი გათბობისთვის იყენებს ბუნებრივ გაზს. მრეწველობაში და საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებში ელექტროძრავების გამოყენებას ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილი უკავია. ელექტროძრავების და ელექტრომოწყობილობების დატვირთვა დროში იცვლება, და შესაბამისად, დასადგენია მათი მუშა ციკლი, სრული და არასრული დატვირთვის შესაბამისი მუშაობის საათები. რადგანაც პრაქტიკაში რთულია გათბობა-გაგრილების სისტემების მუშაობის საათების ზუსტად განსაზღვრა, გამარტივების მიზნით მიღებულია სტანდარტული მნიშვნელობების გამოყენება ამერიკელ ინჟინერთა საზოგადოება გათბობის, გაგრილების და კონდიციონერების სახელმძღვანელოდან.

ენერჯიის მონაცემები Energy data - კვლევა ეფუძნება 2021 წლის ელექტროენერჯიისა და ბ.გაზის ქვითრების ანალიზს, საბაზო 2021 წლის თითოეული თვის ქვითრების მონაცემების მიხედვით, ასახულია მოხმარებული ელექტროენერჯიის და ბ.გაზის რაოდენობა ნატურალურ და ფულად მაჩვენებლებში საანგარიშო წლის თვეების მიხედვით (ცხრ.9). საკვლევი სუპერმარკეტისთვის, რომლის ზომა 100მ²-ია, საშუალო წლიური

ელექტროენერჯის მოხმარება ელექტროენერჯის თვიური ანგარიშების მიხედვით არის 29 040 კვტს/წელი.

ცხრ. 9. ელექტროენერჯისა და ბ.გაზის ქვითრების მონაცემები 2021 წ.

საანგარიშო წელი - 2021	მოხმარებული ელექტრო ენერჯია, კვტსთ	მოხმარებული ელექტრო ენერჯია, ლარი	მოხმარებული ბ.გაზი, მ ³	მოხმარებული ბ.გაზი, ლარი
იანვარი	2770	912	198	267
თებერვალი	2720	896	196	264
მარტი	2565	845	191	257
აპრილი	2461	810	181	244
მაისი	2360	777	175	236
ივნისი	2108	694	167	225
ივლისი	2154	709	156	210
აგვისტო	2155	710	145	195
სექტემბერი	2184	719	154	208
ოქტომბერი	2258	744	163	220
ნოემბერი	2525	832	717	967
დეკემბერი	2780	915	189	255
ჯამი	29040	9563	2632	3548

ენერჯის მოთხოვნილება დამოკიდებულია ცვლადებზე, როგორცაა გარემოს ტემპერატურა და გარემოს ტენიანობა, რამაც ასევე შეიძლება გავლენა მოახდინოს სურსათის უსაფრთხოებაზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ენერჯოეფექტურობის ინდიკატორები სუპერმარკეტისთვის არის შემდეგი:

- ზომა (მ²);
- გაყიდვები და/ან თანამშრომლების რაოდენობა და/ან ვიზიტორების რაოდენობა;
- მუშაობის საათები;
- გარე ტემპერატურა;
- შიდა ტემპერატურა;
- ტენიანობა (შიდა);
- მინის კარი და ენერჯის დაზოგვის სხვა ვარიანტები;
- პროდუქტის ტემპერატურა;
- გაგრილების სისტემა და მაცივარი.

ელექტროენერჯის მოხმარებაზე ზემოქმედების ფაქტორების, ანუ ცვლადების ასარჩევად გამოიყენება ალბათობის ანალიზი (Probability Analysis). P-

Value მნიშვნელობებს ყველაზე ხშირად იყენებენ მკვლევარები იმის სათქმელად, არის თუ არა მათ მიერ გაზომილი გარკვეული ნიმუში სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი. ალბათობა იმისა, რომ კონკრეტული სტატისტიკური საზომი, სავარაუდო ალბათობის განაწილების საშუალო ან სტანდარტული გადახრა, იქნება მეტი ან ტოლი (ზოგიერთ შემთხვევაში - ნაკლები ან ტოლი) დაკვირვებულ შედეგებზე, აიღება ექსელის რეგრესიის ფუნქციის ANOVA ცხრილიდან. *P-Value* მნიშვნელობა არის მტკიცებულება ნულოვანი ჰიპოთეზის წინააღმდეგ, მისი მნიშვნელობები გამოიხატება ათწილადების სახით, თუმცა უფრო ადვილი იქნება მათი გაგება, თუ პროცენტულად გამოისახება. როცა $P\text{-value} < 0.01$ შედეგი არის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი და შესაბამისად, უარყოფს ნულოვანი ჰიპოთეზას ალტერნატიული ჰიპოთეზის სასარგებლოდ. საკვლევი ობიექტისთვის სავარაუდოდ მნიშვნელოვან ცვლადებს წარმოადგენს გათბობის გრადუს დღეები და გაგრილების გრადუს დღეები. საანგარიშო წლის (2021) გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეების გამოსათვლელად გამოყენებულია კომპიუტერული აპლიკაცია DEGREEDAYS (ცხრ.10), სადაც მეტეოსადგურის (თბილისი, ნოვო ალექსევკას საერთაშორისო აეროპორტი), საბაზისო ტემპერატურის (15°C) და თარიღების მითითების შემდეგ, ავტომატურად მიიღება შესაბამისი მნიშვნელობები (ცხრ.11).

ცვლადების საბოლოო მაჩვენებელთან შესაბამისობის დადგენის მიზნით ჩატარებულია კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი, რაც გულისხმობს გათბობის და გაგრილების გრადუსდღეების კორელაციური კავშირის დადგენას მოხმარებულ ელექტროენერგიასთან. გამოვლინდა გარკვეული დამოკიდებულება, როცა გარემოს ტემპერატურის ცვლილება იწვევს მოხმარებული ელექტროენერგიის საშუალო მნიშვნელობის ცვლილებას და მათ შორის ადგილი აქვს მჭიდრო კორელაციას. დამოუკიდებელი ცვლადებია გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეები, ხოლო დამოკიდებული ცვლადია მოხმარებული ელექტროენერგია. რადგანაც არსებობს სხვა მრავალი ფაქტორი, რომელიც ზემოქმედებას ახდენს საბოლოო მაჩვენებელზე, როგორცაა ვიზიტორების რაოდენობა, შენობის მახასიათებლები, კედლების სისქე, შემინვის პირობები და სხვა ფაქტორები, კორელაციური კავშირი გარკვეული ცდომილების ფარგლებში იქნება.

ცხრ. 10. გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეების კომპონენტები

საანგარიშო 2021 წელი/თვე	“შიგა” კომფორტ. ტემპერატურა, °C	გათბობა- გაგრილების ჩართვის ტემპერატურა, °C	დღეების რაოდენობა თვეში	გათბობის გრადუს- დღეები HDD	გაგრილების გრადუს- დღეები CDD
იანვარი	20	15	31	372.5	0
თებერვალი	20	15	28	268	2.6
მარტი	20	15	31	284.1	0.7
აპრილი	20	15	30	59.4	51.6
მაისი	20	15	31	19.9	140.6
ივნისი	24	29	30	0.5	283.5
ივლისი	24	29	31	0	328.9
აგვისტო	24	29	31	0	388.5
სექტემბერი	20	15	30	6.9	165.7
ოქტომბერი	20	15	31	100.7	18.7
ნოემბერი	20	15	30	180.4	4.5
დეკემბერი	20	15	31	315.6	0.2

ცხრ.11. კვლევის ობიექტის გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეები

#	საანგარიშო წელი - 2021	გათბობის გრადუს-დღეები, HDD	გაგრილების გრადუს-დღეები, CDD	მოხმარებული ელექტროენერგია, კვტსთ
1	იანვარი	372.5	0	2770
2	თებერვალი	268	2.6	2720
3	მარტი	284.1	0.7	2565
4	აპრილი	59.4	51.6	2461
5	მაისი	19.9	140.6	2360
6	ივნისი	0.5	283.5	2108
7	ივლისი	0	328.9	2154
8	აგვისტო	0	388.5	2155
9	სექტემბერი	6.9	165.7	2184
10	ოქტომბერი	100.7	18.7	2258
11	ნოემბერი	180.4	4.5	2525
12	დეკემბერი	315.6	0.2	2780
ჯამი				29040

კვლევის შემდეგი ეტაპია რეგრესიის კოეფიციენტების განსაზღვრა უმცირესი კვადრატთა მეთოდის საშუალებით, სადაც საბოლოო მაჩვენებლის ღერძზე ცვლადების წერტილების გადახრების კვადრატთა ჯამი მინიმუმია. მას შემდეგ, რაც განსაზღვრულია ყველაზე მნიშვნელოვანი ცვლადები, გათბობის გრადუს დღეები და გაგრილების გრადუს-დღეები, რომლებსაც ყველაზე მეტი ზეგავლენა აქვთ ელექტროენერგიის მოხმარებაზე, რეგრესიის განტოლების შესადგენად გამოყენებულია ექსელის რეგრესიის ფუნქცია. შესაბამისი მონაცემების შეყვანის შემდეგ ANOVA ცხრილის მაჩვენებლების და *P-Value* მნიშვნელობის მიხედვით

მიღებული მოდელი გამოიყენება საბაზისო მოსალოდნელი მოხმარების გამოსათვლელად. (ცხრ.12). გათბობის და გაგრილების გრადუსდღეებისა და მოხმარებულ ელექტროენერგიას შორის არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი: $r=0.9436930$ და მათი შესაბამისი წრფის დეტერმინაციის კოეფიციენტი $r^2=0.9436930^2=0.8905565$. აქედან ჩანს, რომ 89% შეესაბამება გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეების ვარიაციას და დანარჩენი 11% მიეკუთვნება შემთხვევითი (სხვა) ფაქტორების ვარიაციას. ჩვენს მიერ მიღებულია განტოლება ემპირიული ფორმით:

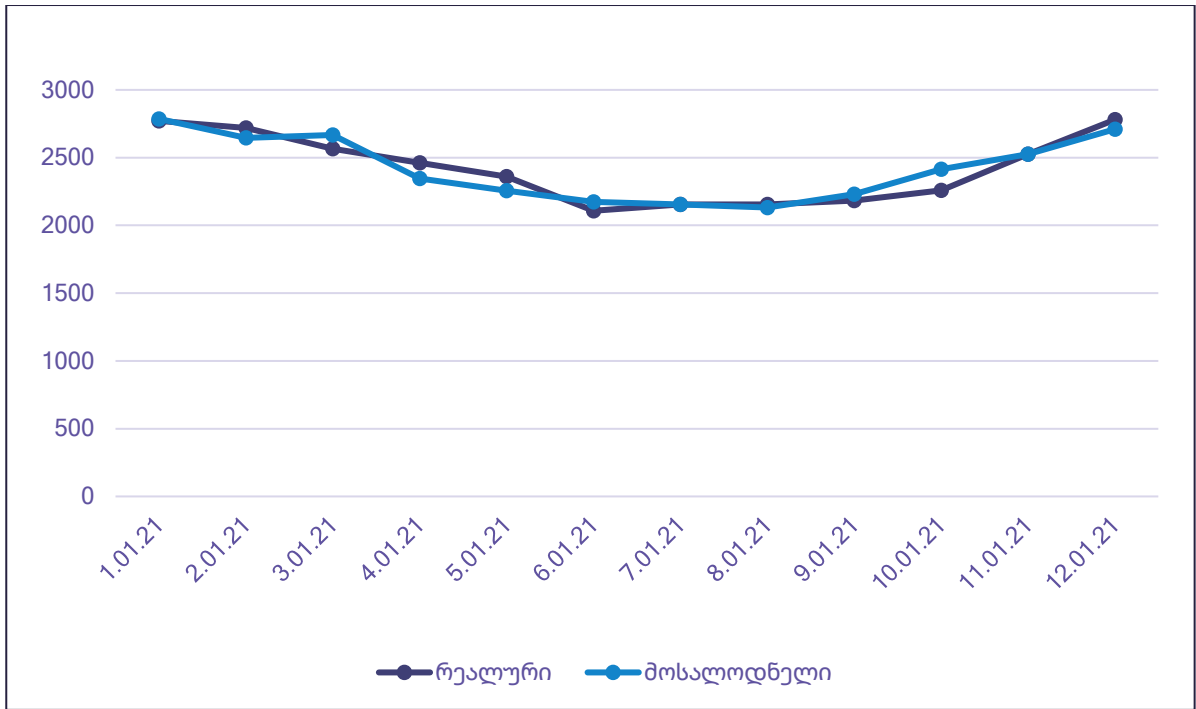
$$y = 2285.564 + (1.344103 * HDD) - (0.39559 * CDD). \quad (3)$$

სადაც HDD - გათბობის გრადუს დღეები; CDD - გაგრილების გრადუს დღეები, ხოლო 2285.564 არის წრფის აბსცისთა ღერძთან თანაკვეთა (დახრის კუთხის ტანგენსი). ჩვენი კვლევის მიხედვით, არჩეული დამოუკიდებელი ცვლადები (გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეები) *P-Value* მნიშვნელობების მიხედვით არჩეულია სწორად ანუ მნიშვნელოვანია.

ცხრ. 12. ექსელის ფუნქცია ANOVA-ს ცხრილის მაჩვენებლები და P-Value

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.943693								
R Square	0.890557								
Adjusted R Square	0.866236								
Standard Error	92.24193								
Observations	12								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	2	623118.8	311559.4	36.61711297	4.75E-05				
Residual	9	76577.17	8508.574						
Total	11	699696							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	2285.564	76.85944	29.73694	2.68666E-10	2111.696	2459.433	2111.696	2459.433	
X Variable 1	1.344103	0.309161	4.347587	0.001856782	0.644733	2.043472	0.644733	2.043472	
X Variable 2	-0.39559	0.303939	-1.30154	0.225400213	-1.08315	0.291968	-1.08315	0.291968	

შემდეგ ეტაპზე განხორციელდა განტოლების „შემოწმება“, რამდენად ზუსტია აღნიშნული განტოლება და დადგენილია ცდომილების ზღვრები, რომელიც არ აჭარბებს დადგენილ ნორმას. სუპერმარკეტში ელექტროენერგიის რეალური და მოსალოდნელი მოხმარება წარმოდგენილია ნახაზზე 12.



ნახ.12. კვლევის ობიექტის ელექტროენერჯის რეალური და მოსალოდნელი მოხმარება

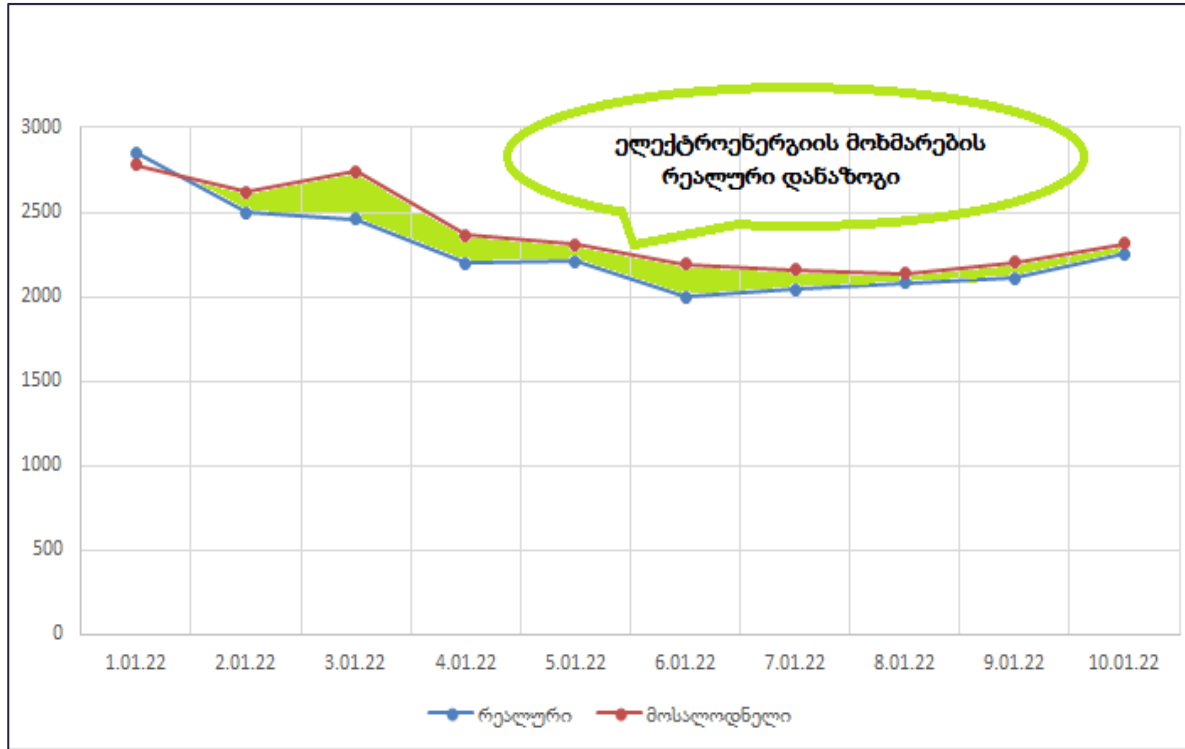
ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები Energy Performance Indicators (EnPIs) არის ის მაჩვენებლები, რომლების განსაზღვრა აუცილებელია კვლევის პირველ ეტაპზე: მოხმარებული ენერჯის სრული ხარჯი/წელიწადში, რომელიც შედგება ელექტროენერჯის და სათბობის სრული ხარჯისგან. მეორე ეტაპზე უნდა დადგინდეს სამრეწველო საწარმოზე მოქმედი ფაქტორები, რომელიც შესაძლოა იყოს მრავალრიცხოვანი, მაგრამ უნდა შეირჩეს მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი პირდაპირი ზემოქმედების ფაქტორი. მაგალითად შენობებისთვის განსაზღვრული გათბობის ან გაგრილების დღეების რაოდენობა, ამინდი, საწარმოს ოპერაციული რეჟიმის საათები, დასაქმებულთა რიცხოვნობა და ა.შ. კვლევის შემდეგ ეტაპზე შეისწავლება სამრეწველო საწარმოს საამქროები და გამოვლინდება ის სეგმენტი, სადაც ადგილი აქვს სათბობის და ელექტროენერჯის ყველაზე მეტ მოხმარებას (UNIDO. 2022). კომპლექსური პირველი კატეგორიის საწარმოებისთვის ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვისკენ გზა გადის შენობების სერტიფიცირებაზე სამშენებლო სტანდარტების შესაბამისად. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანი ნაბიჯია საწარმოო მოწყობილობების და საოფისე ტექნიკის ენერგოეფექტური შესყიდვები. მაგალითად, ევროკავშირში მოქმედებს მინიმალური სტანდარტი ბაზარზე არსებული ძრავებისთვის, კერძოდ, 2021

წლიდან სავალდებულოა 0,12 კვტ-დან 1000 კვტ-მდე სიმძლავრის დიაპაზონის IE3 კლასის AC ძრავები, ხოლო 2023 წლიდან სავალდებულო იქნება 2,4,6 პოლუსიანი 75კვტ-დან 200 კვტ-მდე სიმძლავრის დიაპაზონის IE4 ძრავების შესყიდვები.

საცალო ვაჭრობის ობიექტის ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების (EnPIs) კვლევის ამ ეტაპზე უნდა დადგინდეს: საბაზისო დონე (Baseline), რომლის განსაზღვრის მიზანია ენერგოეფექტურობის გაზომვის საწყისი წერტილის შემუშავება. საფუძველია EnMS-ის განხორციელებამდე დასრულებული წელი და უპირატესობა ის არის, რომ მომავალი პერიოდის საბაზისო წელთან შედარება მარტივია. კუმულაციური ჯამის გამოყენება მიზანშეწონილია ენერგოდაზოგვაში მონაცემთა ჯამის საჩვენებლად, როდესაც ის იზრდება დროთა განმავლობაში, ეს საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მოცემული ღონისძიების მთლიანი წვლილი დროში. კუმულაციური ჯამი (CUSUM) წარმოადგენს განსხვავებას საბაზისო დონეს (მოსალოდნელი მოხმარება) და ფაქტობრივ მოხმარების წერტილებს შორის საბაზისო დონის პერიოდის განმავლობაში. კუმულაციური ჯამის გრაფიკული გამოსახულება არა მხოლოდ უზრუნველყოფს ტრენდის ხაზს, ის ასევე ითვლის დანაზოგს და აჩვენებს, როდის იწყება ენერგოეფექტურობა. საკვლევი ობიექტის ენერგოეფექტურობის მიზანი (Energy Efficiency Targets) განსაზღვრულია კანონით „ენერგოეფექტურობის შესახებ“, ის ხელს უწყობს ეფექტურობის სტრატეგიებისა და პოლიტიკის შემუშავებას და განხორციელებას. მსოფლიოს ქვეყნების მთავრობებს აქვთ მრავალი მიზეზი ენერგოეფექტურობის მიზნების შემუშავებისთვის, ის გულისხმობს მოქმედებებს პარიზის შეთანხმების ფარგლებში ეროვნულად განსაზღვრული წვლილის (Nationally Determined Contributions, NDCs) შესასრულებლად. საკვლევი ობიექტის მიერ მიერ გასული 2021 წლის და მონიტორინგის პერიოდის 2022 წლის 10 თვის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის ანალიზის შედეგად განისაზღვრა:

- 2022 წლის მოსალოდნელი მოხმარება, რომელიც აიღება საბაზისო დონედ Baseline, ის იანგარიშება რეგრესიის ფორმულით (3);
- დადგენილია ენერგოეფექტურობის კოეფიციენტი (რეალური მოხმარების ფარდობა მოსალოდნელ მოხმარებასთან), რომელიც შესაძლებელია იყოს 1-ზე მეტი, მაგრამ თუ 1-ზე ნაკლებია, ის უკვე აჩვენებს ენერჯის დაზოგვას. გამოვლენილია მონიტორინგის პერიოდში რეალური დანაზოგი

(რეალური მოხმარება მინუს მოსალოდნელი მოხმარება), რომელიც განპირობებულია შემთხვევითი ფაქტორებით და რაიმე სახის კანონზომიერებას არ ექვემდებარება (ნახ.13).



ნახ.13. მოხმარებული ელექტროენერჯის რეალური დანაზოგი (მონიტორინგის პერიოდში)

- წარმოდგენილია დანაზოგის კუმულაციური ჯამი (ყოველ ჯერზე, ახალი მნიშვნელობა ემატება წინა ჯამს და მონაცემების მთლიანი ჯამი დროთა განმავლობაში იზრდება);
- ენერგომომხმარებელი ობიექტის ენერგოეფექტურობის მიზანი (Energy Efficiency Target), შესაბამისობაში უნდა იყოს მთავრობის მიერ განსაზღვრულ ენერგოეფექტურობის გადიდების 18-25%-იან გრძელვადიან მიზნებთან, შესაბამისად, კვლევის ობიექტის რეალისტური სამიზნე დანაზოგის დადგენა ეფუძნება ენერჯის მოხმარებისა და დაზოგვის პოტენციალის საფუძვლიან გააზრებას და ჩვენს მიერ შედგენილმა ალგორითმმა 19,7% განსაზღვრა ყველაზე ოპტიმალურ მნიშვნელობად.
- წარმოდგენილია სამიზნე დანაზოგის კუმულაციური ჯამი (ცხრ. 13).

ცხრ. 13. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები

2021/2022	გაბ. პრაქტიკა: HDD	გაბილ. პრაქტიკა: CDD	მოხმარებ. ელენერგ. კვტბი	მოსალოდ. მოხმარება, საბაზო დონე Baseline	ენერჯიკი კოეფიცი.	რეალური დანაზოგი (მონიტ. პერიოდი)	რეალური დანაზოგის კუმულაციური CUSUM	მიზანი 19.7%	სამიზნე დანაზოგი	სამიზნე დანაზოგის კუმულაციური CUSUM target
01.01.21	372.5	0	2770	მონაცემები რეგრესიის ფორმულის შესაქმნელად						
02.01.21	268	2.6	2720	მოსალოდნელი მოხმარება, რეგრესიის ფორმულით						
03.01.21	284.1	0.7	2565	მონიტორინგის პერიოდი						
04.01.21	59.4	51.6	2461	მიზანი 19.7%-იანი შემცირება						
05.01.21	19.9	140.6	2360	სამიზნე კუმულაციური						
06.01.21	0.5	283.5	2108							
07.01.21	0	328.9	2154							
08.01.21	0	388.5	2155							
09.01.21	6.9	165.7	2184							
10.01.21	100.7	18.7	2258							
11.01.21	180.4	4.5	2525							
12.01.21	315.6	0.2	2780							
01.01.22	368.8	0	2855	2781	1.027	74	74	2233	-548	-548
02.01.22	250.3	1.3	2500	2621	0.954	-121	-47	2105	-516	-1064
03.01.22	338.3	2.2	2456	2739	0.897	-283	-331	2200	-540	-1604
04.01.22	75.7	60.4	2200	2363	0.931	-163	-494	1898	-466	-2070
05.01.22	44.1	85.2	2207	2311	0.955	-104	-598	1856	-455	-2525
06.01.22	0	242.2	2000	2190	0.913	-190	-788	1758	-431	-2956
07.01.22	0	321.9	2045	2158	0.948	-113	-901	1733	-425	-3382
08.01.22	0	372.5	2080	2138	0.973	-58	-960	1717	-421	-3803
09.01.22	4.7	218.6	2111	2205	0.957	-94	-1054	1771	-434	-4237
10.01.22	41.6	65.5	2256	2316	0.974	-60	-1114	1859	-456	-4693

საკვლევი ობიექტის სამიზნე მოხმარების ანგარიში დაეხმარება თანამშრომლებს დაზოგონ ელექტროენერგია კონკრეტული მიზნის მისაღწევად განსაზღვრული დროის განმავლობაში საბაზისო დონესთან შედარებით, ხოლო გრაფიკული გამოსახულება თვალსაჩინოდ გამოსახავს დასახულ მიზანს. საბაზისო დონის, დანაზოგის კუმულაციური ჯამის და მიზნის შესაბამისი გრაფიკი ნაჩვენებია ნახაზზე 14.



ნახ. 14. საბაზისო დონე, დანაზოგის კუმულაციური ჯამი და მიზანი

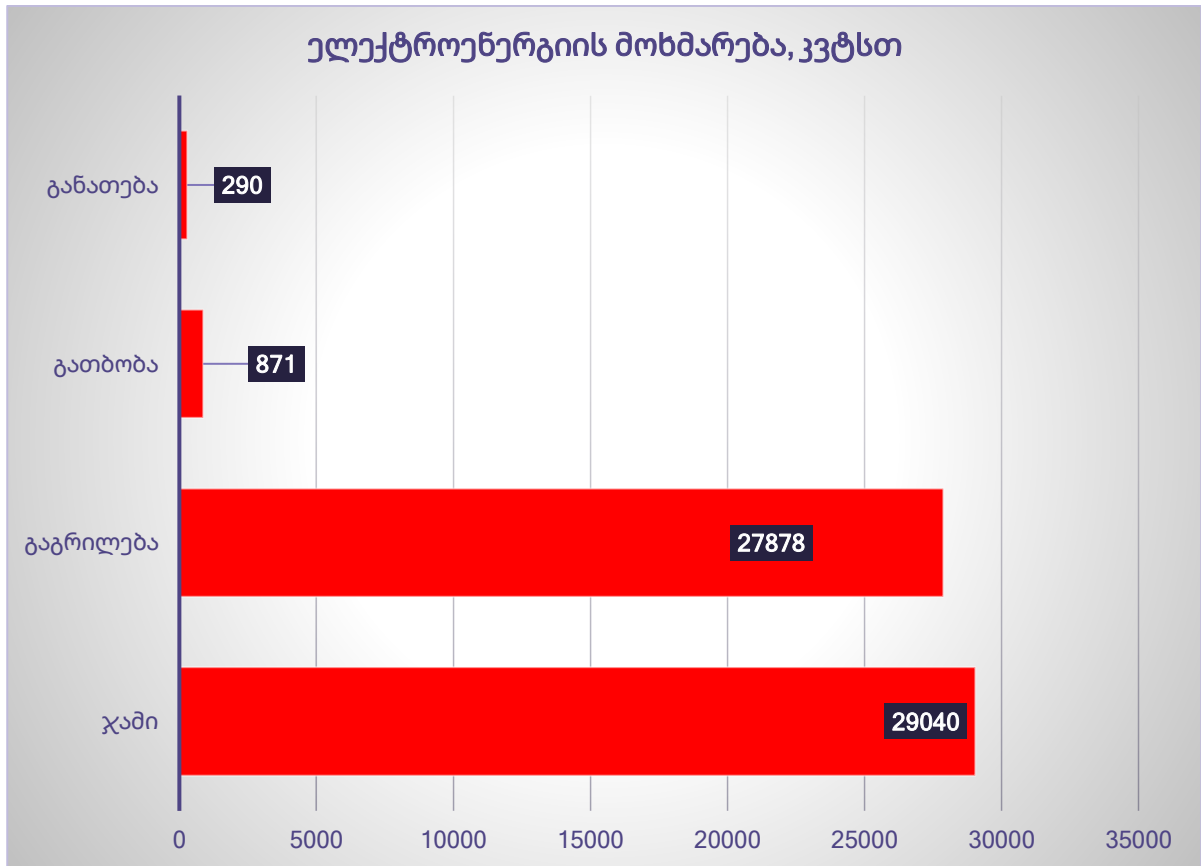
2.2. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლებების და დაზოგვის პოტენციალის გამოვლენა

დადგენილი მიზნის მისაღწევად განხორციელდა ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლების (Significant Energy Users, SEU) დეტალური კვლევა, თუ რომელი მომხმარებელი მოიხმარს ყველაზე მეტ ელექტროენერჯიას. კვლევის ობიექტის მთლიანი ფართობი შედგება გაყიდვების ზონისგან, სადაც მომხმარებელს შეუძლია დაუკავშირდეს ასორტიმენტს - 80მ²; ე.წ. ცივი ოთახი, სადაც ხდება პროდუქციის (მაცივრით) შენახვა - 20მ² და მთლიანი ფართობის ჯამი 100მ². კვლევამ აჩვენა, რომ ელექტროენერჯის მოხმარების უდიდესი ნაწილი მოდის გაგრილებასა და სამაცივრე განყოფილებაზე. გათბობისთვის იხარჯება ბ.გაზი, ხოლო განათებისთვის საჭირო ელექტროენერჯის ხარჯი უმნიშვნელოა. ე.წ. ცენტრალური გათბობის ქვაბი მოიხმარს ელექტროენერჯის მინიმალურ რაოდენობას, მაგრამ ის მაინც საჭიროა გარკვეული ფუნქციების შესასრულებლად, კერძოდ, ქვაბის აალებისთვის. გარდა ამისა, უკანა განათების ნათურები და დაჭკვიანი თერმოსტატები გამოიყენებენ ელექტროენერჯიას შენობის გათბობისა და ცხელი წყლით მომარაგებისთვის. ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები, მათი სიმძლავრეები, ელექტროენერჯის მოხმარების პროცენტული განაწილება და შესაბამისი ცვლადები წარმოდგენილია მე-14 ცხრილში.

ცხრილი 14. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები SEU

#	მომხმარებ.	შესაბამისი ცვლადი	სიმძლ., კვტ	სიმძლ., %	ელ. ენერგ. მოხმარება, %	ელ. ენერგ. მოხმარება, კვტსთ
1	გაგრილების სისტემა	ამინდი და მომხმარებლების რაოდენობა	10	47.62	96	27878
2	გათბობის სისტემა	ამინდი და მომხმარებლების რაოდენობა	10	47.62	3	871
3	განათება	სეზონი და მომხმარებლების რაოდენობა	1	4.8	1	290
ჯამი			21	100	100	29040

კვლევის ობიექტის ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები SEU, მათი სიმძლავრეები, ელექტროენერჯის მოხმარების პროცენტული განაწილება წარმოდგენილია ნახაზზე 15.



ნახ. 15. ენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები SEU

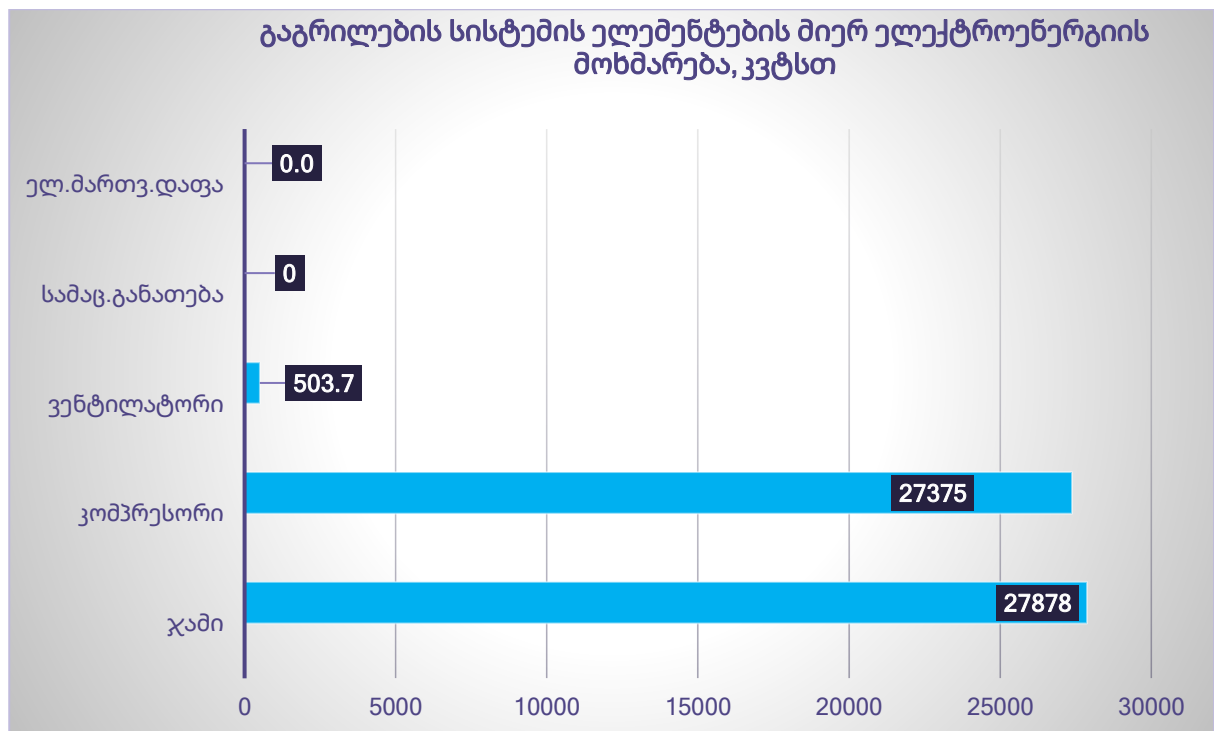
შემდეგ ეტაპზე გამოიკვეთა ენერგოდაზოგვის შესაძლებლობები (Energy Saving Opportunity, ESO): სამაცივრო ქვესისტემა არის ენერჯის ყველაზე დიდი მომხმარებელი ყველა ენერგეტიკული ქვესისტემებიდან. ელექტროენერჯის მოხმარების მიხედვით (გასათბობად ენერჯის მოხმარების გარეშე), გაგრილების სისტემა მოიხმარს სუპერმარკეტის მთლიანი ელექტროენერჯის მოხმარების უდიდეს ნაწილს. როგორც ენერგოაუდიტის პროცესმა გამოავლინა, კვლევის ობიექტს გააჩნია გაგრილების მოძველებული სისტემა, სადაც მთავარი ელექტრომომწოდებლობა სამაცივრო კომპრესორის ძრავა ცხელდება, ვიბრირებს და შესაბამისად საჭიროებს შეცვლას, გარდა ამისა, მას გააჩნის დაბალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი - 0,86%. კომპრესორის ძრავას მუშაობის საათები წლის განმავლობაში არის 2920 სთ/წელი, ყოველდღიურ რეჟიმში 8 საათიანი მუშა

ციკლის გათვალისწინებით. სამაცივარო სისტემის მოწყობილობა შედგება კომპრესორისგან, შიდა ვენტილატორისგან, განათების სქემებისგან და მართვის დაფისგან. ამ სისტემის ელექტრომობმარებაზე იხარჯება გამოყენებული ენერჯის უმეტესი ნაწილი და ამ სისტემის ელემენტებს შორის ენერჯის მოხმარებაც განსხვავებულია, კერძოდ, შიგა განათების და ელექტრონული მართვის დაფის მიერ ელექტროენერჯის მოხმარება ძალიან უმნიშვნელოა (იხ. ცხრ. 15).

ცხრ. 15. გაგრილების სისტემის ელემენტებს შორის ელექტროენერჯის მოხმარების განაწილება

გაგრილების სისტემის ელემენტები	სიმძლავრე, კვტ	ელექტროენერჯის მოხმარება, %	ელექტროენერჯის მოხმარება, კვტსთ
კომპრესორი	7.5	98	27375
ვენტილატორი	0.138	2	503.7
სამაცივრე სისტემის შიგა განათება	1.23	0.00	0.00
ელექტრონული მართვის დაფა	1.13	0.00	0.00
ჯამი	10	100	27878

კვლევის ობიექტის გაგრილების სისტემის ელემენტებს შორის ენერჯის მოხმარების პროცენტული განაწილება წარმოდგენილია ნახაზზე 16.



ნახ. 16. გაგრილების სისტემის ელემენტებს შორის ელექტროენერჯის მოხმარების განაწილება

გამოვლინდა ენერგოდაზოგვის სამიზნე, ანუ ენერჯის დაზოგვის პოტენციალი - კომპრესორის ძრავა, სიმძლავრე 7,5 კვტ. სამიზნე მაჩვენებლის მისაღწევად, (ელექტროენერჯის წლიური მოხმარება 23319 კვტსთ ნაცვლად 29040 კვტსთ), განხორციელდა კომპრესორის ძრავას შეცვლის მოდელირება, შემდეგ ეტაპზე კი იგეგმება გათბობის და განათების სისტემის მოდერნიზაცია.

გაგრილებას ექვემდებარება სუპერმარკეტის მომსახურების ზონა და მალფუჭებადი პროდუქტის შემნახველი ცივი ოთახი უარყოფითი ტემპერატურისთვის. გაგრილების სისტემა შედგება კომპრესორისაგან, კონდენსატორისგან და ერთი მიმღებისგან, რომლებიც ჩართულია წრედში და მდებარეობს გაყიდვების ზონის გარეთ. ზოგადად, დისტანციური გაგრილების სისტემები გამოიყენება სუპერმარკეტებში, რესტორნებში და სხვა ადგილებში, სადაც საკვები ინახება ან იყიდება. სუპერმარკეტებში მიღებულია გაგრილების სისტემის სიმძლავრის განსაზღვრა სამაცივრო ტევადობის მიხედვით. გაგრილების სისტემის სამაცივრო ტევადობა მოიცავს მონაცემებს, თუ რამდენ პროდუქტს ინახავს სამაცივრო ბლოკში და გაყიდვის ზონის გაგრილებისთვის საჭირო ენერჯის მოთხოვნილ რაოდენობას. კვლევის ობიექტი მოიცავს გასაყიდი საქონლის ფართო ასორტიმენტს, როგორცაა ხორცი, ხორცპროდუქტები, რძის ნაწარმი, ცომეული, ხილი, ბოსტნეული, გამაგრილებელი და ალკოჰოლური სასმელები და ა.შ. გაგრილების დატვირთვის გასაანგარიშებლად მნიშვნელოვანია, თუ რამდენი სიმძლავრე იქნება საჭირო სხვადასხვა წყაროდან გენერირებული სითბოს ასარინებლად. გაგრილების დატვირთვა იცვლება დღის განმავლობაში, ასე რომ, უმეტეს შემთხვევაში, საშუალო გაგრილების დატვირთვა და გაგრილების სიმძლავრე გამოითვლება ამის შესაბამისად. ანგარიში იწყება ცივი ოთახის (საწყობის) აღწერით და ზომის განსაზღვრით. გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო კომპონენტები საკვლევი სუპერმარკეტისთვის წარმოდგენილია ცხრილში 16.

კვლევის ობიექტის საერთო ფართი -100მ² მოიცავს გაყიდვების ზონას-80მ² და ცივ ოთახს (საწყობი)-20მ². საწყობის ზომებია: სიგრძე-5მ, სიგანე-4მ და სიმაღლე-3მ. გარე ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურა 30°C, ხოლო შიგა ჰაერის ტემპერატურა -1°C. გრუნტის ტემპერატურაა 10°C. კედლები, სახურავი და იატაკი იზოლირებულია, U - ს მნიშვნელობაა 0.28 ვატი/მ².კელვინი (ცხრ.17)

ცხრ.16. გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო კომპონენტები სამაცივრო ტევადობის მიხედვით

გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო კომპონენტები	გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო ფორმულები
Q - შემაჯავლი თბური დატვირთვა, კვტსთ/დღე	$Q = U \times A \times (t_1 - t_2) \times 24(\text{სთ}) \div 1000$ (კონვერტაცია ვატიდან კვტ-ში)
	U- თბოგადაცემის კოეფიციენტი (ვატი/მ ² . კელვინი)
	A-სახურავის და იატ.კედლებ.ზედაპ.ფართობი(მ ²)
	t ₁ ტემპერატურა = ჰაერის ტემპ.ოთახში (°C)
	t ₂ ტემპერატურა = გარე ჰაერის ტემპ.(°C)
Q - გასაყიდი პროდუქციის გაგრილების დატვირთვა, კვტსთ	$Q = m \times C_p \times (\text{გარე ტემპ.} - \text{შიგა ტემპ.}) / 3600$ (კონვერტაცია კჯ-დან კვტ/სთ-ში)
	m - ახალი პროდუქტის მასა დღეში, კგ
	C _p -პროდუქტის სითბოტევადობა. (კჯ/კგ.°C)
Q - ცოცხალი პროდუქტის თბური ენერჯია, კვტსთ (ხილი და ბოსტნეული, რომლებსაც გააჩნიათ მაღალი სითბოტევადობა)	$Q = \text{ცოცხ.პროდ.მასა (კგ)} \times \text{ცოცხ.პროდუქტის სითბოტევადობა (კჯ/კგ)} / 3600$
Q - საწყობში მომუშავეთა მეტაბოლური სითბო, კვტსთ	$Q = \text{საწყ.მომუშავე ადამიან.} \times \text{დრო} \times \text{სითბო} / 1000$
Q - ნათურების დატვირთვა, კვტსთ	$Q = \text{ნათურების რაოდენობა} \times \text{დრო} \times \text{ვატი} / 1000$
Q - ვენტილატორის დატვირთვა, კვტსთ (ვენტილატორი გამოყოფს სითბოს მუშაობის პროცესში)	$Q = \text{ვენტილატორები} \times \text{გაღლობის დრო} \times \text{ვატი} / 1000$
Q - ამორთქლებლის გაღობით გამოწვეული თბური დატვირთვა, კვტსთ (ამორთქლებელი საჭიროებს გაღობას, რა დროსაც გამოიყოფა სითბო)	$Q = \text{გამაღობელი ელემენტის სიმძლავრე} \times \text{გაღობის დრო} \times \text{დღეში გაღობის ციკლის რაოდენობა} \times \text{ეფექტურობა}$
Q - ინფილტრაციის დატვირთვა, კვტსთ	$Q = \text{ჰაერის ცვლის ჯერადობა} \times \text{მოცულობა} \times \text{ენერჯია} \times (\text{გარე ტემპ.} - \text{შიგა ტემპ.}) / 3600$

10 კვტ-იანი სამაცივრო ბლოკის შესაბამისი ახალი კომპრესორის ძრავას არჩევა განხორციელდა სიმძლავრის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის (ეფექტიანობის) მიხედვით სამრეწველო სტანდარტების და უსაფრთხოების ტექნიკის წესების გათვალისწინებით.

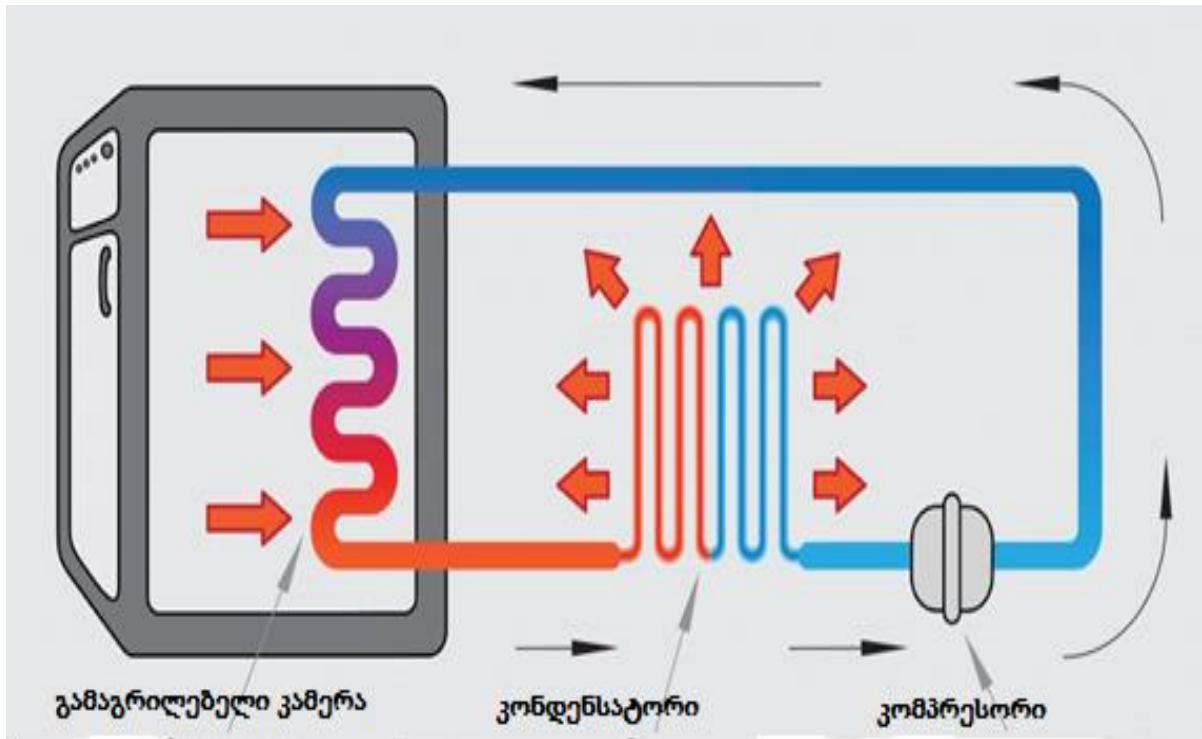
დისტანციური გაგრილების სისტემის კომპრესორის დანიშნულებაა სისტემაში გამაცივებელი ნივთიერების მიმოქცევა წნევის ქვეშ, სადაც დაბალი წნევის გამაცივებელი იცვლება მაღალი წნევით. სუპერმარკეტებში, მცირე სამრეწველო საწარმოებსა და საზოგადოებრივი სერვისის სხვა ობიექტებში გამოიყენება სამაცივრო გამაგრილებლის კომპრესორი, რომლის მუშაობის პრინციპი გამოსახულია მე-17 ნახაზზე.

ცხრ. 17. კვლევის ობიექტის გაგრილების დატვირთვის ანგარიში

Q - კვტს/დღე, თბური დატვირთვა (სახურავი + კედლები)	14
U - იზოლაციის მნიშვნელობა (ვატი/მ ² .კელვინი)	0.28
A - სახურ.და კედლ.ზედაპ. ფართობი (მ ²)	74
t1 ტემპერატურა = ჰაერის ტემპ.ოთახში (°C)	30
t2 ტემპერატურა = გარე ჰაერის ტემპ.(°C)	-1
მხარე 1 = 5მ x 3მ = 15მ ²	15
მხარე 2 = 5მ x 3მ = 15მ ²	15
მხარე 3 = 4მ x 3მ = 12მ ²	12
მხარე 4 = 4მ x 3მ = 12მ ²	12
სახურავი = 5მ x 4მ = 20მ ²	20
იატაკი = 5მ x 4მ = 20მ ²	20
t1 ტემპერატურა = იატაკის ტემპ. ოთახში (°C)	10
t2 ტემპერატურა = გარე ჰაერის ტემპ. (°C)	-1
Q - კვტს/დღე, თბური დატვ.(იატაკი)	1.2
m-ახალი პროდუქტების მასა ყოველ დღე (კგ)	4000
Cp-პროდ.სპეციფ.სითბოს სიმძლ. (კჯ/კგ.°C)	3.65
t1- პროდ. შესვლის ტემპერატურა (°C)	21
t2 - საწყობის ტემპერატურა (°C)	-1
Q - კვტს/დღე, პროდუქტის დატვ.	81
M - ცოცხ. პროდუქტების მასა, (კგ)	2000
ცოცხ.პროდუქტის სითბოტევადობა (კჯ/კგ)	1.9
Q - კვტს/დღე, ცოცხ.პროდ.თბური.დატვ.	1.06
მომუშავე (კაცი)	4.00
დრო (საათი)	6.0
სითბო, ერთ ადამიანზე საათში (ვატი)	270
QQQ- კვტს/დღეში ადამიანების დატვ.	6.48
ნათურა (ვალი)	4
მუშაობის დრო, (სთ)	6
სიმძლავრე (ვტ)	60
Q - ნათურების დატვირთვა, (კვტს/დღე)	1.44
ვენტილატორი (ვალი)	1.00
მუშაობის დრო, (სთ)	14
სიმძლავრე (ვტ)	135
Q - ამორთქლ.ვენტილატ.დატვირთვა, (კვტს/დღე)	1.9
გამალღობელი ელემენტის სიმძლავრე (კვტ)	0.90
გალღობის დრო, (სთ)	0.5
გალღობის ციკლი დღეში, (სთ)	3
ეფექტურობა, %	0.30
Q - ამორთქლ.გალღობის დატვირთვა (კვტს/დღე)	0.4
ჰაერის ცვლის ჯერადობა (რაოდ/დღეში)	7
საწყობის მოცულობა (მ ³)	20
ენერგია კუბ მეტრზე კჯ/ (°C)	2
გარე ტემპერატურა, (°C)	30
შიგა ტემპერატურა, (°C)	-1
Q - ინფილტრაციის დატვირთვა კვტს/დღე)	2.26
ჯამური დატვირთვა, კვტს/დღე	110
უსაფრთხოების კოეფიციენტი (უკ), 27%	1.27
ჯამური დატვირთვა (უკ)-ით, კვტს/დღე	140
სამაცივრო განყოფ. მუშაობის დრო, სთ	14
სამაცივრო ბლკის საბოლოო სიმძლავრე, კვტ	10.00

კვლევის ობიექტის ცივი ოთახისთვის (საწყობი), შედარებით დაბალი სპეციფიკური სიმძლავრის გათვალისწინებით, რეკომენდებულია სისტემაში არსებული ელექტროძრავა, რომელიც დამზადებული და შექმნილი იყო წინა

საუკუნის 2000-იან წლებში, შეიცვალოს ახალი მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტის ანუ ენერგოეფექტური ძრავით.



ნახ. 17. მცირე სამაცივრო გამაგრილებლის სქემა

ენერგოეფექტურ ძრავაში გამოყენებულია უფრო მძიმე გულარები, მაღალი ხარისხის მასალები, მაგალითად, გრაფნილის სადენებისთვის გამოიყენება მაღალი სინჯის სპილენძი, გარდა ამისა, გაუმჯობესებულია ძრავის კონსტრუქცია. ამ ღონისძიებით შესაძლებელია მომსახურების საწარმოსთვის ეკონომიკური სარგებლის და ენერჯის დაზოგვის (კვტსთ/წელიწადში) მიღება. კვლევაში შეფასდა ძრავას ღერძზე არსებული მექანიკური სიმძლავრე, დადგინდა დამოკიდებულება დამონტაჟებულ სამაცივრო აღჭურვილობის სიმძლავრესა და სუპერმარკეტის გაყიდვების ზონას შორის. ძრავის შერჩევის დროს ყურადღება ექცევა ქსელის ძაბვას. 0,4კვ ძაბვის ქსელზე მიერთება შეუძლია სერვისის ობიექტებს, სამშენებლო ან სარემონტო ელექტროდანადგარებს არაუმეტეს 30კვტ სიმძლავრით ელექტროენერჯის მომარაგებისთვის (Cosenza E. et al. 2019). ძრავების მწარმოებელი ფირმები ითვალისწინებენ ძაბვის ცვლილების შესაძლებლობასაც, მაგრამ ცვლილება 10%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. მაგალითად,

მაღალეფექტური ძრავი 380 ვოლტიან ქსელში 340 ვოლტ ძაბვაზეც მუშაობს. კვლევის ობიექტი 0,4კვ (380/220ვ) ძაბვის ქსელით არის დაკავშირებული ელექტროსისტემასთან. კომპრესორის მუშაობის პრინციპი ემყარება მაცივარი აგენტის აორთქლების გზით თხევადიდან გაზურ მდგომარეობაში გადაქცევას და აორთქლება აციებს გარშემო არსებულ სივრცეს. აქედან გამომდინარე, მაცივარი არის მოწყობილობა, რომელიც მუშაობს იმ პრინციპით, რომ სითხის აორთქლება იძლევა გაგრილების ეფექტს. გაგრილების ციკლის მისიაა სითბოს შთანთქმა და სითბოს გადატანის საშუალება იმ ადგილიდან, რომლის გაგრილებაც სურთ. ეს მიიღწევა მუშა გამაცივებელის (ჰაერი, წყალი, სხვა გამაცივებელი ნივთიერება და ა.შ.) წნევის მანიპულირებით შეკუმშვისა და გაფართოების ციკლის მეშვეობით. ძირითადი ციკლის ოთხი ფუნდამენტური ელემენტია კომპრესორი, კონდენსატორი, გაფართოების მოწყობილობა, ამორთქლებელი. შეკუმშვა არის პირველი ნაბიჯი გაგრილების ციკლში, ხოლო კომპრესორი არის აღჭურვილობის ნაწილი, რომელიც ზრდის გამაგრილებელი აგენტის წნევას. გამაგრილებელი აგენტი შედის კომპრესორში დაბალი წნევით და ტემპერატურით და ტოვებს კომპრესორს მაღალი წნევით და ტემპერატურით. კონდენსატორის კოჭა არის სითბოს გადამცვლელი, რომელიც გამოიყენება ძირითად სამაცივრო მარყუჟში. ამ კომპონენტს მიეწოდება კომპრესორიდან გამომავალი მაღალი ტემპერატურის და წნევის აორთქლებული მაცივარი აგენტი. კონდენსატორი გარდაქმნის ორთქლს თხევად მდგომარეობაში, კონდენსატად. კონდენსაციის შემდეგ, მაცივარი აგენტი წარმოადგენს მაღალი წნევის და დაბალი ტემპერატურის სითხეს, რომლის დროსაც ის მიეწოდება მარყუჟის გაფართოების მოწყობილობას. ამ მოწყობილობის ფუნქციაა შექმნას წნევის ვარდნა მას შემდეგ, რაც გამაგრილებელი დატოვებს კონდენსატორს. წნევის ეს ვარდნა გამოიწვევს გამაგრილებლის ნაწილის სწრაფად ადუღებას, რაც ქმნის ორფაზიან ნარევს. სწრაფი ფაზური ცვლილება ეხმარება წრედის შემდეგი ნაბიჯის, აორთქლების ფუნქციის შესრულებას. ამორთქლებელი არის მეორე სითბოს გადამცვლელი სტანდარტულ სამაცივრო წრედში, ის ემსახურება სამაცივრო ციკლის „საქმიანობის დასასრულს“, ანუ შთანთქავს სითბოს. ამის შემდეგ, მაცივარი აგენტი იგზავნება კომპრესორში, სადაც პროცესი განახლდება. კომპრესორი ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილია, ის ავრცელებს მაცივარ აგენტს მთელ წრედში და ქმნის გაგრილების ეფექტს.

სუპერმარკეტებში გამოიყენება სამაცივრო სისტემების კონდენსატორული დანადგარები, რომელიც არის მცირე ზომის სამაცივრო მოწყობილობა ერთი კომპრესორით, ხოლო კონდენსატორი დამონტაჟებულია პატარა სამანქანო (დამხმარე) ოთახში (საქართველოს სტანდარტები. 2010). ძრავას შერჩევის დროს გასათვალისწინებელია შემდეგი ფაქტორი: პროექტირებისას ცდილობენ უფრო მაღლა ასწიონ სიმძლავრე, რადგან უფრო მძლავრი ძრავა მეტად უზრუნველყოფს აუცილებელი სიმძლავრის განვითარებას.

2.3. ენერგეტიკული და ფინანსური გამოთვლები, პროექტის შეფასება

ახალი ტექნიკის დანერგვით მიღებული ელექტროენერჯის და ფინანსური დანაზოგის განსაზღვრა არის ენერგოაუდიტის პროცესის მნიშვნელოვანი ნაწილი. კვლევის ობიექტისთვის განხილულია სხვადასხვა ტიპის კომპრესორის ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი (ეფექტიანობა), ფასები და ფუნქციური მახასიათებლები 1,1-დან 400 კვტ-მდე დიაპაზონისთვის, რომლითაც შესაძლებელია დაზოგვის დაუყოვნებელი შეფასება კვტსთ/წელში. კომპრესორის არჩევა განხორციელდა სიმძლავრის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის (ეფექტიანობის) მიხედვით (საქართველოს სტანდარტები და მეტროლოგია. 2017). თანამედროვე ენერგოეფექტური ძრავების მქკ 0,90 - 0,96 ფარგლებში მერყეობს, მაგრამ მათი შესაბამისი სიმძლავრე მაღალია. ჩვენს კვლევაში რეკომენდებულია შედარებით დაბალი სიმძლავრის 7,5 კვტ ძრავა, რომელსაც გააჩნია 90%-იანი მქკ. საქართველოს პირობებში შესაძლებელია ტექნიკური მოწყობილობების შეძენა როგორც ადგილობრივ ბაზარზე ასევე ინტერნეტ სავაჭრო პლატფორმებიდან გამოწერა. კვლევის ობიექტისთვის რეკომენდებულია შესაბამისი სამაცივრო კომპრესორი, შესაფერისი ბოსტნეულის, ხილის, ხორცის, ზღვის პროდუქტების და ა.შ. შენახვისთვის. მისი საბაზრო ღირებულება ადგილობრივი ვალუტის შესაბამისი კურსით 3840 ლარია (სავალუტო კურსის 2022წ. ოქტომბერ-ნოემბრის მდგომარეობით) (ნახ.18).



ნახ.18. ინდუსტრიული მცირე სამაცივრო კომპრესორი ცივი შენახვისთვის

ახალი ტექნიკის დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობა და მიღებული ელექტროენერჯის და შესაბამისი ფინანსური დანაზოგი დაკავშირებულია ისეთი ფაქტორებთან, როგორცაა მოწყობილობის მუშაობის საათების წლიური რაოდენობა და ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი. წლიური ენერგოდანაზოგი იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებით (4):

$$ES = \left\{ \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) * f \right\} * \Xi \quad (4)$$

სადაც p - ელექტროძრავას სიმძლავრე (კვტ); t - მოწყობილობის გამოყენების საათების წლიური რაოდენობა (სთ); Ξ - მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, (p*t) (კვტსთ); η_1 - არსებული (არაეფექტური) ელექტროძრავას მქკ (%); η_2 - ახალი (ენერგოეფექტური) ელექტრო ძრავას მქკ (%); f - მოხმარებული ელექტროენერჯის ერთეულის ტარიფი, (ლარი/კვტსთ); ES - ელექტროენერჯის დანაზოგი (ლარი/წელი);

საქართველოში დადგენილი ტარიფების შესახებ არღებულ დოკუმენტიდან, ქ.თბილისის ტერიტორიაზე მოქმედი არასაყოფაცხოვრებო მომხმარებლებისთვის, რომლებიც 0,4 კვ ძაბვის ქსელით არიან დაკავშირებული ელექტროსისტემასთან, ტარიფია 32,931 თეთრი/კვტსთ დღ-ს ჩათვლით. ზოგადად, ძრავას (კომპრესორის) დატვირთვა არ არის მუდმივი სიდიდე, ის დროში იცვლება, რადგან მუშა ციკლებს შორის გარკვეულ პერიოდებში ამოირთვება (8 საათი/დღეში, ანუ ასრულებს 33% სავალდებულო ციკლს)

(სამსონია, ნ., და სხვ. 2017) შესაბამისად, კვლევის ობიექტის კომპრესორი მუშაობს დღეღამეში 8 საათის განმავლობაში. ახალი ტექნიკის მარტივი უკუგების ვადა იანგარიშება (5) გამოსახულებით:

$$PB = \frac{K}{ES} \quad (5)$$

სადაც K - ახალი ენერგოეფექტური ძრავას ღირებულება, (ლარი); PB - ახალი ტექნიკის უკუგების ვადა, (წელი), ES - ელექტროენერჯის დანაზოგი (ლარი/წელი).

ახალი დიზაინის ალგორითმის შესაბამისად, ენერგოეფექტური ძრავას შეცვლით მიიღება 1002 ლარის დაზოგილი ენერჯია წლის განმავლობაში, ხოლო მარტივი უკუგების ვადაა 4 წელი (ცხრ. 18).

მარტივი უკუგების ვადა არის დროის ხანგრძლივობა, რომელიც ესაჭიროება ინვესტიციის ღირებულების ანაზღაურებას. მოკლევადიანი ანაზღაურება ნიშნავს უფრო მიმზიდველ ინვესტიციას და თუ გავითვალისწინებთ, რომ ენერგეტიკული დანადგარები მაღალი კაპიტალდაზანდებით ხასიათდებიან და შესაბამისად უკუგების ვადა მერყეობს 2-დან 5 წლამდე, ენერგოეფექტური ძრავას უკუგების ვადა 4 წელი პოზიტიური მაჩვენებელია.

ცხრ.18. ენერგოეფექტური ტექნოლოგიის დანერგვის ანგარიში

ახალი მაღალეფექტური ძრავას ღირებულება K(ლარი)	3840
მოხმარებული ელექტროენერჯის ერთეულის ფასი f (თეთრი/კვტსთ)	32.93
მოხმარებული ელექტროენერჯის ერთეულის ფასი f (ლარი/კვტსთ)	0.32931
ძრავას სიმძლავრე P (კვტ)	7.5
არსებული (არაეფექტური) ელექტრო ძრავას მქე η1 (პროცენტებში)	80
ახალი (ენერგოეფექტური) ელექტრო ძრავას მქე η2 (პროცენტებში)	90
არსებული (არაეფექტური) ელექტრო ძრავას მქე η1(ფარდობით ერთეულებში)	0.8
ახალი (ენერგოეფექტური) ელექტრო ძრავას მქე η2 (ფარდობით ერთეულებში)	0.9
მოწყობილობის გამოყენების წლიური რაოდენობა t (სთ/წელი)	2920
მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა E (კვტსთ/წელი)	21900
ელექტროენერჯის დანაზოგი (კვტსთ/წელი)	3042
ენერჯო დანაზოგი ES (ლარი/წელი)	1002
უკუგების ვადა PB (წელი)	4

ენერგეტიკული პროექტის რეალიზაციის პროცესში დროში გახანგრძლივებამ შესაძლოა გამოიწვიოს ფინანსურ დანახარჯები, ამიტომ ამ მეთოდის საშუალებით შეიძლება განვსაზღვროთ პროექტის დადგენილ ვადაში დასრულების ალბათობა. შესაბამისად, განხორციელდა ენერგოეფექტური პროექტის დაგეგმვა

განუსაზღვრელობის პირობებში პროგრამული უზრუნველყოფა ProjectLibre საშუალებით (ბოჭორიშვილი, ლ., და გუდიაშვილი, მ. 2011ა). ქსელური დიაგრამის ასაგებად საჭიროა ოპერაციების დალაგება ლოგიკური თანმიმდევრობით და უნდა განისაზღვროს ამა თუ იმ ოპერაციის შესაბამისი განხორციელების პერიოდი. განტის გრაფიკის აგება ითხოვს ინფორმაციას, რომელიც მიიღება ქსელური გრაფიკის დროითი მახასიათებლების ანალიზის შედეგად. დიაგრამის აგების პროცედურის დასაწყისში გამოიყენება ოპერაციების დაწყების უადრესი დრო, სადაც წარმოდგენილია თითოეული ოპერაციის ხანგრძლივობა და შესაბამისად, თითოეული დავალების განფენა დროში. დაგეგმვის ძირითადი მიზანია კრიტიკული გზაზე მდებარე ამოცანების გამოვლენა, რადგან ამ ამოცანებს დროის რეზერვი არ გააჩნიათ და დიდია ალბათობა, რომ ამ გზაზე დაყოვნებამ გამოიწვიოს შეფერხება და შესაბამისად, დაგეგმილ დროში ჩამორჩენა. კრიტიკული გზის ელემენტები და ამ დავალებების შესრულების პროცესში გამოვლენილი უზუსტობები შესაძლებელია ამ ეტაპზე დაკორექტირდეს პროექტის ხელმძღვანელობის მიერ (ბოჭორიშვილი, ლ., და გუდიაშვილი, მ. 2011ბ). პროექტის ფარგლებში განსახორციელებელი ღონისძიებები, ანუ ოპერაციები და მათი თანამიმდევრობა დროში, თუ რომელი ოპერაცია უნდა დასრულდეს, რომ დაიწყოს შემდეგი ან რომელი ოპერაციების განხორციელება არის შესაძლებელი ერთდროულად, წარმოდგენილია ცხრილში (ცხრ. 19).

ცხრ.19. პროექტის ფარგლებში განსახორციელებელი ღონისძიებები

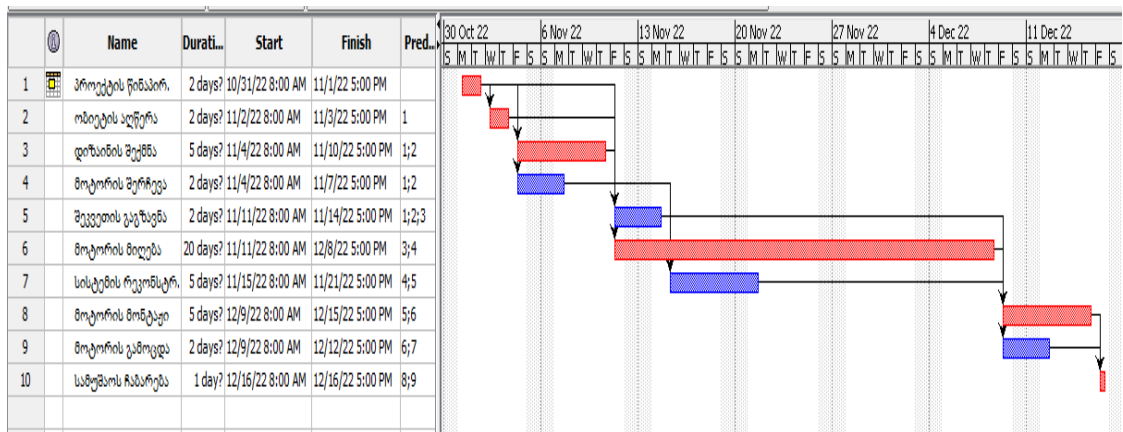
აღნიშვნა	ოპერაციის აღწერა	უშუალო წინამორბედი
1	პროექტის წინაპირობები, ობიექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური საქმიანობის შესწავლა	
2	ობიექტის (სუპერმარკეტის) აღწერა	1
3	დიზაინის შექმნა	1;2
4	გაგრილების სისტემის კომპრესორის ძრავის შერჩევა	1;2
5	შეკვეთის გაგზავნა	1;2;3
6	დანადგარის მიღება	3;4
7	სისტემის რეკონსტრუქცია	4;5
8	ძრავის მონტაჟი	5;6
9	ძრავის გამოცდა	6;7
10	შესრულებული სამუშაოს ჩაბარება	8;9

ოპერაციების აღნიშვნები და სავარაუდო დრო დღეებში წარმოდგენილია ცხრ. 20.

ცხრ. 20. ოპერაციების აღნიშვნები და სავარაუდო დრო

აღნიშვნა	კმედება	უშუალო წინამორბედი	ნორმალური დრო (M)
1	A	---	2
2	B	A	2
3	C	A;B	5
4	D	A;B	2
5	E	A;B;C	2
6	F	C;D	20
7	G	D;E	5
8	H	E;F	5
9	I	F;G	2
10	Finish	H;I	1

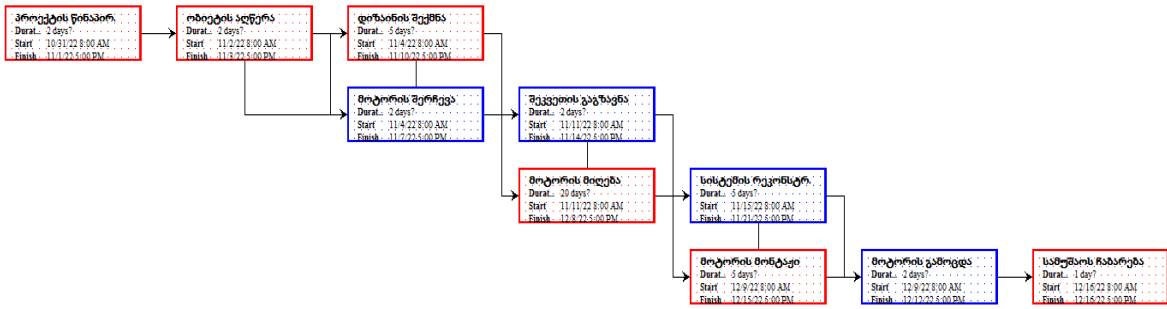
პროექტის დასრულებას სავარაუდოდ სჭირდება 46 დღე. კომპიუტერული პროგრამა ProjectLibre გამოიყენება ე.წ განტის გრაფიკის ასაგებად, რომელიც წარსულში ხელით იგებოდა და საკმაოდ შრომატევად პროცესს წარმოადგენდა (ნახ. 19).



ნახ. 19. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტური პროექტის განტის გრაფიკი

ენერგოეფექტური პროექტის ქსელური დიაგრამა უფრო დეტალურ ინფორმაციას შეიცავს თითოეული ოპერაციის დაწყების და დასრულების ვადების ჩვენებით იგივე პროგრამის საშუალებით (ნახ.20).

კომპიუტერული პროგრამის საშუალებით პროექტის მიმდინარეობის საწყის ეტაპზე მითითებული იქნა დასაწყისი 2022 წლის 31 ოქტომბერი ხოლო დასრულების შესაძლო ვადაა 2022 წლის 16 დეკემბერი. შემდეგი ეტაპისთვის გამოყენებულია პროექტის შეფასების ტექნიკა Project Evaluation Reviw Technique.



ნახ.20. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტური პროექტის ქსელური დიაგრამა

PERT-ის გამოყენებისას თითოეული ოპერაციისათვის სავარაუდო დაშვებებია - ოპტიმისტური ან პესიმისტური ან ალბათური დრო. დროთა ეს რიგი უზრუნველყოფს იმ განუსაზღვრელობის გაზომვას, რომელიც საჭიროა ოპერაციის შესრულებისათვის მომავალში. პროექტის დასრულების ვადის არასწორი განსაზღვრა, შეიძლება შეიცვალოს პროექტის შესრულების დროის შესაძლო საზღვრების და მათთან დაკავშირებული ალბათობების დადგენით (Jishkariani M., et al. 2020). დროის ოპტიმისტური შეფასება (O) გულისხმობს ამოცანის შესრულებას მინიმალურ ვადაში. ამოცანის შესრულების პესიმისტური შეფასება (P) გულისხმობს ამოცანის შესრულებას მაქსიმალურ ვადაში, ხოლო ნორმალური (M) ვადა ნორმალურ პირობებში სამუშაოს დასრულებას განმარტავს. სტატისტიკური საშუალო (T_e) დროის გამოსათვლელი ფორმულაა (6):

$$T_e = \frac{(O+4M+P)}{6}. \quad (6)$$

კრიტიკული გზა ეს ისეთი ჯაჭვია, რომელზე მდებარე ამოცანები საბოლოო ამოცანამდე მისვლას შეაფერხებს. შემდეგი ეტაპისთვის განსაზღვრულია i-ური ამოცანის ვარიაციის დადგენა შემდეგი გამოსახულებით (7):

$$V_i = \left(\frac{P-O}{6}\right)^2. \quad (7)$$

ნებისმიერი i-ური ამოცანის სტანდარტული გადახრის დასადგენად გამოყენებულია გამოსახულება (8):

$$G_i = \frac{P-O}{6}. \quad (8)$$

ამოცანების ვარიაციების ჯამი, რომლებიც კრიტიკულ გზაზე განლაგდნენ გამოსახულება (9) გამოსახულებით:

$$\text{კრიტიკული ამოცანების ვარიაციების ჯამი: } \sum Vc. \tag{9}$$

დისპერსია გამოითვლება კრიტიკული გზის ვარიაციების ჯამის კვადრატული ფესვის საშუალებით (10):

$$\sigma_{TE} = \sqrt{\sum Vc}. \tag{10}$$

საბოლოოდ ალბათობის ნორმალური განაწილების ფუნქციის არგუმენტის გამოთვლის ფორმულაა (11):

$$Z = \frac{D-K}{\sigma_{TE}}. \tag{11}$$

სადაც D წარმოადგენს პროექტის განხორციელების წინასწარ დაგეგმილ ვადას, K არის იმ ამოცანების ჯამი, რომელთაც დროის რეზერვი არ გააჩნიათ. σ_{TE} - კრიტიკულ გზაზე მდებარე ამოცანების დისპერსია (Jishkariani M., et al. 2021).

ალბათობის პროცენტული გამოსახულება აიღება ნორმალური სტანდარტული განაწილების მნიშვნელობათა ცხრილიდან Z-ის შესაბამისი მნიშვნელობა. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტური პროექტის PERT-ანალიზით სტატისტიკური საშუალოს, ვარიაციებისა და სტანდარტული გადახრის გაანგარიშებით დადგენილია K (იგივე EF-Early finish) და კრიტიკულ გზაზე მდებარე ოპერაციების ჯამი, რომელიც შეადგენს 46 დღეს (ცხრ.21).

ცხრ. 21. ოპერაციების მიმდინარეობის ვარიაციები, სტანდარტული გადახრა და კრიტიკული გზა

#	ოპერაციის დასახელება	ოპტ. დრო O	ალბ. დრო M	პეს. დრო P	მოს.დრო Te (O+4M +P)/6	ვარიაცია Vi [(P-O)/6]2	სტან. გადახრა G (P-O)/6	კრიტ. გზის ვარიაც. ჯამი $\sum Vc$	კრიტ. გზა
1	პროექტ.წინაპ.შესწავლა	1	2	3	2	0,11	0,33	0,11	2
2	ობიექტის აღწერა	1	2	3	2	0,11	0,33	0,11	2
3	დიზაინის შექმნა	4	5	6	5	0,11	0,33	0,11	5
4	ძრავას შერჩევა	1	2	3	2	0,11	0,33	0,11	2
5	შეკვეთის გაგზავნა	1	2	4	2	0,25	0,50	0,25	2,17
6	დანადგარის მიღება	19	20	24	20	0,69	0,83	0,69	20,5
7	სისტემის რეკონსტრ.	4	5	6	5	0,11	0,33	0,11	5
8	ძრავას მონტაჟი	4	5	6	5	0,11	0,33	0,11	5
9	ძრავას გამოცდა	1	2	4	2	0,25	0,50	0,25	2,17
10	სამუშაოს ჩაბარება	1	1	2	1,2	0,03	0,17	0,03	1,17
								$\sum Vc = 1,89$	EF = 47
								$\sigma_{Te} = 1,37$	

პროექტის დასრულების დაგეგმილი დრო შეადგენს 46 დღეს, ხოლო კრიტიკულ გზაზე მდებარე ამოცანათა ჯამი შეადგენს 47. შესაბამისად ალბათობის ნორმალური განაწილების ფუნქციის არგუმენტი: $Z=(46-47)/\sqrt{1,89}=-0,72$. ნორმალური სტანდარტული განაწილების მნიშვნელობათა ცხრილში Z-ის მნიშვნელობისათვის პროექტის დაგეგმილ ვადაში განსაზღვრული ალბათობაა 23%. პროექტის დადგენილ ვადაში დასრულების ალბათობის 99%-მდე გასაზრდელად, საჭიროა ე.წ. „გვიანი ფინიში“ გაიზარდოს 3 დღით და გახდეს 50 დღე. შემდეგ ეტაპზე განხორციელდა სუპერმარკეტის ენერგოეფექტური პროექტის ფინანსური ანალიზი (არაბიძე, გ. და სხვ. 2014). პროექტის სავარაუდო ღირებულება შეადგენს 5000 ლარს. შეფასებულია თითოეული ამოცანის ღირებულება ნორმალური, ალბათური და პესიმისტური პირობებისთვის. გამოთვლილია თითოეული ოპერაციის სავარაუდო ღირებულების სტატისტიკური საშუალო, ვარიაციები და სტანდარტული გადახრა. გამოთვლების შედეგად მიიღება ხარჯების საშუალო მნიშვნელობა (ცხრ. 22).

ცხრ. 22. ოპერაციების ღირებულებების ვარიაციები, სტანდარტული გადახრა და კრიტიკული გზა

#	ოპერაციის დასახელება	ოპტ. ფასი O	ალბ. ფასი M	პეს. ფასი P	მოს.ფასი Te (O+4M+P)/6	ვარიაცია Vi [(P-O)/6]2	სტან. გადახრა G (P-O)/6
1	პროექტ.წინაპ.შესწავლა	95	100	110	100,8	6,25	2,50
2	ობიექტის აღწერა	196	200	212	201,3	7,11	2,67
3	დიზაინის შექმნა	290	300	309	299,8	10,03	3,17
4	ძრავას შერჩევა	98	100	105	100,5	1,36	1,17
5	შეკვეთის გაგზავნა	3835	3840	3845	3840	2,78	1,67
6	დანადგარის მიღება	47	50	54	50,2	1,36	1,17
7	სისტემის რეკონსტრ.	146	150	158	150,7	4	2
8	ძრავას მონტაჟი	198	200	202	200	0,44	0,67
9	ძრავას გამოცდა	25	30	32	29,5	1,36	1,17
10	სამუშაოს ჩაბარება	27	30	33	30	1	1
საერთო ღირებულება (საშუალო მაჩვენებელი) = 5002,8							
					ΣVc = 35,69444		
					σTe = 5,97		

დასადგენია პროექტის ბიუჯეტში ჩატევის ალბათობის ნორმალური განაწილების ფუნქციის არგუმენტი: $Z=(5000-5002,8)/\sqrt{5,97}=-0,4742$. ნორმალური სტანდარტული განაწილების მნიშვნელობათა ცხრილის მიხედვით Z-ის მნიშვნელობისათვის განსაზღვრული ალბათობა შეადგენს 0,32%-ს, რაც იმას

ნიშნავს, რომ ალბათობა იმისა, რომ პროექტი შესრულდება დადგენილი ლიმიტის ფარგლებში არის 32%. პროექტის დასრულების ალბათობის 99%-მდე გასაზრდელად ლიმიტი უნდა გავზარდოთ 5016,7≈5017 ლარამდე. კვლევა გრძელდება პროექტის ფინანსური მაჩვენებლების ანალიზით, გამოთვლილია ინვესტიციის წმინდა დისკონტირებული ღირებულება NPV და ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა IRR მე-(12) და მე-(13) გამოსახულებების საშუალებით. პროექტის ხარჯსარგებლიანობის ანგარიშში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დანადგარის ექსპლუატაციის ვადის სწორი განსაზღვრა (არაბიძე გ., და სხვ. 2014ბ). დანადგარის ეკონომიკური გამოყენების ვადა ეხება დროის ისეთ ხანგრძლივობას, რომ აქტივი სასარგებლო იყოს მფლობელისთვის და მას უწოდებენ ამორტიზაციას. ზოგადად მატერიალური აქტივის სარგებლიანობის საზომია, თუ რამდენად მომგებიანია მისი შენახვა ანუ რამდენ ხანს გამოიმუშავებს აქტივი უფრო მეტ შემოსავალს, ვიდრე მისი შენარჩუნება და ექსპლუატაცია დაჯდება. ამის გათვალისწინებით, პროექტის განხორციელების პერიოდი განისაზღვრა 6 წლით (არაბიძე გ., და სხვ. 2014გ). ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა IRR წარმოადგენს ისეთ საპროცენტო განაკვეთს (r), როცა პროექტიდან ფულადი ნაკადების (დანაზოგის) მიმდინარე ღირებულება უტოლდება გაწეულ ინვესტიციას, ხოლო წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი უდრის ნულს: IRR=r, როცა NPV=0.

$$NPV = \sum_0^n \frac{CF}{(1+r)^n} - K. \quad (12)$$

$$\sum_0^n \frac{CF}{(1+IRR)^n} = 0. \quad (13)$$

სადაც IRR არის ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა (%); NPV - ინვესტიციის წმინდა დისკონტირებული ღირებულება (ლარი); CF - ფულადი ნაკადი ან დანაზოგი n პერიოდში (ლარი); n - დროის პერიოდი (წელი); K - პროექტის კაპიტალდაბანდების რაოდენობა (ლარი); r - ფულადი ნაკადის დისკონტის ნორმა (%). პროექტის ექვსწლიან ხარჯსარგებლიანობის ანგარიშში გათვალისწინებულია საქართველოში მიმდინარე ინფლაციური პროცესები, რომელიც მნიშვნელოვნად ცვლის საინვესტიციო მაჩვენებლებს და ეკონომიკურ ფონს. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემებით, საშუალო წლიური ინფლაცია 2021 წელს იყო 9,6% (2022 წლის მონაცემები

გამოქვეყნდება მხოლოდ 2023 წლის მეორე კვარტალში). საქართველოს ეროვნული ბანკის პროგნოზით, მომავალ ექვსწლიან პერიოდში ინფლაცია ყოველწლიურად საბაზისო სცენარის მიხედვით საშუალოდ 2%-ით გაიზრდება მსოფლიოში არსებული საერთაშორისო გამოწვევებისა და რუსეთ-უკრაინის ომის მიმდინარეობის ფონზე. ბიზნესის შეფასებაში კაპიტალის დისკონტის განაკვეთის დიაპაზონი 8%-დან 20%-მდე, სავარაუდოდ მიჩნეულია გონივრულად და ამდენად, საქართველოს რეალობის გათვალისწინებით, რეალური დისკონტის ნორმად აღებულია 9%. ინფლაციის გათვალისწინებით, პროექტის მომავალი ფულადი ნაკადების (შემოსავლების ან დანაზოგების) მიმდინარე დისკონტირებული ღირებულების გამოსათვლელად თითოეული წლისთვის, ჩვენს მიერ ადაპტირებულია ფორმულა ინფლაციის და დისკონტის ფაქტორების გამოყენებით (14). ინფლაციის ფაქტორი უკეთ ასახავს მომავალში ზარალის ზრდას (მაგ., ხელფასები, საქონლის ფასები) ინფლაციის შედეგად (არაბიბე გ., და სხვ. 2014დ). ის გამოიყენება სტატისტიკური მონაცემების უფრო აქტუალურ მონაცემებად გადაქცევისთვის პროგნოზების გაკეთებისას. დისკონტის ფაქტორი არის შეწონილი კოეფიციენტი, რომელიც მრავლდება მომავალ ფულად ნაკადზე, რათა შემცირდეს იგი მიმდინარე ღირებულებამდე.

$$PV_n = \frac{CF_n * IF_n}{DF_n} \quad (14)$$

სადაც PV_n არის n წლის შემოსავლის დისკონტირებული ღირებულება (ლარი); n - დროის პერიოდი, (წელი); CF_n - შემოსავალი (ან დანაზოგი) n წელს (ლარი); DF_n - დისკონტის ფაქტორი n წელს; IF_n - ინფლაციის ფაქტორი n წელს.

ცხრ. 23. ენერგოაუდიტის პროექტის ფინანსური ანგარიში

წელი		0	1	2	3	4	5	6
ინვესტიცია	INV	-5017						
შემოსავალი	CF		1002	1002	1002	1002	1002	1002
ინფლაციის ფაქტორი	IF %	9.6%	1.096	1.118	1.140	1.163	1.186	1.210
დისკონტის ფაქტორი	DF %	9%	1.09	1.188	1.295	1.412	1.539	1.677
შემოსავლების მიმდ.ღირებ.	PV		1008	943	882	826	773	723
წმინდა დისკონტირებული ღირებულება		NPV=137 ლარი						
ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა		IRR=5%						
ინვესტიციის ეფექტ.კოეფ.		NPV/Q=-0.03						

ენერგოაუდიტის პროექტის ფინანსური ანალიზის შედეგად (ცხრ.23) გამოიკვეთა შემდეგი: დადებითი წმინდა დისკონტირებული ღირებულება (+137 ლარი) მიუთითებს, რომ პროექტის მიერ გამომუშავებული პროგნოზული დანაზოგი აღემატება მოსალოდნელ ხარჯებს და დადებითი NPV-ს მქონე ინვესტიცია მომგებიანი იქნება (ცხრილი 23). როგორც ცნობილია, საერთო IRR დაახლოებით 5-20%-ია სხვადასხვა ფონდებსა და ინვესტიციებში. ამ პროექტის ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა (5%) ნიშნავს, რომ ინვესტიციაზე ანაზღაურების მაჩვენებელი პროგნოზული დისკონტირებული ფულადი ნაკადების გამოყენებით უდრის საწყისი ინვესტიციის ოდენობას, როდესაც წმინდა მიმდინარე ღირებულება (NPV) ნულის ტოლია (არაბიძე გ., და სხვ. 2014). ინვესტიციის ეფექტიანობის კოეფიციენტი, რომელიც მიზანშეწონილია 1-ზე მეტი იყოს, ვერ ადასტურებს პროექტის მომგებიანობას $NPV/Q = -0,03$.

პროექტის არაენერგეტიკული (NEB) სარგებლიანობის ანგარიში გვჩვენებს, იმ არაენერგეტიკულ სარგებელს, რომელსაც ადგილი აქვს ენერგოეფექტური ღონისძიების განხორციელების შემდეგ. სამრეწველო ან სერვისის ობიექტის ფუნქციონირებისას ნახშირორჟანგის ემისიების დასადგენად გამოიყენება მაჩვენებლები:

1. CO₂-ის ემისიის ინტენსივობა (კგ CO₂/კვტსთ);
2. ქსელის ემისიის ადგილობრივი მაჩვენებელი, რომელიც დამოკიდებულია სათბობის სახეობაზე, გამოითვლება CO₂-ის ემისიების თანაფარდობით ელექტროენერჯის წარმოებიდან.

საქართველოში ელექტროენერჯის დაზოგვისას ემისიის შემცირების ანუ ქსელის ემისიის კოეფიციენტია 0,104 კგCO₂ექვ./კვტსთ. საკვლევ ობიექტში ენერგოეფექტური ღონისძიების გატარებით და შესაბამისად ელექტროენერჯის მოხმარების შემცირებით შემცირდება სათბურის გაზების ემისია 316კგ-ით CO₂ექვ. წელიწადში, გამოსახული ნახშირორჟანგის ეკვივალენტში (27375კვტსთ-24334კვტსთ)*0,104კგCO₂ექვ./კვტსთ.=316,3კგCO₂ექვ./წელი. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ქ.თბილისის ტერიტორიაზე 87 სუპერ და ჰიპერმარკეტია და თუ თითოეულ მათგანში ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვის შედეგად დაიზოგება დაახლოებით ანალოგიური რაოდენობის ელექტროენერჯია, მარტივი გაანგარიშებით შესაძლებელი დაიზოგოს:

➤ 3042 კვტსთ * 87= 264 628 კვტსთ ანუ ≈ 265 მგტსთ

ელექტროენერგია;

➤ 264 628 კვტსთ * 0,33 ლარი/კვტსთ = 87 145 ≈ 87 ათასი ლარი;

➤ 316,3 კგ CO₂ექვ. * 87= 27 521 კგ ანუ ≈28 ტCO₂ექვ. სათბურის გაზის ემისია წელიწადში.

კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტური ღონისძიების შედეგად, ელექტროენერგიის წლიური მოხმარება შემცირდა 11%-ით, რაც იმის მაჩვენებელია, მომავალ პერიოდში გათბობა-გაგრილების და განათების სისტემების მოდერნიზაციით, უწყვეტი მონიტორინგისა და სხვადასხვა ენერგოდამზოვი იდეების წახალისებით, საცალო ვაჭრობის ობიექტის ელექტროენერგიის მოხმარება მიუახლოვდება სამიზნე მაჩვენებელს, ანუ ელექტროენერგიის წლიური მოხმარების ≈20%-იან შემცირებას (ცხრ.24).

ცხრ. 24. ენერგოეფექტური ღონისძიებით მიღებული შედეგი

ელექტროენერგიის მოხმარებელი	ენერგოეფექტური ღონისძიების დანერგვამდე ელექტროენერგიის მოხმარება, კვტსთ	სამიზნე მოხმარების შემცირება, კვტსთ	ენერგოეფექტური ღონისძიების დანერგვის შემდეგ ელექტროენერგიის მოხმარება, %
კომპრესორი	27375	24334	11%-ით შემცირდება (მიმდინარე ღონისძიება)
გაგრილება, გათბობა და განათება, სულ	29040	23319	20%-ით შემცირდება (მომავალი ღონისძიება)

კვლევის ობიექტის მიმდინარე და მომავალი ენერგოეფექტური ღონისძიებების გეგმაში ასახულია სხვადასხვა ენერგოეფექტური ღონისძიებების დაგეგმვა, მუდმივი მონიტორინგის და კონტროლის მექანიზმები (გუდიაშვილი, მ., და ბოჭორიშვილი, ლ. 2014). კვლევის ობიექტის მიმდინარე და მომავალი ენერგოეფექტური ღონისძიებების ექსპერტული შეფასება წარმოდგენილია ცხრილში 25, გრაფიკულად გამოსახულია ნახაზზე 21.

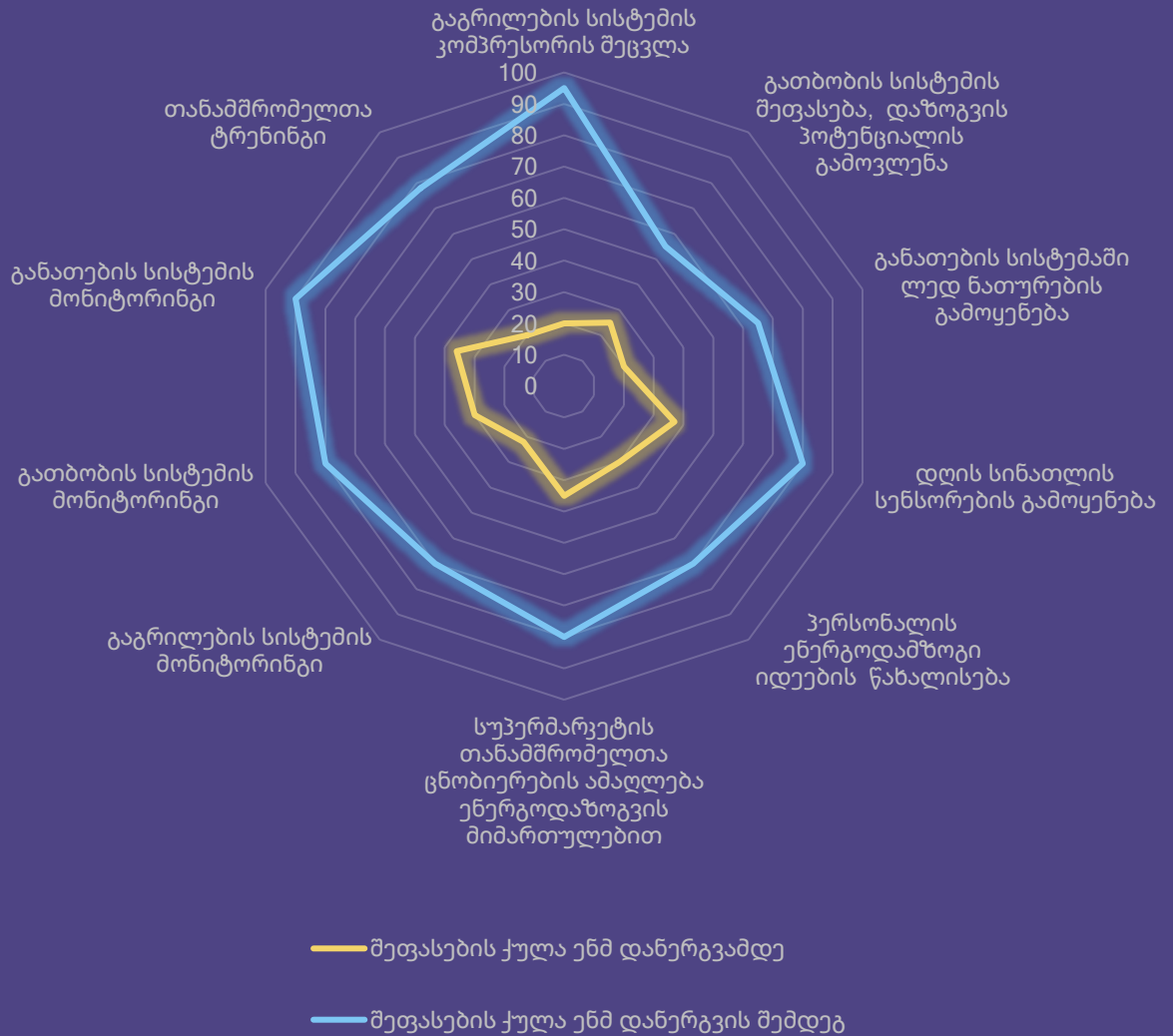
კვლევა ფოკუსირებულია ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების შეფასებაზე და პროექტის სარგებლიანობის დადგენაზე საცალო ვაჭრობის ობიექტის ექსპლუატაციის და ენერგიის მოხმარების თვალსაზრისით. სამეცნიერო კვლევა სასარგებლო იქნება როგორც პირველი კატეგორიის ასევე უფრო მცირე

ზომის სამრეწველო ან მოსახურების სფეროში ფუნქციონირებადი საწარმოებისთვის (Arabidze, M. 2019).

ცხრ.25. ობიექტის მიმდინარე და მომავალი ენერგოეფექტური ღონისძიებები

ღონისძიება	მიმდინარე /მომავალი	შეფასების ქულა ენმ დანერგვამდე	შეფასების ქულა ენმ დანერგვის შემდეგ
გაგრილების სისტემის კომპრესორის შეცვლა	მიმდინარე	20	100
გათბობის სისტემის შეფასება, დაზოგვის პოტენციალის გამოვლენა	მომავალი	25	45
განათების სისტემაში ლედ ნათურების გამოყენება	მომავალი	18	40
დღის სინათლის სენსორების გამოყენება	მომავალი	15	45
პერსონალის ენერგოდამზოგი იდეების წახალისება	მუდმივად	30	70
სუპერმარკეტის თანამშრომელთა ცნობიერების ამაღლება ენერგოდაზოგვის მიმართულებით	მუდმივად	35	80
გაგრილების სისტემის მონიტორინგი	მომავალი	22	70
გათბობის სისტემის მონიტორინგი	მომავალი	30	80
განათების სისტემის მონიტორინგი	მომავალი	36	90
თანამშრომელთა ტრენინგი, რომელიც დაკავშირებული იქნება ენერჯის მართვის სისტემების ეფექტიან მართვასთან, აგრეთვე თითოეული მომუშავეს გამოკითხვასთან და მათი მოსაზრების გაზიარებასთან, რადგან ადგილობრივმა მომუშავემ უკეთ იცის, როგორ შეიძლება თითოეული მოწყობილობის უფრო ეფექტიანი ფუნქციონირება	მომავალი	20	78

მიმდინარე და მომავალი ღონისძიებების რადარი



ნახ.21. კვლევის ობიექტის მიმდინარე და მომავალი ღონისძიებების შეფასების რადარი

თავი 3.

ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მრავალფაქტორიანი შეფასება

3.1. კითხვარის შედგენის მეთოდოლოგია და შედეგების დამუშავება

სამრეწველო საწარმოებში ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მზაობის და ამ დრომდე უცნობი განწყობების შესწავლის მიზნით, ჩვენს მიერ განხორციელდა სამეცნიერო ინფორმაციის შეგროვება, კვლევებისა და მიგნებების ანალიზი. მიზანშეწონილია ჩატარდეს კვლევა ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის მოტივაციებს, სირთულებსა და სარგებელს შორის რაოდენობრივი კავშირების გასაანალიზებლად. ISO50001 სტანდარტის მიმღები კომპანიების მოტივების და სარგებლის გამოკვლევის მიზნით შედგენილი იქნა სტრუქტურირებული კითხვარი საკვლევ სფეროში საქართველოს, ევროპის, აზიის და აშს-ს სამეცნიერო ლიტერატურის სრულფასოვანი განხილვის საფუძველზე. ISO50001-ის სერტიფიცირების მოტივები მოიცავს იმ ფაქტორებს, რომლებიც მენეჯმენტის უმაღლეს რგოლს გარემოსდაცვითი მართვის სისტემებში სერტიფიკაციისკენ უბიძგებს. სირთულები დაკავშირებულია იმ კომპლექსურ პრობლემებთან, რომლებსაც ორგანიზაციები ISO50001-ის დანერგვის პროცესში აწყდებიან. სარგებლის სკალა დაკავშირებულია სერტიფიკაციის პროცესით გაუმჯობესებულ ან მიღწეულ საექსპლუატაციო მაჩვენებლებთან. კვლევის ძირითადი მიზანია კავშირების დადგენა ფაქტორებს შორის და იმ დომინანტი ფაქტორების გამოვლენა, რომელიც ყველაზე მეტ ზეგავლენას ახდენს ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის მოტივაციაზე. კვლევა ეფუძნება საქართველოში რეალიზებული პროექტის - ინდუსტრიულ სექტორში ენერგოეფექტიანობის გაუმჯობესების გამოცდილებას. პროექტს ხელმძღვანელობდა გაეროს სამრეწველო განვითარების ორგანიზაცია, საქართველოს მთავრობის ჩართულობით და მჭიდრო თანამშრომლობით (ენერგოეფექტურობის ცენტრი-საქართველო. 2023). პროექტის მიზანი იყო ენერგოეფექტურობის საუკეთესო პრაქტიკის და ტექნოლოგიების ჩვენება და

გავრცელება, ეტაპობრივი დახმარება, თუ როგორ შეიძლება ადგილობრივი ბაზრის გადაყვანა სამრეწველო ენერგოეფექტურობის სისტემაზე. საპილოტე პროექტში მონაწილეობდნენ სამრეწველო და სერვისის ობიექტები (Jishkariani, M., & Pitskhelauri, M. 2022a). ჩვენს მიერ დამუშავდა შესაბამისი კითხვარი, გამოცდილების გაზიარების მიზნით, კითხვარი ინტერნეტით გაეგზავნა კომპანიების ადგილობრივი ენერგოეფექტურობის ექსპერტ-კონსულტანტებს, რომლებმაც ხელი შეუწყეს საპილოტე პროექტების საწარმოებში დანერგვას. მიღებული პასუხები საერთო რაოდენობს 83,3%-ს შეადგენს და ასევე გასათვალისწინებელია, რომ მიღებული ინფორმაცია ექსპერტების პერსონალურ აღქმებს ეფუძნება.

კითხვარის შედგენის მეთოდოლოგია და მიღებული შედეგები

ლაიკერტის სკალა ითვალისწინებს ერთიდან ხუთამდე შეფასების მნიშვნელობებს და ღია ტიპის პასუხებს. წარმოდგენილია ხუთი ალტერნატიული პასუხი თანხმობის შემდეგი ხარისხით: (1) უმნიშვნელო; (2) ცოტა მნიშვნელოვანი; (3) მნიშვნელოვანი; (4) ძალიან მნიშვნელოვანი; (5) სრულად მნიშვნელოვანი.

ლაიკერტის სკალის მიხედვით შედგენილი კითხვარის რესპოდენტთა პასუხებიდან მიღებული მონაცემები დამუშავდა და გარდაიქმნა პროცენტულ გამოსახულებაში მალკოლმ-მურრეის მეთოდით (Jishkariani, M., & Pitskhelauri, M. 2022b). წარმოდგენილი 36 კითხვიდან ერთერთ კითხვას, რომელიც ფორმულირებულია: ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვას ორგანიზაციული სარგებლის მისაღებად ფაქტორს „ენერგოდაზოგვა“ შეესაბამება 1,2,3,4 ან 5 ქულა, მიღებული პასუხები შემდეგნაირად გადანაწილდა (ცხრ. 26).

ცხრ. 26. გამოკითხვაში მონაწილე რესპოდენტთა პასუხების ანალიზი

	ალტერნატივა	პასუხი	ქულა	შედეგი (პასუხი*ქულა)
	უმნიშვნელო	0	1	0
	ცოტა მნიშვნელოვანი	1	2	2
	მნიშვნელოვანი	2	3	6
	ძალიან მნიშვნელოვანი	2	4	8
	სრულად მნიშვნელოვანი	0	5	0
		რესპოდ. რაოდენობა: n=5		ჯამური პასუხი: Σ16

$$\text{არითმეტიკული საშუალო} = \frac{\text{ჯამური პასუხი}}{\text{რესპოდენტთა რაოდენობა}} = \frac{16}{5} = 3,2.$$

მიღებული შედეგების პროცენტულ გამოსახულებაში გადასაყვანად გამოითვლება ქულების შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობა, სადაც ქულების მაქსიმუმი = რესპოდენტთა რაოდენობა * მაქსიმალური ქულა = 5 * 5 = 25.

შედეგა განტოლება პროცენტებში გადასაყვანად:

$$\text{პროცენტულად} = \frac{\text{ჯამური პასუხი}}{\text{მაქსიმალური ქულა}} * \frac{100}{1} = \frac{16}{25} * \frac{100}{1} = 64\%, \text{ ანუ}$$

რგანიზაციული სარგებლის თვალსაზრისით „ენერგოდაზოგვას“ შეესაბამება 64%.

ექსპლორატორული ფაქტორული ანალიზი (Exploratory Factor Analysis, EFA) გამოიყენება მრავალვარიანტულ სტატისტიკაში, რომელიც გამოიყენება ცვლადების შედარებით დიდი ნაკრების ძირითადი სტრუქტურის გამოსავლენად. EFA არის ტექნიკა ფაქტორული ანალიზის ფარგლებში, რომლის მთავარი მიზანია გაზომვად ცვლადებს შორის არსებული ურთიერთობების იდენტიფიცირება (Pitskhelauri, M. & Jishkariani, M. 2021). მას იყენებენ მკვლევარები სკალის შემუშავებისას და ემსახურება ფარული კონსტრუქციების ერთობლიობის იდენტიფიცირებას. გამოყენება მაშინ, როდესაც მკვლევარს არ აქვს აპრიორი ჰიპოთეზა გაზომვადი ცვლადების ფაქტორების ან შაბლონების შესახებ. ნაშრომში არსებობს გაზომვადი ცვლადების რაოდენობა, რომლებიც, სავარაუდოდ, დაკავშირებულია „დაუკვირვებელი“ ფაქტორების რაოდენობასთან. ჩვენს მიერ განხორციელდა ე.წ. „გაზომვადი“ და „დაუკვირვებელი“ ფაქტორების იდენტიფიცირება და მათი კორელაციის გამოკვლევა. სტატისტიკაში, ლატენტური ცვლადები არის ისეთი ცვლადები, რომლებიც უშუალოდ არ არის დაკვირვებული. ამგვარად, ჩამოყალიბდა სამ დონიანი კონსტრუქცია, სადაც:

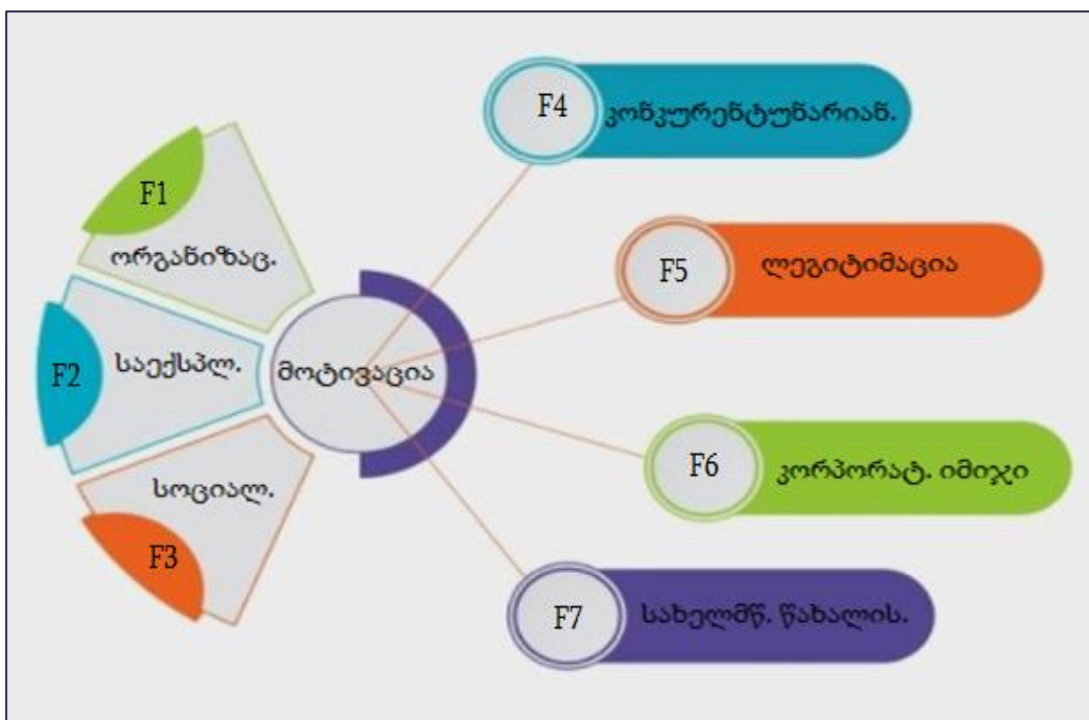
- I. დონე - მიზანი (საბოლოო შედეგი)
- II. დონე - ლატენტური ცვლადები (დაუკვირვებელი ცვლადები)
- III. დონე - განმარტებითი (გაზომვადი ცვლადები)

სამი ლატენტური კონსტრუქტი შედგება F1 „ორგანიზაციული“, F2 „საექსპლუატაციო“ და F3 „სოციალური“ ფაქტორებისგან, ხოლო „განმარტებითი“ (Explanatory) ფაქტორები ჩამოყალიბდა თითოეული საკვლევი ობიექტის მიხედვით, როგორცაა მოტივი, სირთულე და სარგებელი. სამრეწველო საწარმოებისთვის ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის მოტივაციის,

სირთულეების და სარგებელის ფაქტორებს შორის დომინანტი ფაქტორების გამოსავლენად, განხორციელდა სამი დამოუკიდებელი ექსპლორატორული ფაქტორული ანალიზი (ჯიშკარიანი, მ., ფიცხელაური მ. 2022).

მოტივაციის ფაქტორები, რომლებიც საწარმოს სერტიფიკაციისკენ უბიძგებს არის: კონკურენტუნარიანობა, ლეგიტიმაცია, კორპორატიული იმიჯის ამაღლება და სახელმწიფოს მიერ წახალისების ღონისძიებები (ნახ.22).

მოტივაციისთან დაკავშირებული „განმარტებითი“ ფაქტორი, კონკურენტული უპირატესობა გულისხმობს, რომ სამრეწველო პროცესებში ენერჯის ეფექტიანი გამოყენება არ არის დაკავშირებული მხოლოდ ენერგოხარჯებთან. ენერგორესურსების მზრუნველი და ეფექტიანი გამოყენება საწარმოებს კონკურენტულ უპირატესობას ანიჭებს და მათი საქმიანობის გრძელვადიან წარმატებას უზრუნველყოფს. გარდა ამისა, სტანდარტის დანერგვა აუმჯობესებს ორგანიზაციების უნარს, მართონ ენერგეტიკული რისკები უფრო ეფექტური გზით (Jishkariani, M., & Pitskhelauri, M. 2022c).



ნახ.22. საწარმოების მოტივაციის ფაქტორები

ISO50001 სტანდარტის დანერგვა აძლიერებს ორგანიზაციების კონკურენტუნარიანობას და ამცირებს მათ მოწყვლადობას ენერგეტიკული

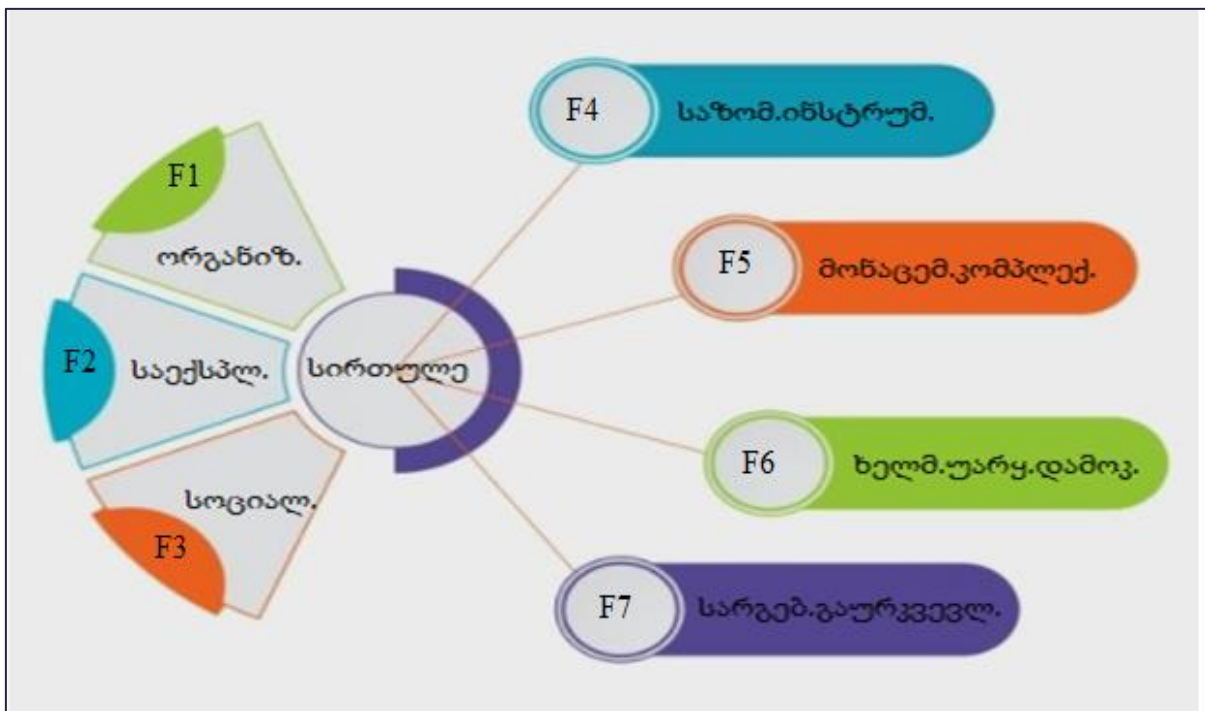
ფასების მერყეობისა და ენერჯის ხელმისაწვდომობის მიმართ. ლეგიტიმაცია არის საწარმოს მიერ განხორციელებული ღონისძიების სამართლიანობისა და კანონიერების აღიარება, ეს ასევე იურიდიული ვალდებულებაა. ამ კონტექსტში, ISO 50001 არის სტრატეგიული ინსტრუმენტი, რომელიც ეხმარება ორგანიზაციებს განხორციელონ ენერჯის მართვის სისტემა და გამოიყენონ ენერჯია უფრო ეფექტურად. ზოგიერთი ორგანიზაცია გადაწყვეტს სტანდარტის დანერგვას მხოლოდ მის მიერ მიღებული სარგებლისთვის. სხვები გადაწყვეტენ მიიღონ სერტიფიცირება, რათა გარე მხარეებს (ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს) აჩვენონ, რომ მათ დანერგეს ენერჯის მართვის სისტემა, რამდენადაც საქართველოს ენერგოეფექტურობის კანონის მიხედვით პირველი კატეგორიის სამრეწველო საწარმოებისთვის სავალდებულოა ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვა. ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელება გამოიწვევს კორპორაციული იმიჯის და ეკოლოგიური პარამეტრების გაუმჯობესებას, ენერჯის მოხმარების შემცირებას (ფიცხელაური, მ. 2022).

ბიზნესკლიენტები, მომხმარებლები და მომწოდებლები აღიარებენ პროცესების ოპტიმიზაციას, რადგან ეს აისახება გამოშვებული პროდუქციის ხარისხზე. მცირე და საშუალო საწარმოებისთვის ენერგოეფექტურობის კანონით განსაზღვრულია წამახალისებელი პროგრამების დანერგვა ენერგოაუდიტის განხორციელების მოტივაციის ამაღლების მიზნით. რეკომენდებულია საზოგადოებისთვის ფართო წრის ცნობიერების ამაღლება საცნობარო ინფორმაციის ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვის სარგებლიანობის შესახებ.

ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვის სირთულეებს მიეკუთვნება უწყვეტი გამზომი ინსტრუმენტების აუცილებლობა, სხვადასხვა პარამეტრების მონიტორინგი, წერტილოვანი ან უწყვეტი გაზომვებით, აუცილებელი წარმოების პროცესის თვალყურის დევნებისთვის და ნებისმიერი საჭირო ჩარევის აუცილებლობის შესახებ ინფორმირებისთვის. (ნახ.23).

გარდა ამისა მუდმივ მზადყოფნაში უნდა იყოს შესაბამისი უწყვეტი მონიტორინგის სისტემები, მეტეოსადგურები, რადარები და სენსორები. მრეწველობაში აუცილებელია შემდეგი პარამეტრების უწყვეტი გაზომვა, როგორცაა: ნახშირორჟანგი CO₂; ნამის წერტილი (მშრალი პირობებისთვის); გაზის წარმოშობა დენის ტრანსფორმატორის ზეთში (ტრანსფორმატორის

გრძელვადიანი მუშაობის დროს, საიზოლაციო ზეთი დაიშლება მცირე მოლეკულურ გაზებად, როგორცაა CH₄, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, H₂, CO₂ და CO); ტენიანობა (ნორმალური ან სველი პირობებისთვის); წყალბადი H₂; წყალბადის ზეჟანგი H₂O₂; მეთანი CH₄; ტენიანობა ზეთში; წნევა; სტრუქტურული ტენიანობა; ტემპერატურა; HVAC და შიდა ჰაერი; დენის ტრანსფორმატორის პარამეტრები; სამრეწველო გადამცემები; ზონდები და OEM მოდულები; სითხის კონცენტრაცია; ბიოგაზის კომპონენტები.

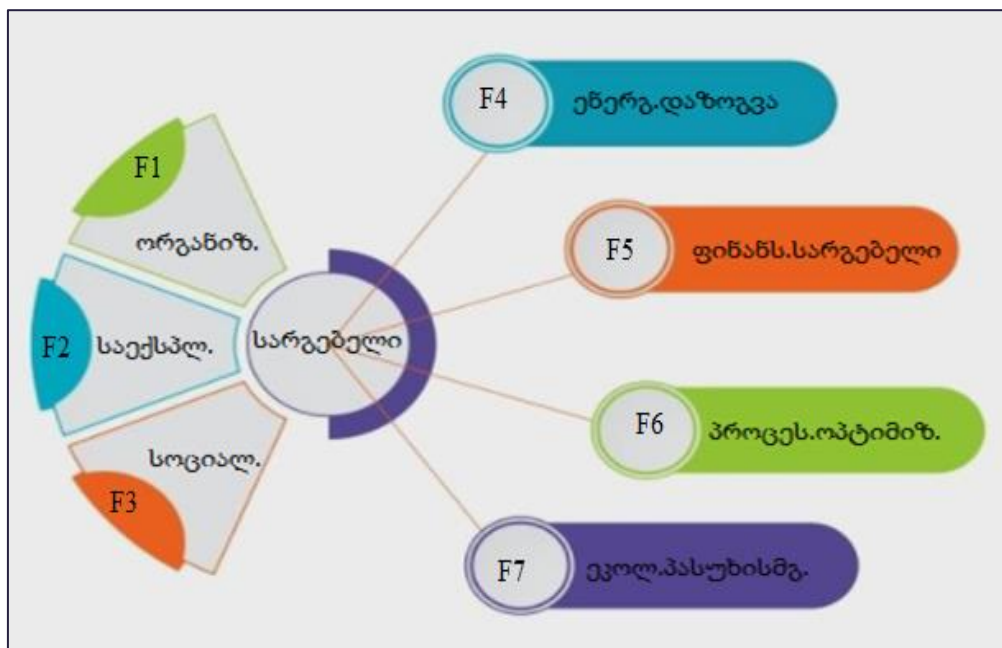


ნახ.23. საწარმოს სირთულესთან დაკავშირებული ფაქტორები

მონაცემთა კომპლექსურობა და უზარმაზარი მოცულობის მონაცემთა ბაზა, რომელიც დროთა განმავლობაში ექსპონენტურად იზრდება, არის ისეთი დიდი ზომისა და სირთულის მონაცემები, რომ მონაცემთა მართვის არცერთ ტრადიციულ საშუალებას არ შეუძლია მისი შენახვა ან ეფექტურად დამუშავება (Pitskhelauri, M. & Jishkariani, M. 2023a). ხელმძღვანელობის უარყოფითი დამოკიდებულება დაკავშირებულია სიახლეების შიშთან და ცნობიერების ნაკლებობასთან. სარგებლიანობის გაურკვეველობა და ტექნოლოგიური პროცესის ტრადიციული ციკლი ხელს უშლის სავარაუდო მისაღებ სარგებელს და ეწინააღმდეგება ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვას.

ISO50001 სტანდარტის დანერგვის შედეგად მიღებულ სარგებელთან დაკავშირებულია ენერგოდაზოგვა, უფრო ნაკლები ენერგიის გამოყენებით ანალოგიური სამუშაოს შესრულება და შედეგად, გარემოს დაბინძურების შემცირება. ენერგიის დაზოგვა ხშირად ენერგიის დეფიციტის პირობებისთვის ყველაზე იაფი გამოსავალია და ეკოლოგიურად უფრო კეთილი ალტერნატივაა ენერგიის მოხმარების სულ უფრო მზარდი ტენდენციის გამო (ნახ.24).

ბიზნესისთვის ენერგორესურსების დანახარჯებს შემცირება ფინანსური სარგებელია და ამიტომ სტანდარტი ეხმარება ორგანიზაციებს გაზარდონ ენერგიის პროდუქტიულობა და შეამცირონ ხარჯები, რაც საბოლოოდ ფინანსურ სარგებელს მოუტანს ორგანიზაციას. გარდა ამისა, ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესება ამცირებს ინდივიდუალურ კომუნალურ გადასახადებს, ქმნის სამუშაო ადგილებს და ეხმარება ელექტროენერგიის ფასების და ენერგორესურსების მიწოდების სტაბილიზაციას (Pitskhelauri, M. & Jishkariani, M. 2023b).



ნახ.24. სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორები

საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაცია შესაძლებელია ნარჩენების ადვილად იდენტიფიცირებით და მართვით, რესურსების უფრო ეფექტიანი გამოყენებით და ა.შ., ISO50001 ენერგიის მართვის სისტემის სტანდარტის განხორციელება ორგანიზაციებს საშუალებას აძლევს მიიღონ შექმნილი პროცესები და სისტემები,

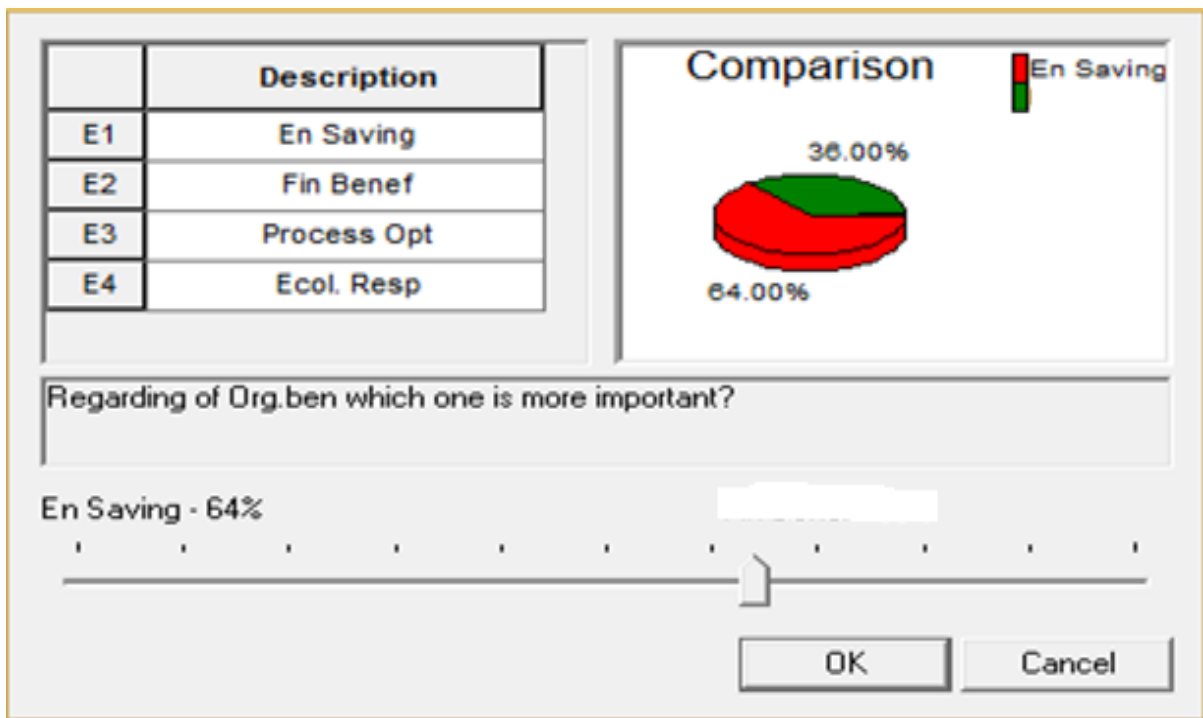
რომლებიც აუცილებელია მათი ენერგომწარმოებლურობის გასაზრდელად. ეკოლოგიური ფაქტორების გაუმჯობესება დაკავშირებულია საწარმოების მხრიდან ენერჯის რაციონალურ გამოყენებასთან, გარდა ამისა, ISO50001 სტანდარტის განხორციელება მნიშვნელოვან როლს ასრულებს კლიმატის ცვლილების შემცირებაში. ის ეხმარება არაგანახლებადი რესურსების განახლებადი ენერჯით ჩანაცვლებას.

3.2. ექსპლორატორული კვლევა ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვასთან დაკავშირებული ფაქტორების კავშირ-ურთიერთობების დასადგენად

საძიებო ექსპლორატორული კვლევა ჩვენს მიერ სტრუქტურული განტოლებების მოდელირების საშუალებით ჩატარდა და გამოყენებულ იქნა ISO50001 სტანდარტის მიღებასთან დაკავშირებულ მოტივაციას, სირთულეებსა და სარგებელს შორის არსებული კავშირ-ურთიერთობების გასაანალიზებლად. პროგრამაში ერთმანეთს ედარება მე-2 და მე-3 დონის ფაქტორები, რათა გამოვლინდეს მათ შორის ყველაზე დომინანტური. შემავალი ინფორმაციის შეყვანა განხორციელდა სტატისტიკური პროგრამულ პაკეტში, რომელიც გამოიყენება მრავალფაქტორული აპლიკაციის (Multivariate Software) მიერ სტრუქტურული განტოლების მოდელების წარმოებისა და ანალიზისთვის. ამ პროგრამას უპირატესობას ანიჭებს ათასობით მკვლევარი მთელ მსოფლიოში, რომელიც უზრუნველყოფს მათ სტატისტიკური და მონაცემთა საძიებო ინსტრუმენტების ფართო სპექტრს სტრუქტურული განტოლების მოდელირების (Structural Equation Modeling, SEM) საშუალებით. ჩვენს მიერ განხორციელდა ლაიკერტის სკალის გამოყენებით მიღებული შედეგების პროგრამაში შეყვანის პროცედურა (ნახ.25).

პროგრამიდან გამომავალი ინფორმაციის დამუშავების საფუძველზე შედგა შესაბამისი ცხრილი, სადაც პირველ დონეს წარმოადგენს ძირითადი მიზანი:

ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვა, მე-2 დონეს ლატენტური კონსტრუქტები: F1 „ორგანიზაციული“, F2 „საექსპლუატაციო“ და F3 „სოციალური“ ფაქტორები.



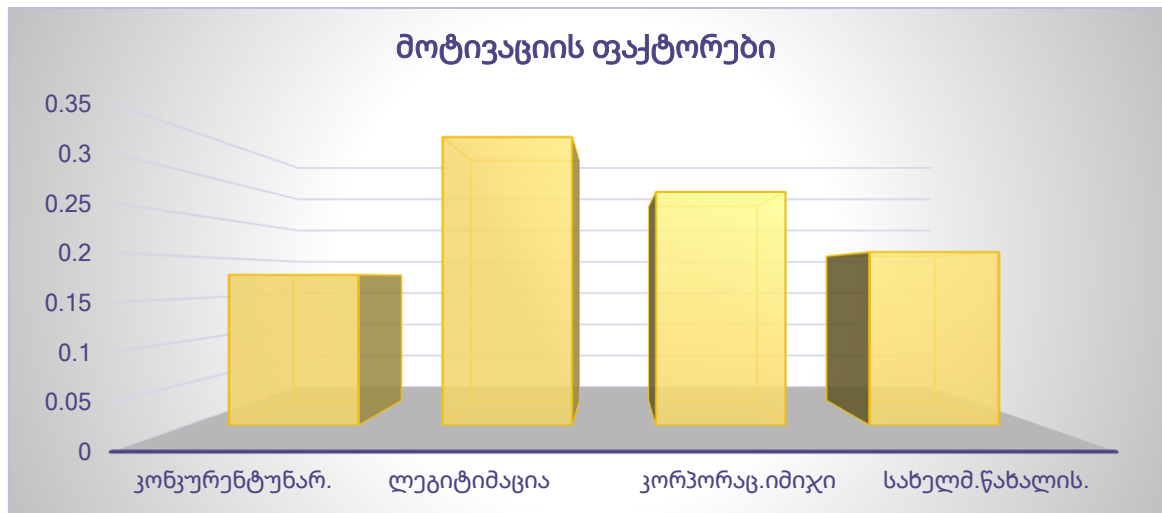
ნახ.25. მიღებული პასუხების შედეგების პროგრამული განხორციელება

მე-3 დონეს წარმოადგენს „განმარტებითი“ (Explanatory) მოტივაციის განმსაზღვრელი ფაქტორები: კონკურენტუნარიანობის ამაღლება, ლეგიტიმაცია, კორპორატიული იმიჯის გაუმჯობესება და წახალისება სახელმწიფოს მიერ (ცხრ.27).

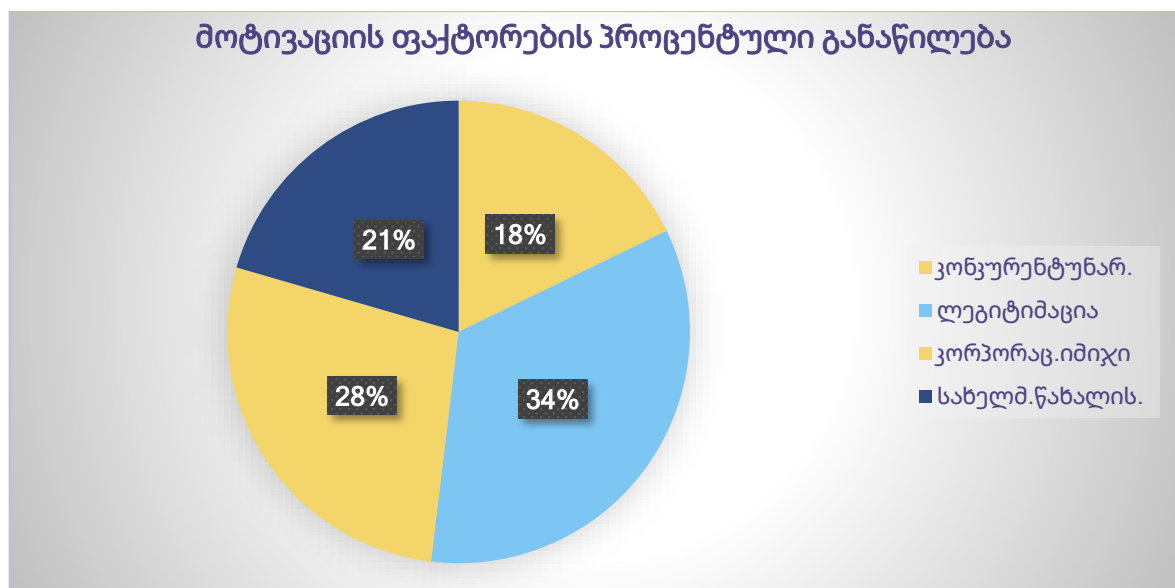
ცხრ. 27. მოტივაციის ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზი

მე-2 დონე	ორგანიზაციული მოტივაცია F1	საექსპლუატაციო მოტივაცია F2	სოციალური მოტივაცია F3	
ხვედრითი წონა	0.43	0.25	0.33	
მე-3 დონე				კომბინ. ხვედრ. წონა
კონკურენტუნარ. F4	0.14	0.22	0.20	0.178
ლეგიტიმაცია F5	0.36	0.33	0.33	0.341
კორპორაც. იმიჯი F6	0.26	0.27	0.30	0.276
სახელმ. წახალის. F7	0.24	0.18	0.18	0.205

მიღებული შედეგების საფუძველზე აიგო გრაფიკები, სადაც თვალსაჩინოდ არის წარმოდგენილი მოტივაციის ფაქტორების პროცენტული განაწილება (ნახ.26, ნახ.27).



ნახ.26. მოტივაციის ფაქტორების ვიზუალური გამოსახულება



ნახ.27. მოტივაციის ფაქტორების პროცენტული განაწილება

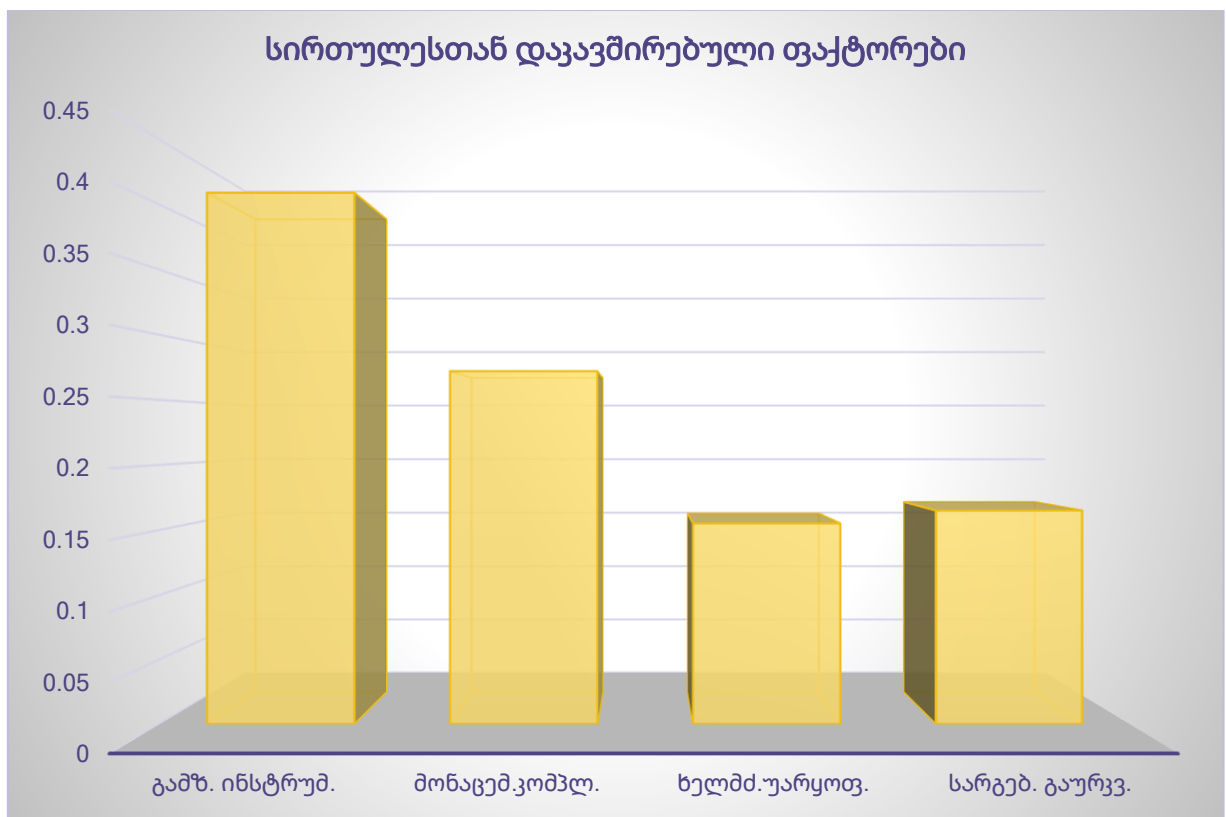
პროგრამიდან გამომავალი ინფორმაციის დამუშავების საფუძველზე შედგა სირთულეებთან დაკავშირებული ცხრილი, სადაც პირველ დონეს წარმოადგენს ძირითადი მიზანი: ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვა, მე-2 დონეს ლატენტური კონსტრუქტები: F1 „ორგანიზაციული,“ F2 „საექსპლუატაციო“ და F3 „სოციალური“ ფაქტორები. მე-3 დონეს წარმოადგენს „განმარტებითი“

(Explanatory) სირთულების განმსაზღვრელი ფაქტორები: უწყვეტი გამზომი ინსტრუმენტების აუცილებლობა, მონაცემთა კომპლექსურობა, ხელმძღვანელობის უარყოფითი დამოკიდებულება, სარგებლიანობის გაურკვევლობა (ცხრ.28).

ცხრ. 28. სირთულების ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზი

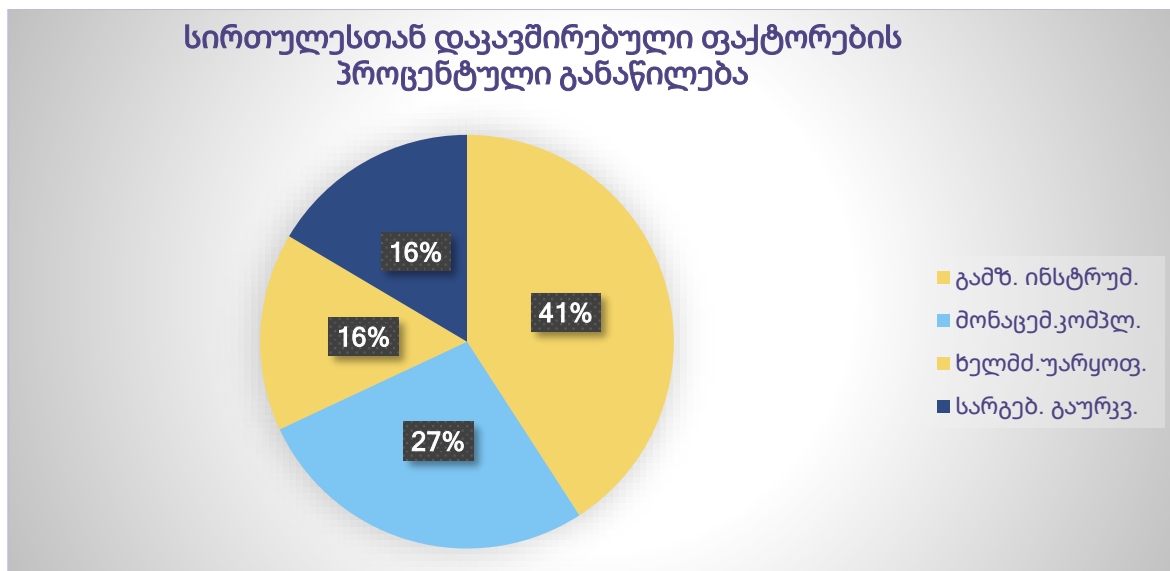
მე-2 დონე	ორგანიზაციული სირთულე F1	საექსპლუატაციო სირთულე F2	სოციალური სირთულე F3	
ხვედრითი წონა	0.23	0.61	0.16	
მე-3 დონე				კომბინ. ხვედრ. წონა
გამზ. ინსტრუმ. F4	0.46	0.46	0.14	0.409
მონაცემ. კომპლ. F5	0.30	0.28	0.19	0.272
ხელმძ. უარყოფ. F6	0.11	0.12	0.35	0.155
სარგებ. გაურკვ. F7	0.13	0.14	0.32	0.165

მიღებული შედეგების საფუძველზე აიგო გრაფიკები, სადაც თვალსაჩინოდ არის წარმოდგენილი სირთულებთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება (ნახ.28, ნახ.29).



ნახ.28. სირთულებთან დაკავშირებული ფაქტორების ვიზუალური გამოსახულება

სირთულესთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება



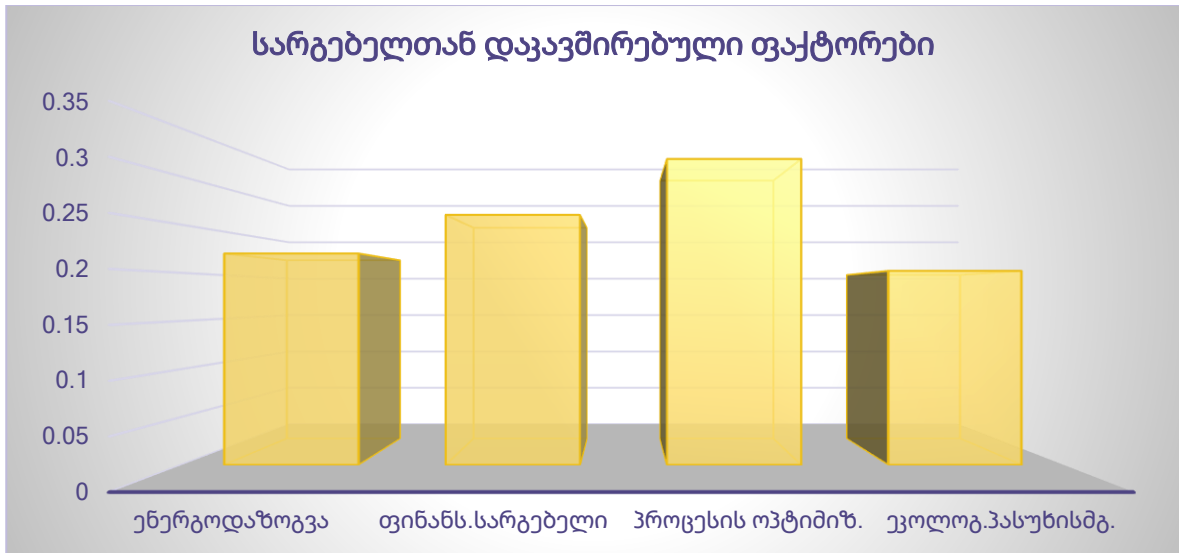
ნახ.29. სირთულესთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება

პროგრამიდან გამომავალი ინფორმაციის დამუშავების საფუძველზე შედგა სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზის ცხრილი, სადაც პირველ დონეს წარმოადგენს ძირითადი მიზანი: ენერჯის მართვის სისტემის დანერგვა, მე-2 დონეს ლატენტური კონსტრუქტები: F1 „ორგანიზაციული“, F2 „საექსპლუატაციო“ და F3 „სოციალური“ ფაქტორები. მე-3 დონეს წარმოადგენს „განმარტებითი“ (Explanatory) სარგებლის განმსაზღვრელი ფაქტორები: ენერგოდაზოგვა, ფინანსური სარგებელი, საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაცია და ეკოლოგიური პასუხისმგებლობის ამაღლება (ცხრ.29).

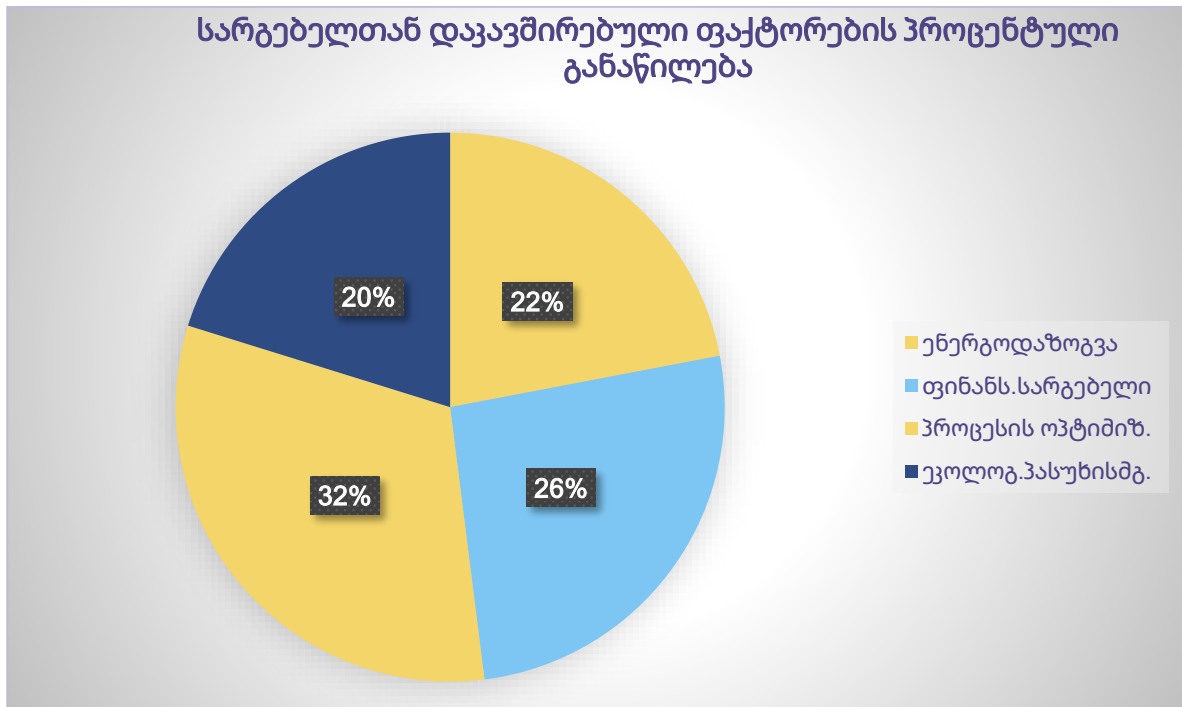
ცხრ. 29. სარგებლის ფაქტორების ექსპლორატორული ანალიზი

მე-2 დონე	ორგანიზაციული სარგებელი F1	საექსპლუატაციო სარგებელი F2	სოციალური სარგებელი F3	
ხვედრითი წონა	0.33	0.43	0.25	
მე-3 დონე				კომბინ. ხვედრ. წონა
ენერგოდაზოგვა F4	0.28	0.24	0.10	0.220
ფინანს. სარგებ. F5	0.36	0.17	0.29	0.260
პროცესის ოპტიმ. F6	0.23	0.47	0.18	0.318
ეკოლ. პასუხისმგ. F7	0.13	0.12	0.44	0.202

მიღებული შედეგების საფუძველზე აიგო გრაფიკები, სადაც თვალსაჩინოდ არის წარმოდგენილი სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება (ნახ.30, ნახ.31).



ნახ.30. სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორების ვიზუალური გამოსახულება



ნახ.31. სარგებელთან დაკავშირებული ფაქტორების პროცენტული განაწილება

ექსპლორატორული გზის ანალიზის შედეგად მიღებული პასუხების საფუძველზე გამოვლინდა, რომ მოტივაციის ფაქტორებს შორის დომინანტია ლეგიტიმაციის ფაქტორი. ლეგიტიმაციის ფაქტორი პირველი კატეგორიის საწარმოს (სამი კრიტერიუმიდან 2-ს აკმაყოფილებს: აქტივები აღემატება 50 მლნ.ლარს ან გააჩნია 100 მლნ.ლარზე მეტი შემოსავალი ან დასაქმებული ჰყავს 250-ზე მეტი მომუშავე) უბიძგებს სერტიფიცირებისკენ, რაც სავალდებულოა

ენერგოეფექტურობის კანონის შესაბამისად. ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს მათი საქმიანობის სამართლიანობისა და კანონიერების აღიარებას სახელმწიფოს მხრიდან.

მეორე სავარაუდო მოტივი, რომ კომპანიებმა დანერგონ ISO50001 სტანდარტი, არის კორპორატიული იმიჯის გაუმჯობესების, საბაზრო უპირატესობის მოპოვებისა და საზოგადოებასთან ურთიერთობების გაუმჯობესების სურვილები. სირთულები დაკავშირებულია იმ კომპლექსურ პრობლემებთან, რომლებსაც ორგანიზაციები ISO50001-ის დანერგვის პროცესში აწყდებიან. სირთულების ფაქტორებს შორის მონაცემთა კომპლექსურობის, სარგებლის გაურკვევლობის და ხელმძღვანელობის მხრიდან უარყოფით დამოკიდებულებას მნიშვნელობით აღემატება უწყვეტი გამზომი ინსტრუმენტების აუცილებლობა, პარამეტრების მონიტორინგი, წერტილოვანი ან უწყვეტი გაზომვებით. სამრეწველო საწარმოები საჭიროებენ კალიბრაციის, მარეგულირებელი, უსაფრთხოების, ხარისხის, ეფექტურობის, შეფერხების დროის და სხვა კრიტიკული პარამეტრების კომპლექსურ გამზომ და მაკონტროლებელ მოწყობილობებს (ქევიშვილი, ნ., და სხვ. 2021). სხვა სავარაუდო სირთულები, რომ კომპანიებმა დანერგონ ISO50001 სტანდარტი, არის დაკავშირებული ხალხის იმ აზროვნების შეცვლასთან, რომ ენერჯის შემცირებას მაინცდამაინც გავლენა არ აქვს უსაფრთხოებაზე, ხარისხზე ან წარმოების ციკლის ხანგრძლივობაზე. სირთულებია რესურსების სიმცირე, ხელმძღვანელობაში ენთუზიაზმის ნაკლებობა და სტანდარტის მიღების სარგებლიანობაში გაურკვევლობა. საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაცია არის დომინანტი ფაქტორი სარგებლის სხვა ფაქტორებს შორის. ენერგოდაზოგვა, ფინანსური სარგებელი და ეკოლოგიური პასუხისმელობა ნაკლებად მნიშვნელოვანია, ვიდრე ენერგომწარმოებლურობის გაზრდით მიღებული სარგებელი, საწარმოში ენერჯის მართვის სისტემის განხორციელებით.

რამდენადაც ენერჯის მართვის სისტემა ხელს უწყობს ბუნებრივი რესურსების რაციონალურ გამოყენებას, სტანდარტი ასევე ხელს შეუწყობს კლიმატური პარამეტრების სტაბილიზაციას და აქედან გამომდინარე, საინტერესო იქნება გარემოსდაცვით საკითხებზე მომუშავე სახელმწიფო ხელისუფლების ორგანოებისთვის და საერთაშორისო ორგანიზაციებისთვის. ამრიგად, ამ ნაშრომში

და ზოგადად ენერგოეფექტიანობის კვლევაში გაკეთებული დასკვნები ამ დაწესებულებებისთვის სულ უფრო რელევანტური იქნება.

კომპლექსურმა კვლევამ აჩვენა, რომ ენერგოეფექტურობის სტრატეგია მოიცავს ეტაპობრივად ჩასატარებელ ღონისძიებებს, კერძოდ საზოგადოებრივ და საჯარო სამსახურის შენობებს უნდა გააჩნდეს ენერგოეფექტურობის სერტიფიკატი, გარდა ამისა, აუცილებელი იქნება გათბობისა და გაგრილების სისტემების პერიოდული ინსპექტირება რაც განაპირობებს ენერგიაზე მოთხოვნის ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად მიზანშეწონილი მართვის პრაქტიკის დანერგვას, ენერგორესურსების იმპორტზე დამოკიდებულების შემცირებას და შესაბამისად ენერგეტიკული უსაფრთხოების გაზრდას.

ენერგოეფექტურობა მჭიდრო კავშირშია კლიმატის ცვლილებასთან და გარემოს დაცვის საკითხებთან. პირველი, მეორე, მესამე და მეოთხე კატეგორიის სამრეწველო საწარმოები, საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტები და საყოფაცხოვრებო სექტორის ენერჯის მომხმარებლები წარმოადგენს ემისიის მნიშვნელოვან წყაროს და შესაბამისად ამ სექტორებში შემარბილებელი ზომების გატარება გამოიწვევს სათბურის გაზების შემცირებას. საქართველოს აქვს აღებული ვალდებულება პარიზის შეთანხმების მიხედვით, სადაც განსაზღვრულია, რომ საბაზისო დონესთან შედარებით 15%-ით უნდა შეამციროს სათბურის გაზების ემისია. ენერგოეფექტურობის და შენობების ენერგო-ეფექტურობის კანონები იძლევა იმის საშუალებას, რომ საქართველომ შეასრულოს აღებული ვალდებულებები 2025-2030 წლისთვის.

ენერგოეფექტურობის „ჰორიზონტალური პოლიტიკის“ სექტორთაშორისი ღონისძიებები, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს სამრეწველო, საჯარო და კერძო სექტორებს, ენერგეტიკულ მომსახურებას, მონიტორინგს, გაზომვას და დადასტურებას, ახლახანს მოექცა კანონის ჩარჩოში და ითვალისწინებს მომავალ პერიოდში ინტერნეტ-პლატფორმის შექმნას, სადაც ხელმისაწვდომი იქნება ქვეყნის მასშტაბით ეროვნულ დონეზე განხორციელებული ენერგოდაზოგვის უფრო სრულყოფილი, სანდო და დაზუსტებული ინფორმაცია.

კომპლექსურმა კვლევამ აჩვენა, რომ საქართველოს ენერგოეფექტურობის სტრატეგია მოიცავს ეტაპობრივად ჩასატარებელ ღონისძიებებს, კერძოდ საზოგადოებრივ და საჯარო სამსახურის შენობებს უნდა გააჩნდეს

ენერგოეფექტურობის სერტიფიკატი, აუცილებელი იქნება გათბობისა და გაგრილების სისტემების პერიოდული ინსპექტირება. საქართველოში ენერგეტიკისა და კლიმატის ინტეგრირებული გეგმის მიხედვით, პოლიტიკის შემუშავება, იმპლემენტაცია და ამოქმედება ეტაპობრივად განხორციელდება, როცა სავალდებულო იქნება ენერჯის დაზოგვის სამიზნე მაჩვენებლების დადგენა, რეგულარული ენერგეტიკული აუდიტის დამადასტურებელ სერტიფიკატთან ერთად. აღნიშნული ღონისძიება კორელაციაშია მთავრობის მრეწველობის ენერგოეფექტურობის გადიდების გრძელვადიან მიზნებთან, რათა მიღწეული იყოს სამრეწველო სექტორების მიხედვით 20-35%-ით გაზრდილი ენერგოეფექტურობა. მიზანშეწონილია საქართველოს ეროვნული ეკონომიკის სხვადასხვა დარგში სტანდარტის დამკვიდრების და გავრცელების შემდგომ, აუცილებელი იყოს მიმღებთა და არმიმღებთა შორის სხვაობების გაანალიზება. ამით შესაძლებელი იქნება ახალ მიმღებთა ქცევის პროგნოზირება, რაც საინტერესო იქნება არა მხოლოდ ხელმძღვანელთათვის, არამედ ამ სახის სერტიფიკაციით დაკავებული ყველა დაწესებულებისა და ორგანიზაციისთვის, მათ შორის, სააკრედიტაციო ორგანიზაციებისთვის, სერტიფიკაციის ორგანოებისთვის და ბიზნეს-კონსულტანტებისთვის, რომელთა საქმიანობა უკავშირდება ISO50001 სტანდარტის დანერგვას.

დასკვნა

1. შექმნილია ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების ახალი დიზაინის ალგორითმი, რომელიც რეალიზებულია კომპიუტერულ პროგრამაში. შემუშავებულია გზამკვლევის პროგრამული უზრუნველყოფა, სადაც ეტაპობრივადაა წარმოდგენილი ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების შემადგენელი კომპონენტების თანმიმდევრობა, რაც ენერგოაუდიტის ანგარიშის შექმნის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს;
2. კონკრეტული ობიექტის მაგალითზე, ჩვენს მიერ შემუშავებული გზამკვლევის პროგრამული უზრუნველყოფისა და ეკონომიკური ანალიზის მეთოდების გამოყენებით შეფასებულია ახალი ტექნიკის დანერგვის ეფექტიანობის პროექტი წმინდა დისკონტირებული ღირებულების, ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმის, ვადაში და ლიმიტის ფარგლებში ჩატევის ალბათობისა და ინფლაციის გათვალისწინებით;
3. ენერგოეფექტური ღონისძიების დანერგვის შემდეგ ელექტროენერჯის მოხმარება 11%-ით მცირდება. გათბობისა და განათების სისტემების შემდგომი მოდერნიზაციით, უწყვეტი მონიტორინგისა და ენერგოდამზოგი იდეების წახალისებით, მომავალ პერიოდში ობიექტი მიუახლოვდება სამიზნე მაჩვენებელს $\approx 20\%$ -იან შემცირებას;
4. პროექტის არაენერგეტიკული (NEB) სარგებლიანობის ანგარიშმა აჩვენა, რომ სათბურის გაზების ემისია მცირდება 316კგ-ით CO₂ეკვ.წელიწადში. ქ.თბილისის ტერიტორიაზე 87 სუპერ და ჰიპერმარკეტია და თუ თითოეულ მათგანში განხორციელდება მსგავსი ენერგოეფექტური ღონისძიება, მარტივი გაანგარიშებით დაიზოგება 265 მგტსთ ელექტროენერჯია, 87 ათასი ლარი და 28 ტCO₂ეკვ. სათბურის გაზის ემისია წელიწადში;
5. კომბინირებული კვლევის საფუძველზე, შენობების, მრეწველობისა და ტრანსპორტის სექტორებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარებასთან დაკავშირებული განუსაზღვრელობის პირობებში, ხელოვნური ინტელექტის - მათლახის სიმულაციური აპლიკაციის, გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის

საშუალებით, შეფასებულია ენერგოეფექტურობა ეროვნულ დონეზე, რომლის საბოლოო ქულა (17,3) ბევრად ჩამორჩება განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ მაჩვენებელს;

6. შეფასებულია ექსპერტთა პასუხებიდან მიღებული შედეგები. საძიებო კვლევის საფუძველზე გამოვლენილია დომინანტი ფაქტორები, რომლებიც ყველაზე მეტ ზეგავლენას ახდენს სამრეწველო და სერვისის ობიექტებში ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მოტივაციაზე. რეკომენდებულია, რომ უფრო ფართო მასშტაბით გავრცელებისთვის კანონი სავალდებულო იყოს ყველა კატეგორიის სამრეწველო საწარმოს, ორგანიზაციას, საჯარო და კერძო დაწესებულებისთვის;
7. შეფასებულია სირთულეები, დაკავშირებული იმ კომპლექსურ პრობლემებთან, რომლებსაც ორგანიზაციები ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების პროცესში აწყდებიან. დადგენილია, რომ სამრეწველო საწარმოები საჭიროებენ კალიბრაციის, მარეგულირებელი, უსაფრთხოების, ხარისხის, ეფექტურობის, შეფერხების დროის და სხვა კრიტიკული პარამეტრების კომპლექსურ გამზომ და მაკონტროლებელ მოწყობილობებს. რეკომენდებულია, გამარტივების მიზნით გასაზომი პარამეტრების მრავალსახეობიდან შეირჩეს უშუალოდ ენერგეტიკული პარამეტრები და მოხდეს მათი უწყვეტი გაზომვა;
8. ნაშრომი დიდ როლს შეასრულებს ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელებისთვის სხვადასხვა სახის მხარდაჭერის სქემის შემუშავების, დანერგვის და ენერგოეფექტურობის კანონით გათვალისწინებული ყველა სამიზნე მაჩვენებლის შესრულების საქმეში.

გამოყენებული ლიტერატურა

- International Standard Organization. (2023). Developing an Energy Management System. <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>
- მიქიაშვილი, თ. (2010). ენერგოაუდიტი. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 216გვ.
- არაბიძე, გ., გუდიაშვილი, მ., კილურაძე, ო., ლომიძე, ი., ჯიშკარიანი, თ. (2011). ენერგოაუდიტი სამრეწველო სექტორში. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 275გვ.
- არაბიძე, გ., გუდიაშვილი, მ., მიქიაშვილი, თ., ჯიშკარიანი, თ. (2014). ენერგოეფექტურობა და გარემოს დაცვა. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 125გვ.
- ხურცილავა, გ. (2022). ენერგოეფექტური ტექნოლოგიები წარმოებაში. დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის ავტორეფერატი, 32გვ.
- Lee, D., Cheng, C. (2016). Energy savings by energy management systems: A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*. vol. 56, pp.760–777.
- May, G., Taisch, M., Stahl, B., Sadr, V. (2012). Toward energy efficient manufacturing: A study on practices and viewpoint of the industry. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*; Springer: Berlin, Germany, pp.1–8.
- Chiu, T., Lo, S. (2015). Establishing an integration-energy-practice model to improve energy efficiency in ISO 50001 energy management systems: A case study for a networking products company. *Journal Quality*, vol.22, pp.15–28.
- Karcher, P., Jochem, R. (2015). Success factors and organizational approaches for the implementation of energy management systems according to ISO 50001. *TQM Journal*. vol. 27, pp.361–381.
- Cholette, S., Venkat, K. (2009). The energy and carbon intensity of wine distribution: A study of logistical options for delivering wine to consumers. *Journal Clean Production*, vol.17, pp.1401–1413.
- Jabbour, A., Verderio, J., Jabbour, C., Leal, F., Souza, L., Castro, R. (2017). Toward greener supply chains: Is there a role for the new ISO 50001 approach to energy and carbon management? *Energy Efficiency*. vol.10, pp.777–785.

- McKane, A., Therkelsen, P., Scodel, A., Rao, P., Aghajanzadeh, A., Hirzel, S., Matteini M. (2017). Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. *Energy Policy*, vol.107, pp.278–288.
- Wulandary, M. (2015). Early Adoption of ISO 50001 Standard: an Empirical Study. In *Sustainable Operations Management*. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp.183-202.
- ISO (International Organization for Standardization). (2013). ISO Central Secretariat: Geneva, Switzerland.
https://www.mit-solutions.com/downloads/iso_survey_executive-summary_2012.pdf
- Duglio, S. (2011). Energy Management Systems: from EN 16001 to ISO 50001. *Romanian Distribution Committee Magazine*, vol.2, pp.20-27.
- Anisimova, T. (2013). Analysis of Standards in Energy Management. *Middle-East Journal of Scientific Research*, №13(5), pp.654-657.
- Eccleston, M. (2013). *Inside Energy: Developing and Managing and ISO 50001 Energy Management*. CRS Press: New York, NY, USA, 289p.
- Ambec, M., Mark, A., Cohen, A., Elgie S., Lanoie P. (2013). The Porter Hypothesis at 20: Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness? *Review of Environmental Economics and Policy*, vol.7, issue 1, pp.2-22.
- Bloom, N., Reenen, J. (2010). Why Do Management Practices Differ across Firms and Countries? *Journal of Economic Perspectives*, №24(1), pp.203-24.
- Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC). (2003). Canadian Foundry Association. 143p.
- Clean Energy Ministerial CEM. (2013). Roundtable 5: Energy Management Systems, background paper for CEM-4 Delhi, India.
<https://www.cleanenergyministerial.org/ministerials/4th-clean-energy-ministerial-cem4/>
- Global Superior Energy Performance (GSEP) Partnership. (2013). Knowledge and Skills Needed to Implement Energy Management System in Industry and Commercial Buildings – Multi-country Analysis and Recommendations.
https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2014/01/GSEP_knowledge_skills_EnMS_implementation.pdf
- Graziella, S. et al. (2015). Models for Driving Energy Efficiency Nationally Using Energy Management. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, Vol. 35, pp.48-79.

- Global Superior Energy Performance Partnership. (2022). EnMS Practitioners Toolbox Factsheet. <https://www.energy.gov/eere/buildings/global-superior-energy-performance-partnership>.
- Goldberg, A., Reinaud, J., Taylor R. (2011a). Promotion Systems and Incentives for Adoption of Energy Management Systems in Industry : Some International Lessons Learned Relevant for China. <https://www.ctc-n.org/resources/promotion-systems-and-incentives-adoption-energy-management-systems-industry-some>.
- Goldberg, A., Reinaud, J. (2011b). The boardroom perspective: how does energy efficiency policy influence decision making in industry? International Energy Agency and Institute for Industrial Productivity for the IEA Energy efficiency series, 68p.
- Horvath, L. (2012). World Steel Association – Steel Industry & EnMS, Presentation to IIP EnMS Shandong workshop. https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Iron%20and%20Steel%20%20Secured%20presentations/1620%20Ladislav%20Horvath.pdf
- International Energy Agency. (2013). Tracking Clean Energy Progress – IEA Input to the Clean Energy Ministerial. IEA, Paris. , License: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2013>
- International Energy Agency. (2014). Energy Technology Perspectives – Harnessing Electricity's Potential. IEA, Paris. License: CC BY 4.0 <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2014>.
- International Energy Agency. (2015). Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. IEA/OECD, Paris, France. License: CC BY 4.0 <https://www.iea.org/reports/capturing-the-multiple-benefits-of-energy-efficiency>
- International Energy Agency/Institute for Industrial Productivity. (2012). Energy Management Program for Industry, Gaining Through Saving, IEA policy pathway series, IEA/OECD, Paris, France. <https://www.iea.org/reports/policy-pathway-energy-management-programmes-for-industry>
- International Organization for Standardization ISO. (2011). Win the energy challenge with ISO 50001. <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/iso-50001-brochure>
- Januard, F., Bockel-Macal S., Vuillermoz J.C., Leurent J., Lebrun C. (2006). Dynamic control of fossil fuel injections in EAF through continuous fumes monitoring. La Revue de Métallurgie-CIT, pp.275-280.

- Jelic, D., Gordic D., Babic M., Koncalovic D., Sustersi V. (2010). Review of existing energy management standards and possibilities for its introduction in Serbia. *Thermal Science*, №14 (3), pp.613-623.
- Lanoie, P., Laurent-Lucchetti J., Johnstone N. Ambec S. (2011). Environmental Policy, Innovation and Performance: New Insights on the Porter Hypothesis. *Journal of Economics & Management Strategy*, pp.803-842.
- Kahlenborn, W. et al. (2012). *Energy Management Systems in Practice - ISO 50001: A Guide for Companies and Organisations*, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), Berlin, Germany, 115p.
- McKane, A., Price S., De la Rue du Can. (2008). *Policies for Promoting Industrial Energy Efficiency in Developing Countries and Transition Economies*, for the United Nations Industrial Development Organization, Vienna, Austria, 87p.
- McKane, A., Desai D., Matteini M., Meffert W., Williams R., Risser R. (2009). *Thinking Globally: How ISO 15001 – Energy Management Can Make Industrial Energy Efficiency Standard Practice*, Lawrence Berkeley National Laboratory.
<https://escholarship.org/uc/item/92d8q553>
- McKane, A., Scheihing P., Williams R. (2007). *Certifying Industrial Energy Efficiency Performance: Aligning Management, Measurement, and Practice to Create Market Value*, Lawrence Berkeley National Laboratory.
https://www.eceee.org/static/media/uploads/site-2/library/conference_proceedings/ACEEE_industry/2007/Panel_5/p5_6/paper.pdf
- Mey, J. (2011). *How Can We Facilitate the Introduction of Energy Management Systems (EnMS)?*, ECEEE (European Council for an Energy Efficient Economy).
file:///C:/Users/admin/Downloads/3-391_Mey.pdf.
- OECD. (2013). *Improving Energy Efficiency in the Iron and Steel Sector: Opportunities and Financing Challenges*. Paris, France.
<https://www.oecd.org/sti/ind/Energy-efficiency-steel-sector-1.pdf>.
- Reinaud, J., Goldberg A. (2011). *The boardroom perspective: how does energy efficiency policy influence decision making in industry?* International Energy Agency and Institute for Industrial Productivity for the IEA Energy efficiency series, 68p.
- Reinaud, J., Goldberg A. (2012). *Promoting Energy Management Systems through Energy Efficiency Programmes, Incentives and Support – Lessons Learnt from Evaluations in Denmark, Ireland and Sweden*.
<https://energy-evaluation.org/wp-content/uploads/2019/06/2012-iepec-session-19-industry-amelie-goldberg.pdf>

Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI). (2013). Large industry Energy Network (LIEN) Annual Report. <https://www.seai.ie/publications/SEAI-Annual-Report-2013.pdf>.

Sustainable Energy Authority of Ireland. (2011). Large industry Energy Network (LIEN) Annual Report. https://www.enel.com/content/dam/enel-com/documenti/investitori/informazioni-finanziarie/2011/annuali/en/annual-report_2011.pdf

Therkelsen, P., Sabouni R., McKane A., and Scheihing P. (2013). Assessing the Costs and Benefits of the Superior Energy Performance Program, ACEEE. <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/assessing-costs-and-benefits-superior-energy-performance-program>.

McNeil, Michael, A., de la Rue du Can, Hamz, S. (2016). Efficiency Indicators and Impact Metrics. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://escholarship.org/content/qt4bd98511/qt4bd98511.pdf>.

Sorrell, S., Mallett, A., Nye S. (2011). Barriers to industrial energy efficiency: A literature review. United Nations Industrial Development Organization. Vienna.

http://sro.sussex.ac.uk/id/eprint/53957/1/WP102011_Barriers_to_Industrial_Energy_Efficiency_-_A_Literature_Review.pdf.

US Department of Energy. (2010). Industrial Technologies Program (ITP) – Success Story: Harrison Steel. <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/success-story-harrison-steel>

US Department of Energy. (2019). Industrial Assessment Centres (IAC) database. <https://data.world/us-doe-gov/76b38bb9-5561-4900-850a-2acb51397b1c>

International Energy Efficiency Scorecard Rank. (2022). <https://www.aceee.org/international-scorecard>

საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო.(2022). ენერჯეტიკისა და კლიმატის ეროვნული ინტეგრირებული გეგმა. <https://nea.gov.ge/Ge/Download/PublicFile/3134>.

Hasan, Z., Mohammad, H., Jishkariani, M. (2022). Machine Learning and Data Mining Methods for Cyber Security: A Survey. Mesopotamian Journal of CyberSecurity, pp.47–56.

UNIDO. (2022). Practical Guide for Implementing an Energy Management System. <https://www.industrialenergyaccelerator.org/general/practical-guide-for-implementing-an-energy-management-system/>.

Cosenza, E. et al. (2019). Energy Management System (EnMS) Guidebook for Local Authorities.

https://www.eurovertice.eu/wp-content/uploads/2019/07/EnMS-manual-for-LAs_FINAL.pdf

საქართველოს სტანდარტები. (2010). სსტ ენ 12263:2010 - გაცივების სისტემები და სითბური ტუმბოები - ჩართვის მოწყობილობების უსაფრთხოება წნევის შეზღუდვისთვის - მოთხოვნები და გამოცდები.

<https://sst.geostm.gov.ge/2F94E943-8257-4F6D-A9A4-BC6B05231EC3>

საქართველოს სტანდარტები და მეტროლოგია. (2017). სსტ ენ 60335-2-89:2010/2017. პრაქტიკული მოთხოვნები კომერციული სამაცივრე მოწყობილობების კომპრესორების მიმართ.

<https://sst.geostm.gov.ge/90E14F13-9F68-46BA-A135-DED82FE71104>

სამსონია, ნ., ჩომახიძე, დ., გუდიაშვილი, მ. (2017). ეკონომიკა და მართვა ენერგეტიკაში. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 250გვ.

ბოჭორიშვილი, ლ., გუდიაშვილი, მ. (2011ა). ენერგეტიკაში ეკონომიკური საკითხების გადაწყვეტის ლაბორატორიული გამოთვლების საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 73გვ.

ბოჭორიშვილი, ლ., გუდიაშვილი, მ. (2011ბ). კაპიტალდაბანდების ეკონომიკური შეფასების მეთოდები ენერგეტიკაში. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 144გვ.

Jishkariani, M., Dvalishvili, N., Kurakhchishvili, L. (2020). Evaluation of Calorific of Municipal Solid Waste (MSW). In: Ghosh, S. (eds) Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies. Singapore: Springer, pp.263–265.

Jishkariani, M., Gosh, S., Didbaridze, K. (2021). Energy and Economic Indicators Influencing Circular Economy in Georgia. Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective. Singapore: Springer, 2021. pp 331–358.

არაბიძე, გ., არაბიძე, მ., გუდიაშვილი, მ., ჯიშკარიანი, თ. (2014ა). სუფთა განვითარების მექანიზმის (სგმ) პროექტები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 113გვ.

არაბიძე, გ., გუდიაშვილი, მ., ჯიშკარიანი, თ. (2014ბ). ენერგეტიკული უსაფრთხოება. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 136გვ.

არაბიძე, გ., გუდიაშვილი, მ., ჯიშკარიანი, თ. (2014გ). ენერგეტიკა და საზოგადოება. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 125გვ.

არაბიძე, გ., გუდიაშვილი, მ., ჯიშკარიანი, თ. (2014დ). ენერგეტიკისა და გარემოს დაცვის საერთაშორისო სამართალი. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 253 გვ.

არაბიძე, გ., გუდიაშვილი, მ., ჯიშკარიანი, თ. (2014ე). ენერგეტიკა და კლიმატის ცვლილება. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 189გვ.

გუდიაშვილი, მ., ბოჭორიშვილი, ლ. (2014). ენერგობიზნესის სამართლებრივი საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 105გვ.

Arabidze, M. (2019). Renewable Energy in Georgia Challenges and Opportunities. https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pp/gere/GERE.6_Oct.2019/2_RE_Auctions/2_M.Arabidze_Georgia.6th.GERE.pdf

ენერგოეფექტურობის ცენტრი-საქართველო. (2023). რესურსეფექტური, სუფთა წარმოება და ეკო-ინოვაცია მცირე და საშუალო საწარმოებისათვის. http://eecgeo.org/ge/project_recip.htm.

Jishkariani, M., Pitskhelauri, M. (2022a). Different Types of Energy Company's Role in Georgian Power Engineering. Latin American International Conference on Natural and Applied Sciences, Villahermosa, Tabasco, Mexico, pp.269-275.

Jishkariani, M., Pitskhelauri, M. (2022b). Renewable Resources Role in the Transition to a Circular Economy Model. 10th International Scientific-Practical conference „Modern Directions of Scientific Research Development“, Chicago, USA, pp.78-87.

Pitskhelauri, M., Jishkariani, M. (2021). Preconditions for Implementing Energy Management Systems in Georgia. 11th IconSWM-CE & IPLA GLOBAL FORUM: Jadavpur University, Kolkata, India, 2021, pp.284.

ჯიშკარიანი, მ., ფიცხელაური, მ. (2022). ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვის მოტივაციის, სირთულისა და სარგებლის მრავალფაქტორიანი შეფასება. ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული, №3(525), გვ.105-116.

Jishkariani, M., Pitskhelauri, M. (2022c). Paradigm Shift in Energy and Waste Management. Presentation on 12th IconSWM-CE & IPLA GLOBAL FORUM: Titupat, India.

ფიცხელაური, მ. (2022). მრეწველობაში ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვის მაგალითები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, №3-4(103-104), გვ.78-86.

Pitskhelauri, M., Jishkariani, M. (2023a). Energy Management Systems (Enms) Reforms of Georgia. Journal of Energy Engineering and Thermodynamics (JEET), №3(01), pp. 38–45.

Pitskhelauri, M., Jishkariani, M. (2023b). Application of Graphic Neuro-Fuzzy Designer in Energy Management. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), Vol. 12, Issue 1, pp.1-6.

ქევიზიშვილი, ნ., კილურაძე, ო., ინვია, ნ., ჯავშანაშვილი, ნ., ჯიშკარიანი, თ. (2021). ენერგოაუდიტი საქართველოს რეგიონების საყოფაცხოვრებო სექტორში. თბილისი: giz, გერმანიის თანამშრომლობა, 164 გვ.