

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მაია ფიცხელაური

საქართველოში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების
განხორციელების ეფექტიანობის გამოკვლევა

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
ენერგეტიკის ფაკულტეტი
ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი მ. ჯიშკარიანი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2023 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა. საქართველო წარმოადგენს გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის ხელმძღვანელ სახელმწიფოს, რომლის ვალდებულებაა 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.

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 - მათლახის სიმულაციური აპლიკაციით და გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის გამოყენებით, შეფასებულია ქვეყნის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებელი ეროვნულ დონეზე.
- მრეწველობაში ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების **მზახობისა 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.

სამუშაოს მიზანი.

სამუშაოს მიზანია მეცნიერული კვლევის საფუძველზე, ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებებისა და ენერგოდაზოგვის გამოთვლის მეთოდოლოგიის შემუშავება; საქართველოში ენერგოდანაზოგების გამოთვლის მეთოდოლოგია ჯერ კიდევ შემუშავების პროცესშია, ამიტომ აღნიშნული კვლევა ხელს შეუწყობს ენერგოეფექტურობის კანონქვემდებარე აქტების მომზადების პროცესს ეროვნულ და სექტორულ დონეზე; შეზღუდული ინფორმაციის პირობებში, კვლევის პრაქტიკული გამოცდილება დაეხმარება ენერგომომხმარებელ ობიექტებს, სისტემური მიდგომის გამოყენებით, უწყვეტი ენერგოეფექტიანობის, ენერგოეკონომიურობისა და ენერგოუსაფრთხოების მიღწევაში. გარდა ამისა, კვლევის შედეგები გამოსადეგი იქნება ენერგო-აუდიტორთა აკრედიტაციისა და სერტიფიცირების სქემების შემუშავების პროცესისათვის.

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.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები. ნაშრომში გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

1. შექმნილია ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების დანერგვის ალგორითმი და მისი პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც შეიძლება გამოიყენონ სამრეწველო საწარმოებმა და საზოგადოებრივი სერვისის ობიექტებმა ენერგოაუდიტის ანგარიშის მოსამზადებლად.
2. კომბინირებული კვლევის საფუძველზე, შენობების, მრეწველობისა და ტრანსპორტის სექტორებში ენერგოეფექტური ღონისძიებების გატარებასთან დაკავშირებული განუსაზღვრელობის პირობებში, შეფასებულია ენერგოეფექტურობა ეროვნულ დონეზე.
3. ჩატარებულია ფოკუს-ჯგუფებთან ინტერვიუ, მიღებული შედეგების კომპლექსური კვლევის საფუძველზე გაანალიზებულია რაოდენობრივი კავშირები ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების დანერგვის მოტივებს, სირთულეებსა და სარგებელს შორის. საძიებო კვლევის საფუძველზე გამოვლინდა ცვლადების პოტენციური კავშირები და დომინანტი ფაქტორები (ლეგიტიმაცია, უწყვეტი გამზომი ინსტრუმენტების აუცილებლობა და საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაცია), გამოიკვეთა საწარმოებისთვის ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების დანერგვის წამახალისებელი და შემაფერხებელი მიზეზები და განწყობები.

შედეგების გამოყენების სფერო.

საქართველოში ენერგოეფექტურობის კანონის მიღება გადამწყვეტი ეტაპია თავისუფალი ენერგეტიკული ბაზრის განვითარებისთვის და ენერგეტიკული პოლიტიკის შემადგენელი პროგრამების შემდგომი გაძლიერებისათვის. ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების (ISO50001 სტანდარტის შესაბამისად) დამკვიდრება და აქტიური გამოყენება მნიშვნელოვანია როგორც კომპანიის ღირებულებისა და ეფექტურობის, ასევე გარემოსა და მდგრადი ენერგეტიკული განვითარების თვალსაზრისით. კვლევის შედეგები უკვე აპრობირებულია ქ.თბილისის საცალო ვაჭრობის ობიექტზე, სადაც განხორციელდა დეტალური ენერგოაუდიტი, განისაზღვრა ენერჯის მოხმარების შემცირების სამიზნე მაჩვენებელი და შემდეგ დაიგეგმა მისი განხორციელების სტრატეგია. სამიზნე მაჩვენებლის დადგენა სავალდებულოა ენერგოეფექტურობის

შესახებ კანონით, ითვალისწინებს მოქმედებებს პარიზის შეთანხმების ფარგლებში ეროვნულად განსაზღვრული წვლილის შესასრულებლად.

ნაშრომის აპრობაცია.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის თემატური სემინარის განხილვაზე, პირველ, მეორე, მესამე კოლოკვიუმებზე და წინასწარ დაცვაზე. ასევე 4 საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე. კერძოდ: 1. მე-11 საერთაშორისო IconSWM-CE და IPLA გლობალური ფორუმი, 1-4 დეკემბერი 2021 წელი, ჯადავჭურის უნივერსიტეტი, კალკუტა, ინდოეთი; 2. მე-10 საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია: "მეცნიერული კვლევის განვითარების თანამედროვე მიმართულებები", 23-25 მარტი 2022 წელი, ჩიკაგო, აშშ; 3. ლათინური ამერიკის საერთაშორისო კონფერენცია ბუნებრივი და გამოყენებითი მეცნიერებების შესახებ, 4-6 ოქტომბერი 2022 წელი, ვილაჰერმოსა, ტაბასკო, მექსიკა; 4. მე-12 IconSWM-CE და IPLA გლობალური ფორუმი 30 ნოემბერი-3 დეკემბერი 2022 წელი, შრი ვენკატესვარას უნივერსიტეტი, ტირუპატი, ინდოეთი.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურის მიმოხილვის, 3 თავის, დასკვნის და 79 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს ნაბეჭდ 111 გვერდს, წარმოდგენილია 31 ნახაზი და 29 ცხრილი.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში წარმოდგენილია ინფორმაცია ნაშრომის აქტუალობის, სიახლეების, მიზნის, კვლევის ობიექტის და მიღებული შედეგების გამოყენების სფეროს შესახებ. **ლიტერატურის მიმოხილვა** მოიცავს ინფორმაციის შეგროვებას და კვლევებისა და მიგნებების ანალიზს საქართველოს, აშშ-ს, ევროპული და აღმოსავლეთის ქვეყნების წამყვანი მეცნიერების მიერ ბოლო 5 წლის გამოქვეყნებული ნაშრომების საფუძველზე. საქართველოს მდგრადი განვითარების ცენტრის, „რემისიის“ მიერ საქართველოს ათი ქალაქის მასშტაბით შემუშავებულმა დაბალემისიებიანი განვითარების სტრატეგიამ, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის ექსპერტთა ჯგუფის მონაწილეობით, მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა საქართველოს ენერგეტიკული პოლიტიკის სტრატეგიული პროგრამების შემდგომ გაძლიერებაში.

თავი 1. ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები, როგორც მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი პოლიტიკის შემუშავებისა და პროგრესის მონიტორინგისთვის

გამოყენებულია კვლევის რაოდენობრივი შეფასების ფაზი-ლოგიკის მეთოდი, რომელიც ეფუძნება ბუნდოვანი წესების გენერირების ინდუქციურ ალგორითმს. მსოფლიოში ენერგოეფექტური ღონისძიებების შესწავლა პრიორიტეტულია, აშშ-ს ენერგოეფექტური ეკონომიკის ამერიკული საბჭო იკვლევს ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლებს მსოფლიო მასშტაბით და 2022 წლის ანგარიშში დასახელებულია ყველაზე ენერგოეფექტური ქვეყნები 100-დან 45-75 ქულით. საქართველოსთვის ეროვნულ დონეზე ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების რაოდენობრივი მნიშვნელობები ჯერჯერობით შეუსწავლელია და ეყრდნობა შემფასებლის ექსპერტულ მოსაზრებას. შერჩეულია სამი ყველაზე მნიშვნელოვანი სფერო: შენობები, მრეწველობა და ტრანსპორტი, შეფასებულია თითოეული კატეგორიაში გატარებული ენერგოეფექტური ღონისძიებები განუსაზღვრელობის პირობებში და ხელოვნური ინტელექტის - მათლახის სიმულაციური აპლიკაცია გრაფიკული ნეირო-ფაზი დიზაინერის საშუალებით განსაზღვრულია მათი ზეგავლენა საბოლოო მაჩვენებელზე, ანუ ქვეყნის ენერგოეფექტურობაზე. 2021 წლის ბალანსის

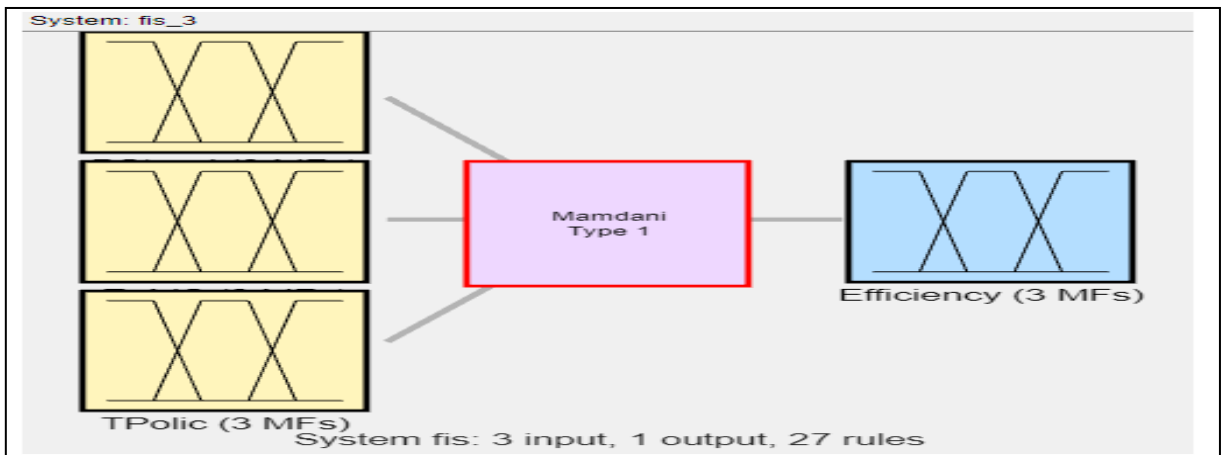
მიხედვით ელექტროენერჯის უდიდეს ნაწილს (28%) მოიხმარს კერძო და სახელმწიფო სერვისის ობიექტები, ხოლო ტრანსპორტი, ჯამური ენერგეტიკული რესურსის (30%) უდიდესი მომხმარებელია. ენერგო და ელექტრომომხმარებლის ხვედრითი წონების და შესაბამის სფეროში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელების არასაკმაო სტატისტიკური მონაცემების პირობებში, კომპლექსური შეჯერების საფუძველზე განხორციელდა ენერგოეფექტურობის ინდიკატორების ექსპერტული შეფასება სტანდარტულ კოგნიტურ პრინციპებზე და შემფასებლის პირად ცოდნასა და გამოცდილებაზე დაყრდნობით (ცხრ.1).

ცხრილი 1. 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, სატრანზიტო დერეფნების განვითარება	18
	საწვავის რეგულაცია	საწვავის ხარისხის გაუმჯობესება	5
	ტექნიკური ინსპექტირება	ავტოტრანსპორტის ტექნიკური დათვალიერება	2.2

კვლევაში გამოყენებულია მათემატიკის პროგრამული პაკეტის მიკუთვნების ფუნქციის მამდანი-1 ტიპი (Fuzzy Inference System, FIS), ხელოვნური ინტელექტის ცნობილი მიდგომა, რომელიც ემყარება ბუნდოვანი სიმრავლეების თეორიას და

ბუნდოვან ლოგიკას კლასიკური მკვეთრი სიმრავლეების თეორიის გასავრცელებლად (ნახ.1).



ნახ.1. მათლახის პროგრამული პაკეტის მიკუთვნების ფუნქციის მამდანი-1 ტიპი

მამდანი-1 მოდელში თითოეული წესის ფორმულირება (1) შემდეგნაირია:

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

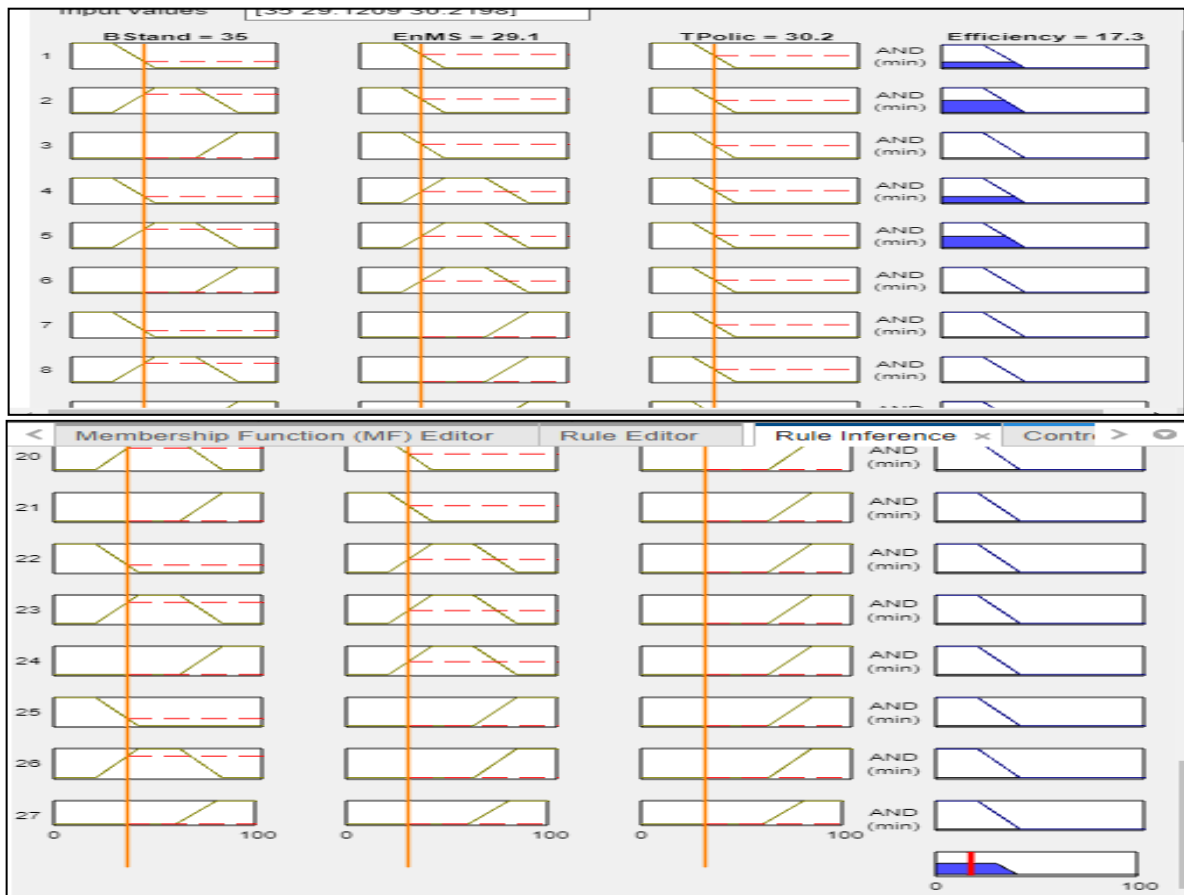
სადაც, $x_1 \dots x_n$ - შემავალი ცვლადები; y არის გამომავალი ცვლადი. $A_{i1} \dots A_{in}$ და B არის შემავალი და გამომავალი ცვლადების ენობრივი მნიშვნელობები (ტერმები).

სამკუთხედის, ტრაპეციის, გაუსის და სიგმოიდური წევრობის ფუნქციებიდან თითოეული ცვლადისთვის შერჩეულია ტრაპეციული მიკუთვნების ფუნქციები. შექმნილია ცოდნის ბაზა (წესები) და IF-THEN პირობები, რომლებიც მოწოდებულია ექსპერტების მიერ გადაწყვეტილების მიღებისთვის, ლინგვისტური ინფორმაციის საფუძველზე. განსაზღვრულია შესაბამისი თერმები: სამი შემავალი და ერთი გამომავალი ლინგვისტური ცვლადისთვის და თითოეული ცვლადის პარამეტრების დიაპაზონი „სამშენებლო სტანდარტები“ [დაბალი, კარგი, შესანიშნავი] {0,0.5,1.0}, „ენერგომენეჯმენტი სისტემის დანერგვა“ [სუსტი, საშუალო, ძლიერი] {0,0.5,1.0}, „სატრანსპორტო პოლიტიკა“ [ბუნდოვანი, ნორმალური, მკვეთრი] {0,0.5,1.0}, „ეროვნული დონის ენერგოეფექტურობის ინდიკატორი“ [არაეფექტური, მარგინალური, ეფექტური] {0,0.5,1.0}. ფაზიფიკაცია გამოიყენება შემავალი ინფორმაციის, ანუ მკაფიო რიცხვების გადასაყვანად ბუნდოვან დაჯგუფებებად. თანაკვეთის წერტილი განსაზღვრავს

შემავალი ბუნდოვანი ინფორმაციის შესატყვის ხარისხს თითოეულ წესთან მიმართებაში. წესებზე დაფუძნებული (Rule Base) მიდგომამ დეტალურად განსაზღვრა 27 წესის კრებული. შემდეგ ეტაპზე გაფანტული წესები გაერთიანებულია საკონტროლო მოქმედებების შესაქმნელად. დეფაზიფიკაცია არის ალგორითმის ბოლო ნაბიჯი, ცენტროიდული დეფაზიფიკაცია განლაგებს ბუნდოვანი ნაკრების სიმძიმის ცენტრს x -ღერძის გასწვრივ. ის გამოითვლება (2) ფორმულის გამოყენებით, სადაც $\mu(x_i)$ არის x_i წერტილის განლაგება სივრცეში.

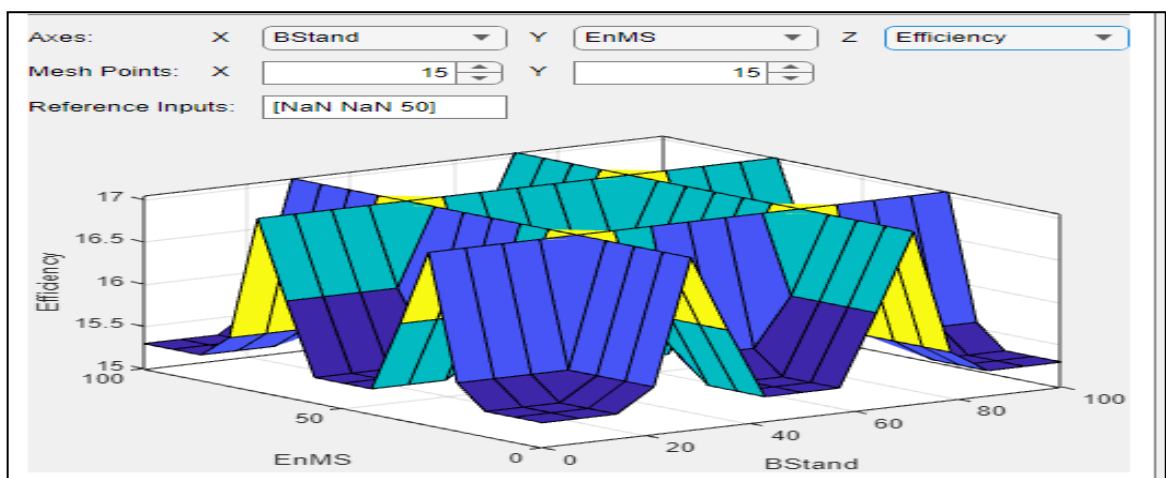
$$X_{\text{ცენტროიდული}} = \frac{\sum_i \mu(x_i)x_i}{\sum_i \mu(x_i)} \quad (2)$$

ამ საფეხურზე დეფაზიფიკატორი იყენებს მიკუთვნების ფუნქციას გამომავალი ცვლადის დასადგენად, საიდანაც ჩანს, რომ საქართველოში ენერგოეფექტურობის ინდიკატორს მიეკუთვნა 100-დან 17.3 ქულა, რომელიც ბევრად ჩამორჩება განვითარებული ქვეყნების ანალოგიურ მნიშვნელობებს (ნახ.2).



ნახ.2. წესების რაოდენობრივი გამოხატულება და მიღებული შედეგი

აღნიშნული გარემოება აიხსნება იმით, რომ საქართველოში მოქმედი ენერგო-ეფექტურობის კანონების აღსრულების მექანიზმები ჯერ კიდევ საჭიროებს დახვეწას. საზოგადოებრივ და საჯარო სამსახურის შენობებს უნდა გააჩნდეს ენერგოეფექტურობის სერტიფიკატი, გათბობისა და გაგრილების სისტემების პერიოდული ინსპექტირების აუცილებლობის და სხვა ღონისძიებები საჭიროებს დროში დაჩქარებას. საქართველოს მთავრობის ენერგეტიკისა და კლიმატის ერთიანი ინტეგრირებული გეგმის მიხედვით, ენერჯის მართვის სისტემების დანერგვა მრეწველობაში და სერვისის ობიექტებში, ენერგოეფექტურობის პოლიტიკის შემუშავება, იმპლემენტაცია და ამოქმედება ეტაპობრივად, 2030 წლისთვის, ასევე დროში გახანგრძლივებას გულისხმობს და ხელშესახები ენერგოეფექტური შედეგები მყისიერად ვერ მიიღება. საქართველოს მთავრობას გააჩნია გამოკვეთილი სატრანსპორტო პოლიტიკა, რაც დაკავშირებულია ავტომობილების ტექნიკური ინსპექტირების რეგლამენტის ცვლილებასთან და გამონაბოლქვის ნორმის შემცირებასთან, მაგრამ ინვესტიცია ელექტროტრანსპორტის განვითარებაში უკეთესის სურვილს აჩენს. პროგრამაში შემავალი და გამომავალი ცვლადების მატრიცების ციფრული სახით ვიზუალიზაციისთვის გამოიყენებულია ზედაპირის მოდელირება (Surface Plot), გამოსახავს სამგანზომილებიან ურთიერთობას ორ განზომილებაში, ცვლადები (x) და (y) ღერძებზე და პასუხის ცვლადი (z) წარმოდგენილია გლუვი ზედაპირით (ნახ.3).



ნახ.3. შემავალი და გამომავალი ცვლადების გრაფიკული გამოსახულება

თავი 2. ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელება საქართველოს საცალო ვაჭრობის ობიექტის მაგალითზე

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.4).



ნახ.4. ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების ახალი დიზაინის ალგორითმი

აკადემიური ცოდნის პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით, ჩვენს მიერ შედგენილი ალგორითმის ბაზაზე, განხორციელდა ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებები ე.თბილისის საცალო ვაჭრობის ობიექტის გათბობის, გაგრილების და განათების სისტემებში. მიმდინარე ეტაპზე კვლევა ფოკუსირებულია გაგრილების სისტემაზე, სადაც ელექტროძრავების მიერ ელექტროენერჯის მოხმარებას ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილი უკავია. საცალო

ვაჭრობის ობიექტის ენერჯის მოთხოვნილება დამოკიდებულია ცვლადებზე, როგორცაა შენობის ზომა, გაყიდვები, თანამშრომლების და ვიზიტორების რაოდენობა, მუშაობის საათები, გარემოს ტემპერატურა, ტენიანობა, რომელმაც ასევე შეიძლება გავლენა მოახდინოს სურსათის უსაფრთხოებაზე და ადამიანის ჯანმრთელობაზე. კვლევა ეფუძნება საკვლევო ობიექტის მიერ გასული 2021 და მონიტორინგის პერიოდის 2022 წლის 10 თვის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის ანალიზს. ელექტროენერჯის მოხმარებაზე ზემოქმედების ფაქტორების, ანუ ცვლადების ასარჩევად გამოყენებული იქნა ალბათობის ანალიზი (Probability Analysis). საანგარიშო წლის გათბობის და გაგრილების გრადუს-დღეების გამოსათვლელად გამოყენებულია კომპიუტერული აპლიკაცია degreedays.net, სადაც ადგილობრივი უახლოესი მეტეოსადგურის, საბაზისო ტემპერატურის (15°C) და თარიღების მითითების შემდეგ, ავტომატურად მიიღება შესაბამისი მნიშვნელობები. საბოლოო მაჩვენებელზე (ელექტროენერჯის მოხმარება) ცვლადების შესაბამისობის დადგენის მიზნით ჩატარებულია კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი, რაც გულისხმობს გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეების კორელაციური კავშირის დადგენას მოხმარებულ ელექტროენერჯიასთან (ცხრ. 2).

ცხრილი 2. კვლევის ობიექტის გათბობის და გაგრილების გრადუს დღეები

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

კვლევის შემდეგი ეტაპია რეგრესიის კოეფიციენტების განსაზღვრა უმცირეს კვადრატთა მეთოდის საშუალებით. 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. გათბობის და გაგრილების გრადუს-დღეებისა 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 (3):

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

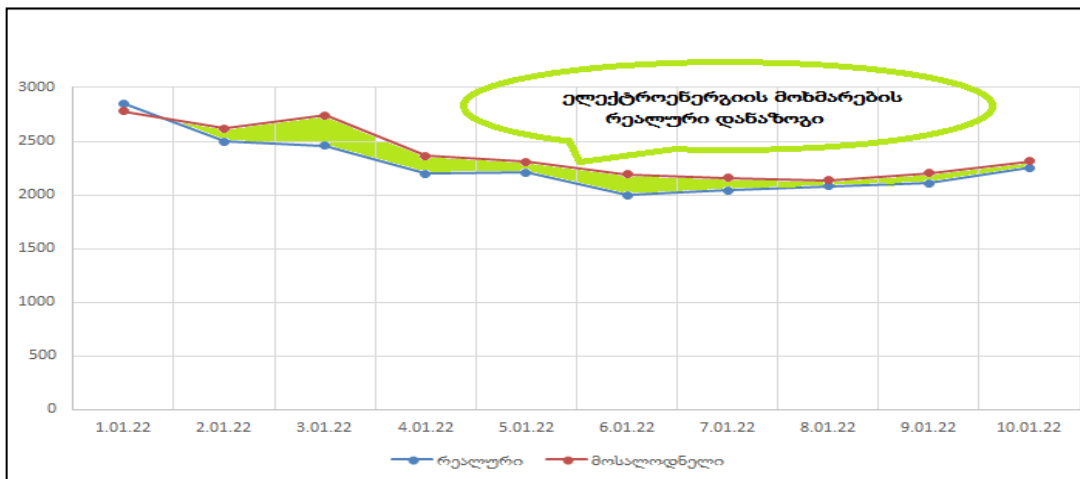
სადაც HDD - გათბობის გრადუს დღეები; CDD - გაგრილების გრადუს დღეები, ხოლო 2285.564 არის წრფის აბსცისთა ღერძთან თანაკვეთა (დახრის კუთხის ტანგენსი). 2022 წლის მოსალოდნელი მოხმარება, რომელიც აიღება საბაზისო დონედ Baseline, იანგარიშება რეგრესიის (3) ფორმულით (ცხრ.3).

ცხრ.3. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტურობის ინდიკატორები

2021/2022	გათბობის გრადუს-დღეები HDD	გაგრილების გრადუს-დღეები CDD	მონიტორინგის პერიოდი	მოსალოდნელი მოხმარება, საბაზისო დონე Baseline	ანგარიშობა კოეფიციენტი	რეალური დანახვები (მონიტორინგის პერიოდი)	რეალური დანახვების კუმულაციური CUSUM	მიზანი 19.7%	სამონიტორინგო დანახვები	სამონიტორინგო დანახვების კუმულაციური CUSUM target
01.01.21	372.5	0	2770							
02.01.21	268	2.6	2720							
03.01.21	284.1	0.7	2565							
04.01.21	59.4	51.6	2461							
05.01.21	19.9	140.6	2360							
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

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. სამიზნე მოხმარების ანგარიში დაეხმარება თანამშრომლებს დაზოგონ ელექტროენერჯია კონკრეტული მიზნის მისაღწევად განსაზღვრული დროის განმავლობაში საბაზისო დონესთან შედარებით. 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.5).



ნახ.5. მოხმარებული ელექტროენერჯის რეალური დანაზოგი (მონიტორინგის პერიოდში)

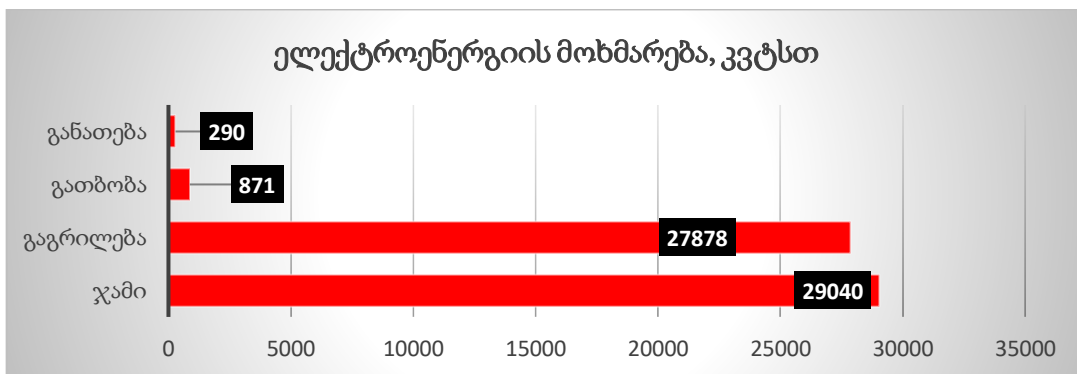
შედგენილია დანაზოგის და მიზნის კუმულაციური ჯამის გრაფიკული გამოსახულება, რომელიც არა მხოლოდ უზრუნველყოფს ტრენდის ხაზს, ის ასევე ითვლის დანაზოგს და აჩვენებს, როდის იწყება ენერგოეფექტურობა (ნახ.6).

შესწავლილია ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი მომხმარებლები (SEU), გათბობა, გაგრილების და განათების სისტემების სიმძლავრეები. გაგრილების სისტემა მოიხმარს საკვლევი ობიექტის მთლიანი ელექტროენერჯის უდიდეს ნაწილს-96% (ნახ.7).



ნახ.6. საბაზისო დონე, დანაზოგის კუმულაციური ჯამი და კუმულაციური მიზანი

ენერგოაუდიტის პროცესმა გამოავლინა ენერგოდაზოგვის სამიზნე: მოძველებული სამაცივრო კომპრესორის ძრავა ცხელდება, ვიბრირებს და საჭიროებს შეცვლას, მას გააჩნია დაბალი მარგი ქმედების კოეფიციენტი - 0,86%. რათა მიღწეული იქნას სამიზნე მაჩვენებელი (მოხმარება 23319 კვტს/წელი ნაცვლად 29040 კვტს/წელი), გაკეთებულია კომპრესორის ძრავას შეცვლის მოდელირება, შემდეგ ეტაპზე კი იგეგმება გათბობის და განათების სისტემის მოდერნიზაცია.



ნახ.7. ენერჯის მნიშვნელოვანი მოხმარებლები SEU

საცალო ვაჭრობის ობიექტებში გაგრილების სისტემის სამაცივრო ტევადობა მოიცავს სამაცივრო ბლოკში პროდუქტის და გაყიდვის ზონის გაგრილებისთვის საჭირო ენერჯის რაოდენობას. გაგრილების დატვირთვის გასაანგარიშებლად მნიშვნელოვანია, თუ რამდენი სიმძლავრე იქნება საჭირო სხვადასხვა წყაროდან გენერირებული სითბოს ასარინებლად (ცხრ.4).

ცხრ.4. გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო კომპონენტები

გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო კომპონენტები	გაგრილების დატვირთვის საანგარიშო ფორმულები
Q- შემაჯავლი თბური დატვირთვა, კვტს/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 კვკ-დან კვტ/სთ-ში)
	m - ახალი პროდუქტის მასა დღეში, კგ C _p -პროდუქტის სითბოტევადობა. (კვკ/კგ.°C)
Q- ცოცხალი პროდუქტის თბური ენერჯია, კვტსთ (ხილი და ბოსტნეული, რომლებსაც გააჩნიათ მაღალი სითბოტევადობა)	$Q = \text{ცოცხ.პროდ.მასა (კგ)} \times \text{ცოცხ.პროდუქტის სითბოტევადობა (კვკ/კგ)} / 3600$
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- ამართქლებლის გაღობით გამოწვეული სითბოს დატვირთვა, კვტსთ (ამართქლებელი 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	$Q = \text{ჰაერის ცვლის ჯგერადობა} \times \text{მოცულობა} \times \text{ენერჯია} \times (\text{გარე ტემპ.} - \text{შიგა ტემპ.}) / 3600$

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. 5).

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. განხილულია სხვადასხვა ტიპის კომპრესორის მქკ (ეფექტიანობა), ფასები და ფუნქციური მახასიათებლები 1,1-დან 400 კვტ-მდე დიაპაზონისთვის. 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 შექმნა როგორც ადგილობრივ ბაზარზე ასევე ინტერნეტ სავაჭრო პლატფორმებიდან გამოწერა.

ცხრ. 5. 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 - კვტ/სთ/დღე, თბური დატვ.(იატაკი)	1.2
m-ახალი პროდუქტების მასა ყოველ დღე (კგ)	4000
Cp-პროდ.სპეციფიკ.სითბოს სიმძლ. (კჯ/კგ.°C)	3.65
t1- პროდ. შესვლის ტემპერატურა (°C)	21
t2 - საწყობის ტემპერატურა (°C)	-1
Q - კვტ/სთ/დღე, პროდუქტის დატვ.	81
M - ცოცხ. პროდუქტების მასა, (კგ)	2000
ცოცხ.პროდუქტის სითბოტევადობა (კჯ/კგ)	1.9
Q - კვტ/სთ/დღე, ცოცხ.პროდ.თბური.დატვ.	1.06
მომუშავე (კაცი)	4.00
დრო (საათი)	6.0
სითბო, ერთ ადამიანზე საათში (ვატი)	270
QQQ- კვტ/სთ/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 ბლოკის საბოლოო სიმძლავრე, კვტ	10.00

რეკომენდებული სამაცივრო კომპრესორის ძრავას საბაზრო ღირებულება ადგილობრივი ვალუტის შესაბამისი კურსით 3840 ლარია. ახალი დიზაინის ალგორითმის შესაბამისად, ენერგოეფექტური ძრავას შეცვლით მიიღება 1002

ლარის დაზოგილი ენერგია წლის განმავლობაში, ხოლო მარტივი უკუგების ვადაა 4 წელი (ცხრ. 6).

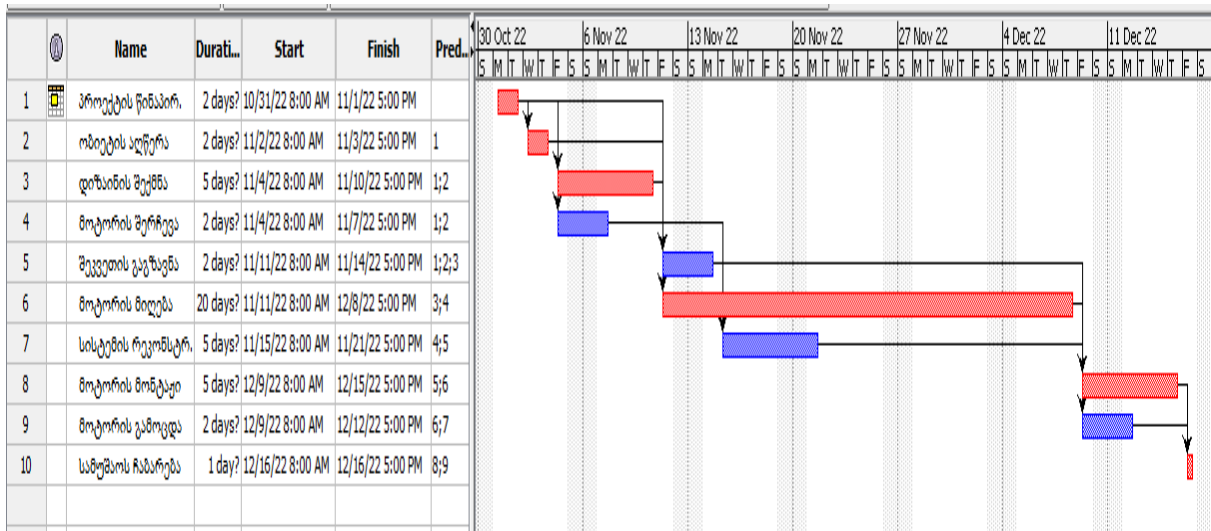
ენერგეტიკული პროექტის დაგეგმვისას ადგილი აქვს პროექტის დროში გახანგრძლივებას, რაც იწვევს ფინანსურ დანახარჯებს, ამიტომ განხორციელდა პროექტის (Project Evaluation Review Technique) PERT ანალიზი. კომპიუტერული პროგრამა ProjectLibre-ს განტის გრაფიკმა დეტალურად ასახა პროექტის მიმდინარეობის პერიოდი და გამოვლინდა პროექტის დადგენილ ვადაში დასრულების და ფინანსურ ლიმიტში ჩატევის ალბათობა (ნახ. 8).

ცხრ. 6. ახალი დიზაინის ალგორითმის მიხედვით ენერგოეფექტური ტექნოლოგიის დანერგვის ანგარიში

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

გაანგარიშებულია ოპერაციების მიმდინარეობის ვარიაციები, სტანდარტული გადახრა და კრიტიკული გზა. 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 შესაბამისი ალბათობა იმისა, რომ პროექტი შესრულდება დაგეგმილ ვადაში არის 23%. პროექტის დადგენილ ვადაში დასრულების ალბათობის 99% მისაღწევად, საჭიროა ე.წ. „გვიანი ფინიში“ გაიზარდოს 3 დღით და გახდეს 50 დღე (ცხრ. 7).



ნახ.8. კვლევის ობიექტის ენერგოეფექტური პროექტის განტის გრაფიკი

ცხრ. 7. ოპერაციების ვარიაციები, სტანდარტული გადახრა და კრიტიკული გზა

#	ოპერაციის დასახელება	ოპტ. დრო O	ალბ. დრო M	პეს. დრო P	მოს.დრო Te (0+4M+P)/6	ვარიაცია Vi [(P-O)/6]2	სტან. გადახრა G (P-O)/6	კრიტ. გზის ვარიაც. ჯამი ΣVc	კრიტ. გზა
1	პროექტ.წინაპ.შესწ.	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 რეკონსტრუქცია	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
								ΣVc = 1,89	EF = 47
								σTe = 1,37	

შემდეგ ეტაპზე განხორციელდა ენერგოეფექტური პროექტის ფინანსური ანალიზი. პროექტის სავარაუდო ღირებულება შეადგენს 5000 ლარს. შეფასებულია თითოეული ამოცანის ღირებულება ნორმალური, ალბათური და პესიმისტური პირობებისთვის. გამოთვლილია თითოეული ოპერაციის სტატისტიკური საშუალო მნიშვნელობა, ვარიაციები და სტანდარტული გადახრა. გამოთვლების შედეგად მიიღება ხარჯების საშუალო მნიშვნელობა (ცხრ. 8).

გაანგარიშებულია 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

შესაბამისი ალბათობა შეადგენს 0,32%-ს, პროექტის დასრულების ალბათობის 99%-მდე გასაზრდელად ლიმიტი უნდა გაიზარდოს 5016,7≈5017 ლარამდე. პროექტის ექვსწლიან ხარჯსარგებლიანობის ანგარიშში გათვალისწინებულია საქართველოში მიმდინარე ინფლაციური პროცესები (საშუალო წლიური ინფლაცია 9,6% 2021წ.) 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.

ცხრ.8. ოპერაციების ღირებულებების ვარიაციები და სტანდარტული გადახრა

#	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		

ბიზნესის შეფასებაში კაპიტალის დისკონტის განაკვეთის დიაპაზონი 8%-დან 20%-მდე, მიჩნეულია გონივრულად და საქართველოს რეალობის გათვალისწინებით, რეალური დისკონტის ნორმად აღებულია 9%. პროექტის მომავალი ფულადი ნაკადების (დანაზოგების) მიმდინარე დისკონტირებული ღირებულების გამოსათვლელად თითოეული წლისთვის, გამოყენებულია ჩვენს მიერ ადაპტირებული ფორმულა (4) ინფლაციის და დისკონტის ფაქტორების გამოყენებით. ინფლაციის ფაქტორი უკეთ ასახავს მომავალში ზარალის ზრდას (მაგ., ხელფასები, საქონლის ფასები) ინფლაციის შედეგად და გამოიყენება პროგნოზირებისას სტატისტიკური მონაცემების აქტუალიზაციისთვის.

დისკონტის ფაქტორი არის შეწონილი კოეფიციენტი, რომელიც მრავლდება მომავალ ფულად ნაკადზე, რათა შემცირდეს იგი მიმდინარე ღირებულებამდე (ცხრ. 9).

$$PV_n = \frac{CF_n + IF_n}{DF_n} \quad (4)$$

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.9. ახალი დიზაინის ალგორითმის მიხედვით განხორციელებული ენერგოეფექტური 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
1	წმინდა დისკონტირებული ღირებულება				NPV=137 ლარი			
2	ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა				IRR=5%			
3	ინვესტიციის ეფექტ.კოეფ.				NPV/Q=-0.03			

პროექტის დადებითი წმინდა დისკონტირებული ღირებულება (+137 ლარი) და ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა (5%) მიუთითებს პროექტის მომგებიანობაზე. ენერგოეფექტური ღონიძიების 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. პროექტის არაენერგეტიკული (NEB) სარგებლიანობის ანგარიში აჩვენებს, რომ სათბურის გაზების ემისია შემცირდება 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.

თავი 3. ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების

განხორციელების მრავალფაქტორიანი შეფასება

სამრეწველო საწარმოებში ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მზაობის და ამ დრომდე უცნობი განწყობების შესწავლის მიზნით, ორგანიზებულია ინტერვიუ და ფოკუს-ჯგუფის გამოკითხვა სამრეწველო საწარმოებში მოტივებს, სირთულეებსა და სარგებელს შორის ურთიერთდამოკიდებულების შესწავლის და დომინანტი ფაქტორების გამოვლენისთვის, რომელთაც ყველაზე მეტი ზეგავლენა აქვს ამ ღონისძიებების დანერგვის მოტივაციაზე. კვლევა ეფუძნება საქართველოში რეალიზებული პროექტის „ინდუსტრიულ სექტორში ენერგოეფექტიანობის გაუმჯობესების“ გამოცდილება. დამუშავდა შესაბამისი კითხვარი, გამოცდილების გაზიარების მიზნით, კითხვარი ინტერნეტით გაეგზავნა იმ კომპანიების ადგილობრივი ენერგოეფექტურობის ექსპერტ-კონსულტანტებს, რომლებმაც ხელი შეუწყეს საპილოტე პროექტების საწარმოებში დანერგვას. მიღებული პასუხები საერთო რაოდენობის 83,3%-ს შეადგენს და ასევე გასათვალისწინებელია, რომ მიღებული ინფორმაცია ექსპერტების პერსონალურ აღქმებს ეფუძნება. ლაიკერტის სკალის მიხედვით შედგენილი კითხვარის რესპოდენტთა პასუხებიდან მიღებული მონაცემები დამუშავდა და გარდაიქმნა პროცენტულ გამოსახულებაში მალკოლმ-მურრეის მეთოდით. წარმოდგენილი 36 კითხვიდან ერთ-ერთ კითხვას, რომელიც ფორმულირებულია: ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელებას ორგანიზაციული სარგებლის მისაღებად ფაქტორს „ენერგო-დაზოგვა“ შეესაბამება 1,2,3,4 ან 5 ქულა, მიღებული პასუხები შემდეგნაირად გადანაწილდა (ცხრ. 10).

მიღებული შედეგების პროცენტულ გამოსახულებაში გადასაყვანად გამოითვლება ქულების შესაძლო მაქსიმალური მნიშვნელობა: ქულების მაქსიმუმი = რესპოდენტთა რაოდენობა * მაქსიმალური ქულა = 5 * 5 = 25. მიღებული შედეგებით შედგება განტოლება: პროცენტულად = $\frac{\text{რესპოდენტთა პასუხი}}{\text{მაქსიმალური ქულა}} * \frac{100}{1} = \frac{16}{25} * \frac{100}{1} = 64\%$, ანუ ორგანიზაციული სარგებლის თვალსაზრისით „ენერგოდაზოგვას“ შეესაბამება 64%. ექსპლორატორული ფაქტორული ანალიზი (Exploratory Factor Analysis, EFA) გამოიყენება

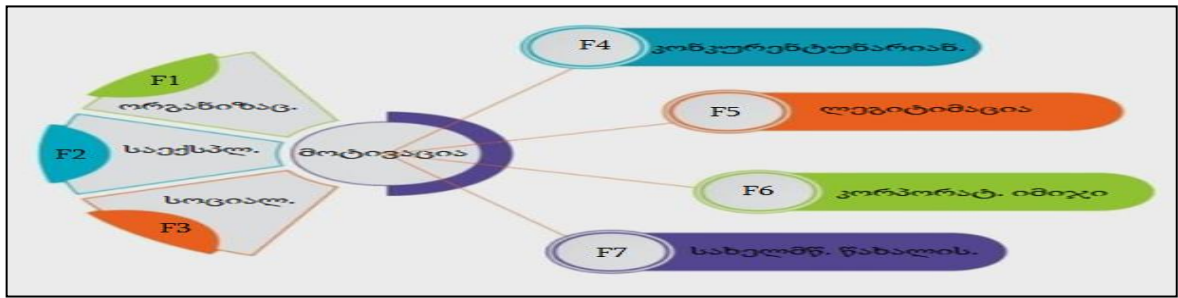
მრავალვარიანტულ სტატისტიკაში, ცვლადებს შორის არსებული ურთიერთობების იდენტიფიცირებისთვის.

ცხრ. 10. გამოკითხვაში მონაწილე რესპოდენტთა პასუხების ანალიზი

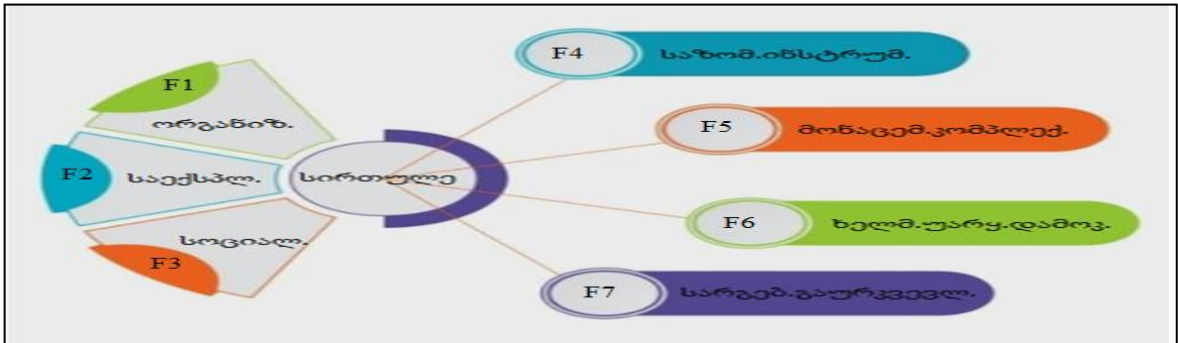
	შეფასება	პასუხი	ქულა	შედეგი (პასუხი×ქულა)
1	უმნიშვნელო	0	1	0
2	ცოტა მნიშვნელოვანი	1	2	2
3	მნიშვნელოვანი	2	3	6
4	ძალიან მნიშვნელოვანი	2	4	8
5	სრულად მნიშვნელოვანი	0	5	0
		რესპოდ. რაოდენობა: n=5		ჯამური პასუხი: Σ16

ჩვენს მიერ განხორციელდა ე.წ. გაზომვადი და ლატენტური ანუ დაუკვირვებელი ფაქტორების იდენტიფიცირება, მათი კორელაციის გამოკვლევა. ამგვარად, ჩამოყალიბდა სამ-დონიანი კონსტრუქცია, სადაც: 1 დონე - მიზანი (საბოლოო შედეგი), მე-2 დონე - ლატენტური, დაუკვირვებელი ცვლადები და მე-3 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 ენერგოეფექტურობის გასაუმჯობესებელი ღონისძიებების განხორციელების მოტივაციის, სირთულეების და სარგებელის ფაქტორებს შორის დომინანტი ფაქტორების გამოსავლენად, განხორციელდა სამი დამოუკიდებელი ექსპლორატორული ფაქტორული ანალიზი (ნახ.9,10,11). ექსპლორატორული კვლევის შედეგად მიღებული პასუხების საფუძველზე გამოვლინდა, რომ მოტივაციის ფაქტორებს შორის დომინანტია ლეგიტიმაციის ფაქტორი.

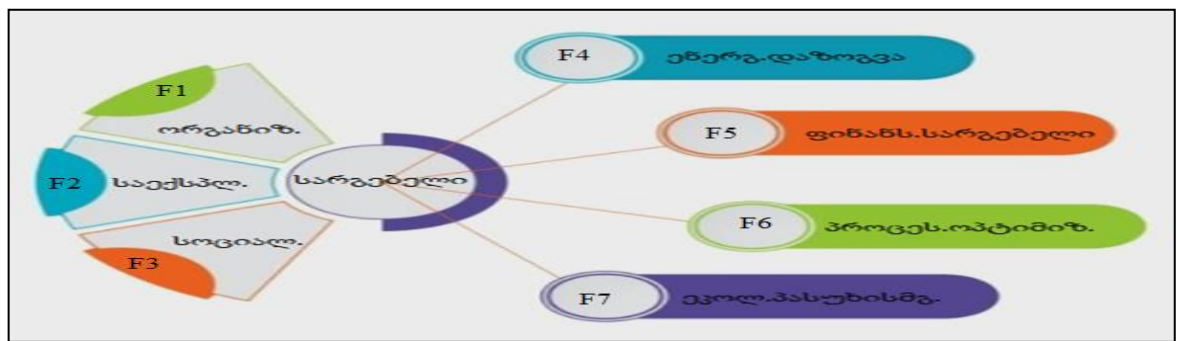
ლეგიტიმაციის ფაქტორი პირველი კატეგორიის საწარმოს (სამი კრიტერიუმიდან 2-ს აკმაყოფილებს: აქტივები აღემატება 50 მლნ.ლარს ან გააჩნია 100 მლნ.ლარზე მეტი შემოსავალი ან დასაქმებული ჰყავს 250-ზე მეტი მომუშავე) უბიძგებს სერტიფიცირებისკენ, რაც სავალდებულოა ენერგოეფექტურობის კანონის შესაბამისად. ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს მათი საქმიანობის სამართლიანობისა და კანონიერების აღიარებას სახელმწიფოს მხრიდან (ცხრ. 11).



ნახ.9. სამრეწველო საწარმოებისთვის მოტივაციის ფაქტორები



ნახ.10. სამრეწველო საწარმოებისთვის სირთულის ფაქტორები



ნახ.11. სამრეწველო საწარმოებისთვის სარგებლის ფაქტორები

ცხრ. 11. 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
კონკურენტუნარიან. 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

სირთულეების ფაქტორებს შორის 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 (ცხრ. 12).

ცხრ. 12. სირთულეების 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

საწარმოო პროცესის ოპტიმიზაცია არის დომინანტი ფაქტორი სარგებლის სხვა ფაქტორებს შორის. ენერგოდაზოგვა, ფინანსური სარგებელი და ეკოლოგიური პასუხისმგებლობა ნაკლებად მნიშვნელოვანია, ვიდრე ენერგომწარმოებლურობის გაზრდით მიღებული სარგებელი, საწარმოში ენერგოეფექტური ღონისძიებების განხორციელებით (ცხრ.13).

ცხრ.13. 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				კომბინირებ. 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

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 - მათლაბის 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. სამიეზო 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.

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული ნაშრომები

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ სამეცნიერო პუბლიკაციებში:

1. Jishkariani M., Pitskhelauri M. Different Types of Energy Company's Role in Georgian Power Engineering. Latin American International Conference on Natural and Applied Sciences, Villahermosa, Tabasco, Mexico, 2022, pp. 269-275.
2. Jishkariani M., Pitskhelauri M. Renewable Resources Role in the Transition to a Circular Economy Model. 10th International Scientific-Practical conference „Modern Directions of Scientific Research Development“, Chicago, USA, 2022, pp. 78-87.
3. ჯიშკარიანი მ., ფიცხელაური მ. ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვის მოტივაციის, სირთულისა და სარგებლის მრავალფაქტორიანი შეფასება. ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული, 2022, №3(525), გვ. 105-116.
4. ფიცხელაური მ. მრეწველობაში ენერგომენეჯმენტის სისტემის დანერგვის მაგალითები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, 2022, №3-4(103-104), გვ. 78-86.
5. Pitskhelauri M., Jishkariani M. Energy Management Systems (Enms) Reforms of Georgia. Journal of Energy Engineering and Thermodynamics (JEET) 2023, №3(01), pp. 38-45.
6. Pitskhelauri M., Jishkariani M. Application of Graphic Neuro-Fuzzy Designer in Energy Management. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET), 2023, Vol. 12, Issue 1, pp.1-6.

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.