

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ვახტანგ კახაძე

ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოვი  
სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვა

წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა: "ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია"

შიფრი: 0405

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

ივლისი, 2019 წ.

საავტორო უფლება © 2019 წელი, ვახტანგ კახაძე

თბილისი

2019 წელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავაცანით ვახტანგი კახაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

\_\_\_\_\_ , 2019 წელი

ხელმძღვანელი: \_\_\_\_\_ პროფესორი დ. ჯაფარიძე

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

რეცენზენტი: \_\_\_\_\_

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2019

ავტორი: ვახტანგი კახაძე

თემის დასახელება: „ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი  
სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვა“

ფაკულტეტი: ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის

ხარისხი: აკადემიური დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: \_\_\_\_\_, 2019 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი 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.

სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება ჩემი ბაბუის, ვახტანგ სამსონის-ძე  
კახაძის ნათელ ხსოვნას.

## რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომში: "ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვა" სიღრმისეულად არის შესწავლილი მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებში ენერგოეფექტურობის ღონისძიებების განხორციელების პრაქტიკა. ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე წინა პლანზეა წამოწეული საქართველოში ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების და მათი პრაქტიკული რეალიზაციის პრობლემის ღრმა მეცნიერული კომპლექსური კვლევის საფუძველზე გადაწყვეტა. ჩატარებული კვლევის შედეგების მიხედვით შემუშავებულია ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმი და შესაბამისად ჩამოყალიბებულია ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი. დასმული პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით ჩამოყალიბებულია ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმი.

წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ცხრილების და ნახაზების ნუსხის, დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურების, ოთხი ძირითადი თავის - შესაბამისი ქვეთავების, დასკვნების და რეკომენდაციის, გამოყენებული ლიტერატურისა და დანართებისაგან.

კვლევის პირველ ეტაპზე ჩატარებულია მსოფლიოს განვითარებული და პოსტსაბჭოთა ქვეყნებში ენერგოეფექტურობის ღონისძიებების განხორციელების შედეგების ანალიზი. განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის კვლევას. ამ მხრივ შესწავლილია საქართველოში შექმნილი მდგომარეობა. ანალიზის მიხედვით განსაზღვრულია ქვეყნის ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის აქტუალობა და მისი სწრაფი განხორციელებისათვის აუცილებელი საკანონმდებლო ბაზის შექმნის აუცილებლობა. კვლევის ამ ეტაპის პრაქტიკული შედეგია, საქართველოს სხვადასხვა სფეროებში დასანერგი ხელოვნური განათების ენერგოდამზოგი მაღალეფექტიანი საშუალებების შერჩევა და მათი განხორციელების პერსპექტივების დადგენა.

კვლევის შემდგომი ეტაპი ემდგნება ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ახალი მეთოდის შემუშავებას. ამ პრობლემის გადაწყვეტის მიზნით ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების არსებული მეთოდების კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე, შერჩეულია ეფექტიანობის განსაზღვრის ახალი კრიტერიუმი. ეს კრიტერიუმი ფორმირებულია წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის მაქსიმიზაციის პრინციპით, მასზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით. კრიტერიალური მოთხოვნებიდან გამომდინარე ჩამოყალიბებულია

ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი, და შესაბამისი ანგარიშის ალგორითმი, რომელიც აპრობირებულია საქართველოს რკინიგზის გარე განათების მაგალითზე. პროგრამული პროდუქტის Excell-ის გამოყენებით შესრულებული ანგარიშებით შერჩეულია საქართველოს რკინიგზის გარე განათებაში დასანერგი ენერგოდამზოგი საშუალებების ნუსხა, შეფასებულია მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა. დადგენილია, რომ ამ საშუალებების დანერგვით საქართველოს რკინიგზას ორ წელიწადში შეუძლია მიაღწიოს გარე განათებაში ხარჯების მნიშვნელოვან შემცირებას.

კვლევის მესამე ეტაპზე პრობლემის გადასაწყვეტად კომპლექსური მიდგომის ღრმა მეცნიერულ კვლევას დაექვემდებარა ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის საკითხი. კვლევაში პირველი რიგის ამოცანად არის მიჩნეული დაგეგმვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმის შერჩევა და მის საფუძვლით შესაბამისი ანგარიშის ალგორითმის შემუშავება. აღნიშნული პრობლემის გადაჭრის მსოფლიო გამოცდილების მეცნიერული ანალიზით დადასტურებულია, რომ ეს საკითხი დღემდე მეცნიერულად სრულყოფილად არ არის შესწავლილი. ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის გადასაჭრელად ამ სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასებასთან ერთად, უნდა გადაწყდეს სანათების ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევისა და მათი ოპტიმალური განლაგების ამოცანა, საანგარიშო განათების ნაკადის გადახრის და დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ევროსტანდართან შესაბამისობა. აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით ჩამოყალიბებულია ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი და ანგარიშის ალგორითმი. ალგორითმი აპრობირებულია სს "ენერგო-პრო ჯორჯიას" სათაო ოფისში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის მაგალითზე.

პროგრამული პროუქტების Excell და DiaLux მეშვეობით ჩატარებული ანგარიშით დადასტურებულია, რომ შემოთავაზებული მეთოდით სრულყოფილად არის შესაძლებელი ხელოვნური განათების სისტემის ოპტიმალური დაგეგმვა და ამჟამად მოქმედ ხელოვნური განათების სისტემის ჩანაცვლება მაღალეფექტური შუქდიოდური სისტემით. ამ ღონისძიებების გატარებით ორგანიზაცია მიიღებს მაღალი ხარისხის თანამედროვე სტანდარტების შესაბამის ხელოვნურ განათებას, და მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

ჩატარებული კვლევების მთავარ მეცნიერულ შედეგს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ პირველად საქართველოში არის შემუშავებული მრავალფაქტორიან პრინციპზე ფორმირებული ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ერთიანი მეთოდოლოგია, რომელიც ატარებს უნივერსალურ ხასიათს

და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ სფეროში ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალურად დაგეგმვაში. ამ მეთოდის აპრობაციით ნაჩვენებია მისი დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა.

## Resume

In the postgraduate thesis work: “Optimal planning of implementation of up-to-date energy saving systems in artificial lighting”, practice for implementation of energy efficiency activities in world developed countries are deeply and detailed studied. Deriving from the analyses results, assessment of efficiency of implementation of up-to-date energy saving systems in artificial lighting and solution upon the deep scientific complex survey of their practical realization problem in Georgia is put on front place. According to the results of carried out survey, criteria for assessment of efficiency is elaborated and accordingly multi factorial mathematic model for assessment of efficiency of implementation of up-to-date energy saving systems in artificial lighting is established as well. With the complex approach to the solution/solving the raised problem, calculation algorithm of optimal planning of energy saving means’ implementation is established.

Presented postgraduate thesis work consists of introductory, tables and list of drawings, abbreviations applied in the work, four basic chapters – corresponding subparagraphs, conclusions and recommendation, applied literature and annexes.

Analyses of implementation results of energy efficiency activities in world developed and post-soviet union countries is conducted at the first stage of survey. Special attention is paid towards the survey of efficiency for energy saving means’ implementation in artificial lighting. On its hand situation in Georgia is studied. According to the analyses, actuality of contemporary energy saving means’ implementation in artificial lighting of the country and necessity for creation of legal base required for its fast fulfillment is determined. Practical result of this survey is selection of energy saving high efficient means for artificial lighting in different fields of Georgia and establishment of perspectives for their implementation.

Next step of survey is elaboration of new method for assessment of efficiency of up-to-date energy saving means’ implementation in artificial lighting. With the purpose to solve the problem, new criteria to determine the efficiency is chosen upon critical analyses of existing method of modern energy saving implementation in artificial lighting. This criteria is formed with the maximization principle of net discounting income, foreseeing all possible factors acting on this. Deriving from the criterion request, multi factorial mathematical model for assessment of the efficiency of modern energy saving means’ implementation in artificial lighting and corresponding counting algorithm that is certified on the sample of outdoor lighting of Georgian Railway is established. With the calculation performed by applying the program software Excel, list of energy saving means due to implementation in outdoor lighting of Georgian Railway is chosen and their technical-economic efficiency is assessed. It is stated that by implementing of these means, Georgian Railway can reach the significant decrease of expenses in outdoor lighting in following two years.



At the third stage of survey, issue of optimal planning of modern energy saving means' implementation in artificial lighting subjected to the deep and detailed scientific survey of complex achievement for the problem solution. This first task of the survey is choosing the criteria for planning optimality and elaboration of corresponding calculation algorithm with its ground. By scientific analyses of world experience for solving the noted problem is confirmed that this issue is not studied in scientific way entirely. Together with the assessment of efficiency of implementation these systems for solving the optimal planning of modern energy means implementation in artificial lighting, task for selection of the optimal number of the lamp and their optimal disposition should be solved, as well as the relevance of indicator of calculating lighting stream inclination and generalized indicator of discomfort with the euro standard. Foreseeing the mentioned factors, multi factorial mathematical model for optimal planning of contemporary energy saving means' implementation in artificial lighting and calculation algorithm are established. Algorithm is certified in JSC "Energo-Pro Georgia" Head Office as example of optimal planning of modern energy saving means' implementation.

With the calculation conducted by program software Excel and DiaLux is confirmed that optimal planning of artificial lighting system and replacement of acting artificial lighting system with the high effective energy saving system is possible to be carried out completely with offered method. With these activities any organization will have artificial lighting relevant to the high quality modern standards and will get significant economic effect.

Main scientific result of conducted survey is the fact that first time in Georgia there is the entire method for optimal planning of modern energy saving means' implementation in artificial lighting that has universal character and utilization of it is possible in any field in the process of optimal planning of modern energy saving systems' implementation of artificial lighting. By certifying this method its huge practical importance is clearly shown.

## შინაარსი

88

შესავალი .....	19
<b>1. ლიტერატურის მიმოხილვა .....</b>	<b>25</b>
<b>2. ხელოვნური განათების თანამედროვე სისტემების ეფექტიანობის შეფასება და მისი დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში.....</b>	<b>33</b>
2.1. ხელოვნური განათების სახეები.....	33
2.2. ხელოვნური განათების შუქის ნაკადის საერთაშორიო ნორმები.....	34
2.3. ხელოვნური განათების თანამედროვე სისტემები.....	37
2.4. ხელოვნური განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასება.....	53
2.5. ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში.....	57
<b>3. ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის შემუშავება და პრაქტიკული რეალიზაცია.....</b>	<b>61</b>
3.1. ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის ფორმირება.....	61
3.2. ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის აპრობაცია საქართველოს რკინიგზის გარე განათების ქსელში.....	67
<b>4. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის დაგეგმვის ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელირება.....</b>	<b>70</b>
4.1. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის დაგეგმვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმის შერჩევა.....	70
4.2. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმის ფორმირება.....	73

4.3. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმის პრაქტიკული რეალიზაცია სს "ენერგო-პრო ჯორჯიას" სათაო ოფისის მაგალითზე.....	85
დასკვნები.....	99
გამოყენებული ლიტერატურა.....	102

## ცხრილების ნუსხა

88

- ცხრილი 1.** შუქის ნაკადის ერთეულების მაჩვენებლები საერთაშორისო ნორმების მიხედვით.....36
- ცხრილი 2.** ამჟამად ექსპუატაციაში მყოფი და თანამედროვე ხელოვნური განათების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლების შედარებითი მაჩვენებლები .....54
- ცხრილი 3.** საქართველოში განათების თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენების სფეროები და ეფექტიანობის მაჩვენებლები.....58
- ცხრილი 4.** სს "საქართველოს რკინიგზის" ტერიტორიაზე გარე განათების ქსელში არსებული სანათების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შესახებ საწყისი ინფორმაცია.....68
- ცხრილი 5.** სს საქართველოს რკინიგზაში გამოყენებული არსებული და ახალი ხელოვნური გარე განათების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი .....69
- ცხრილი 6.** რეზერვის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ოთახის ტიპზე.....77
- ცხრილი 7.** ჭერის, კედლების და იატაკის ანარეკლის კოეფიციენტი.....77
- ცხრილი 8.** გამოყენების კოეფიციენტის მეთოდით სანათების რაოდენობის ანგარიშის შედეგები.....78
- ცხრილი 9.** სანათების გამოყენების შესწორების კოეფიციენტის ცხრილი....79
- ცხრილი 10.** შუქის ნაკადის მეთოდით სანათების რაოდენობის ანგარიშის შედეგები.....79
- ცხრილი 11.** არსებული სანათების ტექნიკური პარამეტრების საწყისი ინფორმაციის და შედარებითი ანალიზის მაჩვენებლები.....86

<b>ცხრილი 12.</b> სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისში ხელოვნურ განათებაზე განსახორციელებელი ინვესტიციების მოცულობა.....	87
<b>ცხრილი 13.</b> სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისში არსებული და ახალი ხელოვნური განათების სისტემების ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი.....	88
<b>ცხრილი 14.</b> სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის ერთ-ერთ სართულზე დასანერგი სანათების რაოდენობა.....	90
<b>ცხრილი 15.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ხელოვნური განათების ოპტიმალური განლაგების მიხედვით მიღებული სანათების რაოდენობა.....	93
<b>ცხრილი 16.</b> პროგრამული პროდუქტი EXCEL-ის მეშვეობით შენობის მე-6 სართულზე საანგარიშო განათების ნაკადის მოთხოვნასთან მიმართებაში გადახრის ანგარიშის შედეგები ბუნებრივი განათების კოეფიციენტის გათვლისწინებით.....	94
<b>ცხრილი 17.</b> სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის საწყისი ინფორმაცია.....	95
<b>ცხრილი 18.</b> სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის ხელოვნური განათების დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიშის საწყისი ინფორმაცია.....	95
<b>ცხრილი 19.</b> სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობაში ხელოვნურ განათების სისტემების დანერგვის შედეგების შედარებითი ანალიზი.....	97

## ნახაზების ნუსხა

88

ნახაზი 1. Plan-do-check-act ენერგომენეჯმენტის სისტემა .....	20
ნახაზი 2. ხელოვნური განათების გამოყენების სფეროები .....	34
ნახაზი 3. ლუმენი Lm - შუქის ნაკადის ერთეული.....	35
ნახაზი 4. . მაღალი ინტენსივობის აირგანმუხტვადი სანათი.....	37
ნახაზი 5. ფლუორესცენტული სანათი.....	38
ნახაზი 6. კლასიკური ვარვარა სანათი.....	38
ნახაზი 7. ჰალოგენური სანათი.....	38
ნახაზი 8. შუქდიოდური სანათი.....	38
ნახაზი 9. Led COB (chip on board) სანათი.....	39
ნახაზი 10. Led COB (chip on board) სანათი 2.....	39
ნახაზი 11. Led Crystal Ceramic MCOB სანათი.....	40
ნახაზი 12. Led COB პროექტორი.....	41
ნახაზი 13. LED ნათურების შუქის ნაკადის ეფექტურობის განვითარების გრაფიკი.....	41
ნახაზი 14. Goldman Sachs Statista სააგენტოს მონაცემები, განათების ბაზარზე შუქდიოდური ტექნოლოგიების შეღწევა.....	42
ნახაზი 15. ვარვარა, ლუმინოსცენტური და შუქდიოდური ნათურების სპექტრი.....	42
ნახაზი 16. OLED მატრიცის სტრუქტურა.....	43
ნახაზი 17. OLED (organic light-emitting diode) სანათი.....	44
ნახაზი 18. OLED CRI - ფერის გადმოცემის კოეფიციენტი.....	45

<b>ნახაზი 19.</b> LED/OLED ნათურების საბაზრო წილის ზრდის დინამიკა 2012-2020 წლებში.....	45
<b>ნახაზი 20.</b> FIPEL (Field-induced polymer electroluminescent) სანათი.....	46
<b>ნახაზი 21.</b> CNT (Carbon Nanotube) სანათი.....	47
<b>ნახაზი 22.</b> Laser Light სანათი.....	49
<b>ნახაზი 23.</b> LVD ინდუქციური უელექტროდო სანათი.....	50
<b>ნახაზი 24.</b> LED-Solar (helio HSL) სანათი.....	52
<b>ნახაზი 25.</b> Li-Fi ტექნოლოგია.....	53
<b>ნახაზი 26.</b> განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები მარგი ქმედების კოეფიციენტის მიხედვით.....	55
<b>ნახაზი 27.</b> განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები ლუმენ/ვატის მიხედვით.....	55
<b>ნახაზი 28.</b> განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები მუშაობის რესურსის მიხედვით.....	56
<b>ნახაზი 29.</b> განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები ექსპლუატაციის ვადის ბოლოს შუქის ნაკადის კლების მიხედვით.....	56
<b>ნახაზი 30.</b> წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის ცვალებადობის დინამიკა.....	69
<b>ნახაზი 31.</b> შუქის ნაკადის გამოყენების კოეფიციენტის ტაბულა.....	78
<b>ნახაზი 32.</b> პროგრამული უზრუნველყოფა DIALux-ით ხელოვნური განათების პროექტირების ალგორითმი.....	81
<b>ნახაზი 33.</b> დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ვიზუალიზაცია.....	83
<b>ნახაზი 34.</b> წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის ცვალებადობის დინამიკა.....	89
<b>ნახაზი 35.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ვიზუალიზაცია.....	91

<b>ნახაზი 36.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით შენობის ერთი სართულის ვიზუალიზაცია, ამჟამად არსებული ვითარება.....	91
<b>ნახაზი 37.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით შენობის ერთი სართულის ვიზუალიზაცია, სანათების განლაგების ოპტიმიზაცია PHILIPS SmartBright Slim Panel-ის გამოყენებით.....	92
<b>ნახაზი 38.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის ხელოვნური განათების დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიშის საწყისი ინფორმაცია.....	96
<b>ნახაზი 39.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის თანამედროვე ხელოვნური განათების შუქის ნაკადის 3D ვიზუალიზაცია.....	96
<b>ნახაზი 40.</b> პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის ხელოვნური განათების დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიშის შედეგები.....	97



## დისერტაციაში გამოყენებული აბრევიატურები

წდშ	წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი
LED	Light-emitting diode (შუქდიოდი)
OLED	Organic Light-emitting diode (ორგანული შუქდიოდი)
LVD	Induction Lamp (ინდუქციური სანათი)
UGR	Unified Glare Rating დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებელი
CRI	Color rendering index (ფერის გადმოცემის კოეფიციენტი)

## მადლიერება

პირველ რიგში, დიდი მადლიერება მინდა გამოვხატო, ჩემი სადისერტაციო თემის ხელმძღვანელის, პროფესორ დავით ჯაფარიძის მიმართ, რომელმაც საშუალება მომცა უკეთესად გამეაზრებინა ჩემი პასუხისმგებლობა და შესაძლებლობები, მიღებულმა ცოდნამ შესაძლებლობა მომცა გამეგო ბევრი რამ ენერგეტიკის სფეროს შესახებ და კიდევ უფრო ნათლად დამანახა დარგის მნიშვნელობა. ბატონ დავით ჯაფარიძესთან ერთად მუშაობა იყო ცხოვრების ახალი ეტაპი, რომლითაც დიდი ცოდნა და გამოცდილება შევიძინე.

დიდი მადლობა სს „ენერგო-პრო ჯორჯიას“ კომერციულ დეპარტამენტს და მსხვილ მომხმარებლებთან ურთიერთობის განყოფილებას საქმიანი რჩევებისა და ხელშეწყობისთვის.

და ბოლოს, უღრმესი მადლიერება მინდა გამოვხატო ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის და მისი თანამშრომლების მიმართ, რომლებმაც ჩემი დოქტორანტურაში სწავლის პერიოდში დიდი წვლილი შეიტანეს ჩემი სადისერტაციო ნაშრომის შესრულებაში.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტზე სწავლამ მომცა სტიმული და გამიზარდა სამსახურში ახალი იდეების, ინოვაციების განხორციელების მოტივაცია.

## შესავალი

1970-იანი წლების ენერგეტიკულმა კრიზისმა მსოფლიო ენერგოგანვითარების ახალ მიმართულებებზე დააფიქრა. მზარდი ენერგომოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად ენერგობიექტების სიმძლავრეების ზრდასა და ენერგიის ახალი წყაროების ათვისებასთან ერთად, თანამედროვე განვითარებული მსოფლიოს პრიორიტეტი არსებული ენერგიის რაციონალური გამოყენება გახდა, რაც თავის მხრივ, ენერგოდამზოგავი ღონისძიებების გატარებას გულისხმობს [1]. მიუხედავად იმისა, რომ 70-იანი წლების შუა პერიოდიდან განვითარებულ ქვეყნებში ენერგორესურსების გამოყენების ტემპები შენედა, 2030 წლისათვის მსოფლიოში არსებული ეკონომიკის შენარჩუნების პირობებშიც, მოსალოდნელია ენერგომომარების გაორმაგება. ასეთ პირობებში ნებისმიერი ქვეყნისათვის აუცილებელი ხდება ენერგოდაზოგვის გრძელვადიანი სტრატეგიის შემუშავება, რომელიც იმუშავებს იმ შემთხვევაში თუკი მასში გათვალისწინებული უნდა იქნეს შემდეგი პრინციპები:

- სახალხო მეურნეობის ენერგოდაზოგვის სტრუქტურული გადაწყობით მიღწეული იქნეს ენერგომომარების მნიშვნელოვანი შემცირება.
- დაისახოს კონკრეტული გზები საყოფაცხოვრებო მომსახურებაში ენერგიის რაციონალური გამოყენებით მისი შემცირებისათვის. ამ პრობლემის გადაჭრაში გადამწყვეტი როლი უნდა დაეკისროს ენერგომომარაგების რეჟიმების ოპტიმალურ მართვას, განათების ეკონომიკური სისტემების ფართოდ დანერგვას.
- უნდა შემუშავდეს ენერგოდაზოგვის მენეჯმენტის ოპტიმალური მოდელი და განხორციელდეს მისი პრაქტიკული რეალიზაცია.

დასმული პრობლემის თანამედროვე მოთხოვნების დონეზე გადაწყვეტის აქტუალობიდან გამომდინარე ევროპაში შემუშავებულია

ენერგოდაზოგვის სპეციალური სტანდარტები. მათ შორის აღსანიშნავია ევროპული სტანდარტი EN 16001, დაფუძნებული იმ მეთოდოლოგიის გამოყენებაზე, რომელიც ცნობილია როგორც PDCA (plan-do-check-act ენერგომენეჯმენტის სისტემა, მოთხოვნები ხელმძღვანელობისადმი მის გამოყენებაზე) [2].



**ნახაზი 1. Plan-do-check-act ენერგომენეჯმენტის სისტემა**

- EN 16001 ითვალისწინებს ბიზნეს მოდელს, რომელიც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს ენერგოდანახარჯების ეფექტური მართვა
- ენერგოეფექტურობის მართვის ბიზნეს მოდელი იძლევა არა მხოლოდ, ტექნიკურ გადაწყვეტილებებს ყველაზე ენერგოტევადი პროცესების, არამედ იძლევა შესაძლებლობას ორგანიზაციაში დაინერგოს პროცესების ცვალებადობა ქცევით დონეზე, რომელიც აიძულებს ხელმძღვანელობას ენერგოეფექტურობის საკითხები განიხილოს ყოველდღიურ რეჟიმში
- ენერგეტიკული ასპექტები და სამართლებრივი ვალდებულებები განისაზღვროს ენერგეტიკული ეფექტურობის ამოცანების და მიზნების დასადგენად
- განაწილდეს რესურსები და პასუხისმგებლობა; ამაღლდეს კორპორატიული ინფორმირებულობა და ჩატარდეს სწავლება; ჩატარდეს საკითხის განხილვა როგორც შიგნით ორგანიზაციაში, ისე

გარედან დაინტერესებული მხარეებიდან; დამუშავდეს დოკუმენტაცია; დადგინდეს ოპერაციული კონტროლი

- დაწესდეს ენერგოეფექტურობის მენეჯმენტის პროგრამის პროცესის მონიტორინგი. განისაზღვროს შესაბამისობა სამართლებრივ ვალდებულებებთან; განისაზღვროს და იმართოს შესაბამისობები; იმართოს ჩანაწერები; ჩატარდეს ენერგოეფექტურობის მენეჯმენტის სისტემის აუდიტი
- იმისათვის, რომ შესაძლო ცვლილებებზე მიღებული იქნეს სათანადო გადაწყვეტილებები, მართვის ზედა დონეზე უნდა ანალიზდებოდეს ენერგოეფექტურობის მენეჯმენტის სისტემა;
- მოდელი PDCA, გამოყენებული მენეჯმენტის სისტემებში, უზრუნველყოფს EN 16001 სტანდარტის გამოყენებას ნებისმიერ ორგანიზაციაში, მისი ზომის და სტრუქტურის მიუხედავად. მას მოაქვს სარგებელი საერთაშორისო კორპორაციებში მცირე და საშუალო ბიზნესისათვის
- ორგანიზაციებს, რომელთაც აქვთ სურვილი დანერგონ ენერგოეფექტურობის მენეჯმენტის შესაბამისი სისტემა, შეუძლიათ იგი განახორციელონ დამოუკიდებელი სერტიფიკაციის ჩატარების მეშვეობით[2].

ენერჯის გამოყენების ეფექტურობის გაზრდის მიზნით ევროკავშირის დონეზე მიღებულია ენერგოდაზოგვის მარეგულირებელი მრავალი ნორმატიული აქტი. ამ მხრივ საგულისხმოა ევროპარლამენტის და ევროსაბჭოს დირექტივა 2002-2016 წლებში შენობების ენერგეტიკული ეფექტურობა. დირექტივა სახელმძღვანელოა ევროკავშირის ყველა წევრი ქვეყნისათვის, ის ავალდებულებს მათ განუხრელად დაიცვან მისი მოთხოვნები. დირექტივა სახელმძღვანელოა ევროკავშირის ყველა წევრი ქვეყნისათვის. იგი ავალდებულებს მათ განუხრელად დაიცვან მისი მოთხოვნები. მას შემდგომ, რაც საქართველო გახდა ევროკავშირის ასოცირებული წევრი, იგი ვალდებულია ენერგოეფექტურობის

პრობლემები ახლო მომავალში გადაწყვიტოს ზემოთ მოყვანილი სტანდარტის, ევროსაბჭოს და ევროპარლამენტის დირექტივაში ჩამოყალიბებული მოთხოვნების შესაბამისად. საქართველოში ამ მუშაობას უნდა მიეცეს სისტემური ხასიათი. აქედან გამომდინარე ყველა მსხვილმა ენერგომომხმარებელმა ორგანიზაციამ ენერგორესურსების დაზოგვის ამოცანის გადაწყვეტა უნდა დაისახოს ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებად [2].

მაგალითად, ევროკავშირმა 2020 წლისთვის 20%-იანი ენერჯის დაზოგვის მიზანი დააწესა, რაც ამ დროისთვის პროგნოზირებული ენერჯის მოთხოვნის გათვალისწინებით 400 ენერჯო გენერაციის ობიექტის გაჩერების ექვივალენტურია. 2014 წლის ოქტომბერს ევროკავშირის სამიტზე, წევრი ქვეყნები 2030 წლისთვის ეფექტურობის 27%-იან მიზანზე შეთანხმდნენ.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად ევროკავშირმა შეიმუშავა რიგი ღონისძიებებისა, რომელიც მოიცავს:

- ყოველწლიურად ქვეყნების მიერ ენერჯო გაყიდვების 1.5%-ით შემცირებას;
- წლიურად ცენტრალური მთავრობის მიერ დაკავებული შენობების მინიმუმ 3%-ში ენერჯოეფექტურობის გაუმჯობესებას;
- შენობების გაყიდვისა და გაქირავების დროს ენერჯოეფექტურობის სერტიფიკატის სავალდებულო წარდგენას;
- წევრი ქვეყნების მიერ ყოველ სამ წელში ეროვნული ენერჯოეფექტურობის სამოქმედო გეგმის შემუშავებას;
- 2020 წლისთვის ელექტროენერჯეტიკის სექტორში 200 მლნ, ხოლო ბუნებრივი გაზის სექტორში 45 მლნ ე.წ. „ჭკვიანი მრიცხველების“ დაყენებას;
- დიდი კომპანიების მიერ ყოველ ოთხ წელში ენერჯოაუდიტის ჩატარებას

ევროკავშირის ზოგ ქვეყანაში ბინების სავალდებულო ენერგოპასპორტიზაცია კი ხდება. ეს ნიშნავს, რომ ბინის გაყიდვა-გაქირავებისას აუცილებლად უნდა ჩატარდეს აუდიტი და მყიდველმა ან დამქირავებელმა ნახოს, როგორი იქნება ამ შენობის სავარაუდო ენერგოდანახარჯები. 2020 წლის მიზნების მისაღწევად ყოველწლიურად დაახლოებით 100 მლრდ ევროს ინვესტირებაა საჭირო. ამისათვის კი მრავალი დაფინანსების სისტემა შეიქმნა სხვადასხვა ტიპის ფონდებისა და პროგრამების სახით.[2]

საქართველოში დასმული პრობლემის თანამედროვე მოთხოვნის დონეზე გადაჭრა მოითხოვს ღრმა მეცნიერულ ანალიზს. იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველო არის ელექტროენერჯის იმპორტიორი ქვეყანა, 2017-2018 წლებში ელექტროენერჯის იმპორტის მოცულობა თითქმის სამჯერ არის გაზრდილი [2] განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს ენერგოეფექტურობის ღონისძიებების გატარება სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში და საყოფაცხოვრებო მომსახურებაში. იმის გათვალისწინებით, რომ საქართველოში ხელოვნურ განათებაზე იხარჯება მოხმარებული ელექტროენერჯის დიდი წილი წინა პლანზე იწევს ამ სფეროში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვა. ამ პროცესის ეფექტიანობის მეცნიერული კვლევის საფუძველზე შეფასება და ხელოვნური განათების სისტემების ოპტიმალური დაგეგმვა.

ზემოთ აღნიშნულის და საქართველოს ხელოვნურ განათებაში შექმნილი მდგომარეობის ანალიზის შედეგებიდან გამომდინარე წინამდებარე სადისერტაციო ნაშრომი ეძღვნება საქართველოში ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალურ დაგეგმვას. წინამდებარე დისერტაციაში დასმული და გადაწყვეტილია შემდეგი საკითხები:

1. ხელოვნური განათების თანამედროვე სისტემების ეფექტიანობის შეფასება და მისი დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში.

2. ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის შემუშავება და პრაქტიკული რეალიზაცია.

3. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის დაგეგმვის ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელირება.

**სამუშაოს აქტუალობა:** ანალიზის მიხედვით განსაზღვრულია ქვეყნის ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის აქტუალობა და მისი სწრაფი განხორციელებისათვის აუცილებელი საკანონმდებლო ბაზის შექმნის აუცილებლობა. კვლევის ამ ეტაპის პრაქტიკული შედეგია, საქართველოს სხვადასხვა სფეროებში დასანერგი ხელოვნური განათების ენერგოდამზოგი მაღალეფექტიანი საშუალებების შერჩევა და მათი განხორციელების პერსპექტივების დადგენა.

**მეცნიერული სიახლე:** ჩატარებული კვლევების მთავარ მეცნიერულ შედეგს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ პირველად საქართველოში არის შემუშავებული მრავალფაქტორიან პრინციპზე ფორმირებული ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ერთიანი მეთოდოლოგია, რომელიც ატარებს უნივერსალურ ხასიათს და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ სფეროში ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალურად დაგეგმვაში. ამ მეთოდოლოგიის აპრობაციით ნაჩვენებია მისი დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა.



## 1. ლიტერატურის მიმოხილვა

ენერგოდაზოგვის მსოფლიო გამოცდილების ანალიზი და განზოგადება, გვიჩვენებს, რომ ყველაზე მეტი განვითარება ამ საკითხებში მიიღეს აშშ-ი, დასავლეთ ევროპის ქვეყნებში. განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს სკანდინავიის ქვეყნების გამოცდილება საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობების ენერგოეფექტურობის ამაღლებაში. [2] ენერგოდაზოგვაში ყველაზე განვითარებული ქვეყანა **დანიაა**. ამ ქვეყანამ 30 წლის განმავლობაში მთლიანი შიდა პროდუქტის მუდმივი ზრდის პირობებში ენერჯის მოხმარება შეინარჩუნა 1980 წლის დონეზე.

**გერმანიის** ფედერაციულ რესპუბლიკაში შენობების ენერგოეფექტურობის შესახებ ევროკავშირის დირექტივები შეტანილია ენერგოდაზოგვის არსებულ ეროვნულ კანონში (ნორმები). გერმანია წარმოადგენს ქვეყანას, რომელიც ძალზე აქტიურად იყენებს ენერგოდაზოგვის თანამედროვე ტექნოლოგიებს და ენერჯის ალტერნატიულ წყაროებს [2].

**აშშ-ში** ენერგოეფექტურობის პოლიტიკა იმართება ენერჯეტიკის დეპარტამენტის (სამინისტრო) ენერგოეფექტურობის და განახლებადი ენერჯის სპეციალური ოფისის მიერ [2]. აღნიშნული ოფისი ზედამხედველობს ისეთ ფედერალურ პროგრამებს, როგორცაა:

- ენერგოეფექტური შენობების ტექნოლოგიების დანერგვის მრავალწლიანი პროგრამა;
- ენერგოსისტემის მართვის ფედერალური პროგრამა;
- ენერგოსკოლების დაარსების პროგრამა და ა.შ.

**ბულგარეთი** ყოფილ სოციალისტურ ქვეყნებში ენერგოეფექტურობის ამაღლების სრულყოფილი სამართლებრივი გარემოს შექმნის კარგ მაგალითს წარმოადგენს. ბულგარეთში ენერგოეფექტურობის ამაღლების ღონისძიებები რეგულირდება ენერგოეფექტურობის შესახებ კანონით (აქტით), რომელიც მიღებულია 2004 წელს [2].

იაპონიაში ენერგორენტაბელურობის პრობლემა ძალიან მწვავეა, და ეს უპირველეს ყოვლისა გამოწვეულია ქვეყნის ენერგომატარებლების სიღარიბით, პირველ რიგში ნავთობით. ამჟამად, იაპონია იძულებულია დააიმპორტოს მისთვის აუცილებელი ენერგომატარებლების 80%. ტარდება ენერჯის მოხმარების შეამცირების ღონისძიებები ახალ საცხოვრებელ სახლებში. 1979 წელს, იაპონიაში დაიწყო ფუნქციონირება ენერჯის დაზოგვის კანონმა. ის შეეხო მსხვილი სამრეწველო საწარმოებს, რომლებიც მაშინ ენერჯის 70%-ს მოიხმარდა. კანონი აიძულებდა სამრეწველო საწარმოებს მინიმუმამდე შეამცირებინათ გამოუყენებელი ელექტროენერჯის მოცულობა [2].

ენერგოდაზოგვა და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების განვითარება ისრაელის მეურნეობის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა. ეკონომიკის ყველა სექტორში, ეს იქნება სოფლის მეურნეობა, ტრანსპორტი, ინდუსტრია, მშენებლობა თუ მომსახურეობა, ცდილობენ ენერჯის მინიმალური მოხმარებით წარმოების მაქსიმიზაციას [2].

ისრაელში 40-45 ენერგო მომსახურების კომპანია (ESCO) ფუნქციონირებს, რომლებიც ძველი და ახალი შენობების ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესებაზე მუშაობს [3].

შვეციაში აწყობილია ენერგორესურსების გამოყენების კონტროლის მკაფიო სისტემა, სადაც ჯერ კიდევ 70-იან წლებში იქნა მიღებული ენერგოდაზოგვის პირველი პროგრამა. ამ პროგრამის დანერგვა ასახულია ენერგომომხმარებლებისათვის აუცილებელ დეკლარაციებში. ენერგორესურსების გამოყენებაზე შემუშავებულია შენობების ენერგოპასპორტები, საქონლის და კვების პროდუქტების მარკირება. გარდა ამისა საჯარო მოხელეები აქტიურად იყენებენ ეკონომიკური სტიმულირების ფორმებს ალტერნატიული და არატრადიციული ენერჯის წყაროების გამოყენებაზე. სახელმწიფოს მიერ ხორციელდება სუბსიდირება ძველი შენობების რეკონსტრუქციაზე [2].

**ჩინეთის** მთავრობის მიერ დასმულია ამოცანა ენერგოდანახარჯები უახლოეს მომავალში შემცირდეს 30 %-ით. ანალოგიური ამოცანაა დასმული მსხვილი ენერგომომხმარებელი ობიექტების მიმართაც [2].

**ნორვეგიაში** მრავალი წლებია რეალიზდება განათლების პროგრამა ენერგოეფექტურობის ამაღლებასა და მისი რეალიზაციით უნარჩვევების ჩამოყალიბებაზე იმ პირთათვის, რომლებიც პასუხისმგებლები არიან შენობების ექსპლუატაციაში ენერგოეფექტურობის ამაღლებასა და ტექნოლოგიების განვითარებაზე [2].

**ავსტრიაში** არის შექმნილი ორგანიზაციების ერთიანი სტრუქტურა, რომელიც დახმარებას უწევს ორგანიზაციებს ენერგოდაზოგვის და ენერგოეფექტურობის საკითხების გადაწყვეტაში. ავსტრიის მთელი საზოგადოება აქტიურად უჭერს მხარს ენერგოდაზოგვითი ღონისძიებების გატარებას. პრობლემისადმი ასეთი მიდგომით ქვეყანამ მიაღწია ენერგორესურსების ეკონომიის ისეთ დონეს, რომ მისი გამოცდილება გახდა საერთაშორისოდ აღიარებული [2].

ენერგოდაზოგვის საკითხები ყველაზე ინტენსიურად ვითარდება **რუსეთში**, სადაც მიღებულია მთელი რიგი საკანანმდებლო აქტები. სამთავრობო დონეზე დამუშავებულია ენერგეტიკული სტრატეგია, რომელშიც განსაზღვრულია ენერგეტიკული პოლიტიკის მიზნები და ამოცანები [2].

ენერგოდაზოგვის პოლიტიკის გატარებაში განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს **ბელორუსიის** გამოცდილება. ამ ქვეყანაში სახელმწიფო დონეზე შემუშავებულია და დანერგულია შენობების სერთიფიცირების სპეციალური ორგანო [2].

როგორც ზემოთ მოყვანილი ანალიზი გვიჩვენებს, მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანაში განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანად არის მიჩნეული ენერგოეფექტურობის ამაღლების უზრუნველყოფა. ამ მიმართულებით მუშაობა აყვანილია სახელმწიფო პოლიტიკის დონეზე და მიცემული აქვს გეგმაზომიერი და კომპლექსური ხასიათი. შემუშავებულია

სპეციალური სტანდარტები, ჩამოყალიბებულია ნორმატიული ბაზა, გადაწყვეტილია ენერგორესურსების მოხმარების წარმოების საკითხები [2].

არსებული სტატისტიკის მიხედვით [4,5,6] ელექტროენერჯის საერთო ხარჯიდან 20%-ზე მეტი მოდის ხელოვნურ განათებაზე, აღნიშნულიდან გამომდინარე ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს განათების სისტემების მოდერნიზაცია. ხელოვნური განათების მოძველებული თანამედროვე საშუალებებით ჩანაცვლების უზრუნველყოფა.

ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასებისადმი მიძღვნილი მეცნიერული კვლევების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მკვლევართა დიდი ნაწილი [7,8,9,10,11,12,13,14,15,16] ეფექტიანობის შეფასებაში კრიტერიუმის სახით იყენებს გამოსყიდვის ვადას, და სისტემის დანერგვით მიღებული ეკონომიკური ეფექტი არ არის შეფასებული მთელი სასიცოცხლო ციკლისათვის. შედარებით სრულყოფილად არის გადაწყვეტილი შიდა და გარე განათების ელექტროდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მეთოდური საკითხები [8] შრომის ავტორის მიერ. მან დაამუშავა კომპლექსური ინტეგრირებული მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას იძლევა უზრუნველყოფილი იყოს შიდა და გარე განათების სისტემების ენერგოდამზოგი ღონისძიებების გატარების ეფექტიანობის ხარისხობრივი შეფასება, ამასთან ფინანსურ ეკონომიას განსაზღვრავს გარკვეული პერიოდისათვის, გამომდინარე ელექტროენერჯის მიმდინარე წლის ხარჯიდან, გატარებული ღონისძიებების ეკონომიკური ეფექტიანობა შეფასებულია დროის ფაქტორის გათვალისწინების გარეშე.

ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი განათების საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასების საფუძვლზე შერჩევის საინტერესო მეთოდიკა აქვთ შემოთავაზებული [11,14] შრომის ავტორებს, სადაც ხელოვნური განათების წყაროების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმად მიღებულია "პროდუქციის სასიცოცხლო ციკლის

ღირებულება". ამ შრომაში განათების წელიწადში მუშაობის დროზე დამოკიდებულებით ხდება ეფექტიანობის შეფასება. აღნიშნული მეთოდოლოგიის ძირითად ნაკლს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ ეკონომიკური შედეგის პერიოდი მოიცავს მხოლოდ ერთი წლის პერიოდს და არ ითვალისწინებს განათების საშუალებების სამსახურის ვადას და ამ პერიოდში მისაღებ ეკონომიკურ ეფექტს. [7] სამეცნიერო ნაშრომში მითითებული მეთოდიკა უფრო სრულყოფილად არის წარმოდგენილი, ენერგოდამზოგი განათების საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასება გათვალისწინებულია სასიცოცხლო ციკლის სხვადასხვა ვადებში, თუმცა მასში არ არის ასახული ეფექტიანობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორი, ამიტომ ამ გზით მიღებული შეფასება ვერ იქნება სრულფასოვანი. სრულიად ახლებური მიდგომით არის გაანალიზებული „LED ტექნოლოგიის განათების სისტემის ეფექტიანობა“ [15] სამეცნიერო შრომაში. ამ სამეცნიერო კვლევაში საინვესტიციო პროექტის ეკონომიკური ეფექტიანობა და კაპიტალის აღდგენის კოეფიციენტით შედარებითი ანალიზი ჩატარებულია შუქდიოდური და ფლურესცენტული განათების სისტემებს შორის. გამოყენებული მეთოდიკა ატარებს კერძო ხასიათს, იგი არ იძლევა საშუალებას მთლიანობაში შეფასდეს განათების სისტემაში ახალი ტექნოლოგიების დანერგვის საერთო ეფექტიანობა.

პრაქტიკულად იგივე მეთოდოლოგია გამოყენებული აქვს [16] სტატიის ავტორს. საინვესტიციო პროექტის ეფექტიანობა გათვლილია წმინდა დისკონტირებული ღირებულების გამოყენებით 20 წლიანი პერიოდისათვის. ერთმანეთთან შედარებულია შუქდიოდური და მაღალი წნევის სოდიუმის ნათურების ეკონომიკური ეფექტიანობა. შემოთავაზებული ალგორითმი არ იძლევა საშუალებას კომპლექსურად შეფასდეს ხელოვნური განათების სისტემის დანერგვის ეფექტიანობა მთელი სასიცოცხლო ციკლისათვის.

დიდი ინტერესს იწვევს [17] შრომის ავტორის მიდგომა, რომელიც გულისხმობს ენერგოეფექტურობაში ჩადებული ინვესტიციების რისკების შეფასებას ხელოვნური განათების სხვადასხვა სისტემების დანერგვის მაგალითზე, სადაც გადაწყვეტილების მისაღებად ჩათვლილია ალტერნატიული ინვესტიციების ხარჯების ექვივალენტების შედარება. ოპტიმალური ტექნოლოგიის შერჩევა განხორციელებულია გამოყენების ინტენსივობაზე და შემოსავლის შიდა ნორმის სავარაუდო განაკვეთზე დამოკიდებულებით.

პრობლემის აქტუალობის მიუხედავად საქართველოში ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებები ძალიან ნელი ტემპებით იწერება. ამ მიმართულებით ჩატარებული მუშაობა ატარებს ეპიზოდურ ხასიათს. ევროკავშირის დირექტივების მოთხოვნების შესასრულებლად აუცილებელია გატარდეს კომპლექსური და გეგმაზომიერი ღონისძიებები. ქვეყანაში ხელოვნური განათების სესტემების მოდერნიზაცია საჭიროებს დიდი მოცულობის ინვესტიციებს და ინვესტიციების ეფექტიანად გამოყენებას, რაც თავისთავად მოითხოვს საკითხისადმი ახლებურ მიდგომას.

ზემოთ მოყვანილი ანალიზიდან ცხადი ხდება, რომ ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვა უნდა განხორციელდეს [7,8] საინვესტიციო პროექტების ეფექტიანობის შეფასების მეთოდით. ცნობილია, რომ [7,8,9,18] საინვესტიციო პროექტების შეფასების ფინანსურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს შორის ყველაზე უნივერსალურ და ყველაზე მეტად გავრცელებულ მაჩვენებლს წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წარმოადგენს. ეს მაჩვენებელი ითვალისწინებს არა მხოლოდ ხარჯებს მთელი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში, არამედ ეფექტს მიღებულს ღონისძიებების რეალიზაციიდან (მიღწეულ ეკონომიას).

განზოგადებულ ვარიანტში, ინვესტიციებიც უნდა დაექვემდებაროს დისკონტირებას [7,8,9,11]. რადგანაც რეალურ პროექტებში მათი განხორციელება ხდება არა ერთდროულად (ნულოვან პერიოდში) არამედ

ჭიანურდება რამოდენიმე პერიოდად. წდშ.-ის ანგარიში გვიჩვენებს ინვესტიციებიდან მიღებული ეფექტს დაყვანილს მოცემული მომენტისათვის, ფულის ღირებულებას სხვადასხვა დროის გათვალისწინებით.

საგულისხმოა, რომ [19] შრომის ავტორის მიერ შემუშავებულია ხელოვნური განათების სისტემაში ენერგოდამზოგი მოწყობილობების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი, რომელშიც ძირითადად გათვალისწინებულია ერთი ტიპის ენერგოდამზოგი სანათების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასება. წარმოდგენილი მოდელი შეუძლებელია გამოყენებული იქნეს მსხვილი სამრეწველო კომპლექსების, საზოგადოებრივი დანიშნულების და გარე განათების ხელოვნური განათების სისტემებში ენერგოდამზოგი სხვადასხვა ტიპის სანათების მართვის სისტემის დანერგვის ეფექტიანობის კომპლექსურ შეფასებაში. ამასთან ერთად მითითებულ ნაშრომში არ არის ჩამოყალიბებული ხელოვნური განათების სისტემებში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობრივი შეფასების ერთიანი მეთოდიკა, აღნიშნულიდან გამომდინარე წინა პლანზე დგება ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის შემუშავება, რომელშიც ასახული იქნება მასზე მოქმედი ყველა ფაქტორი და ჩამოყალიბებული იქნება ამ ფაქტორების ანგარიშის სრულყოფილი მეთოდიკა. ამ ამოცანის გადაწყვეტის წინაპირობას წარმოადგენს ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების მეცნიერული კვლევების საფუძველზე დადგენა.

ექსპერტული შეფასებით [7,8] დადგენილია, რომ ხელოვნური განათების სისტემებში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობაზე მოქმედებს ფაქტორთა ფართო სპექტრი. მათ შორის:

1. პროექტის განხორციელების ხანგრძლივობა;

2. ენერგოდამზოგი საშუალებების აქტიური სიმძლავრე;
3. არსებული და ახლად დასანერგი ენერგოდამზოგი საშუალებების ღირებულება;
4. ელექტროენერგიის ტარიფი, ზრდის ტემპის გათვალისწინებით;
5. ენერგოდამზოგი და არსებული განათების სისტემების სამსახურის ვადა;
6. არსებული და ახალი ენერგოდამზოგი სანათების შეცვლის ჯერადობა წელიწადში;
7. საინვესტიციო დანახარჯები;
8. გამოყენებული ინვესტიციების სახეები;
9. არსებული სანათების შეცვლის შედეგად გამონთავისუფლებული სანათების უტილიზაციის ღირებულება;
10. პროექტის განხორციელების პერიოდში ინფლაციის ინდექსი, ზრდადი შედეგით;
11. ხელოვნური განათების ენერგოდამზოგვის ოპტიმალური მართვის სისტემის დანერგვის შედეგად მიღებული ელექტროენერგიის ეკონომიის მოცულობა;  
დასმული პრობლემის მეცნიერული კვლევის საფუძველზე გადაწყვეტის მიზნით სიღრმისეულად იქნა შესწავლილი მსოფლიოს მოწინავე ქვეყნებში ხელოვნური განათების სისტემებში თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენების პრაქტიკა [7, 8, 12, 14, 17, 18, 19, 20].



## 2. ხელოვნური განათების თანამედროვე სისტემების ეფექტიანობის შეფასება და მისი დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში.

### 2.1. ხელოვნური განათების სახეები.

ამჟამად მსოფლიოში არსებობს რამოდენიმე სახის ხელოვნური განათება:

**საერთო** - გამოიყენება ზოგადად, სადაც არ უნდა იქნას გამოყენებული იმავე ტიპის სამუშაოები (ჩამოსხმა, შედუღება, გალვანური მალაზიები), ადმინისტრაციულ, საოფისე და საწყობებში. გამოირჩევა: 1) ზოგადი ერთიანი განათება (მსუბუქი ნაკადი, მთელ ფართობზე თანაბრად ნაწილდება სამუშაო ადგილების ადგილმდებარეობის გარეშე), 2) ზოგადი ლოკალიზებული განათება (სამუშაო ადგილების ადგილმდებარეობის გათვალისწინებით);

**ლოკალური** - გამოიყენება ზუსტი ვიზუალური მუშაობის შესრულებისას იქ სადაც მოწყობილობები ქმნის ღრმა მკვეთრ ჩრდილებს ან სამუშაო ზედაპირები განტავსებულია ვერტიკალურად. ამ შემთხვევაში ერთი ადგილობრივი განათების გამოყენება არ არის ნებადართული, რადგან იქმნება მკვეთრი ჩრდილები, მყისიერად ხდება მხედველობის დაღლილობა და ეს ქმნის ქმნის დაზიანების საფრთხეს;

ფუნქციონალური დანიშნულებით ხელოვნური განათება იყოფა სამუშაო, საგანგებო / ავარიული, საევაკუაციო, სპეციალური დანიშნულების და ა.შ. ტიპებად

- სამუშაო განათება მიზნად ისახავს საწარმოს ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველყოფას, ხალხის გადაადგილებას, საგზაო მოძრაობას და ყველა საწარმოო ობიექტისთვის სავალდებულოა.

- საგანგებო / ავარიული განათება - მიზნად ისახავს სამუშაოების გასაგრძელებას იმ შემთხვევაში, როდესაც სამუშაო განათების მოულოდნელად გამორთვამ (მაგალითად, უბედური შემთხვევების დროს) შეიძლება გამოიწვიოს აფეთქება, ხანძარი, ადამიანების მოწამვლა, ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევა და სხვა. საგანგებო განათების შემთხვევაში სამუშაო ზედაპირების მინიმალური განათება უნდა იყოს ნორმალიზებული სამუშაო განათების 5%.
- საევაკუაციო განათება მიზნად ისახავს წარმოებიდან ადამიანების ევაკუაციას ავარიების და სამუშაო განათების გათიშვის შემთხვევაში.

			
გარე განათება	საწარმოო განათება	ინტერიერის განათება	არქიტექტურული განათება
			
აფეთქებისგან დაცული განათება	საყოფაცხოვრებო განათება	საგანმანათლებლო სექტორის განათება	საავადმყოფოების განათება
			
სავაჭრო სექტორის განათება	აეროპორტების განათება	სპორტული სექტორის განათება	აგრარული განათება

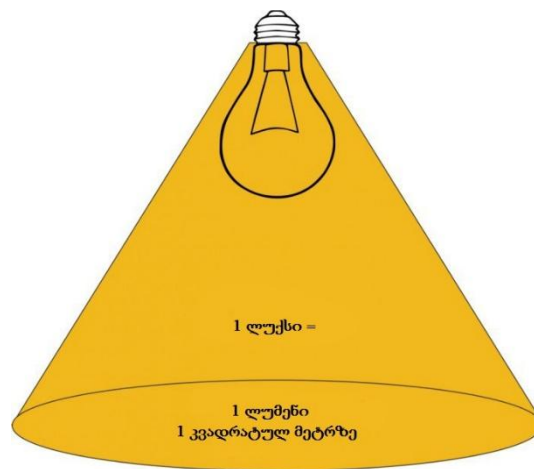
## ნახაზი 2. ხელოვნური განათების გამოყენების სფეროები

### 2.2. ხელოვნური განათების შუქის ნაკადის საერთაშორიო ნორმები

საჭიროა ასვე გავეცნოთ თუ როგორ ხორციელდება განათების ნაკადის გაზომვა. მას შემდეგ რაც კაცობრიობამ დაიწყო ელექტრო განათების მოწყობილობები გამოყენება ხელოვნურ განათებაზე გაჩნდა მათი გამოყენების ბაზის შექმნის აუცილებლობა და გარე განათების,

შენობების და სამუშაო ადგილების განათების ნორმების ჩამოყალიბება. თანამედროვე სამყაროში ხელოვნური განათების დონე - ერთ ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ნებისმიერი სამშენებლო ობიექტისათვის (მაგალითად შენობა, სტადიონი ან გზა). ნებისმიერი სივრცე სადაც ცხოვრობს და მუშაობს ადამიანი უნდა იყოს ოპტიმალურად განათებული. არსებობს ხელოვნური განათების დონის გარკვეული საერთაშორისო ნორმები რომლების დიდიხნის განმავლობაში ჩამოყალიბებულია, თუმცა დრო და დრო არაა გამორიცხული მათი ცვლილება.

ხელოვნური განათების წყაროს ახასიათებს შუქის შებრუნებული კვადრატების კანონი. რაიმე მნათობიდან წამოსული სინათლის ინტენსივობა უკუპროპორციულია ამ ობიექტამდე მანძილის კვადრატისა. განათების დონე იზომება ლუქსებში (ლათინურიდან lux-სინათლე)



**ნახაზი 3. ლუმენი Lm - შუქის ნაკადის ერთეული**

ცხრილ (1)-ში მოცემულია სხვადასხვა ტიპის ფართებში შუქის ნაკადის ერთეულების მაჩვენებლები საერთაშორისო ნორმების მიხედვით [21].

**ცხრილი 1. შუქის ნაკადის ერთეულების მაჩვენებლები საერთაშორისო ნორმების მიხედვით**

საგანმანათლებლო დაწესებულებები		საცხოვრებელი შენობები	
ოთახი	განათების ნორმა,ლუქსი	ოთახი	განათების ნორმა,ლუქსი
კოლეჯების და უნივერსიტეტების საკლასო ოთახები, აუდიტორიები, სკოლის ლაბორატორიები	500	მისაღები ოთახი, საერთო საცხოვრებელი ოთახები	150
საინფორმაციო ტექნოლოგიების კაბინეტები	200	სამზარეულოები	150
ხაზვის და ხატვის სასწავლო კაბინეტები	500	ბავშვების ოთახები	200
ქიმიური ლაბორატორიები	400	კაბინეტები, ბიბლიოთეკები	300
ოსტატების კაბინეტები	300	ბინის შიდა დერეფნები, ჰოლები	50
სპორტული დარბაზები	200	სასაწყობე მცირე ოთახები	300
ინვენტარის შესანახი ოთახები	50	გარდერობები	75
დახურული აუზები	150	საუნები, გასახდელეები, აუზი	100
საექტო დარბაზები, კინოაუდიტორიები	200	სატრენაჟორო დარბაზები	150
საექტო დარბაზების სცენები	300	აბაზანა - ტუალეტები	50
მასწავლებლების კაბინეტები	400	კიბის უჯრედები	20
სარეკრეაციო ოთახები	150	სართულების დერეფნები, ვესტიბიულები, ლიფტის მიმდებარე ტერიტორია	30
საკონფერენციო დარბაზები	300	გათბობის დანადგარების გაყვანილობის, ელექტროგაყვანილობის და წყალმომარაგების ფარები	20
ტექნიკური უჯრედები	100	მიწისქვეშა და ტექნიკური სართულების მონაკვეთები	20
სასადილო დარბაზი	300	სარდაფები, სხვენები	20
ტუალეტები	50	ლიფტის მადაროები	5
საოფისე ფართი		ჯანდაცვის მომსახურების სფერო	
ოთახი	განათების ნორმა,ლუქსი	ოთახი	განათების ნორმა,ლუქსი
კაბინეტები, ოფისები	500	ექიმების კაბინეტები	300-500
საპროექტორო, საკონსტრუქციო და ხაზვის ბიუროები	500	საოპერაციო დარბაზები	400
ბულატერია, კანცელარია	500	ლაბორატორიული და მკურნალობის კაბინეტები	300
სტუმრების მისაღები ოთახები	400	სამედიცინო დაწესებულების სარეგისტრაციო მისაღები	200
სასაწყობე ფართი	75	სარეცხი და სტერილიზაციის ოთახები	200
სასაწყობე ფართი სტელაჟური განლაგებით	200	მოსაცდელი დარბაზები, პალატები	150
სატრანსპორტო დატვირთვის და ჩამოცლის ფართები	200	მედიკამენტების შენახვის ოთახები	150
ტრენინგ ცენტრები	400	დერეფნები, კიბის უჯრედები	100
საკონფერენციო დარბაზები	300	აბანოები, ტუალეტები, მოსაწვევი ადგილები	75
ტექნიკური უჯრედები	100	სამზაპეები, გასახდელეები, კიბეები	50

### 2.3. ხელოვნური განათების თანამედროვე სისტემები.

ამჟამად ჯერ კიდევ ფართოდ გამოიყენება შემდეგი ტიპის ძველი განათების სისტემები:

- High Intensity Discharge (HID) Lights/მაღალი ინტენსივობის აირგანმუხტვადი ნათურები, HID ტიპში შედიან მეტალოჰალოგენური MH (Metal Halide), ДРЛ, ნატრიუმის მაღალი წნევის ДHaT HPS (High Pressure Sodium) ნათურები და ასევე ნატრიუმის დაბალი წნევის (Low Pressure Sodium Lamps) ნათურები. HPS ნათურები მისი ეფექტურობის გამო ძირითადად, გამოიყენება ქუჩის, ღირსშესანიშნაობების/ძეგებისა და სტადიონების განათებაზე.
- Fluorescent Lights/ფლუორესცენტული ნათურები. ამ ტიპის ნათურები გავრცელებულია როგორც გრძივი მილის, ასევე ცირკულარული ფორმის, ან CFL (Compact Fluorescent Light) კომპაქტური ნათურების სახით. შედარებით მაღალი ენერგოეფექტურობის და ხანგრძლივი მოხმარების ვადის გამო, მათ ეკო-ნათურებს უწოდებენ.
- Incandescent Lamp კლასიკური ვარვარა ნათურა რომელიც ჯერ კიდევ ფართოდ არის გამოყენებული საცხოვრებელ სახლებში.
- Halogen lamps ჰალოგენური ნათურა.



ნახაზი 4. მაღალი ინტენსივობის აირგანმუხტვადი სანათი



ნახაზი 5. ფლუორესცენტული სანათი



ნახაზი 6. კლასიკური ვარვარა სანათი

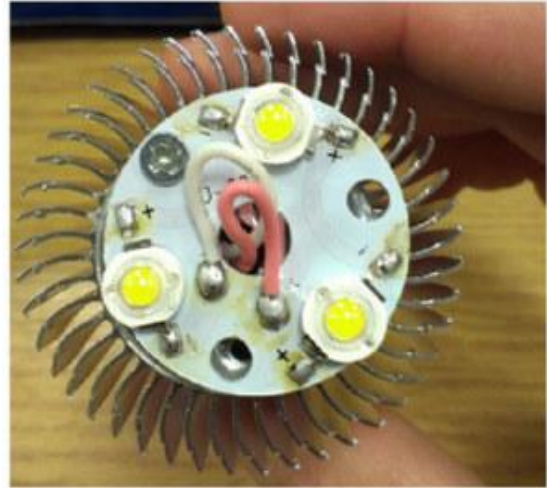


ნახაზი 7. ჰალოგენური სანათი

განვიხილოთ თუ როგორი შუქდიოდური ნათურები არსებობს დღესდღეობით:

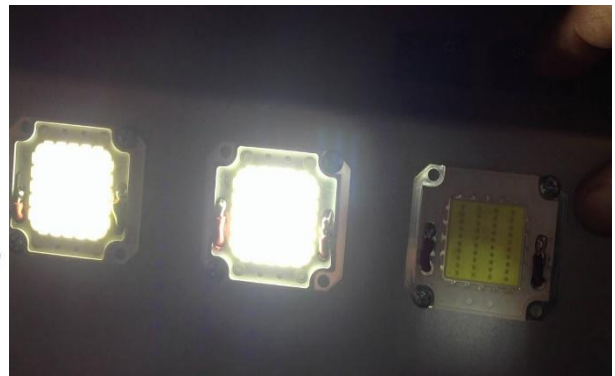
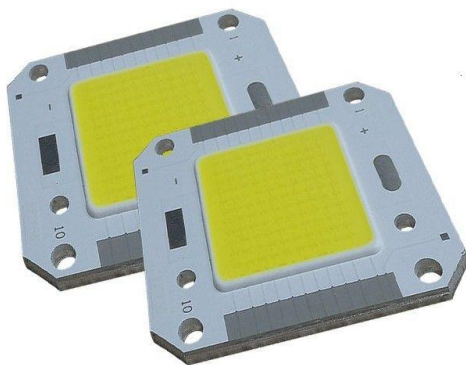


ნახაზი 8. შუქდიოდური სანათი



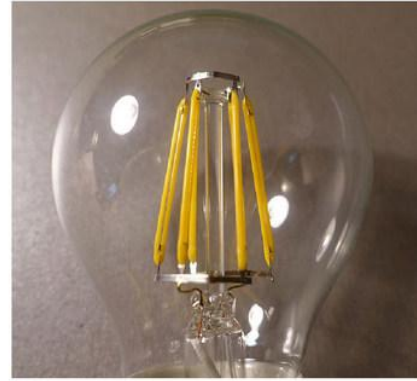
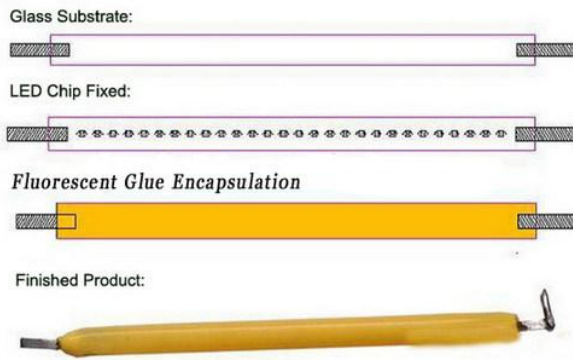
ნახაზი 9. Led COB (chip on board) სანათი

COB - შუქდიოდური ბოჭკო (led filament). მათში მრავალი შუქდიოდი განთავსებულია მინის ზოლებზე და დაფარულია ლუმინოფორით.



ნახაზი 10. Led COB (chip on board) სანათი - 2

**A more view at LED Encapsulation:**



**ნახაზი 10. Led COB (chip on board) სანათი - 2**

უახლესი თაობის LED ნათურებში (Crystal Ceramic MCOB) შუქდიოდები მოთავსებულია გამჭირვალე კერამიკისგან დამზადებულ ფორფიტებზე.



**ნახაზი 11. Led Crystal Ceramic MCOB სანათი**

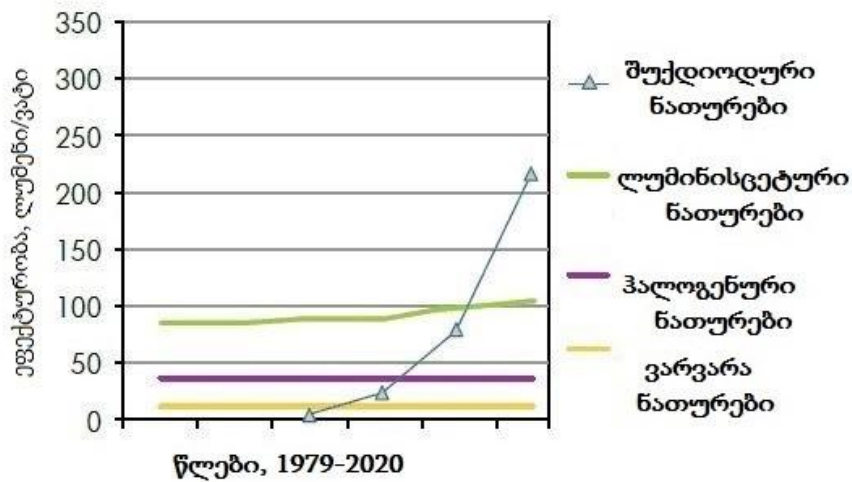


ასევე არსებობს პროექტორები COB შუქდიოდებზე



ნახაზი 12. Led COB პროექტორი

ესეთი პროექტორი მოიხმარს მხოლოდ 50 ვატს, ხოლო ანათებს როგორც 300 ვატიანი ჰალოგენური პროექტორი. სურათ 13-ში მოცემულია LED ნათურების შუქის ნაკადის ეფექტურობის განვითარების გრაფიკი წლების მიხედვით:



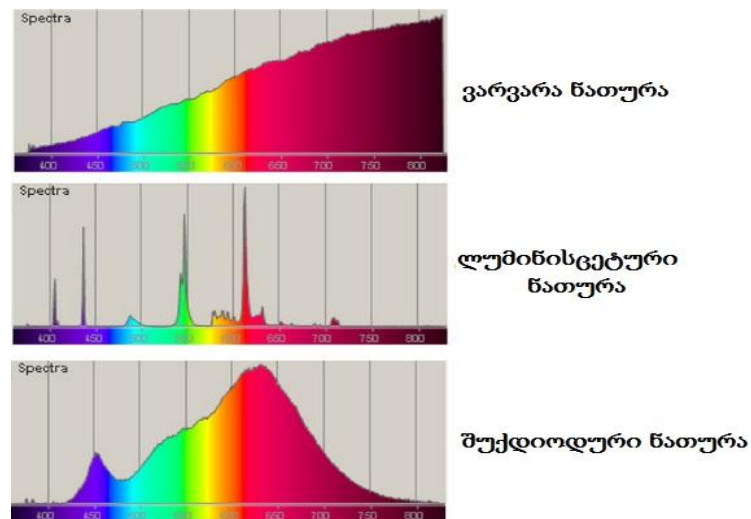
ნახაზი 13. LED ნათურების შუქის ნაკადის ეფექტურობის განვითარების გრაფიკი.

Goldman Sachs Statista სააგენტოს მონაცემების მიხედვით [22] მსოფლიო განათების ბაზარზე შუქდიოდური ტექნოლოგიების შეღწევა 2010 წლიდან 2020 წლამდე შემდეგნაირად განვითარდება.



**ნახაზი 14. Goldman Sachs Statista სააგენტოს მონაცემები, განათების ბაზარზე შუქდიოდური ტექნოლოგიების შეღწევა.**

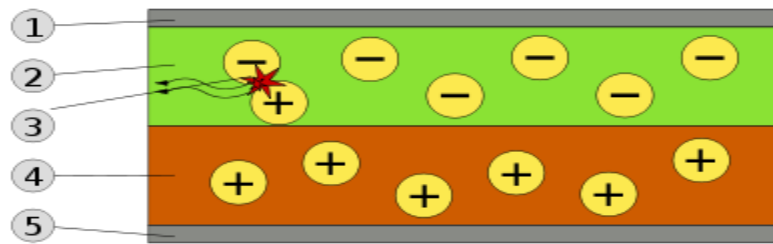
შუქდიოდური ნათურის სპექტრი ნაჩვენებია სურათ 14-ზე. გრაფიკიდან ჩანს რომ LED ნათურის სპექტრი უფრო ახლოსაა ბუნებრივ სინათლესთან და ვარვარა ნათურასთან ვიდრე ლუმინისცეტური ნათურის სპექტრი.



**ნახაზი 15. ვარვარა, ლუმინოსცეტური და შუქდიოდური ნათურების სპექტრი.**

მიუხედავად აღნიშნულისა LED შუქდიოდები არ არის ბოლო სიტყვა თანამედროვე ენერგოეფექტულ განათებაში [23,24,25]. 21-ე საუკუნის სრულიად ახალ, პერსპექტიულ და სამომავლო ტექნოლოგიად

ასევე ითვლება OLED (organic light-emitting diode) შუქის გამომსხივებელი დიოდი. მატრიცები, რომელიც განათების სისტემისთვის, ადრე მიულწეველ დონეზე გასვლის საშუალებას. იმისათვის, რომ შეიქმნას ორგანული შუქგამამსხივებელი დიოდები-OLED გამოიყენება თხელიზედაპირული მრავალშრიანი სტრუქტურა, რომელიც შედგება პოლიმერების რამდენიმე ფენიდან.



ნახაზი 16. OLED მატრიცის სტრუქტურა: 1. კათოდი, 2. ემისიური ფენა, 3. გამომავალი გამოსხივება, 4. გამტარი ფენა, 5. ანოდი

ძირითადად OLED ტექნოლოგია გამოიყენებოდა დისპლეების წარმოებაში, თუმცა ბოლო დროს სხვადასხვა მწარმოებლებმა დაიწყეს ზემოთხსენებული ტექნოლოგიის განვითარება და ელექტროგანათების სისტემებში დანერგვა. OLED პანელების წარმოებაში მნიშვნელოვანი წარმატების მიღწევა შეძლო კორეულმა კომპანიამ LG Chem [26] ახალი თაობის განათების OLED პანელებმა 2017 წლის ბოლოსათვის 140 ლუმენი/ვატზე მიაღწია.

შუქდიოდებისგან განსხვავებით OLED განათების მნიშვნელოვან უპირატესობად ითვლება წერტილოვანი განათების არარსებობა. ასევე ის ერთგვაროვან რბილ შუქს გამოსცემს და მისი სიმკვეთრის რეგულირება, საფეხურების გარეშე შესაძლებელი. მსგავსი განათების სისტემები არ ტოვებს ჩრდილს და არ საჭიროებს რეფლექტორებს, შუქის მიმმართველებს და სხვა ოპტიკურ კომპონენტებს.

OLED სანათების მნიშვნელოვან უპირატესობდ ითვლება რბილი შუქის ნაკადი და შუქდიოდებისგან განსხვავებით წერტილოვანი განათების არარსებობა, ასევე თანამედროვე ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა

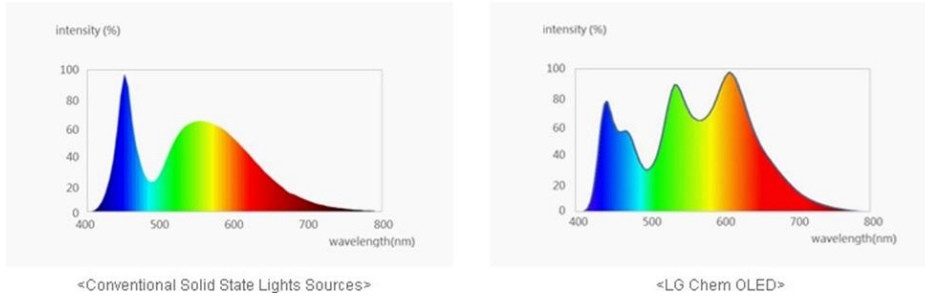
შეიქმნას ულტრა თხელი მსუბუქი OLED პანელები, მათ შორის - მოქნილი და გამჭვირვალე.



### ნახაზი 17. OLED (organic light-emitting diode) სანათი

უნდა აღინიშნოს, რომ OLED სანათების სპექტრი LED ნათურების სპექტრზე გაცილებით უკეთესია. მათი CRI (Colour rendering index, CRI ან Ra) ინდექსი 90-ზე მეტია. CRI გახლავთ ფერის გამოხატვის ინდექსი, (ფერის გადმოცემის კოეფიციენტი) ეს არის პარამეტრი, რომელიც ახასიათებს სხეულის ბუნებრივი ფერის შესაბამისობის დონეს ამ სხეულის ხელოვნური წყაროთი განათების დროს.

**Spectral Distribution**



**ნახაზი 18. OLED CRI - ფერის გადმოცემის კოეფიციენტი**

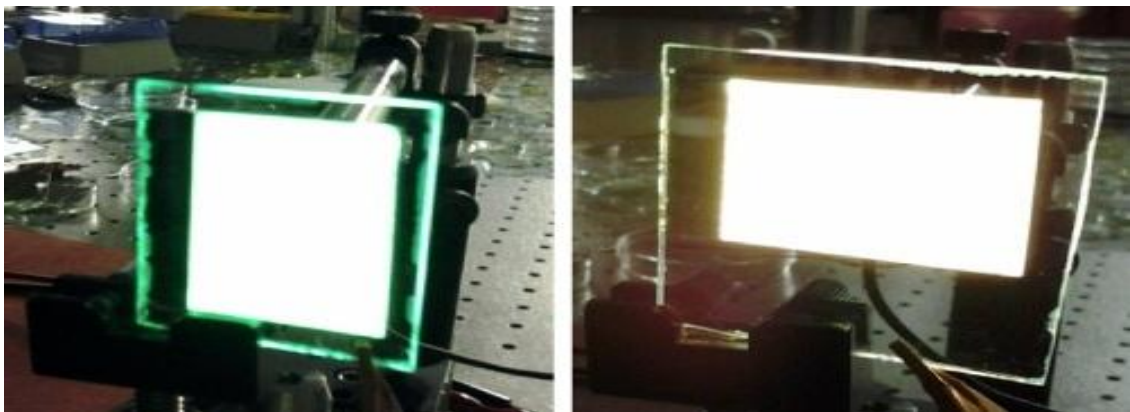
ასეთი სანათები არის ეფექტური, მსუბუქი და საერთოდ არ საჭიროებს გაგრილებას. თანამედროვე ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა შეიქმნას ესთეტიკურად გამართული ფორმების ულტრა თხელი მსუბუქი OLED პანელები, მათ შორის - მოქნილი და გამჭვირვალე. მსოფლიოში ცნობილი მეცნიერების აზრით [23] ახალი OLED ტექნოლოგია, საინჟინრო თვასაზრისითაც დახვეწილია, და უსაფრთხოების კუთხითაც წინ გადადგმული ნაბიჯია.

ამასთან ერთად, მსოფლიოს ანალიტიკური სააგენტოები [22] ერთი ხმად პროგნოზირებენ LED/OLED ტექნოლოგიების და მათ წარმოებაზე დიდი მოცულობის ინვესტირებას უახლოეს მომავალში. ტრადიციული ნათურების წილთან შედარებით აღნიშნული ნათურების საბაზრო წილის ზრდის დინამიკა 2012-2020 წლებში მოცემულია ნახაზ 19-ზე.



**ნახაზი 19. LED/OLED სანათების საბაზრო წილის ზრდის დინამიკა 2012-2020 წლებში.**

მეცნიერებს მიჩნიათ, რომ პროფესორ დევიდ ქეროლის მიერ შექმნილი ტექნოლოგია მომავალში ნამდვილად ჩაანაცვლებს LED და OLED განათების სისტემებს. ეს გახლავთ FIPEL (Field-induced polymer electroluminescent) [27] ტექნოლოგია (ველით გამოწვეული პოლიმერის ელექტროლუმინისცენცია) ახალი სინათლის წყარო მზადდება სხვადასხვა ძალიან თხელი პლასტიკური ფენებისგან, სადაც თითოეული ფენა 110 000 ჯერ თხელია, ვიდრე ადამიანის თმის ღერი. სპეციალური ტიპის პლასტიკი განთავსებულია ორ ელექტროდს შორის, რომელთაგან ერთი არის ალუმინის, და მეორე - ძალიან გამჭვირვალე და დენგამტარი. მოწყობილობაზე დენის მიწოდებისას პლასტიკი სტიმულირდება და შესაძლებელი ხდება მისი შუქის ნაკადის ხელოვნურ განათებაში გამოყენება. ასევე FIPEL ტექნოლოგიით დამზადებული სანათების წარმოების დროს არ გამოიყენება რაიმე სახის ქიმიკატები შესაბამისად ამ ტექნოლოგიით დამზადებული სანათები ადვილად შეიძლება რეციკლირებული იყოს, რადგან ისინი პლასტიკურია.

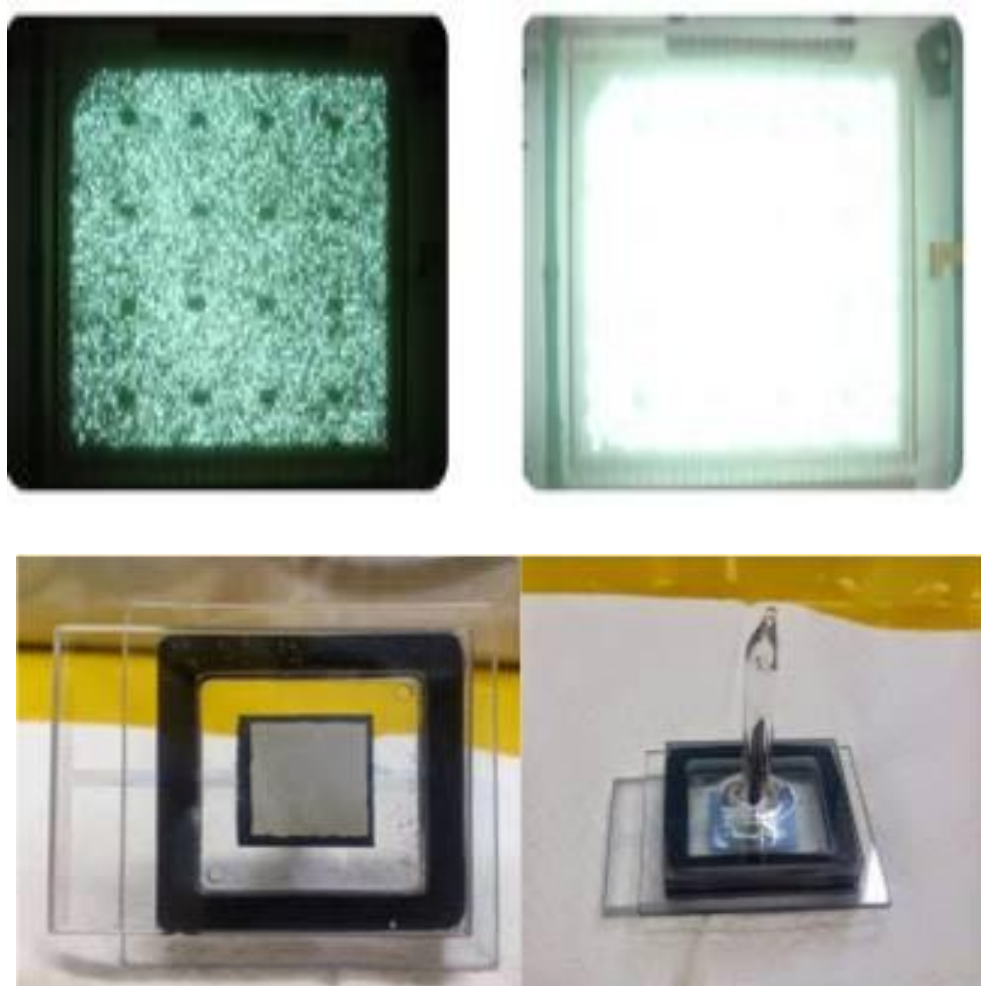


**ნახაზი 20. FIPEL (Field-induced polymer electroluminescent) სანათი**

აუცილებელია ავღნიშნოთ CNT (Carbon Nanotube-Based Lights) [28] ნახშირბადული ნანომილების ტექნოლოგია, რომელიც შეიქმნა იაპონიის უნივერსიტეტ ტოხოკუ-ში. CNT განათება გამოირჩება შუქდოდური განათებისგან უფრო მაღალი ენერგოეფექტურობით, მას გააჩნია ძალიან დაბალი ენერგომოხმარება, რომელიც შეადგენს დაახლოებით 0.1 ვატს

საათში. ეს თითქმის 100-ჯერ ნაკლებია LED სინათლის წყაროებთან შედარებით.

CNT განათების სისტემის პრინციპი შემდეგია - თითოეული ნახშირბადული ნანომილი ელექტროსტატიკული ველის ზემოქმედებისას ერთი მიმართულებით აწარმოებს ელექტრონების ნაკადს. როდესაც ელექტრონები ხვდება ლუმინოფორით დაფარულ და ვაკუუმი მყოფ ეკრანზე ისინი იწვევენ მის განათებას. ლუმინისცეპტური ეკრანი მოქმედებს როგორც ანოდი, ხოლო ნახშირბადული ნანომილები როგორც კათოდი.



ნახაზი 21. CNT (Carbon Nanotube) სანათი

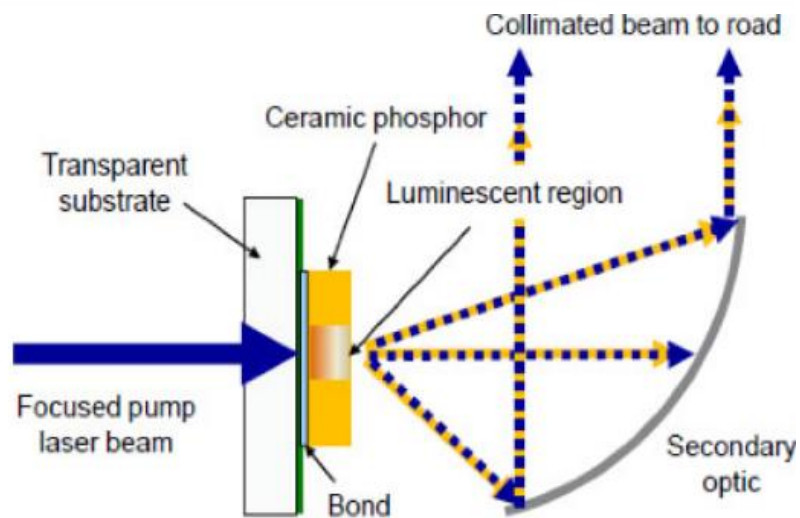
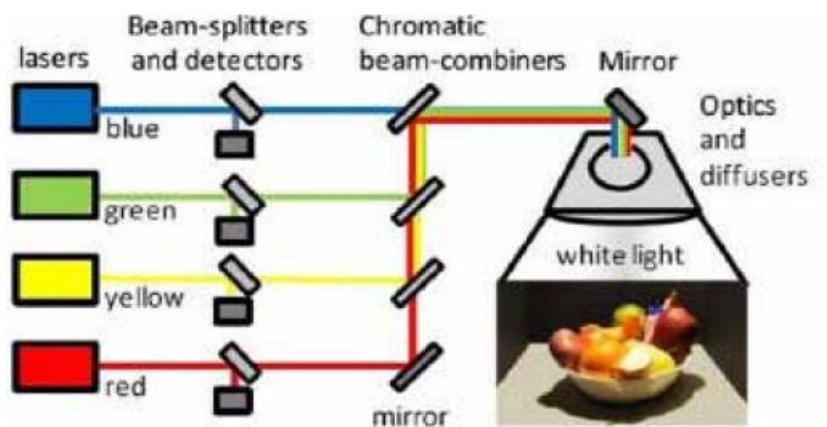
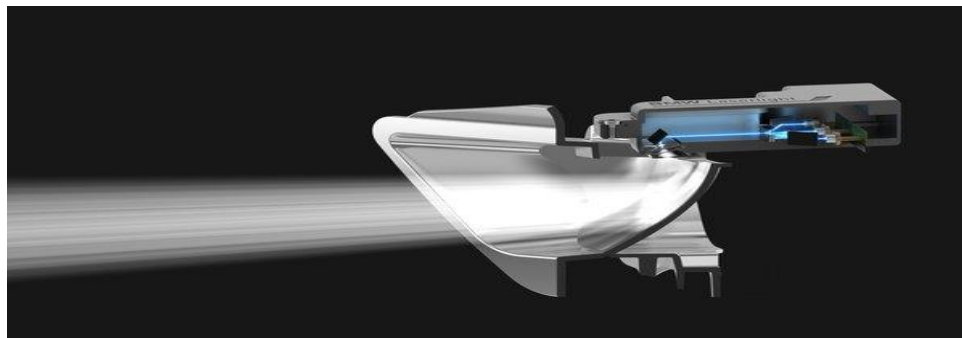
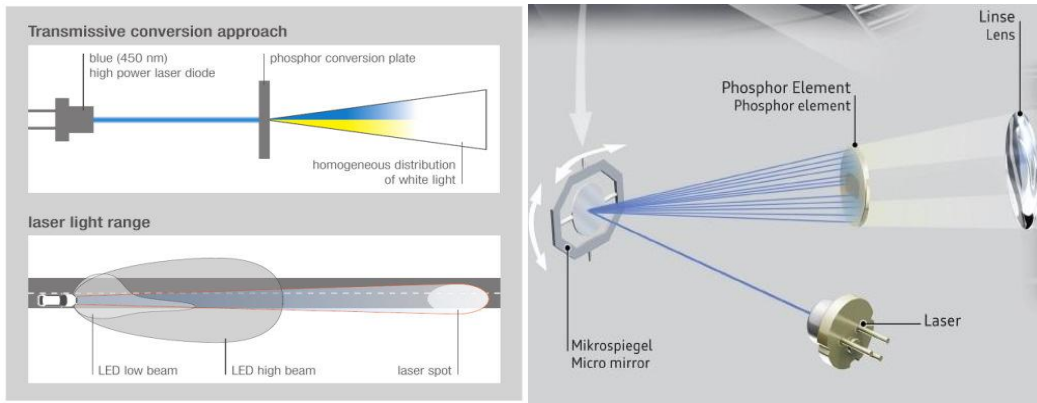
ბოლო პერიოდში დიდი განვითარება ჰპოვა [29] კიდევ ერთმა პერსპექტიულმა ტექნოლოგიამ - Osram Laser Light (ლაზერული

განათება შემოთავაზებული იქნა მისი გამოგონებისთანავე, მაგრამ პრაქტიკული რეალიზაცია მიიღო თანამედროვე დროში). Osram იყო პირველი კომპანია, რომელმაც ლაზერის მოდულებით აღჭურვილი ელექტროგანათების ტექნოლოგიები წამროადგინა – უფრო პატარა, ნათელი და მეტად ენერგოეფექტური, ვიდრე LED სანათები. Osram Laser Light ავტომობილების განათების სისტემის მთავარი მიმართულება იყო, თუმცა მწარმოებლებმა მოულოდნელი და საკმაოდ ძვირად ღირებული ნაბიჯი გადადგეს, როდესაც დაიწყეს შენობებისა და გზების LED განათების ბაზარზე შესვლა და ლაზერის ტექნოლოგიის დანერგვა (ნახ. 22).

განსაკუთრებით ეფექტურია ლაზერული ტექნოლოგიების გამოყენება გარე განათების სისტემებში. ლაზერული გარე განათების პროტოტიპები რომლებშიც ლაზერული განათების სისტემა მოთავსებულია ქუჩის განათების სვეტის ძირში და სვეტის ზემოთ მოთავსებულ ლუმინოფორული სინათლის წყარომდე გადაეცემა სპეციალური შუქგამტარი ოპტიკური კაბელით, რაც გაცილებით ამარტივებს მათი ექსპლუატაციის მომსახურებას. Osram Laser Light ლაზერულ მოდულს ამჟამად არსებულ მოწინავე ქსენონის ან LED სანათებთან შედარებით შეუძლია 2-ჯერ მეტ მანძილზე გაანათოს გზა ნაკლები ენერგომოხმარებით.

ასევე ხელოვნურ განათებაში ბოლო პერიოდში გამოიყენება ინდუქციური ლუმინესცენტური ანუ უელექტროდო ნათურები. ისინი ზემადალი სიხშირის (225 კჲც) ძაბვიდან მუშაობენ, პლაზმის ნათება ხორციელდება მხოლოდ ელექტრომაგნიტური ველით, შესაბამისად ელექტროდების არარსებობის გამო 100 000 საათზე მეტი მუშაობის რესურსი აქვთ და ეკონომიურობით არ ჩამოუვარდებიან თანამედროვე შუქდიოდურ განათების სისტემებს (ნახ 23).





Ֆեֆեֆո 22. Laser Light ևճճոփ

თუმცა მათაც ამჟამად გამოყენებული სანათებთან შედარებით მაღალი საწყისი ღირებულება გააჩნიათ. მიუხედავად ზემოთაღნიშნულისა ამ ტიპის განათების სისტემები არის რეალური ალტერნატივა ვერცხლისწყლის, ნატრიუმის, მეტალოჰალოგენის და თუნდაც შუქდიოდური განათების სისტემების. ყველა ზემოთაღნიშნული სანათებისგან განსხვავებით ინდუქციური სანათები მუშაობის დროს არ გამოყოფენ დიდ ტემპერატურას. ინდუქციური განათების სისტემები საშუალებას იძლევა უზრუნველყოს ტერიტორიებისა და შენობების კომფორტული განათება მზის შუქთან მიახლოებული სპექტრის და შუქის ნაკადის პულსაციის გარეშე. ამავე დროს, ის გამორჩევა მაღალი ენერგოეფექტურობით [30, 31, 32].



**ნახაზი 23. LVD ინდუქციური უელექტროდო სანათი**

ინდუქციური განათების სისტემები გამოიყენება [30, 31, 32] - საავტომობილო გზების, საწყობების და სამრეწველო ნაგებობების, გვირაბების, სტადიონების, აეროპორტების, ბენზინგასამართ სადგურების, სარკინიგზო სადგურების, შენობების, ავტოსადგომების,

სუპერმარკეტების, პავილიონების, საგამოფენო დარბაზების, საგანმანათლებლო დაწესებულებების და საზოგადოებრივი დანიშნულების დაწესებულებების ხელოვნურ განათებაში.

განსაკუთრებით ხაზი უნდა გაესვას იმ ფაქტს, რომ ბოლო პერიოდში ხელოვნური განათების სისტემაში გამოყენება დაიწყო - ჰიბრიდული LED-Solar (helio HSL) სანათების ავტომატური მართვის სისტემით [33, 34].

LED-Solar სისტემაში ინტეგრირებულია მზის ბუნებრივი და შუქდიოდური ხელოვნური განათება, დღის განმავლობაში მზის სინათლე სახურავიდან გადაეცემა სპეციალური შუქგამტარი ოპტიკური მილით, ხოლო ღამის საათებში განათების ფუნქციას ასრულებს შუდიოდები რომლებიც მარტივად შესაძლებელია ჩანაცვლებულ იქნეს OLED ან იდუქციური ნათურებით.

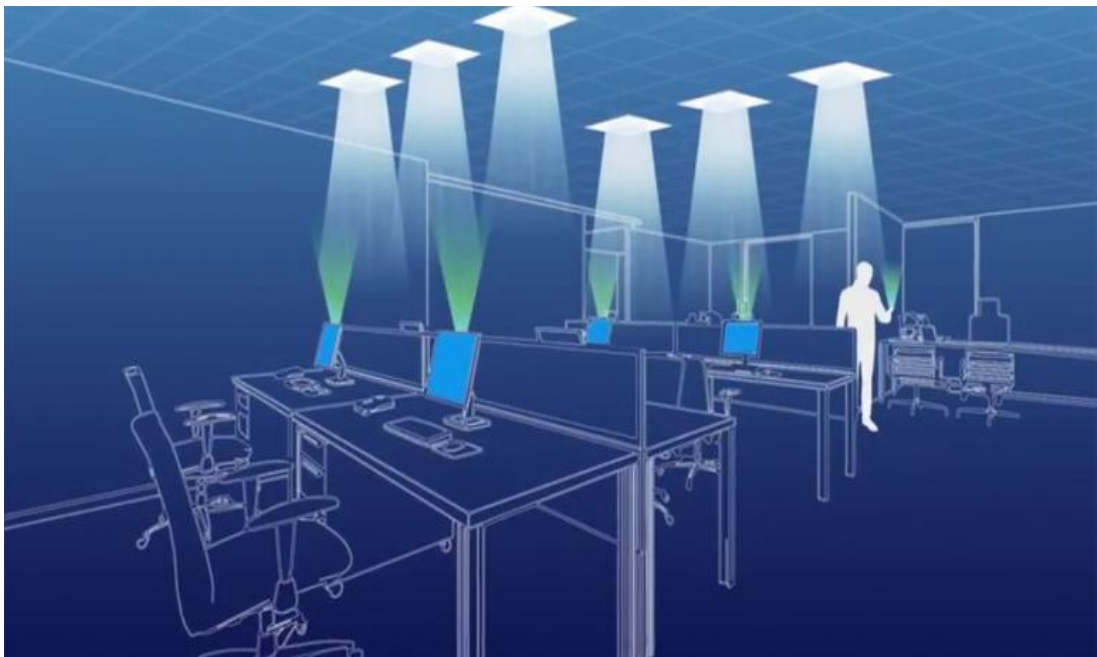
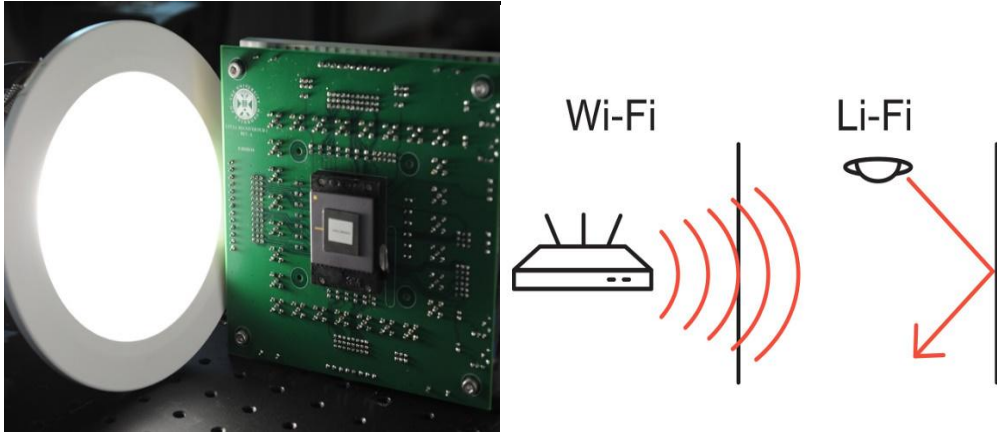
LED-Solar სისტემა ავსებს შენობებს კომფორტულ, უნაკლო სუფთა შუქის ნაკადით და ამავე დროს უზრუნველყოფს ელექტროენერგიის მაქსიმალურად ნაკლებ მოხმარებას, მისი ენერგოდაზოგვის პოტენციალი შეადგენს 70%-ს. მომავალში, განათებისთვის ამგვარი განათების სისტემების დანერგვა ყველაზე სასურველია სხვადასხვა საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტებში, საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, საწყობებში, ქარხნებში, სავაჭრო ობიექტებში, ოფისებში და საცხოვრებელ სახლებში.

საგულისხმოა, რომ შუქდიოდურ განათებას ბევრი ადიქვამს როგორც მხოლოდ გამოგონებას, რომელიც გვაძლევს საშუალებას მოვიხმაროთ ნაკლები ელექტროენერგია განათებაზე, იმავდროულად შუქდიოდური სანათების კონსტრუქცია იძლევა საშუალებას არსებულ ძველი ტიპის განათებასთან შედარებით მათი პრინციპულად სხვაგვარად ინტეგრირებას ავტომატიზაციის და დისტანციური მართვის სისტემებში. თანამედროვე შუქდიოდური განათების მოწყობილობებს აქვს ყველა ატრიბუტი კომპიუტერული

ინტერფეისით მართვისთვის. გარდა ამისა აქტიურად ვითარდება ბიპოლარული, სწრაფი ინტერნეტის გამავრცელებელი ტექნოლოგია Li-Fi [35]. ეს ტექნოლოგია ფართოდ გავრცელებულ Wi-Fi-ზე თითქმის 100-ჯერ სწრაფია და გაცილებით უსაფრთხოა (ნახ. 25).



ნახაზი 24. LED-Solar (helio HSL) სანათი



ნახაზი 25. Li-Fi ტექნოლოგია

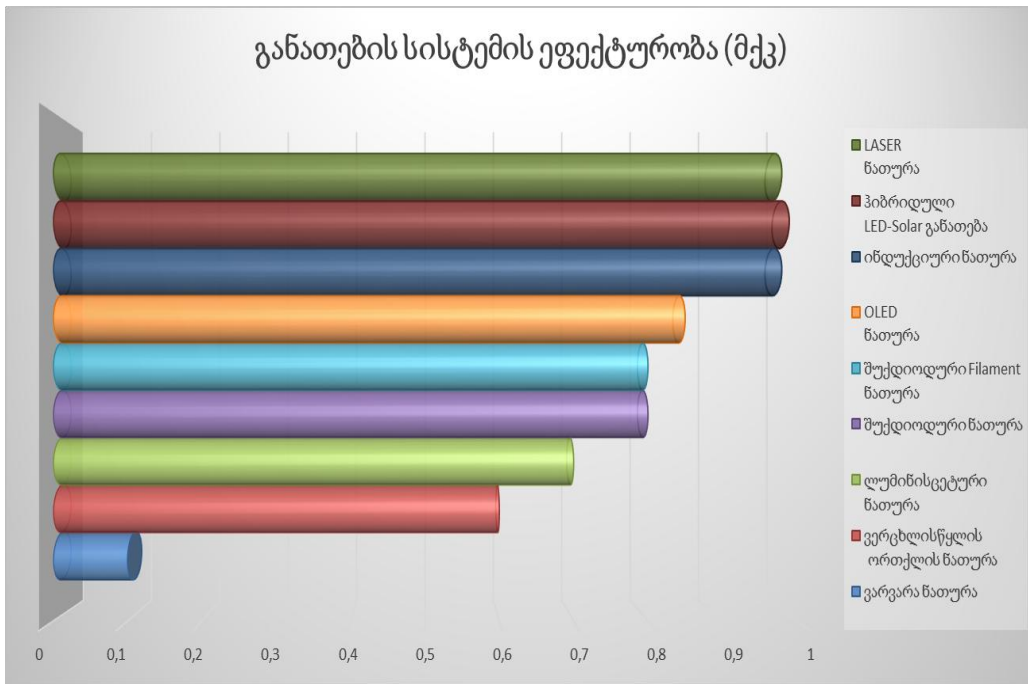
#### 2.4. ხელოვნური განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასება.

ზემოთ წარმოდგენილი ხელოვნური ელექტროგანათების ახალი ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასების მიზნით ჩატარდა თანამედროვე ელექტროგანათების ტექნოლოგიების და საქართველოში გამოყენებული ხელოვნური განათების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი. ანალიზის შედეგი მოცემულია ცხრილ 2-ში.

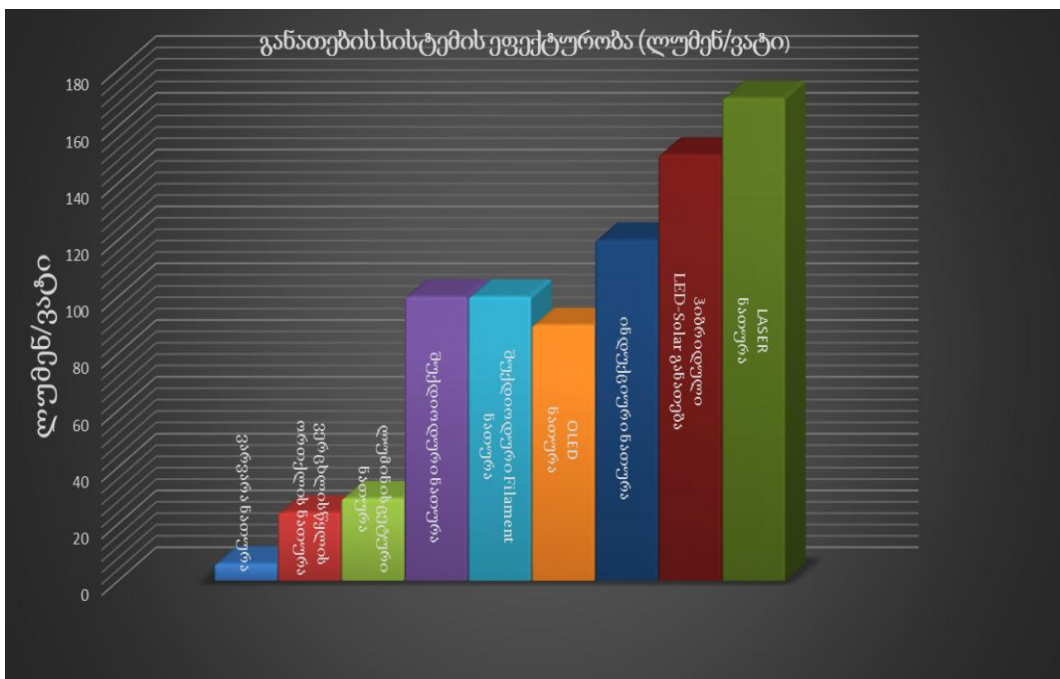
**ცხრილი 2. ამჟამად ექსპლუატაციაში მყოფი და თანამედროვე ხელოვნური განათების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლების შედარებითი მაჩვენებლები.**

შედარების პარამეტრი	ვარგარა * ნათურა *	მერცხლის წყლის ორთქლის ნათურა *	ლუმინისც ტური ნათურა *	შუქდიოდური ნათურა	შუქდიოდური Filament ნათურა	OLED ნათურა	ინდუქციური ნათურა	ჰიბრიდული LED-Solar განათება	LASER ნათურა
საწყისი ღირებულება	დაბალი	საშუალო	საშუალო	მაღალი	მაღალი	საკმაოდ მაღალი	მაღალი	მაღალი	საკმაოდ მაღალი
ეფექტურობა (მკე)	დაბალი 0.1	საშუალო 0.85	საშუალო 0.85	მაღალი 0.95	მაღალი 0.95	მაღალი	მაღალი 0.98	მაღალი 0.99	მაღალი
ეფექტურობა (ლუმენ/ვატი)	4-6	20-24	26-29	95-123	95-123	80-110	80-110	150	160-170
დანახარჯები ექსპლუატაციის კურიოდში	მაღალი	მისაღები	მისაღები	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი
რესურსი (სთ)	1000-მდე	8000-მდე	4000-8000 მდე	50 000-ზე მეტი	50 000-ზე მეტი	50 000-ზე მეტი	120,000	50 000-ზე მეტი	100 000 -ზე მეტი
შუქის ნაკადის პულსაცია	მინი მალური	საშუალო	საშუალო	არა	არა	არა	არა	არა	არა
დიმერის მხარდაჭერა	კი	არა	არა	ნაწი ლობრივ	ნაწი ლობრივ	კი	კი	ნაწი ლობრივ	კი
UV (ულტრაიისფერი) გამოსხივება	კი	კი	კი	კი	კი	არა	არა*	არა	არა*
ვერცხლისწყლის შემცველობა	არა	მაღალი > 400 mg	დაბალი	არა	არა	არა	ძალიან დაბალი < 6 mg	არა	არა
ფერის გადმოცემის ინდექსი Ra	80 Ra	28 Ra	60 Ra	70 Ra	70 Ra	80 Ra	> 80 Ra	70 Ra	80 Ra
მუშა პარამეტრებზე გაცვლის დრო	1 წამი	2-5 წუთამდე	1-2 წუთამდე	1 წამზე ნაკლები	1 წამზე ნაკლები	0.5 წამზე ნაკლები	1-2 წამი	1 წამზე ნაკლები	0.1 წამზე ნაკლები
დამოკიდებულება ძაბვის ცვლილებაზე	არა-მდგრადი	არა-მდგრადი	არა-მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი
ტემპერატურის ცვლილებისადმი მდგრადობა	არა-მდგრადი	არა-მდგრადი	არა-მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი
ექსპლუატაციის ტემპერატურა	-50...+70	-40...+40	+10...+40	-50...+60	-50...+60	-40...+70	-40...+60	-40...+70	-40...+70
ექსპლუატაციის დროს გამოყოფილი ტემპერატურა	ძალიან მაღალი	ძალიან მაღალი	საშუალო	საშუალო	საშუალო	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი
ქსელის გადატვირთვა	ჩართვისას	ჩართვისას	ჩართვისას	არა	არა	არა	არა	არა	არა
ვრბაციისადმი მდგრადობა	არა-მდგრადი	არა-მდგრადი	არა-მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი	მდგრადი
მუშაობის სტაბილურობა დაბალი ტემპერატურის დროს	საშუალო	დაბალი	დაბალი	მაღალი	მაღალი	მაღალი	მაღალი	მაღალი	მაღალი
ჩართვა-გამორთვის სიხშირეზე დამოკიდებულება	კი	კი	კი	არა	არა	არა	არა	არა	არა
სამუშაო ძაბვა (ვ)	220	220	220	120-280	120-280	120-280	90-280	120-280	120-280
შუქის ნაკადის რეგულირება	არა	არა	არა	კი	კი	კი	კი	კი	კი
შუქის ნაკადის კლება ექსპლუატაციის ვადის ბოლოს	40-60%	40-60%	40-50%	20-30%	20-30%	10-15%	10%	10-15% LED	0.05
სანათის ზომა	სტანდარტული	დიდი	დიდი	სტანდარტული	სტანდარტული	ძალიან თხელი 0.5-2 მმ	დიდი	დიდი	დეუქტორი 30-80*
საჭირო მომსახურება 5 წლიანი ექსპლუატაციის პერიოდში	ნათურების შეცვლა	ნათურების და გამშვები მოწყობილობის შეცვლა	ნათურების და გამშვები მოწყობილობის შეცვლა	ტექნოლოგიური წმენდა	ტექნოლოგიური წმენდა	ტექნოლოგიური წმენდა	ტექნოლოგიური წმენდა	ტექნოლოგიური წმენდა	ტექნოლოგიური წმენდა

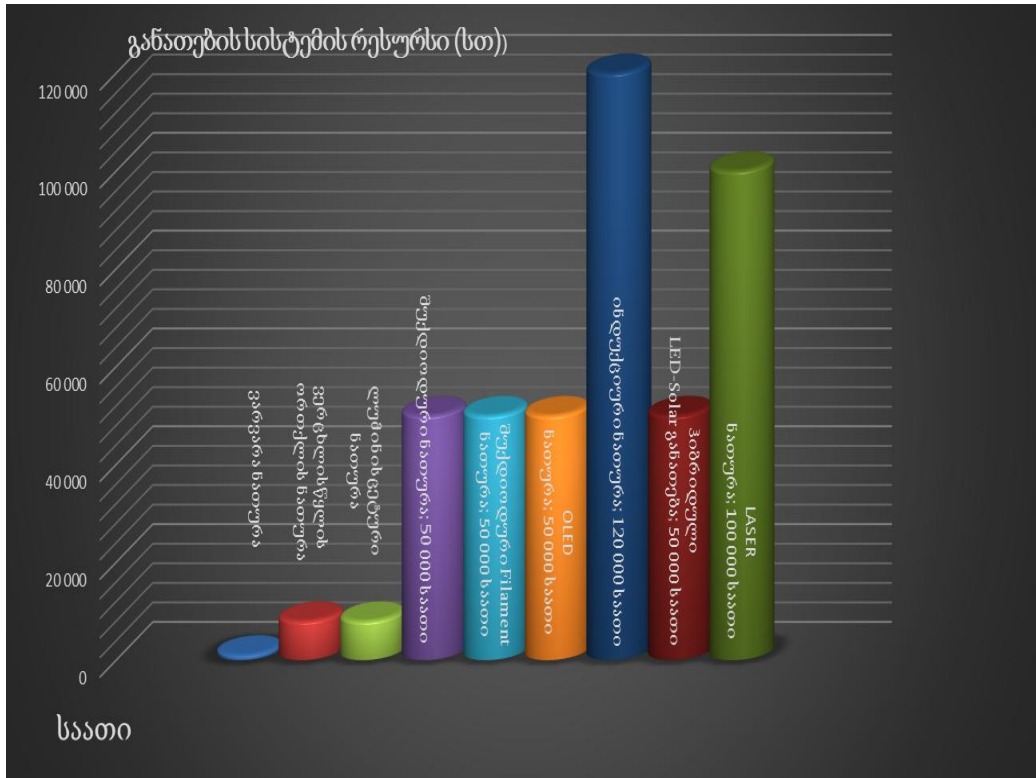
ხელოვნური განათების თანამედროვე ტექნოლოგიური სისტემების მაღალეფექტურობის თვალსაჩინოდ წარმოჩენის მიზნით ცხრილი 2-ში არსებული მონაცემების საფუძველზე გრაფიკების სახით (ნახაზი 26, 27, 28, 29) წარმოდგენილია ახალი ტექნოლოგიების არსებულთან შედარებითი ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი [57].



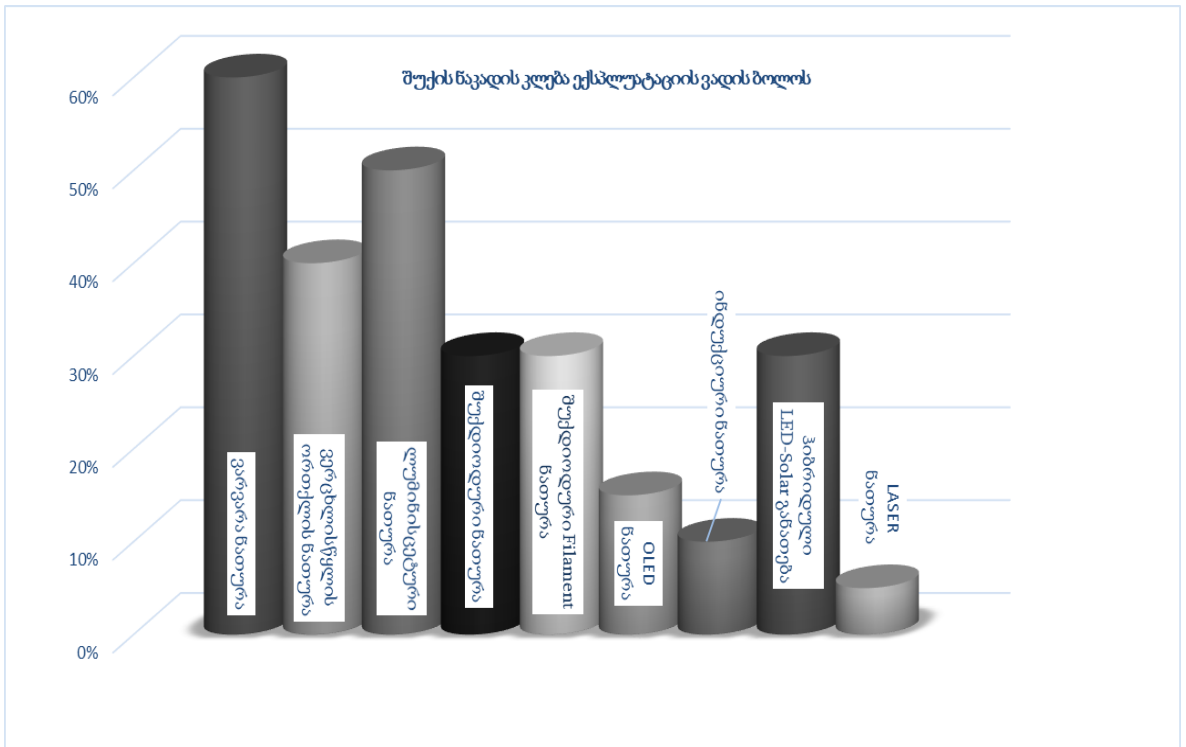
ნახაზი 26. განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები მარგი ქმედების კოეფიციენტის მიხედვით.



ნახაზი 27. განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები ლუმენ/ვატის მიხედვით.



ნახაზი 28. განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები მუშაობის რესურსის მიხედვით.



ნახაზი 29. განათების სისტემების ეფექტიანობის შეფასებითი მაჩვენებლები ექსპლუატაციის ვადის ბოლოს შუქის ნაკადის კლების მიხედვით



ცხრილი 2-ში და ნახაზი 26,27,28,29 ასახული მაჩვენებლებიდან ჩანს, რომ ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა მნიშვნელოვნად მაღალია ამჟამად ექსპლუატაციაში მყოფი ძირითადი ხელოვნური განათების სისტემებთან შედარებით.

## **2.5. ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოვი სისტემების დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში**

მსოფლიოში აპრობირებული ხელოვნური განათების განათების თანამედროვე სისტემების [4,23,29,36,37,38,25,29,30,34,57] დადებითი გამოცდილებისა და ქვეყანაში ამ მხრივ შექმნილი მდგომარეობის კომპლექსური მეცნიერული კვლევის შედეგების მიხედვით დასაბუთებულია საქართველოს სახალხო მეურნეობის დარგებში, საყოფაცხოვრებო მომსახურებაში და გარე განათების სისტემაში თანამედროვე ხელოვნური განათების ახალი ტექნოლოგიების საყოველთაო დანერგვის ეფექტიანობა. ცხრილი 3-ში ნაჩვენებია მათი გამოყენების სფეროები და არსებულთან შედარების უპირატესობები.

**ცხრილი 3. საქართველოში განათების თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენების სფეროები და ეფექტიანობის მაჩვენებლები.**

N	გამოყენების სფერო	თანამედროვე ტექნოლოგიური განათების სესტემაში გამოყენებული სანათები (ნათურები)	თანამედროვე ტექნოლოგიური განათების სისტემების უპირატესობა არსებულთან შედარებით
1	რკინიგზა	TRAIN LED 76-228 4000K SWORD.OPL LED 30-60 4000K HAMMER LED 30-60 SPIRIT.OPL LED 600-1500 AREA LED 55-140 AREA SOLAR-WIND LED 35 W 5000K AREA AP LED 110 RIGEL LED 55-140 ARGUS LED 240-960 BRIDGE LED TUNNEL LED 28 Osram Endura (LVD) Philips Master QL (LVD) JET ENDURA (LVD)	მაღალი ენერგოეფექტურობა, 50%-ზე მეტი ელექტროენერგიის ეკონომია და ენერგოსისტემაში პიკის საათებში სიმძლავრის დევიციტის შემცირება;  მუშაობის დიდი რესურსი არსებულ სანათებთან შედარებით 10-15ჯერ მეტი;
2	სამრეწველო სექტორი	LVD 0361-1 LVD 0361-2 LVD 0301 LVD 03-022 LVD-GC04001 HCP 55 Solatube® 160 DS Solatube® 290 DS Solatube® Smart LED Solatube Solamaster® Solatube SkyVault	მიმართული შუქის ნაკადი, სტრობოსკოპური ეფექტის არარსებობა, ფერთა ტემპერატურების ფართო დიაპაზონი, მაღალი შუქგაცემა, ფერთა გადაცემა და კონტრასტულობა ობიექტების განათების მაღალ ხარისხს უზრუნველყოფით;
3	საავტომობილო გზები	ЛВД 0639M ЛВД 06-040 ЛВД LD2102 ИКУ 77-022 ИСУ 24-022 LVD 0612 LVD-ZD04000 Philips RoadFlair/Hoax Philips LumiStreet Philips StreetStar BGS212 - LED EconomyLine Laser Lighting	მექანიკური ზემოქმედებისადმი მდგრადობა (ანტივანდალური დაცვა) და ვიბრომდგრადობა;  მუშა პარამეტრებზე მომენტალური გასვლა და ანთების ციკლების შეუზღუდავი რაოდენობა;
4	გარე განათება	ИКУ 77-022 ИСУ 24-022 LVD 0639 LVD 0612 ЛВД 0639M ЛВД 06-008 LVD-ZD10000 LVD-ZD04000 STREET LED 50, 100, 150W Laser Lighting	მდგრადობა ელექტროქსელეზიისა და დაზიანების მიმართ; დაბალ ძაბვაზე მუშაობის შესაძლებლობა;
5	საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტები	LVD-ZX51000 LVD-ZX20000 LVD-ZX50000 LVD-ZQ1B LVD-ZQ1A Solatube® 160 DS Solatube® 290 DS Solatube® Smart LED Solatube Solamaster® Solatube SkyVault Oled Lighting	მრავალფეროვანი არჩევანი შუქგაცემის ფერთა გამაში;  სტაბილური შრომისუნარიანობა ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში, მდგრადობა უკიდურესი, დაბალი და მაღალი ტემპერატურების მიმართ, მუშაობის ფართო ტემპერატურული დიაპაზონი -50-დან +60 გრადუსამდე;
6	საყოფაცხოვრებო სექტორი	LVD ITL-RT LVD ITL-ST LVD 03-708 LVD 03-714 LVD 0379 LVD 0362 (9,5") LVD 0362 (12") Osram Consumer LED lamps with classic bulbs Osram Consumer LED lamps with filament-style LED technology Osram LED tubes Philips Led Lights Opple Led Lights Oled Lighting	სინათლის გადაცემის მაღალი კოეფიციენტი;  ეკოლოგიური უსაფრთხოება.

ცხრილ 2 და 3-ში მოცემული ანალიზის და ნახაზი 26,27,28,29 მონაცემების საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი რეკომენდაციები:

საქართველოს რკინიგზაში პირველ ეტაპზე მიზანშეწონილია დაინერგოს LED შუქდიოდური ნათურები, შემდგომ ეტაპზე მუშაობის რესურსის და შუქის ნაკადის კლების მიხედვით, შედარებით გაიაფების შემდეგ ყველაზე პერსპექტიულია LVD ინდუქციური განათების სისტემების დანერგვა.

სამრეწველო სექტორში პირველ ეტაპზე რეკომენდირებულია ინდუქციური განათების სისტემის დანერგვა მეორე ეტაპზე მაღალი ენერგოეფექტურობის გათვალისწინებით უნდა დაინერგოს LED-Solar ხელოვნური განათების სისტემები.

საავტომობილო გზებზე არსებული განათების სისტემები პირველ ეტაპზე უნდა ჩანაცვლდეს თანამედროვე LED სისტემებით, მეორე ეტაპზე რეკომენდირებულია ინდუქციური სისტემების დანერგვა და მესამე ეტაპზე მიმართული შუქის ნაკადის, სტრობოსკოპური ეფექტის არარსებობის, ფერთა ტემპერატურების ფართო დიაპაზონის, მაღალი შუქგაცემის, ფერთა გადაცემის და კონტრასტულობის გათვალისწინებით, შედარებით გაიაფების შემდეგ ოპტიმალური ვარიანტი იქნება ლაზერული განათების სისტემებით ჩანაცვლება.

გარე განათებში ასევე როგორც საავტომობილო გზების განათებაში რეკომენდირებულია LVD ინდუქციური და საბოლოოდ ლაზერული განათების სისტემების დანერგვა.

საზოგადოებრივი დანიშნულების ობიექტებში გამომდინარე მათი მუშაობის სპეციფიკიდან რეკომენდირებულია LED, LVD და LED-Solar კომბინირებული განათების სისტემების დანერგვა.

საყოფაცხოვრებო სექტორში პირველ ეტაპზე გამომდინარე ფართის დანიშნულებიდან რეკომენდირებულია კომბინირებული LED/LVD სისტემების დანერგვა, მეორე ეტაპზე მუშა პარამეტრებზე

მომენტალური გასვლის, ჩართვა/გამორთვის ციკლების შეუზღუდავი რაოდენობის, შუქის ნაკადის მაღალი კოეფიციენტის და დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის გათვალისწინებით ოპტიმალური იქნება OLED განათების სისტემების დანერგვა.

**3. ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის შემუშავება და პრაქტიკული რეალიზაცია.**

**3.1 ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის ფორმირება.**

ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის ფორმირებას საფუძვლად დაედო ამ პრობლემის გადაწყვეტის მსოფლიოში აპრობირებული [7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18] და ამ მომენტისათვის ჩატარებული კვლევების მეცნიერული ანალიზის შედეგები. შესაბამისად ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმი ჩამოყალიბდა ქვემოთ მოცემული კრიტერიუმის მიხედვით:

$$\text{წდშ} = \sum_{t=T_{gb}}^{T_{გ}} (D_t - Z_t)\alpha_t - \sum_{t=0}^{T_{გ}} K_t\alpha_t \geq 0 \quad (1)$$

სადაც  $D_t$  - შემოსავალი  $t$  ბიჯზე;

$Z_t$  -  $t$  ბიჯზე განხორციელებული დანახარჯები;

$K_t$  -  $t$  ბიჯზე განხორციელებული ინვესტიციების მოცულობა, ათასი ლარი;

$T_{gb}$  - პროექტის განხორციელების (მშენებლობის) ხანგრძლივობა, წელიწადი;

$\alpha_t$  - დისკონტირების კოეფიციენტი, ანგარიშის  $t$  ბიჯზე;

$T_{გ}$  - საინვესტიციო პროექტის ექსპლუატაციის ვადა, წელიწადი;

იმისათვის, რომ ხელოვნური განათების ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმმა მიიღოს სრულყოფილი სახე რაოდენობრივად უნდა შეფასდეს ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორები და შემუშავებული იქნას მათი განსაზღვრის მკაფიო მეთოდიკა.

არსებობს სხვადასხვა მეთოდები [5] რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იყოს ნებისმიერი ობიექტის ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასებაში. ქვემოთ მოყვანილ მეთოდიკაში განხილული იქნება ხელოვნური განათების არსებულ ობიექტებზე, თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების რაოდენობრივი შეფასების მეთოდიკა. შესაბამისად სანათების (ნათურების) ენერგოდამზოგი განათების წყაროებით ჩანაცვლების შედეგად მიღებული ელექტროენერჯის ეკონომია გამოითვლება:

$$\Delta W_t = \sum_{i=1}^m \frac{n_i (P_{ars} - P_{sb}) \tilde{I}_{\beta b}}{1000} \text{ კვტ. სთ} \quad (2)$$

სადაც  $m$  - ექსპლუატაციაში მყოფი სანათების (ნათურების) ტიპების რაოდენობა;

$n_i$  -  $i$  ტიპის სანათის (ნათურის) რაოდენობა, (ცალი);

$P_{ars}$  -  $i$  ტიპის არსებული სანათის აქტიური სიმძლავრის მოხმარების მოცულობა (ვტ)

$P_{ax}$  -  $i$  ახალი ენერგოდამზოგი სანათის აქტიური სიმძლავრის მოხმარების მოცულობა (ვტ)

$\tilde{I}_{\beta b}$  - სანათის (ნათურის) ჩართვის სანგრძლივობა (სთ), მისი სიდიდე იანგარიშება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\tilde{I}_{\beta b} = K_{\beta b} * 8760 \text{ (სთ)} \quad (3)$$

სადაც  $K_{\text{ხ}}$  - სანათების (ნათურების) ჩართვის ხანგრძლივობის კოეფიციენტი. მისი სიდიდე [7] შეიძლება იყოს  $0.3 \pm 0.5$  ტოლი. იმის გათვალისწინებით, რომ ნებისმიერი ხელოვნური განათების სისტემაში დანერგილი უნდა იყოს მართვის სისტემა  $K$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა აღებულია 0.3-ის ტოლად.

საექსპლუატაციო პერიოდში განსახილველი ტიპის სანათების (ნათურების) აუცილებელი შეცვლის ჯერადობა განისაზღვრება:

$\tilde{n}_1 = T_{\pi 1} / \tilde{n}_{\text{ხ}}$  ჯერ, არსებული სანათების სამსახურის ვადაში (საათი)

$\tilde{n}_2 = T_{\pi 2} / \tilde{n}_{\text{ხ}}$  ჯერ, ენერგოდამზოგი სანათების სამსახურის ვადაში (საათი)

$T_{\pi 1}$  - არის ექსპლუატაციაში მყოფი სანათების (ნათურების) სამსახურის ვადა, (საათი)

$T_{\pi 2}$  - არის ენერგოდამზოგი სანათების (ნათურების) სამსახურის ვადა, (საათი)

ენერგოდამზოგი ხელოვნური განათების საშუალებებით არსებულის ჩანაცვლების შედეგად საექსპლუატაციო ხარჯებში  $t$  ბიჯზე მიღებული ეკონომია განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$E = \sum_{i=1}^m n_i \cdot \tilde{n}_2 \cdot C_{it}^1 \cdot H_t \quad (5)$$

სადაც  $C_{it}^1$  - არის არსებული სანათის და შეცვლის ღირებულების ჯამი, (ლარი);

$H_t$  -  $t$  ბიჯზე ინფლაცია ზრდადი შედეგით;

$\tilde{n}_2$  - არსებული სანათების შეცვლის ჯერადობა ენერგოდამზოგი სანათების სამსახურის ვადაში;

როდესაც ხელოვნური განათების სისტემებში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვაში გამოყენებულია საკუთარი, ნასესხები და აქციონერული კაპიტალი, საკუთარი კაპიტალის ფასი უნდა შაფასდეს ინფლაციის სიდიდით, ნასესხების პრცენტით კრედიტზე, აქციონერული დივიდენდების სიდიდით [7,8,18] და

ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშებში გამყენებული უნდა იყოს დისკონტის საშუალო შეწონილი მნიშვნელობა, რომელიც გამოისახება ფორმულით:

$$R_{i_{საშ}} = \sum_{i=1}^n K_i \alpha_i \quad (6)$$

სადაც  $K_i$  - არის  $i$  კაპიტალის ფასი;

$\alpha_i$  -  $i$  კაპიტალის წილი ინვესტირების საერთო მოცულობაში.

აღნიშნულის გათვალისწინებით ინვესტიციების რეალური ღირებულება გამოითვლება:

$$\sum_{t=0}^{T_{შ}} K_i = \sum_{t=0}^{T_{შ}} (K_{საკ,t} + K_{ნას,t} + K_{აქ,t})(1 + R_{საშ})^t \quad (7)$$

სადაც:

$K_{საკ,t}$  - საკუთარი კაპიტალის მოცულობა  $t$  ბიჯზე, (ათასი ლარი);

$K_{ნას,t}$  - ნასესხები კაპიტალის მოცულობა  $t$  ბიჯზე, (ათასი ლარი);

$K_{აქ,t}$  - აქციონერული კაპიტალის მოცულობა  $t$  ბიჯზე, (ათასი ლარი);

არსებული სანათების ენერგოდამზოგით შეცვლის ხარჯები

გამოითვლება:

$$Z_i = \sum_{i=1}^m n_i (C_{ახ2i} + K_{აქi}) \quad (8)$$

სადაც  $K_{აქi}$  -  $i$  არსებული სანათის უტილიზაციის ღირებულება, (ლარი);

$C_{ახ2i}$  -  $i$  ახალი სანათის ღირებულება, (ლარი);

ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი

საშუალებების ეფექტიანობაზე მოქმედი სხვა ფაქტორების სიდიდეები

დგინდება სტატისტიკური და ტექნიკური მონაცემების საფუძველზე.

$T_i - t$  წელიწადის ელექტროენერგიის ტარიფი, თეთრი/კვტ.სთ;



$Z_t$  –  $t$  წლისათვის ტარიფის ზრდის ტემპი ზრდადი შედეგით, განისაზღვრება არსებული სტატისტიკის მიხედვით;  
 $H$  – ინფლაციის ინდექსი ზრდადი შედეგით ტ წლებისათვის, განისაზღვრება არსებული სტატისტიკის მიხედვით;  
 $C_{1t}$  და  $C_{2t}$  – არსებული და ენერგოდამზოგი სანათების ღირებულება, (ლარი), დგინდება საბაზრო ფასებით;  
 $m$  – სანათების ტიპების რაოდენობა განისაზღვრება შესაფასებელი პროექტის შესაბამისად;  
 $i$  – დისკონტის ნორმა;

ფორმულა (1)-ში (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) გამოსახულებების და სხვა ფაქტორების მაჩვენებლების ჩასმით ხელოვნური განთების სისტემებში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned}
 \text{წდშ} &= \sum_{t=T_{\text{ბ3}}}^{T_{\text{გ3}}} \frac{[\sum_{i=1}^m n_{it} (P_{i1t} - P_{i2t}) \tilde{r}_{\text{ბt}} T_t + \sum_{i=1}^m n_{it} \tilde{r}_{i2} C_{it}^1 Ht]}{(1 + E_t)^t} - \\
 &- \sum_{t=0}^{T_{\text{ბ3}}} [\Delta K_t + \sum_{i=1}^m n_{it} \tilde{r}_{i1} (C_{i2} + K_y)] \frac{(1 + R_{\text{ისაშ}})^t}{(1 + E_t)^t} \geq 0 \quad (9)
 \end{aligned}$$

სადაც:

$n_{it}$  –  $t$  ბიჯზე  $i$  ტიპის სანათის (ნათურის) რაოდენობა, (ცალი);

$P_{i1t}/P_{\text{არს}}$  –  $i$  ტიპის არსებული სანათის აქტიური სიმძლავრის მოხმარების მოცულობა (ვტ);

$P_{i2t}/P_{\text{ახ}}$  –  $i$  ახალი ენერგოდამზოგი სანათის აქტიური სიმძლავრის მოხმარების მოცულობა (ვტ);

$T_{\text{ბ3}}$  – საინვესტიციო პროექტის ექსპლუატაციის ვადა, წელიწადი;

$m$  – ექსპლუატაციაში მყოფი სანათების (ნათურების) ტიპების რაოდენობა;

$\tilde{r}_{\text{ბt}}$  – სანათის (ნათურის) ჩართვის სანგრძლივობა (სთ);

$T_t$  –  $t$  წელიწადის ელექტროენერჯის ტარიფი, თეთრი/კვტ.სთ;

$n_{it}$  –  $t$  ბიჯზე  $i$  ტიპის სანათის (ნათურის) რაოდენობა, (ცალი);

$T_{\pi 1}$  – ექსპლუატაციაში მყოფი სანათების (ნათურების) სამსახურის ვადა, (საათი);

$T_{\pi 2}$  – ენერგოდამზოგი სანათების (ნათურების) სამსახურის ვადა, (საათი);

$C_{it}^I$  – არსებული სანათის და შეცვლის ღირებულების ჯამი, (ლარი);

$\Pi$  – ინფლაციის ინდექსი ზრდადი შედეგით  $t$  წლებისათვის, განისაზღვრება არსებული სტატისტიკის მიხედვით;

$\Delta K_t$  – ენერგოდამზოგი სისტემების რეკონსტრუქცია-მოდერნიზაციაზე და მართვის ავტომატური სისტემების დანერგვისთვის საჭირო ინვესტიციის მოცულობა (ათასი ლარი)  $t$  ბიჯზე;

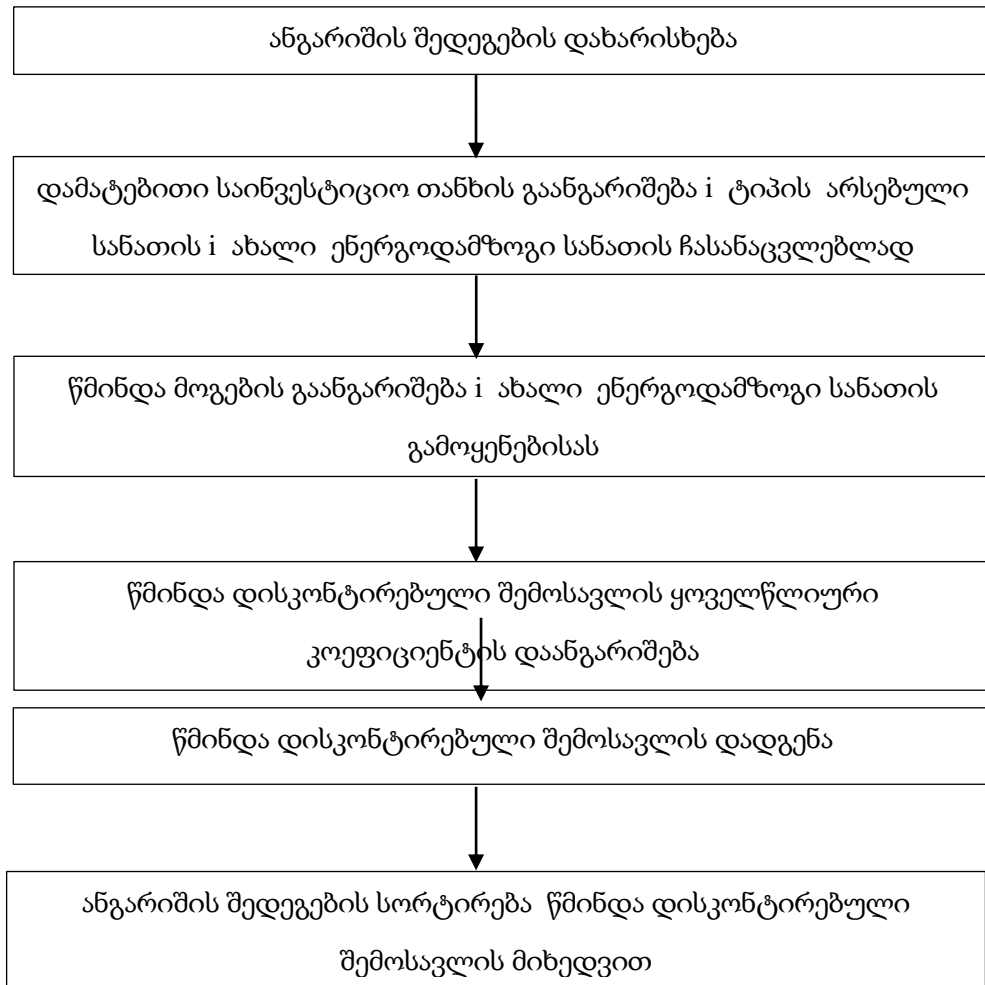
$\tilde{n}_1 = T_{\pi 1} / \tilde{N}_b$  არსებული სანათების შეცვლის ჯერადობა სამსახურის ვადაში (საათი);

$\tilde{n}_2 = T_{\pi 2} / \tilde{N}_b$  ენერგოდამზოგი სანათების შეცვლის ჯერადობა სამსახურის ვადაში (საათი);

$K_{yi}$  –  $i$  არსებული სანათის უტილიზაციის ღირებულება;

$i$  – დისკონტის ნორმა;

ზემოთ მოყვანილი მათემატიკული მოდელის მიხედვით ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის მარავალფაქტორიანი ალგორითმი მიიღებს სახეს[40]:



### 3.2. ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოვი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის აპრობაცია საქართველოს რკინიგზის გარე განათების ქსელში.

ხელოვნური განათების სისტემებში თანამედროვე ენერგოდამზოვი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის რეალიზაციის მიზნით მოძიებული იქნა ამჟამად საქართველოს რკინიგზის გარე განათებაში არსებული ხელოვნური განათების სისტემებში გამოყენებული სანათების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შესახებ საწყისი ინფორმაცია [36,39], რომელიც მოცემულია ცხრილ 4-ში.

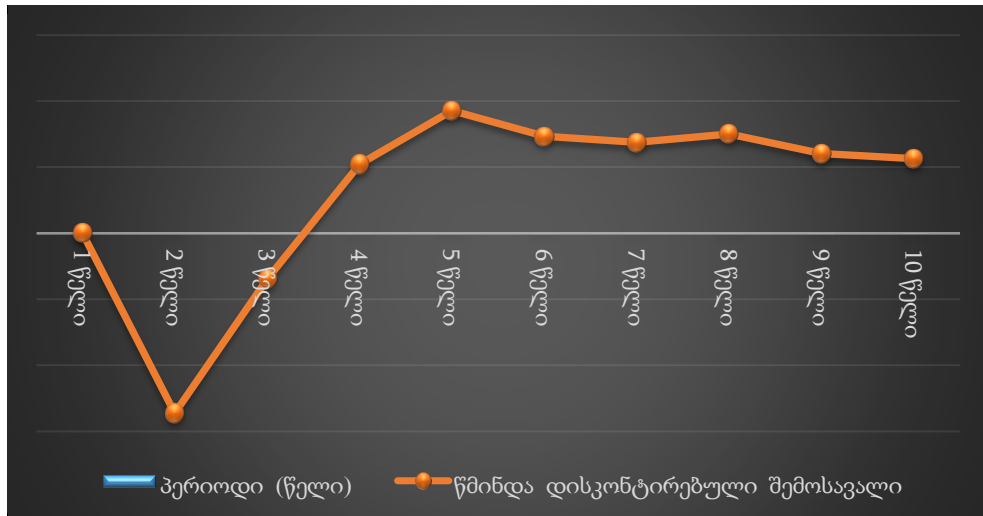
ცხრილი 4. სს "საქართველოს რკინიგზის" ტერიტორიაზე გარე განათების ქსელში არსებული სანათების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შესახებ საწყისი ინფორმაცია

	არსებული სანათები	შუქდიოდური ანალოგი
<b>სანათის ტიპი:</b>	ეკონომ ნათურა 220 ვოლტი 105 ვატი ე-40-ნომინალური ძაბვა 220-240 ვ. ვაზნის ტიპი ე-40	ლედ პროექტორი სიმძლავრე: 50 ვატი; ძაბვა: 220-230 ვოლტი; განათების სიმძლავრე: არანაკლებ 500 ლუმენი;
<b>რაოდენობა</b>	142 სანათი	142 სანათი
<b>ერთეულის ღირებულება (ლარი)</b>	17.9 ლარი	62.0 ლარი
<b>საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>2,535 ლარი</b>	<b>8,804 ლარი</b>
<b>სიმძლავრე (ვტ.)</b>	105 ვტ.	50 ვტ.
<b>საერთო სიმძლავრე (ვტ.)</b>	14,910 ვტ.	7,100 ვტ.
<b>სანათის ტიპი:</b>	ნათურა ლუმინისცენტრი YZ18RR26 (ან ანალოგი) 18 ვტ.	შუქდიოდური განათების ნათურა (LED) T8 სიგრძე: 600მმ დიამეტრი: R26; AC65-263 ვოლტი, სიმძლავრე: 9ვტ;
<b>რაოდენობა</b>	188 სანათი	188 სანათი
<b>ერთეულის ღირებულება (ლარი)</b>	2.2 ლარი	14.5 ლარი
<b>საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>415 ლარი</b>	<b>2,726 ლარი</b>
<b>სიმძლავრე (ვტ.)</b>	18 ვტ.	9 ვტ.
<b>საერთო სიმძლავრე (ვტ.)</b>	3,384 ვტ.	1,692 ვტ.
<b>სანათის ტიპი:</b>	ნათურა ლუმინისცენტრი YZ36RR26 (ან ანალოგი) 36 ვტ.	შუქდიოდური განათების ნათურა LED T8 სიგრძე: 1200მმ; დიამეტრი: R26; AC 85-265 ვოლტი; 18 ვატი;
<b>რაოდენობა</b>	564 სანათი	564 სანათი
<b>ერთეულის ღირებულება (ლარი)</b>	2.5 ლარი	16.9 ლარი
<b>საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>1,427 ლარი</b>	<b>9,532 ლარი</b>
<b>სიმძლავრე (ვტ.)</b>	36 ვტ.	18 ვტ.
<b>საერთო სიმძლავრე (ვტ.)</b>	20,304 ვტ.	10,152 ვტ.
<b>სანათის ტიპი:</b>	ნათურა პროექტორის 500ვტ, ნომინალური ძაბვა 220ვ. ვაზნის ტიპი ე-40/45	ლედ პროექტორი სიმძლავრე: 250 ვატი; ძაბვა: 220-230 ვოლტი; განათების სიმძლავრე: არანაკლებ 8500 ლუმენი; ზომები: 316x230x380მ
<b>რაოდენობა</b>	2690 სანათი	2690 სანათი
<b>ერთეულის ღირებულება (ლარი)</b>	20 ლარი	157 ლარი
<b>საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>53,800 ლარი</b>	<b>422,330 ლარი</b>
<b>სიმძლავრე (ვტ.)</b>	500 ვტ.	250 ვტ.
<b>საერთო სიმძლავრე (ვტ.)</b>	1,345,000 ვტ.	672,500 ვტ.
<b>სანათის ტიპი:</b>	ნათურა სინდიციანი დრლ-250მ (ან ანალოგი) - სიმძლავრე 250ვტ, ნომინალური ძაბვა 220ვ.	ლედ პროექტორი: სიმძლავრე: 100ვატი; ძაბვა: 220-230 ვოლტი; განათების სიმძლავრე: არანაკლებ 4250 ლუმენი; ზომები: 250x205x400მ
<b>რაოდენობა</b>	114 სანათი	114 სანათი
<b>ერთეულის ღირებულება (ლარი)</b>	22.3 ლარი	96.6 ლარი
<b>საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>2,542 ლარი</b>	<b>11,012 ლარი</b>
<b>სიმძლავრე (ვტ.)</b>	250 ვტ.	100 ვტ.
<b>საერთო სიმძლავრე (ვტ.)</b>	28,500 ვტ.	11,400 ვტ.
<b>ჯამი</b>		
<b>რაოდენობა</b>	<b>3698 სანათი</b>	<b>3698 სანათი</b>
<b>სანათების საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>60,719 ლარი</b>	<b>454,404 ლარი</b>
<b>საერთო სიმძლავრე (ვტ.)</b>	<b>1,412 კვტ.</b>	<b>703 კვტ.</b>
<b>ΔK-რეკონსტრუქცია-მოდერნიზაციის ღირებულება (ლარი)</b>	<b>12,144 ლარი</b>	<b>90,881 ლარი</b>
<b>საერთო ღირებულება (ლარი)</b>	<b>72,863 ლარი</b>	<b>545,285 ლარი</b>

ფორმულა (9) მიხედვით კომპიუტერული პროგრამა Excel-ის მეშვეობით განისაზღვრა სს საქართველოს რკინიგზის გარე განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოვი ტექნოლოგიების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის შეფასებისათვის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი მთელი სასიცოცხლო ციკლისათვის. ანგარიშის შედეგები შეტანილია ცხრილი 5-ში და ასახულია გრაფიკის სახით ნახაზ 30-ზე.

**ცხრილი 5. სს საქართველოს რკინიგზაში გამოყენებული არსებული და ახალი ხელოვნური გარე განათების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი**

სანათის ტიპი:	არსებული სანათები	შუქდიოდური ანალოგი		
სანათების რაოდენობა (ცალი):	3698 სანათი	3698 სანათი		
სანათების ჯამური სიმძლავრე (კვტ):	1412 კვტ.	703 კვტ.		
ნათურების მუშაობის დრო დღიურად - საათი დღეში:	8 საათი	8 საათი		
სანათების ექსპლუატაციის რესურსი, საათი:	5,000 საათი	40,000 საათი		
მზ - სანათის (ნათურის) წელიწადში საშუალო ნართვის სანერგდობა (სი) (მზ= ჩს*8760) (ჩს =0.3±0.5)	2,628 საათი	2,628 საათი		
საექსპლუატაციო პერიოდში სანათების აუცილებელი შეცვლის ჯერადობა :	1.9 (წელითვე)	15.2 (წელითვე)		
შუქის ნაკადის გამოყენების მ.კ.კ. გარე განათებაში	65%	96%		
სანათების შექმნის ჯამური ღირებულება (ათასი ლარი):	72,863 ლარი	545,285 ლარი		
1 კვტ/სი ელექტროენერგიის ღირებულება (თეთრი/კვტ/სი):	0.2108306 თეთრი/კვტ/სი.	0.2108306 თეთრი/კვტ/სი.		
1 კვტ/სი ელექტროენერგიის ღირებულების საპროგნოზო გაზრდა (%):		3%		
1 წლის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერგიის რაოდენობა (კვტ/სი):	<b>3,710,994 კვტ.სთ</b>	<b>1,847,074 კვტ.სთ</b>		
ექსპლუატაციის, რემონტის, შეცვლის და უტილიზაციის დანახარჯები წელიწადში:	76,561 ლარი	0		
1 წლის განმავლობაში დანახარჯები ელექტროენერგიაზე, (ათასი ლარი):	<b>782,391 ლარი</b>	<b>389,420 ლარი</b>		
ელექტროენერგიის მოხმარების შემცირება, %:		<b>50.2%</b>		
წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი Net Present Value (Interest 10 %)				
	<b>წელი</b>	<b>ბარათი</b>	<b>ზოგება</b>	<b>10.0% წდშ</b>
	0 წელიწადი		-545,285 ლარი	-545,285 ლარი
	1 წელიწადი	0.210831	-152,314 ლარი	-138,467 ლარი
	2 წელიწადი	0.217156	252,447 ლარი	208,634 ლარი
	3 წელიწადი	0.223670	493,464 ლარი	370,747 ლარი
	4 წელიწადი	0.230380	429,410 ლარი	293,293 ლარი
	5 წელიწადი	0.237292	442,293 ლარი	274,629 ლარი
	6 წელიწადი	0.244410	532,123 ლარი	300,369 ლარი
	7 წელიწადი	0.251743	469,228 ლარი	240,788 ლარი
	8 წელიწადი	0.259295	483,305 ლარი	225,465 ლარი
	9 წელიწადი	0.267074	574,365 ლარი	243,587 ლარი
	10 წელიწადი	0.275086	512,738 ლარი	197,683 ლარი
	Net present value <b>წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი</b>			<b>1,671,444 ლარი</b>



**ნახაზი 30. წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის ცვალებადობის დინამიკა.**

ცხრილ 5-ში და ნახაზ 30-ზე მოცემული მაჩვენებლები აშკარად მიუთითებენ ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოვი სისტემების დანერგვის მაღალ ტექნიკურ-ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე.

#### 4. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის დაგეგმვის ოპტიმალური ეკონომეტრიკული მოდელირება.

##### 4.1. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის დაგეგმვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმის შერჩევა.

თანამედროვე მსოფლიოში ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიანებისმიერი ქვეყნისათვის აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. იმის გათვალისწინებით, რომ ელექტროენერჯის მოხმარების 20% ზე მეტი მოდის ხელოვნურ განათებაზე, ამ სფეროში სინათლის წყაროდ ენერგოეფექტური სისტემების გამოყენება უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. დასმული პრობლემის თანამედროვე მოთხოვნების დონეზე გადაწყვეტა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საქართველოსთვის, რომელიც არის ელექტროენერჯის იმპორტიორი ქვეყანა, სადაც ენერგოეფექტურობის ღონისძიებების დანერგვა ეპიზოდურ ხასიათს ატარებს. ეს საკითხი არ არის დარეგულირებული საკანონმდებლო დონეზე და ამ მიმართულებით მუშაობას არ აქვს მიცემული გეგმაზომიერი ხასიათი. ეს მაშინ როდესაც მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანაში ენერგოეფექტურობის ამაღლება პირველი რიგის ამოცანად არის მიჩნეული.

სწორედ ამიტომ ენერგორესურსების გამოყენების ეფექტიანობის ამაღლების საკითხები მრავალი ცნობილი მეცნიერის ყურადღების ცენტრშია მოქცეული [7,8,9,10,11,12,16]. ამასთან ერთად ენერგოეფექტურობის მკვლევართა დიდი ნაწილი მრავალმხრივ მუშაობას ეწევა ხელოვნურ განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების სრულყოფილი მეთოდის შესამუშავებლად. ამ მიმართულებით შესწავლილია ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტურობის შეფასების სხვადასხვა მეთოდები. [7,8,10,16] ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ამ მეთოდების გამოყენება არ იძლევა საშუალებას კომპლექსურად შევაფასოთ ხელოვნურ განათებაში

ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობა და გადაწყვეტით ოპტიმალურად დაგეგმვის პრობლემა. საქმე იმაშია, რომ მკვლევარების მიერ არ არის გათვალისწინებული ეფექტიანობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორი, ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის საკითხები მეცნიერულად არ არის შესწავლილი და არ არის ჩამოყალიბებული შესაბამისი მეთოდოლოგია.

ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის პრობლემის შესწავლისადმი მიძღვნილ მეცნიერულ შრომებს შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს [40] შრომის ავტორის მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები. აღნიშნულ კვლევაში შემოთავაზებულია თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მრავალფაქტორიანი მეთოდი. ამ მიმართულებით გამოქვეყნებული სამეცნიერო შრომების [7,11,40] ანალიზის და არსებული პრაქტიკის შესწავლის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს ცალსახა დასკვნა იმის შესახებ, რომ [7,11,40] შრომის ავტორის მიერ შემოთავაზებული მეთოდოლოგიით პრაქტიკულად შეუძლებელია ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვა. აღნიშნულ ნაშრომში წმინდა დისკონტრირებული შემოსავლის ანგარიში შემოთავაზებულია გამარტივებული მეთოდით, მასში არ არის გათვალისწინებული ეფექტურობაზე მოქმედი ფაქტორები, სანათების რაოდენობის ანგარიში განხორციელებულია მარტივი მეთოდით, მათი რაოდენობის და განლაგების ოპტიმიზაციის გარეშე, ანგარიშში არ არის ასახული ბუნებრივი განათების ფაქტორი. ანალოგიური პრობლემით ხასიათდება სინათლის ნაკადის მოთხოვნიდან გადახრის ანგარიშის მეთოდოლოგია, კრიტერიალურ მოთხოვნაში იგნორირებულია განათების ხარისხის შეფასების ისეთი მნიშვნელოვანი ფაქტორი, როგორცაა ევროსტანდარტის [41] შესაბამისი დისკომფორტის განზოგადებული

მაჩვენებელი. ანგარიშებში არ არის გამოყენებული სპეციალიზირებული პროგრამული პროდუქტები.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე აუცილებელია ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის უზრუნველსაყოფად უნდა გადაწყდეს შემდეგი ამოცანები:

უნდა შემუშავდეს ხელოვნური განათების სისტემაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობს შეფასების ისეთი კრიტერიუმი, რომელშიც გათვალისწინებული იქნება ეფექტურობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორი და ჩამოყალიბდეს ეფექტურობის ანგარიშის შესაბამისი მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი;

არსებული სტანდარტების მიხედვით შეირჩეს განათებულობის ნორმატივი და მისი სიდიდით შეზღუდვის პირობებში [42] ხელოვნური განათების სისტემაში დასანერგი სანათების ოპტიმალური რაოდენობა და გადაიჭრას მათი განლაგების ოპტიმიზაციის ამოცანა;

დადგინდეს სინათლის ნაკადის საანგარიშო სიდიდის გადახრის და დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებელის შესაბამისობა ევროსტანდარტის EN 12464-1 [41] მოთხოვნასთან.

ჩამოთვლილი ამოცანების მიხედვით, ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური გეგმის ფორმირებისათვის, ამ სტატიის ავორების მიერ [43] სხვადასხვა ტიპის ენერგოდამზოგი სისტემების საუკეთესო ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მქონე ვარიანტის შესარჩევად გამოყენებულია ყველაზე უნივერსალური და ყველაზე მეტად გავრცელებული, წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის მაქსიმუმის კრიტერიუმი. იგი ითვალისწინებს არა მხოლოდ ხარჯებს მთელი სასიცოცხლო ციკლისათვის, არამედ ეფექტს მიღებულს ენერგოდამზოგი სისტემის დანერგვის შედეგად. შესაბამისად ზემოთ ჩამოყალიბებული კრიტერიუმის მიხედვით ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემის



დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის მრავალფაქტორიანი ეკონომეტრიკული მოდელი, ეკონომიკურ ეფექტურობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} \text{წდმ} = & \sum_{t=T_{03}}^{T_{33}} \frac{[\sum_{i=1}^m n_{it} (P_{i1t} - P_{i2t}) \tilde{\tau}_{ibt} T_t + \sum_{i=1}^m n_{it} \tilde{\tau}_{i2} C_{it}^1 I_t]}{(1 + E_t)^t} - \\ & - \sum_{t=0}^{T_{33}} [\Delta K_t + \sum_{i=1}^m n_{it} \tilde{\tau}_{i1} (C_{i2} + K_y)] \frac{(1 + R_{ibsm})^t}{(1 + E_t)^t} \rightarrow \max \quad (10) \end{aligned}$$

მითითებული მოდელით ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემის დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვისათვის, გარდა (1) კრიტერიალური მოთხოვნისა დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობები:

1. ევროპული სტანდარტით [41] შერჩეული განათებულობის ნორმატივით და მისი შეზღუდვის პირობებში უნდა განისაზღვროს ხელოვნურ განათების სისტემაში დასანერგი სანათების ოპტიმალური რაოდენობა და გადაწყდეს მათი ოპტიმალური განლაგების ამოცანა.

2. უნდა განისაზღვროს საანგარიშო ნაკადის გადახრა ევროსტანდარტის [41] მოთხოვნასთან მიმართებაში და დადგინდეს მისი სტანდარტთან შესაბამისობა.

3. უნდა ჩატარდეს დისკომფორტის კოეფიციენტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიში და დადგინდეს მისი ევროსტანდარტთან შესაბამისობა.

#### 4.2. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმის ფორმირება.

მოყვანილი კრიტერიუმის შესაბამისად პირველი რიგის ამოცანად მიჩნეულია ხელოვნური განათების სისტემაში დასანერგი სანათების ოპტიმალური რაოდენობის და განლაგების დადგენა.

მოხმარებული ელექტროენერჯის დაზოგვას და ხელოვნურ განათებაზე ხარჯების შემცირებას ასევე ვღებულობთ მოთხოვნილი განათების დონის გაანგარიშებით, ამისათვის საჭიროა:

- სანათების სწორი არჩევანი და რაციონალური განთავსება;
- ახალი, თანამედროვე განათების მოწყობილობების გამოყენება;
- ხელოვნური განათების სისტემის კონტროლი და ავტომატიზაციის ორგანიზაცია;
- განათების ქსელების რაციონალური მშენებლობა;
- ხელოვნური განათების გეგმიური ექსპლუატაციის დანერგვა.

შესაბამისად, მაგალითად საოფისე სივრცის შექმნისას, ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ასპექტია განათების დონის გაანგარიშება. ეს გაანგარიშება ხელს უწყობს პასუხის გაცემას შემდეგ კითხვებზე:

- რამდენი სანათია საჭირო განათების ოპტიმალური დონის შესაქმნელად.
- ამისათვის სანათებს რომელი მოდელებია უკეთესი გამოსაყენებლად.
- საოფისე ფართის ჭერზე ან კედლებზე რომელი ადგილები იქნება ოპტიმალური სანათებს განთავსებისათვის.

განგარიშებისათვის აუცილებელია ძირითადი საწყისი პარამეტრებია:

- საოფისე ფართის ზომა.
- დაგეგმილი ან არსებული კედლის, იატაკის და ჭერის ფერი. ეს აუცილებელია ანარეკლის კოეფიციენტის დასადგენად.
- განათების დონე სტანდარტების მიხედვით, საოფისე ფართის კონკრეტული ნაწილის გამოყენების მიზნით.
- მანძილი სინათლის საზომი პუნქტებს შორის (მაგალითად, მაგიდები) და ხელოვნური განათების წყაროები.
- ხელოვნურ განათების სისტემებში გამოყენებული სანათების მოდელები და მათი ტექნიკური მახასიათებლები.
- განათების დონის მარაგის კოეფიციენტი.

- ფერთის ინდექსი.
- სანათის შუქის ნაკადი.
- ანარეკლის კოეფიციენტი.
- შუქის შთანთქმის კოეფიციენტი.
- შუქის ნაკადიგ გამტარობის კოეფიციენტი.
- შუქის გამოყენების თანაფარდობის კოეფიციენტი.

ასევე, განათების დონის გაანგარიშებისას დაგვიჭირდება მეტი კრიტერიუმების და კოეფიციენტების მაჩვენებლები, რომლებიც მოცემულია საერთაშორისო სამშენებლო ინსტრუქციებსა და ცხრილებში, ან გამოითვლება შუქტექნიკური წესებითა და ფორმულებით.

არსებობს განათების დონის გაანგარიშების სხვადასხვა მეთოდები, მათ შორის საყურადღებოა ორი ძირითადი მეთოდი: **წერტილოვანი და შუქის ნაკადის მეთოდი** (რომელიც ამავე დროს დაყოფილია **გამოყენების კოეფიციენტის და კუთრი სიმძლავრის** მეთოდად)

ორივე მეთოდი თითქმის თანაბარია, მათი გამოყენების არეალი დიდწილად იკვეთება, მაგრამ მათ შორის არის მნიშვნელოვანი განსხვავებებიც.

**წერტილოვანი მეთოდი** ძირითადად განკუთვნილია განათების გამოსათვლელად გარკვეულ წერტილებში და შესაბამისად ის შესაფერისია მინიმალური განათების დონის გაანგარიშებისათვის, რომელიც რეგულირდება რეგლამენტირებული ნორმებით.

**შუქის ნაკადის მეთოდი** მიზნად ისახავს საშუალო განათების დადგენას და ამ მეთოდით გამოთვლისას მინიმალური განათება შეფასებულია მხოლოდ ზედაპირულად, განათების წერტილების იდენტიფიცირების გარეშე. საშუალო განათების დონე შეიძლება დათვლილი იყოს ნებისმიერად მიმართულ ზედაპირზე, მაგრამ ამ მეთოდის ყველაზე გავრცელებული ფორმები გათვლილია მხოლოდ ჰორიზონტალური განათების გამოსათვლელად.

ზოგადად განათების სისტემის სინათლის ნაკადის გამოყენების კოეფიციენტის მეთოდის გამოყენებით ერთი სანათის შუქის ნაკადი გამოითვლება ფორმულით [44,45] :

$$\Phi_L = \frac{E_h SKz}{N\eta n}$$

შესაბამისად სანათების რაოდენობის ანგარიშისათვის გამოიყენება შემდეგი ფორმულა:

სანათების რაოდენობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N = \frac{E_h SKz}{\Phi_L \eta n} \quad (2)$$

სადაც:

N - სანათების რაოდენობა;

$E_h$  – მინიმალური ნორმირებული სინათლის დონე;

S – არის ოთახის ფართობი;

K – რეზერვის კოეფიციენტი, რომელიც შეირჩევა არსებული სტანდარტების მიხედვით;

z - მინიმალური განათების დონის მაჩვენებელი;

$\Phi_L$  - განათების სისტემაში გამოყენებული ერთი ნათურის შუქის ნაკადი (ლუმენებში);

$\eta$  – განათების სისტემაში სინათლის გამოყენების კოეფიციენტი, განისაზღვრება [44,45] ავტორის მიერ დამუშავებული მეთოდით;

n – განათების სისტემაში ნათურების რიცხვი;

ოთახის ფართობს ვითვლით მარტივი ფორმულით:

$$S = a * b$$

სადაც: a - ოთახის სიგანე, m;

b - ოთახის სიგრძე, m;

$K_3$  - რეზერვის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ოთახში დამონტაჟებული ხელოვნური განათების სისტემის დაბინძურების შედეგად შუქის ნაკადის კლების დონეზე, სანათის ტექნიკური მომსახურების

სიხშირეზე, სანათის ექსპლუატაციის ინტენსივობაზე და ლეზულობს მნიშვნელს 1.25-დან 2მდე.

**ცხრილი 6. რეზერვის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ოთახის ტიპზე**

ოთახის ტიპი	რეზერვის კოეფიციენტი
ძალიან სუფთა ოთახები და ასევე მცირე დროის განმავლობაში გამოყენებული განათების სისტემები	1.25
სუფთა ოთახები მომსახურების 3 წლიანი ციკლით	1.5
გარე განათება მომსახურების 3 წლიანი ციკლით	1.75
გარე და შიდა განათება ძლიერი დაბინძურების დონე	2.0

U - გამოყენების კოეფიციენტის დადგენისათვის პირველ რიგში უნდა ვიანგარიშოთ ოთახის ინდექსი *i* ფორმულით:

$$i = \frac{S}{(h_1 - h_2) * (a + b)}$$

სადაც:  $h_1$  - ოთახის სიმაღლე, m;

$h_2$  - საანგარიშო ზედაპირის სიმაღლე, m;

ოთახის ინდექსის ანგარიშით, ჭერის, კედლების და იატაკის ანარეკლის კოეფიციენტის გათვალისწინებით (ცხრილი 7) ვღებულობთ U - გამოყენების კოეფიციენტს.

**ცხრილი 7. ჭერის, კედლების და იატაკის ანარეკლის კოეფიციენტი**

ზედაპირის მასალა	ანარეკლის კოეფიციენტი %
თეთრი ფერის ზედაპირი	70-80
ღია ფერის ზედაპირი	50
რუხი ფერის ზედაპირი	30
მუქი რუხი ფერის ზედაპირი	20
მუქი ზედაპირი	10
შავი ზედაპირი	5

ანგარიშის მაგალითი:

მოცემული გვაქვს საოფისე ფართი რომლის სიგანე არის - 9 მეტრი, სიგრძე - 6 მეტრი, სიმაღლე - 3.2 მეტრი. რეზერვის კოეფიციენტი არჩეულია 1.25, ანარეკლის კოეფიციენტი ჭერი - 50%, კედლები-30%, იატაკი - 10%.

ოთახის დართი გამომანგარიშებულია ფორმულით  $S=a*b=9*6=54m^2$

ვანგარიშობთ ოთახის ინდექსს ფორმულით:

$$i = \frac{S}{(h_1 - h_2) * (a + b)} = \frac{54}{(3.2 - 0.8) * (9 + 6)} = 1.5$$

ოთახის ინდექსის მეშვეობით და ჭერის, კედლების და იატაკის ანარეკლის კოეფიციენტების გათვალისწინებით ტაბულაში ვპოულობთ გამოყენების კოეფიციენტს:

ჭერი	80	80	80	70	50	50	30	0
კედლები	80	50	30	50	50	30	30	0
იატაკი	30	30	10	20	10	10	10	0
0,6	53	38	32	37	35	31	31	27
0,8	60	45	38	44	41	38	37	34
1	65	51	43	49	46	43	42	38
1,25	70	57	49	54	51	48	47	44
1,5	72	61	52	57	54	51	51	47
2	76	66	56	61	57	55	54	51
2,5	78	70	59	64	60	58	57	54
3	80	73	62	67	62	60	59	57
4	81	76	64	69	63	62	61	58
5	82	78	65	70	65	64	62	60

ნახაზი 31. შუქის ნაკადის გამოყენების კოეფიციენტის ტაბულა

ტაბულის მონაცემებიდან გამომდინარე  $U=0.51$

ყველა ამ მონაცემების გათვალისწინებით და მონაცემების

კომპიუტერულ პროგრამა Excell-ში შეტანოთ ვადგენთ სანათების საჭირო რაოდენობას:

**ცხრილი 8. გამოყენების კოეფიციენტის მეთოდით სანათების რაოდენობის ანგარიშის შედეგები**

სანათის ტიპი	E - მოთხოვნილი ჰორიზონტალური განათების დონე, (ლუქსი)	S - ოთახის ფართობი m2	K <sub>z</sub> - რეზერვის კოეფიციენტი	U - გამოყენების კოეფიციენტი	n - განათების სისტემაში ნათურების რაოდენობა	Φ <sub>n</sub> - ერთი სანათის შუქის ნაკადი, (ლუმენი);	შედეგები N-სანათების რაოდენობა
ლუმინისცენტური	500	54	1.25	0.51	4	1150	14
LED - შუქდიოდური	500	54	1.25	0.51	4	3596	5

შუქის ნაკადის ანგარიშის მეთოდის მიხედვით - ოთახის განათება არის საერთო შუქის ნაკადის თანაფარდობა ოთახის ფართთან გამრავლებული შესწორების კოეფიციენტზე η.

ის გამოითვლება ფორმულით:

$$E_{lux} = \eta * \frac{\Phi_{\pi}}{Sm^2}$$

სადაც:  $E_{lux}$ - შექმნილი განათების დონე (ლუქსი)

$\Phi_{\pi}$  - სანათის შუქის ნაკადი, (ლუმენი);

η - შესწორების კოეფიციენტი

$Sm^2$ - ოთახის ფართი

**ცხრილი 9. სანათების გამოყენების შესწორების კოეფიციენტის ცხრილი**

სანათები	ჭერზე დამონტაჟებული						ჭერიდან დაშვებული							
პკ%	70						70 50 30							
პკ %	50	30	50	30	50	30	10	50	30	50	30	10		
პი %	30	10	30	10	30	10	10	30	10	30	10	10		
გამოყენების კოეფიციენტი %														
0.5	26	25	20	19	17	13	6	19	18	15	14	11	9	4
0.6	30	28	24	23	20	16	8	24	22	18	18	14	11	5
0.7	34	32	28	27	22	19	10	27	26	22	21	16	13	6
0.8	38	36	31	30	24	21	11	31	29	25	25	18	16	7
0.9	40	38	34	33	26	23	12	34	32	28	28	20	18	8
1.0	43	41	37	35	28	25	13	37	35	32	30	22	20	9
1.1	46	43	39	37	30	26	14	40	37	34	33	24	21	11
1.25	48	46	42	40	32	28	15	43	41	38	36	26	24	12
1.5	54	49	47	44	34	31	17	48	44	42	40	29	26	14
1.75	57	52	51	47	36	33	18	52	48	46	43	31	29	15
2.0	60	54	54	50	38	35	19	55	50	50	46	33	31	16
2.25	62	56	57	52	39	37	20	58	52	53	49	35	33	17
2.5	64	58	59	54	40	38	21	60	54	55	51	36	34	18
3.0	68	60	63	57	42	40	22	64	57	59	54	39	36	20
3.5	70	62	66	59	43	41	23	67	60	62	56	40	39	21
4.0	72	64	68	61	45	42	24	69	61	65	58	42	40	22
5.0	75	66	72	64	46	44	25	73	64	69	62	44	42	24

როდესაც ანგარიშში ვიყენებთ შუქის ნაკადის მეთოდს ვღებულობთ განსხვავებულ რეზულტატს:

**ცხრილი 10. შუქის ნაკადის მეთოდით სანათების რაოდენობის ანგარიშის შედეგები**

სანათის ტიპი	$\Phi_{\pi}$ - ერთი სანათის შუქის ნაკადი, (ლუმენი);	S - ოთახის ფართობი m2	η - შესწორების კოეფიციენტი	Elux - ერთი სანათით შექმნილი განათების დონე (ლუქსი)	E - მოთხოვნილი ჰორიზონტალური განათების დონე, (ლუქსი)	შედეგები სანათების რაოდენობა
ლუმინისცენტური	1150	54	0.34	28	500	18
LED - შუქდიოდური	3596	54	0.34	87	500	6

ზემოთ მოყვანილი რეზულტატები არ იძლევა ნორმატივების მიხედვით მოთხოვნილი განათების დონის მისაღებათ სანათების ოპტიმალური ანგარიშის საშუალებას, ამიტომ უმჯობესია ამისათვის გამოვიყენოთ კომპიუტერული პროგრამა DIALux.

სანათების რაოდენობის გამოსათვლელად ფორმულა (2) მისაღება იმ შემთხვევაში თუ შენობაში ფანჯრებიდან არ შემოდის ბუნებრივი განათება. სანათების რაოდენობის სრულყოფილი ანგარიშისთვის აუცილებელია ბუნებრივი განათების გათვალისწინება, ბუნებრივი განათება შენობებში გამოითვლება [46,47,48] ბუნებრივი განათების კოეფიციენტით:

$$e(KEO)=\frac{E_B}{E_H} \quad (3)$$

სადაც:

$E_B$  – არის ბუნებრივი განათება შენობის შიგნით მდებარე რომელიმე

სამუშაო ზედაპირის წერტილზე;

$E_H$  – არის გარე ჰორიზონტალური განათების ერთდროული მნიშვნელობა;

ამ კოეფიციენტის ნორმები მოცემულია [49] ნაშრომში.

მე-3 ფორმულის გათვალისწინებით სანათების რაოდენობის გამოთვლის გამოსახულება (2) - მიიღებს სახეს:

$$N=\frac{SE_{norm}Kz}{U_{nF}} * KEO \quad (4)$$

მოყვანილი მეთოდით სანათების რაოდენობის გამოთვლით მიღებული შედეგები არ იძლევა იმ დასკვნის გაკეთების საშუალებას, რომ სანათების შერჩეული რაოდენობა ოპტიმალურია, დასმული პრობლემის გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა გერმანული კომპანიის Dial GmbH მიერ შემუშავებული კომპიუტერული პროგრამა Dialux [42] ამ პროგრამით შესაძლებელია :

1. სანათების მოცემული რაოდენობის და მათი განლაგების თავისებურებების პირობებში შეასრულოს შენობის შიგა და გარე განათების ანგარიში;
2. შენობის ხელოვნური და ბუნებრივი განათების ანგარიში;



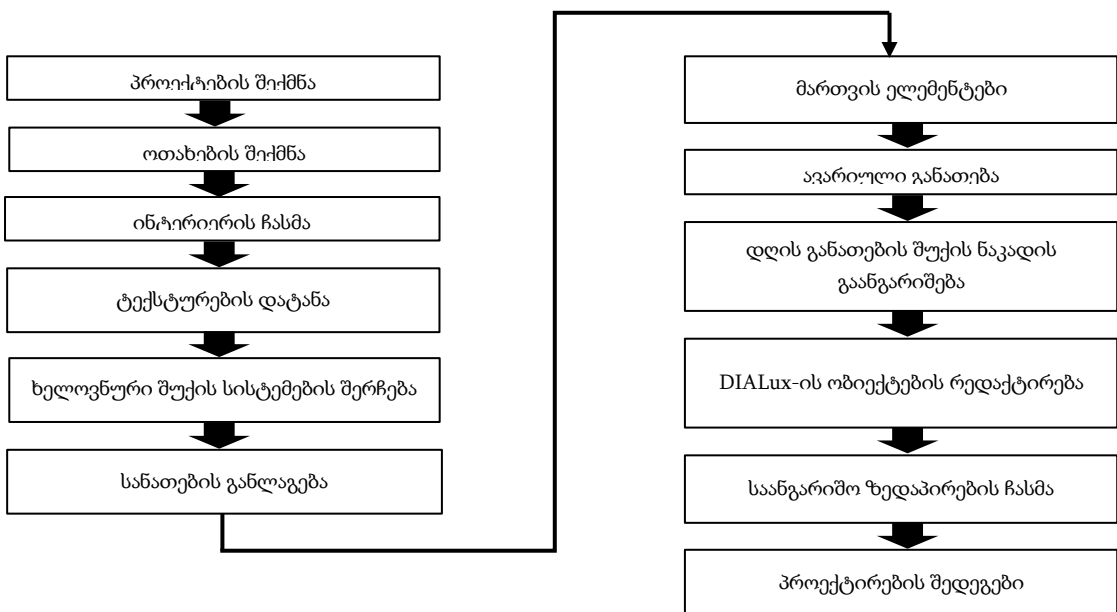
3. როგორც ოთახების ისე ქუჩების ტერიტორიების, სხვადასხვა საწარმოო შენობების, გზების, სპორტული მოედნების ხელოვნური განათების სისტემების დაპროექტება;
4. უნარი იმუშაოს ნებისმიერი ფაილებით ფორმატში .dwg და .dxf და გაითვალოს წინასწარ.

ანგარიშის დროს გათვალისწინებულია :

- შენობის გეომეტრია;
- კედლების, იატაკის და ჭერის ფერი, აგრეთვე მოცემული ზედაპირის სტრუქტურა;
- შენობაში განთავსებული ავეჯი;

ანგარიშის ყველაზე მოთხოვნად შედეგებს წარმოადგენს სამუშაო ზედაპირზე განათების განაწილების წარმოსახვა და გასანათებელი შენობის საერთო სამგანზომილებიანი სახე, რის საფუძველზეც უნდა გადაწყდეს სანათების ოპტიმალური განლაგება და განისაზღვროს სანათების ოპტიმალური რაოდენობა.

ამ პროგრამული პროდუქტის ათვისებისათვის და ანგარიშის შედეგების წარმატებით შექმნისათვის შევიმუშავეთ შემდეგი ალგორითმი:



ნახაზი 32. პროგრამული უზრუნველყოფა DIALux-ით ხელოვნური განათების პროექტირების ალგორითმი [18,40]

ხელოვნური განათების განლაგების ანგარიში კომპიუტერულ პროგრამა DIALux-ში გამოირჩევა თვალსაჩინოებით, რადგან პროგრამა საშუალებას იძლევა გაითვალისწინებულ იქნეს არა მხოლოდ სინათლის წყაროდან სამუშაო ზედაპირზე მოხვედრილი შუქის ნაკადი, არამედ შუქის ნაკადი რომელიც გარდატეხით და არეკვლით ხვდება სამუშაო ზედაპირზე - კედლებიდან, ჭერიდან, ოთახში განთავსებული ავეჯიდან და ასევე ითვალისწინებს ყველა ზემოთხსენებულის ზედაპირის არეკვლის თვისებებს.

საანგარიშო განათების ნაკადის მოთხოვნასთან მიმართებაში გადახრის ანგარიშის ფორმულას, ბუნებრივი განათების კოეფიციენტის გათვალისწინებით აქვს სახე:

$$\Delta \Phi = \frac{UnF}{SE_{\text{ნომ}} K_z K_{EO}} \quad (4)$$

ევროპული სტანდარტის შესაბამისად [10]

$$\Delta \Phi = -10\%; 20\% \quad (5)$$

როგორც აღინიშნა ხელოვნური განათების თანამედროვე ენერგოდამზოვი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის მესამე პირობის ევროპული სტანდარტის [40,41] მოთხოვნასთან შესაბამისობის შესამოწმებლად უნდა ჩატარდეს დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიში. ამ მაჩვენებლის გათვალისწინება განსაკუთრებით აქტუალურია შენობებისთვის, სადაც ადამიანებს უხდებათ, ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ყოფნა და მაღალია მოთხოვნები მხედველობით მუშაობაზე. ამ შემთხვევაში დისკომფორტი განზოგადებული მაჩვენებელი [45,50,51] გამოითვლება ფორმულით :

$$UGR = 8 \lg \sum_{i=1}^N \left[ \frac{K_i I_{C_i}^2}{A_i} \right] - 8 \lg E_{WID} \quad (6)$$

სადაც :

UGR - დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებელი

N - სანათების რაოდენობა;

K<sub>i</sub> - შუქგაცემის კოეფიციენტი [52],

$I_{c, \gamma i}$  -  $i$  სანათის სინათლის ძალა მიმართული სტანდარტული

დამკვირვებლისაკენ;

$C$  - აზიმუტის კუთხე;

$\gamma$  - მერიდიანის კუთხე;

$A_i$  - პროექციის ფართობი.მ<sup>2</sup>

$E_{WID}$  - განათებულობის არეკვლის მდგენელი შენობების კედლებზე;

თავის მხრივ განათებულობის არეკვლის მდგენელი შენობების კედლებზე  $E_{WID}$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$E_{WID} = \frac{F_{UWID} N \Phi_0}{A_W} = B F_{UWID} \quad (7)$$

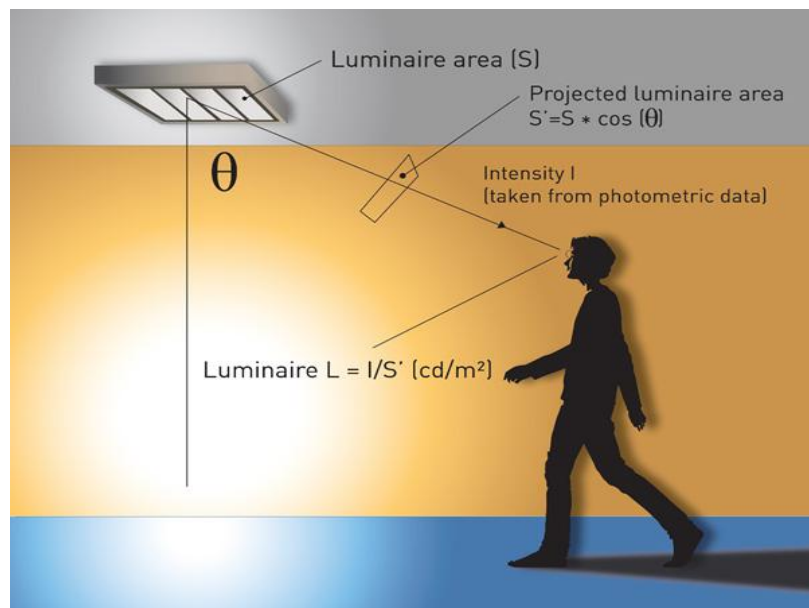
სადაც  $F_{UWID}$  - კედლებისთვის არეკლილი სინათლის ნაკადის გამოყენების კოეფიციენტი;

$N$  - შენობაში სანათების რაოდენობა;

$\Phi_0$  - განათების ზონალური შუქის ნაკადი [52];

$A_W$  - სამუშაო სიბრტყესა და სანათების განლაგების სიბრტყეს შორის კედლების საერთო ფართი მ<sup>2</sup>;

$B$  - კოეფიციენტი რომელიც გამოითვლება [52] შრომაში მითითებული მეთოდით;



ნახაზი 33. დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ვიზუალიზაცია

ზემოთ ჩამოთვლილი მოთხოვნებიდან გამომდინარე ხელოვნურ განათებაში, თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების ოპტიმალური დაგეგმვის ამოცანა შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოყალიბდეს: პრაქტიკაში აპრობირებულ N რაოდენობის ხელოვნური განათების სისტემებიდან მეცნიერულად დასაბუთებული ეფექტურობის კრიტერიუმის საფუძველზე უნდა შეირჩეს ისეთი სისტემა, რომელიც ტექნიკურ-ეკონომიკურად იქნება ეფექტიანი და დააკმაყოფილებს შემდეგ მოთხოვნებს:

- ა) განათების ნორმირებული სიდიდის პირობებში, სისტემაში დასანერგი სანათების რაოდენობა და მათი განლაგება იქნება ოპტიმალური;
- ბ) საანგარიშო სინათლის ნაკადის მოთხოვნიდან გადახრა არ გადააჭარბებს -10%;20%;
- გ) დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებელი  $UGR \leq 19$ .

მოყვანილი ანალიზიდან გამომდინარე, გამოსახულებების (1,2,3,4,5,6,7) გათვალისწინებით ხელოვნური განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმი მიიღებს სახეს:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{წდმ} = \sum_{t=T_{\text{მ3}}}^{T_{\text{მ3}}} \frac{[\sum_{i=1}^m n_{it}(P_{i1t}-P_{i2t})\tilde{t}_{\text{მბ}}T_t + \sum_{i=1}^m n_{it}\tilde{t}_{i2}C_{it}^1Ht]}{(1+E_t)^t} - \\
 - \sum_{t=0}^{T_{\text{მ3}}} [\Delta K_t + \sum_{i=1}^m n_{it} \tilde{t}_{i1} (C_{i2} + K_y)] \frac{(1+R_{\text{მსმ}})^t}{(1+E_t)^t} \rightarrow \max \\
 N = \frac{100SE_{\text{მმ}}K_zKEO}{UnF} = N_{\text{ობტ}} \text{ და სანათების ოპტიმალური რაოდენობის} \\
 \text{განსაზღვრა} \quad (8) \\
 \Delta\Phi = \frac{UnF}{SE_{\text{მმ}}K_zKEO} = -10\%; +20\% \\
 UGR = 8\lg \sum_{i=1}^N \left[ \frac{K_i I_{C_{yi}}^2}{A_i} \right] - 8\lg E_{\text{WID}} \leq 19
 \end{array} \right.$$

**4.3. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების  
დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმის  
პრაქტიკული რეალიზაცია სს "ენერგო-პრო ჯორჯიას"  
სათაო ოფისის მაგალითზე.**

ოპტიმალური დაგეგმვის ანგარიშის ალგორითმის ,პირველი მოთხოვნის განსასაზღვრავად ჩატარდა ამჟამად ექსლუატაციაში მყოფი განათების სისტემის და პრაქტიკაში აპრობირებული თანამედროვე ენერგოდამზოგი განათების სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი, რისთვისაც მოძიებული იქნა საწყისი ინფორმაცია [53] საწყისი ინფორმაციის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილ 11-ში.

როგორც ცხრილიდან ჩანს ტექნიკური მაჩვენებლების მიხედვით შესადარებელ ვარიანტებს შორის უპირატესობა ენიჭება Oppla Led T8 და Philips RC091V LED Slim Panel განათების სისტემას. იმისათვის, რომ საბოლოოდ შეირჩეს ტექნიკურ-ეკონომიკურად ეფექტური სისტემა ფორმულა (1) გამოყენებით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის მაგალითზე მოძიებული საწყისი ინფორმაციის საფუძველზე [54] თითოეული შესადარებელი სისტემისათვის განისაზღვრა მათი აღნიშნულ ოფისში დანერგვისათვის საჭირო ინვესტიციების მოცულობა. ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრილ 12-ში.

ცხრილი 11. არსებული საწათების ტექნიკური პარამეტრების საწყისი ინფორმაციის და შედარებითი ანალიზის მაჩვენებლები

ბრენდი	საწათის მოდელო	მწარმოებლის მიერ დადგენილი პარამეტრები	ციკლი/ფორმა	მწარმოებლის დადგენილი სიმსივრე, ვატი	მწარმოებლის დადგენილი შუქის ნაკადი ლუმენი	ეფექტურობა ლუმენი/ვატზე	მწარმოებლის დადგენილი ფერის ტემპერატურა	მწარმოებლის დადგენილი ფერის გადამცემის ინდექსი Ra	შუადგენი ქაღალდი	მწარმოებლის დადგენილი სიმუშაო მანძი	საწათის კონსტრუქციის ტექნიკური ტემპერატურა	გარანტიის ვადა, თვე	მწარმოებლის დადგენილი საწათის საშუალო ვადა
Philips	<a href="#">G5</a> <a href="#">8718696731963</a> <a href="#">Essential</a>	<a href="#">3000K 1000lm</a> <a href="#">8W M</a>	other/T8	8	1000	128	3000	80	3.5	100-240	44	24	30000
Philips	<a href="#">8718696525074</a> <a href="#">EcoFit</a>	<a href="#">6500K 800lm</a> <a href="#">8W M</a>	G13/T8	8	800	111	6500	73	3.5	220-240	34	24	15000
Philips	<a href="#">8718696697511</a> <a href="#">MAS</a>	<a href="#">6500K 1050lm</a> <a href="#">8W M</a>	G13/T9	8	1050	137	6500	80	4.5	220-240	42	24	50000
Philips	<a href="#">8718696753606</a> <a href="#">Essential</a>	<a href="#">4000K 800lm</a> <a href="#">8W M</a>	G13/T10	8	800	108	4000	80	4.5	220-240	37	24	30000
Osram	<a href="#">LED SubstiTUBE</a> <a href="#">Value ST8V-0.6m</a> <a href="#">-8.9W-840-EM</a>	<a href="#">4000K 800lm</a> <a href="#">8.9W M</a>	G13/T11	8.9	800	100	4000	80	3.5	220-240	41		30000
LED Technology	<a href="#">LT-T8-10-600</a> <a href="#">-NW-C-CM</a>	<a href="#">4000K 600lm</a> <a href="#">10W</a>	G13/T12	10	600	99	4000		3.5	220			40000
ASD	<a href="#">016.3001 LED-</a> <a href="#">T8R-eco 10 Br</a>	<a href="#">4000K 900lm</a> <a href="#">10W</a>	G13/T13	10	900	99	4000		3.5	160-260	40	24	30000
Estares	<a href="#">ES-LED T8</a>	<a href="#">6000K 900lm</a> <a href="#">10W M</a>	G13/T14	10	900	86	6000		4.3	220	33	24	50000
Saffit	<a href="#">55058</a>	<a href="#">4000K 750lm</a> <a href="#">10W M</a>	G13/T15	10	750	80	4000		3.5	230	37	12	25000
Jazzway	<a href="#">PLED T8 - 600GL</a> <a href="#">10w FROST</a> <a href="#">4000K 230V/50Hz</a>	<a href="#">4000K 800lm</a> <a href="#">10W M</a>	G13/T16	10	800	71	4000	75	1.8	185-240	42	12	35000
Экономка	<a href="#">ECO LED 9wT86</a> <a href="#">5</a>	<a href="#">6500K 850lm</a> <a href="#">9W M</a>	G13/T17	9	850	85	6500		2.8	220-240	40	12	30000
Foton	<a href="#">FL-LED T8-600</a> <a href="#">10W G13 4000K</a>	<a href="#">4000K 1000lm</a> <a href="#">10W M</a>	G13/T18	10	1000	73	4000	80	1.4	220-240	37	24	30000
Volpe	<a href="#">LED-T8-</a> <a href="#">10W/NW/</a> <a href="#">G13/FR/FIX/N</a>	<a href="#">4000K 900lm</a> <a href="#">10W M</a>	G13/T19	10	900	89	4000	70	3.2	200-250	40	24	25000
Feron	<a href="#">LB-213</a>	<a href="#">4000K 800lm</a> <a href="#">10W M</a>	G13/T20	10	800	89	4000		3.3	230	36	24	30000
Navigator	<a href="#">NLL-T8-11</a> <a href="#">-230-4K-G13</a>	<a href="#">4000K 900lm</a> <a href="#">11W M</a>	G13/T21	11	900	87	4000	80	4.5	176-264	50	24	40000
Opple	<a href="#">LED-E-T8-600mm</a> <a href="#">-9W-3000K</a> <a href="#">-GLASS-CT</a>	<a href="#">3 000K 800lm</a> <a href="#">9 M</a>	G13/T22	9	800	94	3000	80	4.7	220-240	45	24	20000
Philips	<a href="#">PHILIPS RC091V</a> <a href="#">LED34S/865</a> <a href="#">PSU W60L60 RU</a>	<a href="#">6500 K</a> <a href="#">3400 lm</a>	595 mm	34	3400	95	6500	>80	5	220-240	40	36	25000

**ცხრილი 12. სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისში ხელოვნურ განათებაზე განსახორციელებელი ინვესტიციების მოცულობა (ათასი ლარი)**

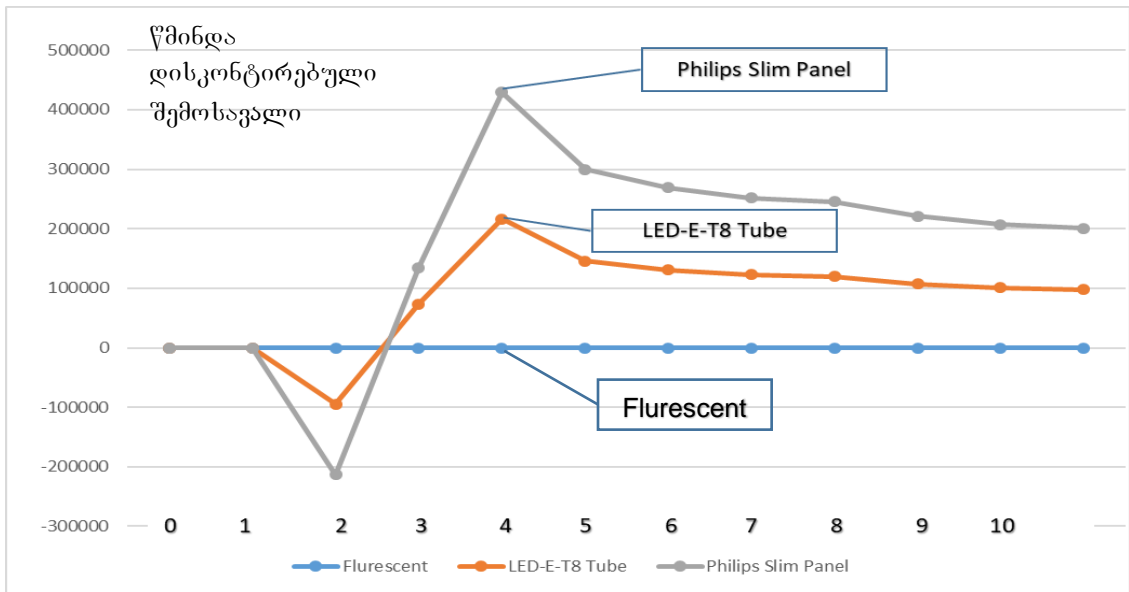
N	მოწყობილობის დასახელება	ბრენდი	რაოდენობა	ერთეულის ფასი	ჯამური ღირებულება ლარი
1	გამანაწილებელი ფარი	IEK ШРВ-36в-1 36 VХ/13 IP31 36 მოდულიანი	8	107	856
<b>ავტომატური ამომრთველები</b>					
2	Siemens 5SL6325-7 3P C25	Siemens	8	35	280
3	Siemens 5SL6110-7 1P C10	Siemens	48	7.25	348
4	Siemens 5SL6216-7 2P C16	Siemens	56	24.40	1366
<b>შერჩეული ლუმინისცეტური სანათები</b>					
5	<a href="#">4X18W A6/C420 MB</a>	New Light	880	42	36960
6	TL-D 18W/54-765 500 lm	Philips	3520	2.3	8096
<b>შერჩეული შუქდიოდური სანათები</b>					
5	4X18W A6/C-420 MB Opal	New Light	880	25	22000
6	LED-E-T8-600mm-9W 800 lm -3000K-GLASS-CT cosφ=0,98	Oppl	3520	11.9	41888
<b>შერჩეული შუქდიოდური სანათები (2)</b>					
5	<a href="#">SmartBright Slim Panel 34W 3400 lm</a>	PHILIPS RC091V LED34S/865 PSU W60L60 RU 8710163317359	880	99	87120
<b>მაღოვანი კაბელები</b>					
7	სადენი 2x1,5	Cykylo-U 2x1.5 Borsan	5320 მეტრი	1.20	6384
8	სადენი 3x1,5	Cykylo-F 3x1.5 Borsan	2600 მეტრი	1.80	4680
9	სადენი 3x2,5	Cykylo-U 3x2.5 Borsan	3200 მეტრი	3.10	9920
<b>ელექტრო გაყვანილობის მასალები</b>					
10	ერთლილაკიანი ჩამრთველი	LEGRAND 13042413	56	3.90	218
11	ორლილაკიანი ჩამრთველი	LEGRAND 13042397	56	5.01	281
12	სამლილაკიანი ჩამრთველი	LEGRAND 13042398	8	7.60	61
13	როზეტი დამიწებით	LEGRAND 13042592	480	7.80	3744
14	გამანაწილებელი კოლოფი 6 კაბელიანი შემყვანით, IP44, 80x80x40mm	Kopos KSK 80_KA IP66	120	8.15	978
<b>დამცავი საშუალებები</b>					
15	დიელექტრიკული ფეხსაცემი	რეციკლირებული რეზინა	2	35.92	72
16	დიელექტრიკული ჩექმა	Dunlop PVC 9DESY 46	2	55.58	111
17	დიელექტრიკული ხელთათმანები	Hardy #93 XL, 1514-930010	2	6.59	13
18	იზოლირებული ხელსაწყო		2	105.49	211
19	იზოლირებული მარწუხი	Tolsen 38034	2	86.00	172
20	უსაფრთხოების პლაკატები		8	9.28	74
21	ცეცხლმაქრი	Yarpozhinvest ОП-8 ABCE YPI	16	75.95	1215
<b>ჯამი ლუმინისცეტური სანათებით</b>					<b>76,041</b>
<b>ჯამი შუქდიოდური სანათებით</b>					<b>94,873</b>
<b>ჯამი შუქდიოდური სანათებით (Led Slim Panel)</b>					<b>118,105</b>

ცხრილ 12-ში მოცემული მაჩვენებლების მიხედვით და ზემოთ მოყვანილი ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ეკონომეტრიკული მოდელით, ფორმულა (1)-ით ჩატარდა არსებული და ახალი ხელოვნური განათების სისტემების შედარებითი ეკონომიკური ანალიზი. შედეგები ასახულია ცხრილ (13)-ში და ნახაზ 37-ზე.

**ცხრილი 13. სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისში არსებული და ახალი ხელოვნური განათების სისტემების ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზი.**

სანათის თიბი:	FFluorescent სანათები	შუქდიოდური LED-E-T8-600mm-9W	შუქდიოდური 34W PHILIPS SmartBright Slim Panel	
სანათების რაოდენობა, (გალი):	3520 სანათი	3520 სანათი	880 სანათი	
სანათების ჯამური სიმძლავრე (კვტ):	634 კვტ.	317 კვტ.	299 კვტ.	
ნათურების მუშაობის დრო დღეურად - საათი დღეში:	8 საათი	8 საათი	8 საათი	
სანათების ექსპლუატაციის რესურსი, საათი:	5,000 საათი	20,000 საათი	25,000 საათი	
"იჩხ - სანათის (ნათურის) წელიწადში საშუალო ჩართვის სანგრძობობა (სთ) (ჩხ=ჩჩხ*8760) (ჩხ =0.3±0.5)"	2,628 საათი	2,628 საათი	2,628 საათი	
საექსპლუატაციო პერიოდში სანათების აუცილებელი შეცვლის ჯერადობა :	1.9 (წელი.თვე)	7.6 (წელი.თვე)	9.5 (წელი.თვე)	
შუქის ნაკადის გამოყენების მ.კ.კ. გარე განათებაში	65%	96%	96%	
სანათების და მასალების შეძენის ჯამური ღირებულება (ათასი ლარი):	76,041 ლარი	94,873 ლარი	118,105 ლარი	
1 კვტ/სთ ელექტროენერჯის ღირებულება (თეთრი/კვტსთ.):	0.2108306 თეთრი/კვტსთ.	0.2108306 თეთრი/კვტსთ.	0.2108306 თეთრი/კვტსთ.	
1 კვტ/სთ ელექტროენერჯის ღირებულება (თეთრი/კვტსთ.):	<b>3%</b>			
1 წლის განმავლობაში მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობა, (კვტსთ):	<b>1,665,101 კვტ.სთ</b>	<b>832,550 კვტ.სთ</b>	<b>786,298 კვტ.სთ</b>	
ექსპლუატაციის, რემონტის, შეცვლის და უტილიზაციის დანახარჯები წელიწადში:	8,096 ლარი	0	0	
1 წლის განმავლობაში დანახარჯები ელექტროენერჯაზე, (ათასი ლარი):	<b>351,054 ლარი</b>	<b>175,527 ლარი</b>	<b>165,776 ლარი</b>	
ელექტროენერჯის მოხმარების შემცირება, %:		<b>50.0%</b>	<b>52.8%</b>	
წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი Net Present Value (Interest 10 %)				
<b>წელი</b>	<b>ტარიფი</b>	<b>მოგება</b>	<b>10.0% წდშ</b>	<b>10.0% წდშ</b>
0 წელიწადი		-94,873 ლარი	-94,873 ლარი	-118,105 ლარი
1 წელიწადი	0.210831	80,654 ლარი	73,322 ლარი	61,067 ლარი
2 წელიწადი	0.217156	261,447 ლარი	216,072 ლარი	213,232 ლარი
3 წელიწადი	0.223670	194,313 ლარი	145,990 ლარი	153,763 ლარი
4 წელიწადი	0.230380	191,803 ლარი	131,004 ლარი	138,282 ლარი
5 წელიწადი	0.237292	197,557 ლარი	122,668 ლარი	129,482 ლარი
6 წელიწადი	0.244410	211,580 ლარი	119,431 ლარი	125,813 ლარი
7 წელიწადი	0.251743	209,589 ლარი	107,552 ლარი	113,527 ლარი
8 წელიწადი	0.259295	215,876 ლარი	100,708 ლარი	106,303 ლარი
9 წელიწადი	0.267074	230,448 ლარი	97,733 ლარი	102,971 ლარი
10 წელიწადი	0.275086	229,023 ლარი	88,298 ლარი	93,204 ლარი
<b>Net present value</b>			<b>1,107,905 ლარი</b>	<b>1,119,539 ლარი</b>
<b>წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი</b>				





**ნახაზი 34.** წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის ცვალებადობის დინამიკა.

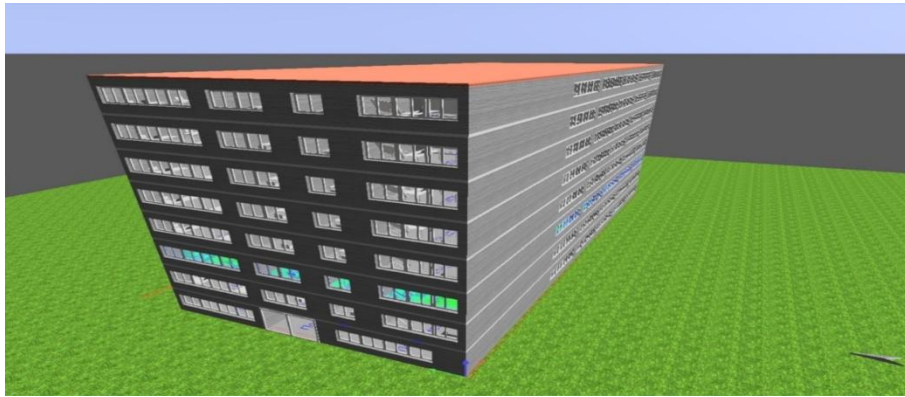
ნახაზ 34-ზე ასახული მონაცემების მიხედვით შეიძლება გაკეთდეს ცალსახა დასკვნა იმის შესახებ, რომ როგორც ტექნიკური ისე ეკონომიკური თვალსაზრისით სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის ხელოვნური განათების სისტემაში ყველაზე ეფექტურია PHILIPS SmartBright Slim Panel-ის დანერგვა.

სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის ხელოვნური განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოვი სისტემების დანერგვისათვის პირველი აუცილებელი პირობის შესრულების შემოწმების მიზნით შერჩეულ სისტემაში სანათების რაოდენობის და განლაგების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადასაწყვეტად პროგრამული პროდუქტი EXCEL-ის მეშვეობით დაანგარიშებულია დასანერგი სანათების რაოდენობა. ერთ-ერთი სართულის ანგარიშის შედეგები ასახულია ცხრილ 14-ში:

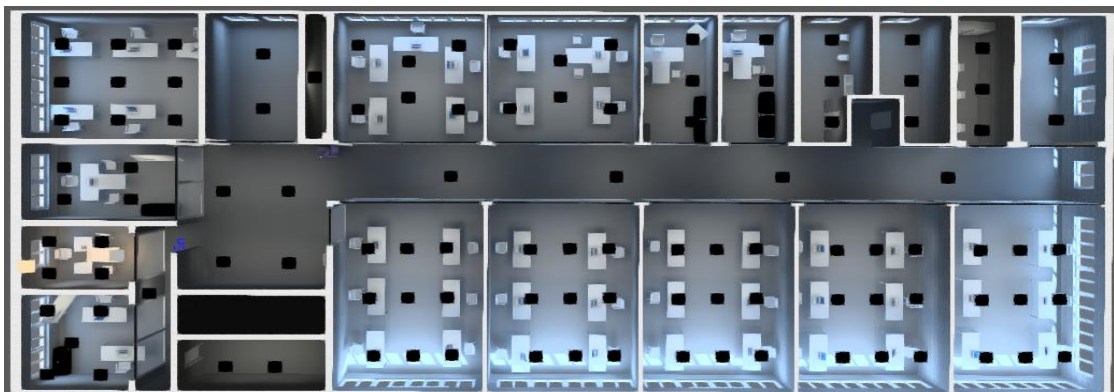
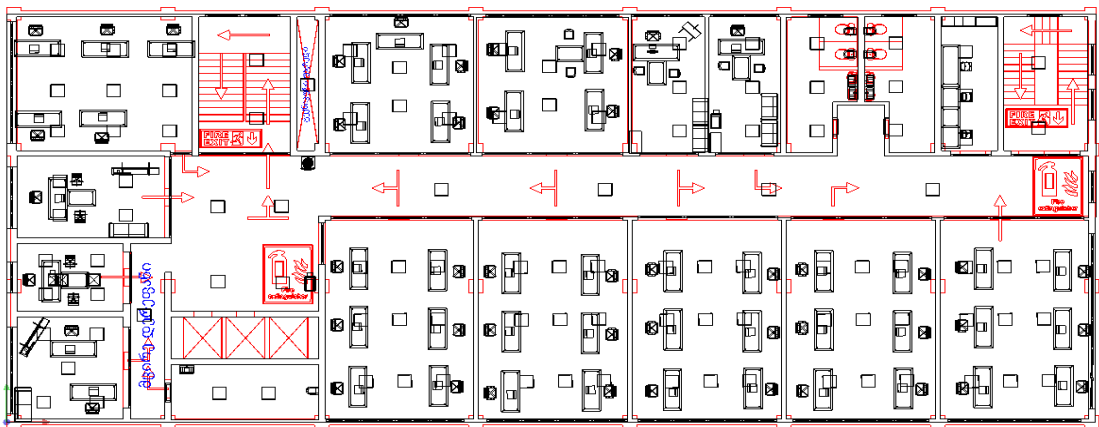
## ცხრილი 14. სს ენერგო პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის ერთ-ერთ სართულზე დასანერგი სანათების რაოდენობა.

სანათის ტიპი	ერთი ნათურის შუქის ნაკადი	E - მათხოვნილი კოორდინატული განათების დონე, (ლუქსი)	X	Y	S - ოთახის ფართობი m2	K3 - რეზერვის კოეფიციენტი	U - გამყვინების კოეფიციენტი	n - განათების სისტემაში ნათურების რაოდენობა	Φა - ერთი სანათის შუქის ნაკადი, (ლუქმენი);	ამჟამად არსებული სანათების რაოდენობა	შედეგები N-სანათების რაოდენობა ბუნებრივი განათების არარსებობის დროს	KEO-ს მნიშვნელობა [17]	შედეგები N-სანათების რაოდენობა ბუნებრივი განათების დროს
<b>ოთახი - 1</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	7.5	6.5	48.75	1.25	0.51	4	2000	9	7	0.6	4
LED - შუქდიოდური	800	500	7.5	6.5	48.75	1.25	0.51	4	3200		5	0.6	3
LED Slim Panel	3400	500	7.5	6.5	48.75	1.25	0.51	1	3400		4	0.6	2
<b>კიბის უჯრედი</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	3.91	6.46	25.26	1.25	0.51	4	2000	2	4	0.6	2
LED - შუქდიოდური	800	500	3.91	6.46	25.26	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	3.91	6.46	25.26	1.25	0.51	1	3400		2	0.6	1
<b>ტექნიკური უჯრედი</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	0.91	6.38	5.81	1.25	0.51	4	2000	1	1	0	1
LED - შუქდიოდური	800	500	0.91	6.38	5.81	1.25	0.51	4	3200		1	0	1
LED Slim Panel	3400	500	0.91	6.38	5.81	1.25	0.51	1	3400		1	0	1
<b>ოთახი - 2</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.35	6.58	41.78	1.25	0.51	4	2000	6	6	0.6	4
LED - შუქდიოდური	800	500	6.35	6.58	41.78	1.25	0.51	4	3200		4	0.6	2
LED Slim Panel	3400	500	6.35	6.58	41.78	1.25	0.51	1	3400		4	0.6	2
<b>ოთახი - 3</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.47	6.58	42.57	1.25	0.51	4	2000	6	7	0.6	4
LED - შუქდიოდური	800	500	6.47	6.58	42.57	1.25	0.51	4	3200		4	0.6	2
LED Slim Panel	3400	500	6.47	6.58	42.57	1.25	0.51	1	3400		4	0.6	2
<b>ოთახი - 4</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	3.14	6.58	20.66	1.25	0.51	4	2000	3	3	0.6	2
LED - შუქდიოდური	800	500	3.14	6.58	20.66	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	3.14	6.58	20.66	1.25	0.51	1	3400		2	0.6	1
<b>ოთახი - 5</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	3.05	6.58	20.07	1.25	0.51	4	2000	3	3	0.6	2
LED - შუქდიოდური	800	500	3.05	6.58	20.07	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	3.05	6.58	20.07	1.25	0.51	1	3400		2	0.6	1
<b>ოთახი - WC1</b>													
ლუმინისდეტური	500	300	3.00	6.58	19.74	1.25	0.51	4	2000	3	2	0.6	1
LED - შუქდიოდური	800	300	3.00	6.58	19.74	1.25	0.51	4	3200		1	0.6	1
LED Slim Panel	3400	300	3.00	6.58	19.74	1.25	0.51	1	3400		1	0.6	1
<b>ოთახი - WC2</b>													
ლუმინისდეტური	500	300	3.00	6.58	19.74	1.25	0.51	4	2000	3	2	0.6	1
LED - შუქდიოდური	800	300	3.00	6.58	19.74	1.25	0.51	4	3200		1	0.6	1
LED Slim Panel	3400	300	3.00	6.58	19.74	1.25	0.51	1	3400		1	0.6	1
<b>ოთახი 6 - სამზარეულო</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	2.40	6.58	15.79	1.25	0.51	4	2000	3	2	0.6	1
LED - შუქდიოდური	800	500	2.40	6.58	15.79	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	2.40	6.58	15.79	1.25	0.51	1	3400		1	0.6	1
<b>კიბის უჯრედი 2</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	3.60	6.58	23.69	1.25	0.51	4	2000	2	4	0.6	2
LED - შუქდიოდური	800	500	3.60	6.58	23.69	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	3.60	6.58	23.69	1.25	0.51	1	3400		2	0.6	1
<b>ოთახი - 7</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	3.90	6.50	25.35	1.25	0.51	4	2000	4	4	0.6	2
LED - შუქდიოდური	800	500	3.90	6.50	25.35	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	3.90	6.50	25.35	1.25	0.51	1	3400		2	0.6	1
<b>ოთახი - 8</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	3.27	4.55	14.88	1.25	0.51	4	2000	4	2	0.6	1
LED - შუქდიოდური	800	500	3.27	4.55	14.88	1.25	0.51	4	3200		1	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	3.27	4.55	14.88	1.25	0.51	1	3400		1	0.6	1
<b>ოთახი - 9</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	4.93	4.55	22.43	1.25	0.51	4	2000	5	3	0.6	2
LED - შუქდიოდური	800	500	4.93	4.55	22.43	1.25	0.51	4	3200		2	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	4.93	4.55	22.43	1.25	0.51	1	3400		2	0.6	1
<b>ოთახი - WC3</b>													
ლუმინისდეტური	500	300	2.65	6.30	16.70	1.25	0.51	4	2000	2	2	0	2
LED - შუქდიოდური	800	300	2.65	6.30	16.70	1.25	0.51	4	3200		1	0	1
LED Slim Panel	3400	300	2.65	6.30	16.70	1.25	0.51	1	3400		1	0	1
<b>ოთახი - 10</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.35	9.65	61.28	1.25	0.51	4	2000	9	9	0.6	6
LED - შუქდიოდური	800	500	6.35	9.65	61.28	1.25	0.51	4	3200		6	0.6	4
LED Slim Panel	3400	500	6.35	9.65	61.28	1.25	0.51	1	3400		6	0.6	3
<b>ოთახი - 11</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	4	2000	9	9	0.6	6
LED - შუქდიოდური	800	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	4	3200		6	0.6	4
LED Slim Panel	3400	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	1	3400		6	0.6	3
<b>ოთახი - 12</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	4	2000	9	9	0.6	6
LED - შუქდიოდური	800	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	4	3200		6	0.6	4
LED Slim Panel	3400	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	1	3400		6	0.6	3
<b>ოთახი - 13</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	4	2000	9	9	0.6	6
LED - შუქდიოდური	800	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	4	3200		6	0.6	4
LED Slim Panel	3400	500	6.40	9.65	61.76	1.25	0.51	1	3400		6	0.6	3
<b>ოთახი - 14</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	6.35	9.65	61.28	1.25	0.51	4	2000	9	9	0.6	6
LED - შუქდიოდური	800	500	6.35	9.65	61.28	1.25	0.51	4	3200		6	0.6	4
LED Slim Panel	3400	500	6.35	9.65	61.28	1.25	0.51	1	3400		6	0.6	3
<b>შვირი დერეფანი</b>													
ლუმინისდეტური	500	500	1.50	8.50	12.75	1.25	0.51	4	2000	1	2	0.6	1
LED - შუქდიოდური	800	500	1.50	8.50	12.75	1.25	0.51	4	3200		1	0.6	1
LED Slim Panel	3400	500	1.50	8.50	12.75	1.25	0.51	1	3400		1	0.6	1
<b>დერეფანი</b>													
ლუმინისდეტური	500	250	2.90	32.90	142.41	1.25	0.51	4	2000	8	11	0.6	7
LED - შუქდიოდური	800	250	2.90	32.90	142.41	1.25	0.51	4	3200		7	0.6	4
LED Slim Panel	3400	250	2.90	32.90	142.41	1.25	0.51	1	3400		7	0.6	4
სანათის ტიპი										არსებული	No KEO		KEO
<b>ჯამი ლუმინისდეტური</b>	<b>ჯამური რაოდენობა ერთი სართული</b>									110	112		68
<b>ჯამი LED - შუქდიოდური</b>											70		43
<b>ჯამი LED Slim Panel</b>											66		40
<b>ჯამი ლუმინისდეტური</b>											<b>ჯამური რაოდენობა შენობა</b>		
<b>ჯამი LED - შუქდიოდური</b>	898		546										
<b>ჯამი LED - შუქდიოდური</b>	561		341										
<b>ჯამი LED Slim Panel</b>	532		324										

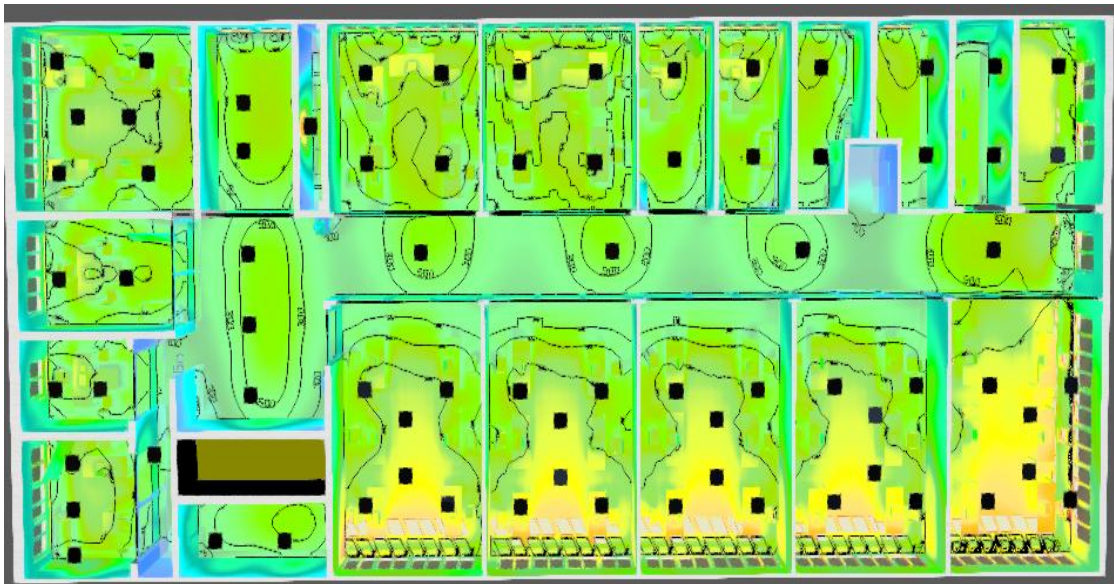
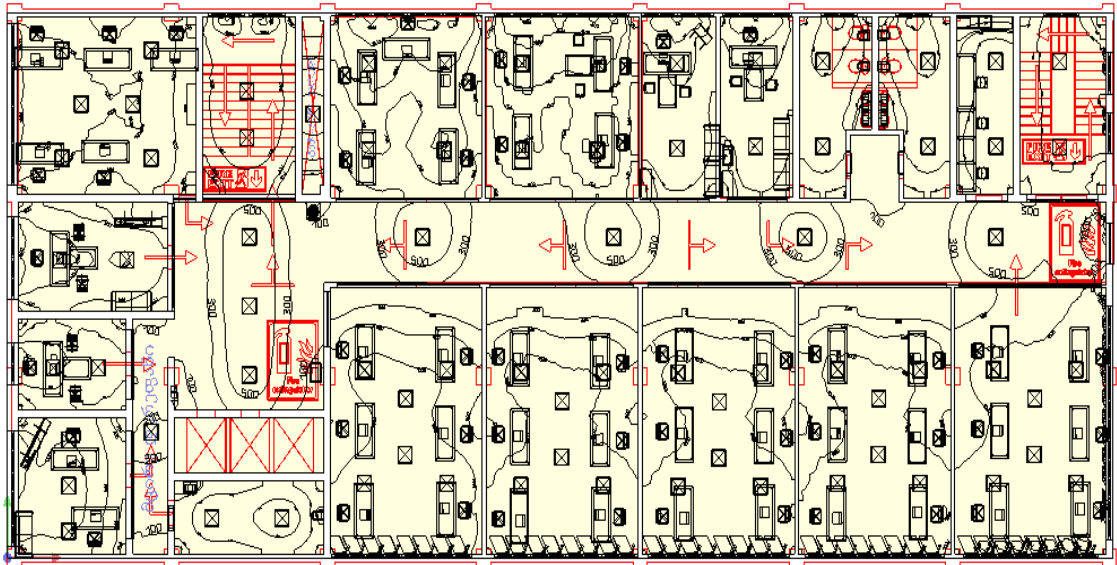
სანათების განლაგების ოპტიმიზაციის ამოცანა გადაწყვეტილია პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის [42] მეშვეობით. ანგარიში შესრულებულია სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის მაგალითზე შედეგები ნაჩვენებია ნახაზ 35,36,37-ზე.



ნახაზი 35. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ვიზუალიზაცია



ნახაზი 36. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით შენობის ერთი სართულის ვიზუალიზაცია, ამჟამად არსებული ვითარება.



**ნახაზი 37. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით შენობის ერთი სართულის ვიზუალიზაცია, სანათების განლაგების ოპტიმიზაცია PHILIPS SmartBright Slim Panel-ის გამოყენებით**

ოპტიმალური განლაგების ამოცანის გადაწყვეტის შემდეგ დაზუსტებულ იქნა სს ენერგო-პრო ჯორჯიას ოფისში დასანერგი სანათების ოპტიმალური რაოდენობა. ანგარიშის შედეგები შეტანილია ცხრილ 15-ში:

ცხრილი 15. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ხელოვნური განათების ოპტიმალური განლაგების მიხედვით მიღებული სანათების რაოდენობა

ოთახი	ამჟამად არსებული სანათების რაოდენობა	Dialux-ით ოპტიმალურად განლაგებული სანათების რაოდენობა
ოთახი - 1	9	6
კიბის უჯრედი	2	2
ტექნიკური უჯრედი	1	1
ოთახი - 2	6	4
ოთახი - 3	6	4
ოთახი - 4	3	2
ოთახი - 5	3	2
ოთახი - WC1	3	2
ოთახი - WC2	3	2
ოთახი 6 - სამზარეულო	3	2
კიბის უჯრედი 2	2	2
ოთახი - 7	4	2
ოთახი - 8	4	2
ოთახი - 9	5	3
ოთახი - WC3	2	2
ოთახი - 10	9	6
ოთახი - 11	9	6
ოთახი - 12	9	6
ოთახი - 13	9	6
ოთახი - 14	9	6
მცირე დერეფანი	1	1
დერეფანი	8	7
<b>რაოდენობის ჯამი</b>	<b>110</b>	<b>76</b>
<b>შენობაში რაოდენობის ჯამი</b>	<b>880</b>	<b>608</b>
<b>სიმძლავრის ჯამი (ვატი)</b>	<b>7920</b>	<b>2584</b>
<b>რაოდენობის სხვაობა ერთ სართულზე</b>		
<b>34</b>		
<b>რაოდენობის სხვაობა რვა სართულზე</b>		
<b>272</b>		
<b>გამონთავისუფლებული სიმძლავრე ერთ სართულზე (ვატი)</b>		
<b>5336</b>		
<b>გამონთავისუფლებული სიმძლავრე რვა სართულზე (ვატი)</b>		
<b>42688</b>		

ცხრილ 15-ის მონაცემების ანალიზით ირკვევა, რომ თითოეულ ოთახში მოთხოვნილი ჰორიზონტალური ზედაპირის განათების დონე 500 ლუქსი [21] მიიღება შერჩეული PHILIPS SmartBright Slim Panel სანათების გაცილებით ნაკლები რაოდენობით.

დანერგვის ეფექტიანობის მესამე პირობის შესრულების შესამოწმებლად პროგრამული პროდუქტი EXCEL-ის მეშვეობით ფორმულა (4)-ით დაანგარიშებული იქნა სს ენერგო-პრო ჯორჯიას ოფისის ერთ-ერთი სართულის საანგარიშო განათების ნაკადის გადახრა ევროსტანდარტის მოთხოვნასთან მიმართებაში. ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრილ 16-ში.

**ცხრილი 16. პროგრამული პროდუქტი EXCEL-ის მეშვეობით შენობის მე-6 სართულზე საანგარიშო განათების ნაკადის მოთხოვნასთან მიმართებაში გადახრის ანგარიშის შედეგები ბუნებრივი განათების კოეფიციენტის გათვალისწინებით**

სანათის ტიპი	შედეგები N-სანათების რაოდენობა ბუნებრივი განათების დროს	საანგარიშო განათების ნაკადის მოთხოვნასთან მიმართებაში გადახრის ანგარიში ΔΦ - KEO-ს გათვალისწინებით	სანათის ტიპი	შედეგები N-სანათების რაოდენობა ბუნებრივი განათების დროს	საანგარიშო განათების ნაკადის მოთხოვნასთან მიმართებაში გადახრის ანგარიში ΔΦ - KEO-ს გათვალისწინებით
ოთახი - 1			ოთახი - 7		
ლუმინისცენტური	4	22%	ლუმინისცენტური	2	26%
LED - შუქდიოდური	3	36%	LED - შუქდიოდური	1	41%
LED Slim Panel	2	9%	LED Slim Panel	1	11%
კიბის უჯრედი			ოთახი - 8		
ლუმინისცენტური	2	26%	ლუმინისცენტური	1	44%
LED - შუქდიოდური	1	41%	LED - შუქდიოდური	1	70%
LED Slim Panel	1	11%	LED Slim Panel	1	19%
ტექნიკური უჯრედი			ოთახი - 9		
ლუმინისცენტური	1	25%	ლუმინისცენტური	2	29%
LED - შუქდიოდური	1	30%	LED - შუქდიოდური	1	47%
LED Slim Panel	1	20%	LED Slim Panel	1	12%
ოთახი - 2			ოთახი - WC3		
ლუმინისცენტური	4	16%	ლუმინისცენტური	2	25%
LED - შუქდიოდური	2	25%	LED - შუქდიოდური	1	30%
LED Slim Panel	2	7%	LED Slim Panel	1	20%
ოთახი - 3			ოთახი - 10		
ლუმინისცენტური	4	15%	ლუმინისცენტური	6	11%
LED - შუქდიოდური	2	25%	LED - შუქდიოდური	4	17%
LED Slim Panel	2	11%	LED Slim Panel	3	5%
ოთახი - 4			ოთახი - 11		
ლუმინისცენტური	2	32%	ლუმინისცენტური	6	11%
LED - შუქდიოდური	1	51%	LED - შუქდიოდური	4	17%
LED Slim Panel	1	13%	LED Slim Panel	3	4%
ოთახი - 5			ოთახი - 12		
ლუმინისცენტური	2	33%	ლუმინისცენტური	6	11%
LED - შუქდიოდური	1	52%	LED - შუქდიოდური	4	17%
LED Slim Panel	1	14%	LED Slim Panel	3	4%
ოთახი - WC1			ოთახი - 13		
ლუმინისცენტური	1	28%	ლუმინისცენტური	6	11%
LED - შუქდიოდური	1	33%	LED - შუქდიოდური	4	17%
LED Slim Panel	1	13%	LED Slim Panel	3	4%
ოთახი - WC2			ოთახი - 14		
ლუმინისცენტური	1	28%	ლუმინისცენტური	6	11%
LED - შუქდიოდური	1	33%	LED - შუქდიოდური	4	17%
LED Slim Panel	1	13%	LED Slim Panel	3	5%
ოთახი 6 - სამზარეულო			მცირე დერეფანი		
ლუმინისცენტური	1	41%	ლუმინისცენტური	1	51%
LED - შუქდიოდური	1	66%	LED - შუქდიოდური	1	82%
LED Slim Panel	1	18%	LED Slim Panel	1	22%
ოთახი - კიბის უჯრედი 2			დერეფანი		
ლუმინისცენტური	2	28%	ლუმინისცენტური	7	9%
LED - შუქდიოდური	1	44%	LED - შუქდიოდური	4	15%
LED Slim Panel	1	12%	LED Slim Panel	4	4%

ცხრილ 16-ის მაჩვენებლებით დასტურდება, რომ საანგარიშო განათების ნაკადის პროცენტული გადახრა [5] შესაძარებელ ვარიანტებში ყველაზე ნაკლებია შუქდიოდური პანელის PHILIPS SmartBright Slim Panel დანერგვის შემთხვევაში, და აკმაყოფილებს ევროპული სტანდარტის მოთხოვნებს [41,55,56].

ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმივის უზრუნველყოფის მეოთხე პირობის შესრულების შესამოწმებლად პროგრამული პროდუქტი

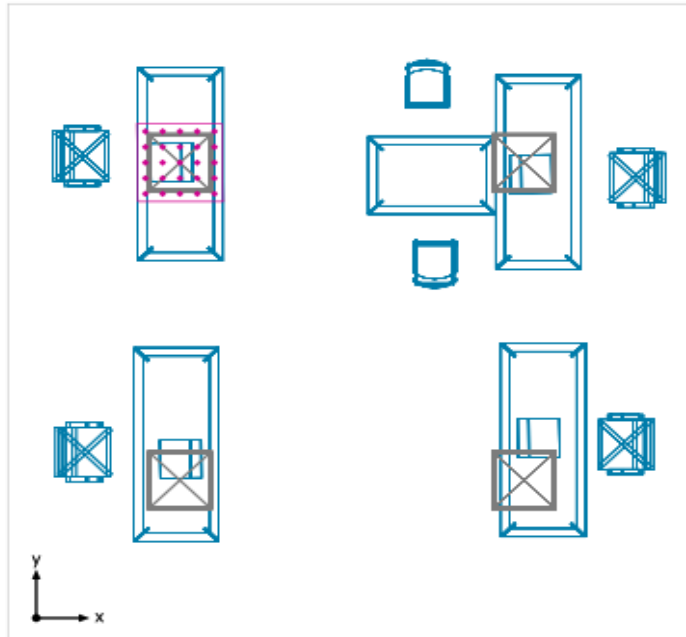
DIALUX-ის გამოყენებით ჩატარდა დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიში. ანგარიშის საწყისი ინდორმაცია და შედეგები შეტანილია ცხრილ 18,19-ში და ნაჩვენებია ნახაზი 41,42-ზე.

ცხრილი 17. შენობის ერთ-ერთი ოთახის საწყისი ინფორმაცია

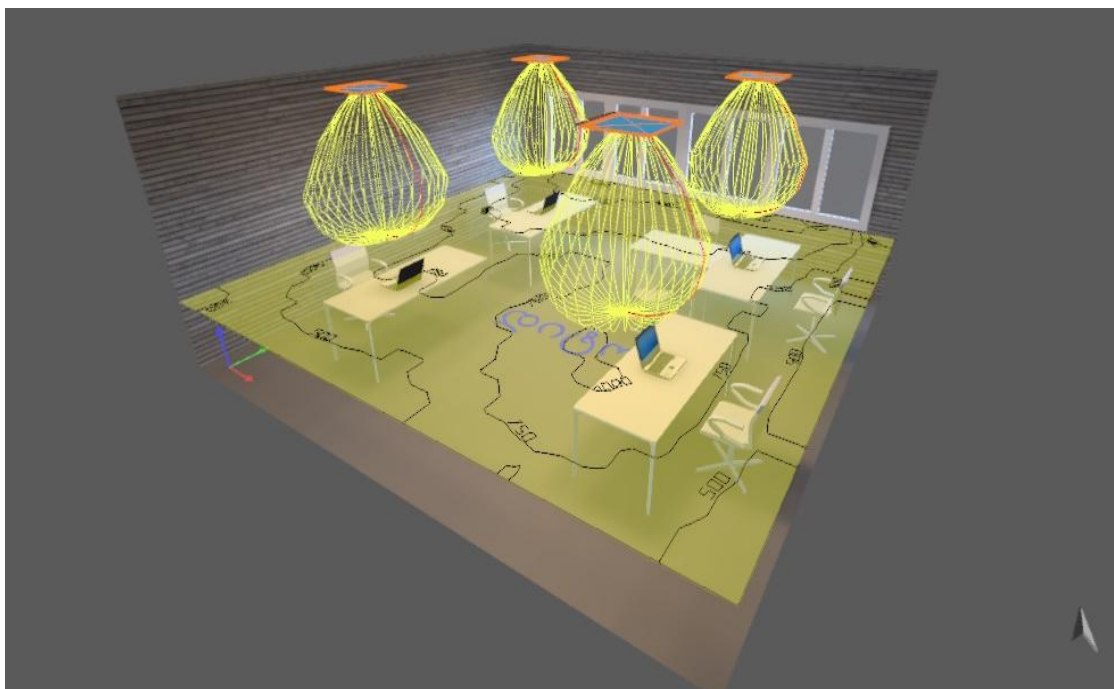
სანათის ტიპი	ოთახის სიგრძე	ოთახის სიგანე	ოთახის სიმაღლე	S - ოთახის ფართობი m <sup>2</sup>	ბუნებრივი განათების შესაძლებლობა	განათების სისტემაში სანათების რაოდენობა	ერთი ნათურის შუქის ნაკადი
LED Slim Panel	6.47	6.58	2.80	42.57	+	4	3400

ცხრილი 18. სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის ხელოვნური განათების დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიშის საწყისი ინფორმაცია

სიკაშკაშის შეფასება UGR-ის მიხედვით											
ρ Ceiling		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
ρ Walls		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
ρ Floor		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Room size X	Y	Viewing direction at right angles to lamp axis					Viewing direction parallel to lamp axis				
2H	2H	15.1	16.2	15.4	16.5	16.7	16.0	17.2	16.3	17.4	17.6
	3H	15.9	17.0	16.2	17.2	17.5	16.7	17.7	17.0	18.0	18.2
	4H	16.4	17.3	16.7	17.6	17.9	17.0	18.0	17.4	18.3	18.6
	6H	16.9	17.8	17.3	18.1	18.4	17.4	18.3	17.7	18.6	18.9
	8H	17.1	18.0	17.5	18.3	18.6	17.6	18.4	17.9	18.7	19.1
	12H	17.3	18.1	17.7	18.4	18.8	17.7	18.6	18.1	18.9	19.2
4H	2H	15.4	16.4	15.8	16.7	17.0	16.2	17.2	16.5	17.5	17.7
	3H	16.5	17.3	16.8	17.6	17.9	17.2	18.0	17.5	18.3	18.6
	4H	17.1	17.8	17.5	18.2	18.5	17.7	18.4	18.1	18.7	19.1
	6H	17.8	18.4	18.2	18.8	19.2	18.2	18.8	18.6	19.2	19.6
	8H	18.1	18.7	18.6	19.1	19.5	18.5	19.1	18.9	19.5	19.9
	12H	18.4	18.9	18.8	19.3	19.7	18.7	19.2	19.2	19.7	20.1
8H	4H	17.4	17.9	17.8	18.3	18.7	17.9	18.5	18.3	18.9	19.3
	6H	18.3	18.7	18.7	19.2	19.6	18.6	19.1	19.1	19.5	20.0
	8H	18.7	19.1	19.2	19.5	20.0	19.0	19.4	19.5	19.9	20.3
	12H	19.0	19.4	19.5	19.9	20.4	19.4	19.7	19.8	20.2	20.7
12H	4H	17.4	17.9	17.8	18.3	18.8	17.9	18.4	18.4	18.8	19.3
	6H	18.4	18.8	18.8	19.2	19.7	18.7	19.1	19.2	19.6	20.0
	8H	18.8	19.2	19.3	19.7	20.2	19.1	19.5	19.6	20.0	20.5
Variation of the observer position for the luminaire distances S											
S = 1.0H		+0.3 / -0.4					+0.4 / -0.5				
S = 1.5H		+0.6 / -1.0					+0.8 / -0.9				
S = 2.0H		+1.4 / -1.1					+1.6 / -1.5				
Standard table		BK05					BK04				
Correction Summand		-0.1					0.0				
Corrected glare indices referring to 3400 lm Total luminous flux											



ნახაზი 38. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის ხელოვნური განათების დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიშის საწყისი ინფორმაცია



ნახაზი 39. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის თანამედროვე ხელოვნური განათების შუქის ნაკადის 3D ვიზუალიზაცია.





**ნახაზი 40. პროგრამული პროდუქტი DIALUX-ის მეშვეობით სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობის ერთ-ერთი ოთახის ხელოვნური განათების დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებლის ანგარიშის შედეგები.**

როგორც ნახაზი 40-დან ჩანს დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებელი ( $UGR \leq 19$ ) შემოთავაზებული შუქდიოდური პანელის PHILIPS SmartBright Slim Panel დანერგვის შემთხვევაში მისაღებია და მისი მნიშვნელობა ნორმის ფარგლებშია [44,49,51].

სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოვი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმივის შედარებითი ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრილ 19-ში.

**ცხრილი 19. სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის შენობაში ხელოვნურ განათების სისტემების დანერგვის შედეგების შედარებითი ანალიზი**

	სტანდარტებით მოთხოვნილი ნორმა	არსებული Philips TL-D 18W	შემოთავაზებული PHILIPS RC091V Led Slim Panel
წდშ	→max	.0 ლარი	1,119,539 ლარი
რაოდენობა N	← min მოთხოვნილი პარამეტრების შენარჩუნებით	880	608
საანგარიშო განათების ნაკადის გადახრა $\Delta \Phi$	-10%;20%	9-41%	4-20%
დისკომფორტის განზოგადებული მაჩვენებელი UGR	$UGR \leq 19$	>22-28	$\leq 19$

ცხრილ 19-ში ასახული მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ სს ენერგო-პრო ჯორჯიას სათაო ოფისის ხელოვნურ განათებაში შემოთავაზებული ენერგოდამზოგი სისტემის PHILIPS SmartBright Slim Panel დანერგვა აკმაყოფილებს ოპტიმალურობისადმი წაყენებულ ყველა მოთხოვნას. შესაბამისად გადაწყვეტილია მისი დანერგვის დაგეგმვის ამოცანა.

## დასკვნები

1. მეცნიერული კვლევის საფუძველზე, შეფასებულია ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა. პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით ჩატარებული კვლევებით განსაზღვრულია საქართველოს სახალხო მეურნეობის დარგებში, საყოფაცხოვრებო მომსახურებაში და გარე განათებაში, ხელოვნური განათების მაღაეფექტიანი ტექნოლოგიების გამოყენების მიზანშეწონილობა და ნაჩვენებია ამ ტექნოლოგიების დიდი ეკონომიკური და ტექნიკური უპირატესობები;
2. სიღრმისეულად არის შესწავლილი ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მსოფლიო პრაქტიკა, დადგენილია ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორები და მეცნიერული კვლევის საფუძველზე შერჩეულია ეფექტიანობის განმსაზღვრელი კრიტერიუმი;
3. კრიტერიალური მოთხოვნებიდან გამომდინარე, ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით, ჩამოყალიბებულია ეფექტიანობის შეფასების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი და ანგარიშის ალგორითმი;
4. ჩატარებული კვლევების შედეგების მიხედვით შემუშავებულია ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ერთიანი მეთოდიკა, იგი ატარებს უნივერსალურ ხასიათს. ამ მეთოდიკით შესაძლებელია ახლად აშენებულ ობიექტებზე, სხვადასხვა სფეროებში და არსებული სისტემების რეკონსტრუქცია-მოდერნიზაციაში, ახალი თანამედროვე

ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის სრულყოფილი შეფასება;

5. ხელოვნურ განათებაში ახალი თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების შემოთავაზებული მეთოდიკა საფუძვლად დაედო განათების სისტემების ოპტიმალური დაგეგმვის ამოცანის გადაწყვეტას. ხელოვნური განათების სისტემების ოპტიმალური დაგეგმვის მსოფლიო გამოცდილების გათვალისწინებით პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით, ღრმა მეცნიერული კვლევის საფუძველზე ფორმირებული იქნა დაგეგმვის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი, რომელიც ატარებს მრავალფაქტორიან ხასიათს. განათების ობიექტზე დასაწერი ენერგოდამზოგი სისტემის ეფექტიანობის ძირითად პირობასთან ერთად ითვალისწინებს სანათების რაოდენობის და მათი განლაგების ოპტიმიზაციას, განათებულობის გადახრის და დისკომფორტის კოეფიციენტის ევროპული სტანდარტების დაცვას;
6. ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია ანგარიშის ალგორითმი და შემოთავაზებულია მისი რეალიზაცია Excell-ის და DIALux-ის პროგრამული პროდუქტების გამოყენებით;
7. ფორმირებულია ხელოვნურ განათებაში თანამედროვე ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების და განათების სისტემების დანერგვის ოპტიმალური დაგეგმვის ერთიანი მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას იძლევა კომპლექსურად შეფასდეს ხელოვნური განათების დანერგვის ეფექტიანობა და სწორად განისაზღვროს მისი დაგეგმვა-განვითარების პერსპექტივები.
8. კვლევის შედეგების პრაქტიკული რეალიზაცია განხორციელებულია საქართველოს რკინიგზის გარე განათების ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეფექტიანობის

შეფასებაში და სს ენერგო-პრო ჯორჯიას ოფისში ახალი თანამედროვე ხელოვნური განათების სისტემის ოპტიმალური დაგეგმვის მაგალითზე. დადგენილია გატარებული ღონისძიების მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობა.

9. პროგრამული პროექტების Excell და DiaLux მეშვეობით ჩატარებული ანგარიშით დასტურდება, რომ შემოთავაზებული მეთოდიკით სრულყოფილად არის შესაძლებელი ხელოვნური განათების სისტემის ოპტიმალური დაგეგმვა და ამჟამად მოქმედ ხელოვნური განათების სისტემის ჩანაცვლება მაღალეფექტური ენერგოდამზოგი სისტემით. ამ ღონისძიებების გატარებით ნებისმიერი ორგანიზაცია მიიღებს მაღალი ხარისხის თანამედროვე სტანდარტების შესაბამის ხელოვნურ განათებას, და მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს.

10. საქართველოში ხელოვნური განათების სისტემის ეფექტიანობის ასამაღლებლად ქვეყანაში უნდა ჩატარდეს ამ სისტემის სრული მოდერნიზაცია, საკანონმდებლო დონეზე უნდა განესაზღვროს თითოეულ ორგანიზაციას ხელოვნური განათების მაღალეფექტიანი სისტემის დანერგვის ვალდებულებები. ხელოვნური განათების სისტემის სრული მოდერნიზაციის შემთხვევაში შესაძლებელია ქვეყანამ ყოველწლიურად მიიღოს ერთ მილიარდ კვტ/სთ-ზე მეტი ელექტროენერჯის ეკონომია.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. მაღალდაძე ე. - <http://liberali.ge/articles/view/3134>
2. ჯაფარიძე დ., მუსელიანი თ. - საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ელექტროენერგიაზე ხარჯების ეკონომიის მართვის კომპლექსური სისტემის შემუშავება და დანერგვა. 2015.
3. გ. მუხიგულიშვილი, თ. კვარაცხელია - ენერჯის განახლებადი წყაროები და ენერგოეფექტურობა. გვ. 31-40.
4. ჯაფარიძე დ., გიორგიშვილი ნ., ბიჭიაშვილი ი. ენერგოდაზოგვის მართვის საერთაშორისო გამოცდილება და მისი დანერგვის პერპექტივები საქართველოში. "ბიზნეს ინჟინერინგი", 2016, #4. გვ.157-162.
5. [www.school639.spb.ru](http://www.school639.spb.ru) - Мировой опыт энергосбережения
6. [www.energsvet.ru](http://www.energsvet.ru) - Опыт стран Европы и Азии в энергосбережения
7. Тульчинская Я. И. Методика оценки эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие. «Нефтегазовое дело», 2012, № 4, сс. 570-588.
8. Малафеев О. Ю. - Повышение энергетической эффективности систем освещения в секторах потребления и электротехнических комплексах. - ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева], 2017, сс. 8-17.
9. Еронина М. В., Филиппов В. А. Разработка комплекса энергосберегающих мероприятий образовательных учреждений. - Международный научный журнал «Символ Науки» №3, 2016, сс. 26-38.
10. Вагин Г. Я., Солнцев Е.Б., Малафеев О. Ю. "Оценка характеристик систем освещения" Вестн. самар. гос. техн. ун-та. сер. технические науки. 2016, № 3 сс. 78-98.
11. Малафеев О.Ю., Вагин Г.Я., Солнцев Е.Б., Шевченко А.С. – "Методика экономического ранжирования осветительных приборов на основе «совокупной стоимости владения» - Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона» N2 ч.2, 2015, сс. 33-45.

12. Кузнецов А. В. - "Основы энергосбережения" - «Ульяновский государственный технический университет» работа подготовлена на кафедре «Электроснабжение», 2016 УДК 621.317.78 (076). сс. 2-27.
13. Терентьев П.В., Вагин Г.Я., Солнцев Е.Б., Малафеев О.Ю. - Методика экономического выбора осветительных приборов на основе «стоимости жизненного цикла» - «Инженерный вестник Дона» 2015, №2-2/36, сс. 1-10.
14. Mishin D. - "Evaluation and comparison of cost-effectiveness of introducing modern forms of lighting" – Журнал Транспортное дело России, Выпуск 2011, №12, сс. 9-11.
15. Uask E. - "Study to evaluate the effectiveness of lighting system by using LED technology in Commercial buildings" - Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, Sweden 2012, pg. 15-22
16. Carney M.J., Venetucci P., Gesick E. - "LED Lighting in Controlled Environment" - Minnesota Department of Commerce, Division of Energy Resources, August 2015 (Revised May 2016), pg. 20-46
17. Office of Environment and Heritage Department of Premier and Cabinet Sydney - Energy efficient lighting Technology report - <https://www.environment.nsw.gov.au/> Second edition. 2014.
18. Дасковский Вадим Борисович - "Совершенствование оценки эффективности инвестиций" – "Экономист" 2009, N1, сс. 43-56.
19. კახაძე ვ., "ხელოვნური განათების ენერგოდამზოვი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობის ანგარიშის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელის შემუშავება და აპრობაცია" - ქუთაისი: აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის მოხსენებების კრებული. 2018წ. გვ.74-77.
20. <https://yearbook.enerdata.net/> - Global Energy Statistical Yearbook 2018
21. СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1) - Естественное и искусственное освещение <http://docs.cntd.ru/document/871001026>
22. <https://www.statista.com> - Goldman Sachs Statista სააგენტოს ვებ გვერდი.

23. <https://www.idtechex.com/> - OLED Lighting Opportunities 2017-2027 Forecasts, Technologies, Players
24. <http://www.lightingmedia.ru> - OLED-освещение
25. <http://tes73.ru/osveshchenie/osveshchenie-budushchego> - Освещение будущего
26. <https://www.lgchem.com>
27. [https://en.wikipedia.org/wiki/Field-induced\\_polymer\\_electroluminescent\\_technology](https://en.wikipedia.org/wiki/Field-induced_polymer_electroluminescent_technology) - (FIPEL) ტექნოლოგია
28. [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_nanotube](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_nanotube) - CNT (Carbon Nanotube-Based Lights)
29. <https://www.osram.com> - Laser light for headlights
30. <https://ru.wikipedia.org> - Индукционная лампа
31. <http://elektrik.info> - Преимущества индукционной лампы
32. [www.nf-lights.co](http://www.nf-lights.co) - Induction lighting
33. <http://ru.knowledgr.com> - Гибридное солнечное освещение
34. <http://www.solatube.su> - LED-Solar (helio HSL)
35. <https://en.wikipedia.org/wiki/Li-Fi> - Li-Fi ტექნოლოგიის აღწერა
36. <http://www.railway.ge/> - საქართველოს რკინიგზის ოფიციალური ვებ გვერდი
37. <http://www.lighting.philips.com> - კომპანია Philips-ის განათების სისტემების ოფიციალური ვებ გვერდი
38. <http://www.lumen2b.ru> - Мировой рынок освещения. Аналитика и перспективы
39. <https://tenders.procurement.gov.ge> - სახელმწიფო შესყიდვების სააგენტოს ოფიციალური ვებ გვერდი
40. Соболев Е. В., Е. Подденежный Н. - "Многофакторный метод расчета электрического освещения с применением светодиодных источников



света" - Электротехника и энергетика - Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь - УДК 628.93. сс. 49-55.

41. [http://www.ageta.lt/app/webroot/files/uploads/filemanager/File/info/EN\\_12464-1.pdf](http://www.ageta.lt/app/webroot/files/uploads/filemanager/File/info/EN_12464-1.pdf) - European Lighting Standard EN12464-1
42. <https://www.dial.de> - DIALux - Расчет и проектирование освещения [Электронный ресурс]
43. ჯაფარიძე დ., კახაძე ვ. - "ხელოვნურ განათებაში ენერგოდამზოგი საშუალებების დანერგვის ეკონომიკური ეფექტიანობის ანგარიშის ალგორითმის შემუშავება და პრაქტიკული რეალიზაცია". "ენერჯია", 2018, N1(89) , გვ. 5-15.
44. Айзенберг Ю.Б. «Справочная книга по светотехнике» - 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Знак, 2006. сс. 49-55.
45. Гончаров А.Д., Туев В.И. - Универсальный метод расчета коэффициента использования светового потока осветительных приборов - ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ - Доклады ТУСУРа, том 20, № 2, 2017 - УДК 628.987, сс. 55-59.
46. <https://ru.wikipedia.org> - Коэффициент естественной освещённости
47. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
48. Изменения в СНиП 23-05-95 разрешающие широкое применение светодиодной техники в системах освещения
49. Леонтьева Ю. Н., Вознесенская Е. С. "Расчет коэффициента естественной освещенности при боковом освещении помещения" - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2007, сс. 1-12.
50. Шулаева О.С., Яковлев В.И. "Исследование характеристик современных светильников на примере жилого комплекса" - Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого - Кафедра "Электрические системы и сети" - 2017 г, сс.89-98.
51. Tyukhova Y.I. "Discomfort glare from small, high luminance light sources in outdoor nighttime environments", University of Nebraska – Lincoln,

2015, pg. 20-35

52. Buildings and structures. Methods for determining unified glare rating in interior lighting - Метод определения показателя дискомфорта при искусственном освещении помещений; ГОСТ 33392-2015; Дата введения 1 апреля 2016 года.
53. <http://lamptest.ru>
54. [www.energo-pro.ge](http://www.energo-pro.ge) - სს ენერგო-პრო ჯორჯიას ოფიციალური ვებგვერდი
55. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
56. Изменения в СНиП 23-05-95 разрешающие широкое применение светодиодной техники в системах освещения.
57. ჯაფარიძე დ., კახაძე ვ. ხელოვნური განათების თანამედროვე სისტემების ეფექტიანობის შეფასება და დანერგვის პერსპექტივები საქართველოში. "ბიზნეს-ინჟინერინგი", 2018, N1-2, გვ. 142-149.