

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ქეთელაური

შენობის და თბოაგრეგატის თბური დიაგნოსტიკა და  
ენერგოეფექტურობა

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

სადოქტორო პროგრამა ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი 0405

თბილისი

2015წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის  
თბო და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი ომარ კიდურაძე

რეცენზენტები: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

დაცვა შედგება 2015 წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის

სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,

კორპუსი VIII, აუდიტორია №123

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი, პროფესორი

გ. ხელიძე

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალურობა.** მსოფლიოში არსებულ გლობალურ პრობლემებში განეკუთვნება წიაღისეული ენერგორესურსების მარაგის შემცირებით გამოწვეული ენერგეტიკული კრიზისი და გარემოს ეკოლოგიური დაბინძურებით მიღებული გლობალური დათბობის პროცესი.

ეკოლოგიურად სუფთა განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების, წყლის რესურსების შენარჩუნების, ეკოლოგიურად სუფთა სამშენებლო მასალებით სარგებლობის და ადამიანების ცხოვრების გარემოს ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემების ცალკეული ასპექტების ცოდნა საკმარისი არ არის. რეალური ენერგოდაზოგვის მისაღებად აუცილებელია სისტემური მიდგომის საფუძველზე შენობის, თბოაგრეგატების და სხვა გარემომცველი გარემოს ეკოლოგიური და ენერგეტიკული მდგომარეობის კომპლექსურად შესწავლა.

სამშენებლო ინდუსტრია ერთ-ერთი მსხვილი ენერგომომხმარებელია, ამიტომ შენობების სითბო-სიცივით მომარაგება, ენერგოეფექტური და ეკოლოგიური ღონისძიებების გატარებით, განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს და აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

შენობის ფორმა, ზომები და ორიენტაცია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შენობის გათბობაზე და გაგრილებაზე მოხმარებული ენერჯის სიდიდეზე. შედეგად აღნიშნული პარამეტრების ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა ენერგეტიკული და ეკოლოგიური თვალსაზრისით აქტუალურია.

თბოაგრეგატების ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში, საქვაზე აგრეგატებს შეიძლება გააჩნდეთ გარკვეული დეფექტები, რომლებიც იწვევენ დანადგარის ეკონომიურობისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან გაუარესებას. დეფექტების ერთი ნაწილი აისახება უხეირო პროექტით ან ცუდად შესრულებული მონტაჟით, ხოლო მეორე ნაწილი – მოწყობილობათა ექსპლუატაციის დაბალი დონით. დეფექტების სრული გამოვლენა შესაძლებელი ხდება მხოლოდ თბოაგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე. თბოაგრეგატების თბური გამოცდის ექსპერეს მეთოდის

დამუშავება აქტუალურია როგორც ენერჯის დაზოგვის კუთხით, ასევე აგრეგატების უსაფრთხო მუშაობის უზრუნველსაყოფად.

პრაქტიკაში ადგილი აქვს შენობის გათბობის ისეთი რეჟიმებსაც (ხელოვნურად ან ავარიის შედეგად), როცა სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურა დროის გარკვეულ პერიოდში ნაკლებია ვიდრე მისი ნორმატიული მნიშვნელობა (გათბობის პროცესი “წყვეტილი” რეჟიმით). გათბობაზე დახარჯული ენერჯის მინიმზაციის მიზნით აქტუალურია გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა.

თბოტექნიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია შენობების გარე შემომზღუდი კედლების, თბოსაიზოლაციო ფენის სისქის, სამშენებლო მასალის თბოიზოლაციის ხარისხის შეფასება და შესწავლა. ცნობარებში ძირითადად მოცემულია მშრალი მასალების თბოფიზიკური თვისებები, მაშინ როცა მათ შეიძლება მუშაობა მოუწიოთ არასტანდარტულ პირობებში. ამიტომ შენობების კედლების თერმული წინაღობების გაზომვა საექსპლუატაციო პირობებში (ობიექტის შესწავლის და რეაბილიტაციის შემდეგ მონიტორინგის დროს) აქტუალურია.

#### **სამუშაოს მიზანია:**

- ენერგოეფექტური შენობების პროექტირებისა და მშენებლობის დროს რეკომენდაციების შემუშავება შენობის ენერგომომარაგებისათვის საჭირო ენერგორესურსების უფრო ეფექტურად გამოყენების მიმართულებით.
- დასმული ამოცანის მიხედვით შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ისე შერჩევა, რომ მაქსიმალურად იქნეს გამოყენებული შენობის თბურ ბალანსზე გარემო კლიმატის დადებითი ზემოქმედება და ნეიტარლიზება უარყოფითი ზემოქმედების.
- გათბობის სპეციფიკური „წყვეტილი“ რეჟიმის სტადიების მართვის მეთოდის დამუშავება გათბობის სეზონზე დახარჯული ენერჯის მინიმზაციის მიზნით.
- თბოაგრეგატების თბური გამოცდის ექსპრეს მეთოდის დამუშავება, სამშენებლო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარის შექმნა და ნიმუშების გამოკვლევა.

- შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** კვლევის ობიექტს წარმოადგენს სამშენებლო ინდუსტრია, მასში მიმდინარე თბური პროცესებით (თბომომარაგება), კონკრეტულად ენერგოეფექტური შენობები, ბაგა-ბადები, უმაღლესი სასწავლებელი და სხვა. კვლევებისათვის გამოყენებული იყო საკვლევი ობიექტებისადმი სისტემური მიდგომის პრინციპი, ოპტიმიზაციისა და ინოვაციური მეთოდები.

ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების შერჩევის დროს პრიორიტეტი მიენიჭა ისეთ ტექნიკურ გადაწყვეტებს, რომლებიც ერთდროულად ხელს შეუწყობს როგორც შენობის მიკროკლიმატის, ასევე, იმავდროულად გარემოს დაცვის გაუმჯობესებას.

#### **ნაშრომის მეცნიერული სიახლე და ძირითადი შედეგები**

1. გათბობის სეზონში სათბობ-ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიის მიზნით შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდის გამოყენებით ბაგა-ბადის ტიპური შენობის მაგალითზე ჩატარებული გამოკვლევებით დადგინდა შენობის ოპტიმალური ზომები, რაც გათბობის დადგმული სიმძლავრის 31 %-ით შემცირებას განაპირობებს. ახალი შენობების პროექტირების დროს აღნიშნული გამოცდილების გათვალისწინება ენერჯის დაზოგვის მნიშვნელოვან წყარო იქნება.
2. დამუშავებულია თბოაგრეგატების თბური გამოცდის ექსპრეს მეთოდი. ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის გათბობის წყალგამაცხელებელი ბოილერების სექსპლუატაციო გამოცდა. დადგენილი იქნა მათი მუშაობის რეჟიმული რუკები, რამაც გამოიწვია აგრეგატების მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდა 87,8%-დან 93,5%-დე. გამოცდების დროს გამოყენებული იყო ნამწვი გაზების ანალიზატორი TESTO 335 და ლაზერული თერმომეტრები.
3. შექმნილია სამშენებლო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარი და გამოკვლეულია სამშენებლო ინდუსტრიაში ფართოდ გამოყენებული მასალები.
4. შესწავლილია შენობის გათბობის „წყვეტილი რეჟიმის“ სტაციონარული, გაგრილების, მინიმალური ტემპერატურის და ინტენსიური გათბობის პერიოდების კანონზომიერებები. დადგენილია, რომ ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმუმაცია მიიღწევა სითბოს წყაროს მთლიანი დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით.

5. დამუშავებულია შენობის სახურავის თბური გაანგარიშების მეთოდიკა რომელის საშუალებითაც შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული ამოცანისათვის საჭირო თერმული წინაღობის უზრუნველსაყოფად თბოიზოლაციის ოპტიმალური სისქის დადგენა.

**შედეგების გამოყენების სფერო.** სამუშაოში მიღებული შედეგები შესაძლებელია ფართოდ იქნეს გამოყენებული სამშენებლო ინდუსტრიაში: ენერგოეფექტური მრავალფუნქციური შენობების პროექტირებაში; შენობების ფორმის, ზომის, ორიენტაციის, შემომზღუდი კედლების და სასხვენო გადახურვების ოპტიმალური კონსტრუქციების დამუშავებაში; სითბო-სიცივით მომარაგების ენერგოეფექტური და ეკოლოგიური პროექტების შექმნაში. ასევე, დამუშავებული თბოდანადგარების ეფექტურობის შეფასების ექსპრეს მეთოდი ფართოდ შეიძლება გამოყენებული იყოს აგრეგატების მუშაობის დიაგნოსტიკისათვის.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენების სახით წაკითხულ იქნა შემდეგ სემინარებზე და სამეცნიერო-ტენიკური კონფერენციებზე: საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ 2015 ქუთაისი; სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თბო და ჰიდროენერგეტიკის სექცია. სტუ 2015 თბილისი; თეორიული / ექსპერიმენტული კვლევა / კოლოქვიუმი-3 სტუ (2014წ); აკადემიკოს ვახტანგ გომელაურის დაბადების 100 წლისათვის მიძღვნილი საიუბილეო სესია „ენერგეტიკა და მართვის პროცესები“ 2014 თბილისი; 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, 2014 თბილისი; თეორიული / ექსპერიმენტული კვლევა / კოლოქვიუმი-2 სტუ (2013წ); USAID Hydropower Investment Promotion Project (HIPP) organized Conference: “Young Engineers in Georgian Energy Sector” on 17 April, 2013 in Georgian Technical University. Tbilisi; მე-2-ე საერთაშორისო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. აკაკი წერეთლის უნივერსიტეტი 2013 ქუთაისი; თეორიული / ექსპერიმენტული კვლევა / კოლოქვიუმი-1 სტუ (2013წ);

**ნაშრომის პუბლიკაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი მასალები გამოქვეყნებულია შვიდ სამეცნიერო სტატიაში.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.** ნაშრომის ტექსტი შედგება შესავლის, ოთხი თავისა და 57 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. ნაშრომი მოცულობა შეადგენს 133 გვერდს ცხრილებისა და ნახაზების ჩათვლით.

## **სამუშაოს მოკლე შინაარსი**

### **თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა**

შენობის ინფილტარაციული და ტრანსმისიული დანაკარგების გათვალისწინებით სხვადასხვა გეოგრაფიულ ადგილებში აგებულ ერთნაირი ტიპის შენობებს განსხვავებული კლიმატური პირობების მიუხედავად უნდა გააჩნდეთ პრაქტიკულად ერთნაირი ხარისხის თბური დაცვა. აქედან გამომდინარე ისეთი კლიმატური ზონისათვის რომლისთვისაც გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა დაბალია შენობის თბური დაცვის მოთხოვნები უფრო მაღალია, ანუ გამოიყენება შემომზღუდი კონსტრუქციები უფრო მაღალი თერმული წინაღობებით.

შენობის გათბობის სისტემის პროექტირების უმნიშვნელოვანეს ეტაპს წარმოადგენს თბოდანაკარგების ანგარიში. გათბობის სისტემის მაქსიმალური სიმძლავრის დასადგენად, რომელიც დაფარავს თბურ დანაკარგებს საჭიროა შენობის თბოდანაკარგების ცოდნა წლის ცივი პერიოდის ყველაზე უფო მკაცრი პირობებისათვის (წლის ყველაზე ცივი ხუთდღიურის საშუალო ტემპერატურა). ენერგოდაზოგვის პრობლემების გათვალისწინებით აუცილებელია აგრეთვე შენობის თბოდანაკარგების განსაზღვრა გათბობის სეზონის მთელი პერიოდისათვის.

შენობის გათბობისათვის თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი  $q_F$  (კვტ.სთ/მ<sup>2</sup>) გათბობის მთელი სეზონისათვის დაყვანილი შენობის სასარგებლო ფართზე -  $F$  (ტექნიკური სართულებისა და ავტოფარეხის გამოკლებით) იანგარიშება ფორმულით:

$$q_F = \frac{Q_{\text{გათბვბ}}}{F}, \quad (1)$$

თბოტექნიკური გაანგარიშებისთვის აუცილებელია შენობების გარე შემომზღული კედლების, თბოსაიზოლაციო ფენის სისქის, თბოიზოლაციის ხარისხის შეფასება და შესწავლა. ტემპერატურული და თბური ნაკადების ყველა გათვლები ტარდება მასალათა თბოფიზიკური თვისებების გათვალისწინებით. ძირითადი მახასიათებლებია: თბოგამტარობა  $\lambda$ , სითბოტევადობა  $c$ , ტემპერატურაგამტარობა  $\alpha$  და სიმკვრივე  $\rho$ . ეს მახასიათებლები ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$\lambda = \alpha c \rho, \quad (2)$$

მიუხედავად იმისა, რომ თბოგამტარობა და ტემპერატურაგამტარობა დაკავშირებულია მარტივი კანონზომიერებით, მათი გაზომვის მეთოდები ფუნდამენტურად განსხვავებულია. თბოგამტარობის განსაზღვრისთვის გამოყენებულია თბური ნაკადის გაზომვის აბსოლიტური ან შედარებითი მეთოდები, ხოლო ტემპერატურაგამტარობის განსაზღვრისთვის საკმარისია მხოლოდ ტემპერატურული მონაცემები.

ექსპერიმენტული მეთოდი ემყარება თბურ განტოლებას, რომლის მიხედვითაც ზოგად შემთხვევაში ტემპერატურა იცვლება დროში და სივრცეში (დროის და კოორდინატების მიხედვით). შიდა თბური წყაროების არ არსებობის დროს თბოგამტარობის ზოგადად განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$



სადაც,  $c_p$  არის ხვედრითი სითბოტევადობა;  $\rho$  - სიმკვრივე;  $T$  - აბსოლუტური ტემპერატურა;  $t$  - დრო;  $\lambda$  - თბოგამტარობის კოეფიციენტი.

თბოფიზიკური თვისებების გაზომვის ისეთ მოდელებში, რომლებიც ეფუძნება რეგულარულ მეთოდებს, ტემპერატურის განაწილება ნიმუშში არ არის დამოკიდებული დროზე. მარტივი გეომეტრიული ფიგურების მქონე ნიმუშებისთვის, განტოლებიდან თბოგამტარობის კოეფიციენტისათვის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\lambda = \frac{Q}{T_1 - T_2} K_f, \quad (4)$$

სადაც,  $Q$  - არის სითბოს რაოდენობა, რომელიც გაივლის ერთეული დროის მონაკვეთში ორი  $T_1$  და  $T_2$  იზოთერმული ზედაპირების მართობულად.  $K_f$  არის

თბოფიზიკური თვისებების გაზომვის საწყის პერიოდში ტემპერატურული ველი დროის მიხედვით იცვლება, არასტაციონალური კანონით. გარკვეული პერიოდის გავლის შემდეგ მომდევნო სტადიებისათვის, საწყისი პირობა (არასტაციონარული პერიოდი) არანაირ გავლენას არ ახდენს პროცესის მიმდინარეობაზე. ზღვარი ამ მეთოდებს შორის დგინდება ფურის კრიტერიუმით:

$$F_0 = at / \delta^2, \quad (5)$$

სადაც,  $t$  - დრო,  $\delta$  - მახასიათებელი ზომა.

არასტაციონალური სტადიისთვის  $F_0 < 0.5$ , ხოლო რეგულარული რეჟიმისათვის -  $F_0 > 0.5$ .

პირველ თავში მოცემულია 1972 წელს მანჩესტერში და 1973 წელს ჰელსინკის ახლოს ოტანიემში აგებული პირველი ენერგოეფექტური შენობების ენერგოდამზოგავი ღონისძიებების ანალიზი. რეალური ენერგოდამზოგვის მისაღებად აუცილებელია სისტემური მიდგომის საფუძველზე შენობისა და გარემომცველი გარემოს ეკოლოგიური და ენერგეტიკული მდგომარეობის კომპლექსურად შესწავლა.

აღნიშნული პროექტების ფარგლებში ენერგოდამზოგი ღონისძიებების შერჩევისათვის გათვალისწინებული იყო რეკომენდაციები შემდეგი მიმართულებით: შენობის ფორმასა და ორიენტაციაში ცვლილება; შენობაზე ქარის ზემოქმედების ოპტიმიზაცია; გარე შემომზლული კედლების თბოდაცვისა და თბოაკუმლაციის თვისებების ამაღლება; თბოსაიზოლაციო ფენის გათვალისწინება; შემინვის ფართის შემცირება; მზისგან დამცავი (ზაფხულში) და მზის რადიაციის სითბოს გამოყენება (ზამთარში) გათბობის სისტემაში.

ფინეთში განხორციელებული პროექტის თავისებურება მდგომარეობდა იმაში, რომ იგი წარმოადგენდა შენობის გარეგნულად ერთნაირ ორ სექციას. ერთი მათგანი აგებული იყო იმ მომენტისათვის (1973წ) არსებული სამშენებლო ნორმების მიხედვით, რომელიც არ ითვალისწინებდა ენერგოდამზოგვის კუთხით ინოვაციურ გადაწყვეტებს, ხოლო მეორე სექციაში გამოყენებული იყო ასეთი ღონისძიებები. თითოეული სექციის ენერგომომხმარების შედარების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ენერგოდამზოგი ღონისძიებების ეფექტურობის შეფასება. შენობის მეორე სექცია აშენდა 1979წელს. პროექტირების დროს ოპტიმალური ენერგოდამზოგი გადაწყვეტების შერჩევა და მახასიათებელი პარამეტრების დადგენა შესაძლებელი გახდა კომპიუტერული მოდელირების გამოყენებით.

თბოაგრეგატებთან დაკავშირებით ექსპლუატაციის გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში საქვაბე აგრეგატებს შეიძლება გააჩნდეთ გარკვეული დეფექტები, რომლებიც იწვევენ დანადგარის ეკონომიურობისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან გაუარესებას. დეფექტების ერთი ნაწილი აისახება უხეირო პროექტით ან ცუდად შესრულებული მონტაჟით, ხოლო მეორე ნაწილი – მოწყობილობათა ექსპლუატაციის დაბალი დონით. დეფექტების სრული გამოვლენა შესაძლებელი ხდება მხოლოდ საქვაბე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე. საქვაბე აგრეგატის თბოტექნიკური საექსპლუატაციო გამოცდის მიზანია: ქვაბის მუშაობის რეჟიმის გამართვა; რეჟიმული რუკის

შედგენა ქვაბის მუშაობის ყველა მახასიათებელი რეჟიმისათვის ოპტიმალური პარამეტრების მითითებით; ცალკეული თბური დანაკარგების გამოვლენა და მათი მინიმუმამდე დაყვანა ან ლიკვიდაცია; საქვაბე აგრეგატის მომსახურე პერსონალის მომზადება მუშაობის სწორი და რაციონალური მეთოდების შემუშავებით.

თბოტექნიკური გამოცდების ჩატარების დროს საქვაბე აგრეგატის მარგი ქმედების კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის გამოიყენება სითბოს პირდაპირი ან არაპირდაპირი ანუ შებრუნებული ბალანსების მეთოდები.

თხევად და აირად სათბობზე მუშაობის დროს შეიძლება ვისარგებლოთ პროფ. მ. რავიჩის მიერ შემუშავებული გამარტივებული მეთოდით, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შედარებით მარტივი გაზომვების საფუძველზე ჩავატაროთ საქვაბე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდა. გამარტივებული მეთოდით სარგებლობა შესაძლებელია მყარი სათბობის გამოყენების შემთხვევაშიც, თუ არასრული მექანიკური წვით სითბოს დანაკარგები არ შეადგენს დიდ სიდიდეს. მ. რავიჩის მეთოდი ეყრდნობა გარკვეული კონსტანტების გამოყენებას, რომლებიც უმნიშვნელოდ იცვლებიან სათბობის წვადი მასის ელემენტარული შემადგენლობის და აგრეთვე მისი ნაცრიანობისა და ტენიანობის მიხედვით.

ზემოთ აღნიშნული საკითხების საფუძველზე მნიშვნელოვანია შენობების და თბოაგრეგატების ენერგოეკონომიკური ანალიზი. ენერგოეფექტურობის შესაძლო ღონისძიებების დასადგენად საჭიროა ინვესტიციების რენტაბელობის ეკონომიკური ბაზის შექმნა. ენერგოეფექტური ღონისძიებების დანერგვის ფარდობითი ეკონომიკური ზემოქმედების დასადგენად ხარჯების საანგარიშო დაზოგვა შედარებულ უნდა იქნას განხორციელების ხარჯებთან. რენტაბელობის გამოთვლის მეთოდები წარმოდგენილია შემდეგი კრიტერიუმების გამოყენებით: უკუგების პერიოდი (PB), წმინდა მიმდინარე ღირებულება (NPV), წმინდა მიმდინარე ღირებულების კოეფიციენტი (NPVQ), შიდა ამოგების განაკვეთი (IRR), ამოგების პერიოდი (PO).

## თავი I I. შენობის თბური ოპტიმიზაცია

შენობის პროექტირების დროს შეიძლება გამოყოფილი იქნეს შემდეგი არქიტექტურული და საინჟინრო გადაწყვეტები:

არქიტექტურული გადაწყვეტები		საინჟინრო გადაწყვეტები	
1.	შენობის ადგილმდებარეობის შერჩევა კლიმატური თავისებურებების, ადგილმდებარეობის რელიეფის და მშენებლობის სავარაუდო რაიონის არსებული განაშენიანების გეგმის მხედვით.	1.	თბომომარაგების წყაროების შერჩევა (მათ შორის არატრადიციული ენერჯის წყაროების: მზის, გეოთერმალური, ქარის და სხვა ენერჯების გამოყენება.
2.	შენობის საერთო არქიტექტურული კონცეფცია	2.	შენობის გათბობის სისტემის, ვენტილაციის და კონდიციონერების სისტემების შერჩევა
3.	შენობის ფორმისა და ორიენტაციის განსაზღვრა	3.	შენობის გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების და მათი მასალების შერჩევა
4.	შენობის შემინვის (ფართობები და განლაგება) და მზისდამცავი სისტემის შერჩევა	4.	შენობის საინჟინრო მოწყობილობების ავტომატიზირებული მართვის სისტემის შერჩევა
5.	გარე მოპირკეთების კონსტრუქციისა და მასალის შერჩევა		
6.	შენობის შიგა სისტემის დაგეგმვა		
7.	განათების სქემის შერჩევა		

შენობაზე ზემოქმედებას ახდენს გარემო პირობები: მზე, ქარი, წვიმა, თოვლი, გარემო ჰაერის ტემპერატურა და სხვა. შენობის პროექტირების დროს საჭიროა გადაიჭრას ამოცანა: საუკეთესოდ გამოყენებული იყოს შენობის თბურ ბალანსზე გარემო კლიმატის დადებითი და მაქსიმალურად ნეიტრალიზებული უარყოფითი ზემოქმედებები. ქარის, მზის რადიაციისა და გარემო ჰაერის ტემპერატურას

ერთობლივი ზემოქმედება სხვადასხვანაირად ორიენტირებულ შენობებზე განაპირობებს შენობის მნიშვნელოვნად განსხვავებულ თბოდანაკარგებს ან

**ცხრილი.1** მზის ჯამური გამოსხივება ვერტიკალურ ზედაპირზე

მზის ღარი	ღარი	ორიენტაცია					
		ჩრდილოეთი		აღმოსავლეთი, დასავლეთი		სამხრეთი	
		მგჯ/(დღე*მ <sup>2</sup> )	* ვტ/მ <sup>2</sup>	მგჯ/(დღე*მ <sup>2</sup> )	ვტ/მ <sup>2</sup>	მგჯ/(დღე*მ <sup>2</sup> )	ვტ/მ <sup>2</sup>
I	31	2.37	27.43	3.83	44.33	7.97	92.25
II	28	3.23	37.38	5.23	60.53	9.17	103.13
III	31	4.23	48.96	7.27	84.14	10.25	118.63
IV	15	5.23	60.53	9.14	105.79	9.94	115.05
XI	15	2.22	25.69	3.82	44.21	8.32	96.30
XI I	31	1.89	21.88	3.03	35.07	7.24	83.80
		465,38 მგჯ/ (გათ.სეზ. მ <sup>2</sup> )	37 ვტ/მ <sup>2</sup> საშ. გათ. სეზ..	937.36 მგჯ/ (გათ.სეზ.მ <sup>2</sup> )	62.35ვტ/მ <sup>2</sup> საშ. გათ. სეზ..	1319.92 მგჯ/ (გათ.სეზ.მ <sup>2</sup> )	102.03ვტ/მ <sup>2</sup> საშ. გათ. სეზ..

თბოშემთვსებას.

შენობის თბოდანაკარგების გაანგარიშებებში მზის რადიაციის გათვალისწინება მოცემულია თბილისის მაგალითზე: გათბობის სეზონისათვის ხუთდღიანი ცივი პერიოდის საანგარიშო ტემპერატურა ტოლია -8°C; საშუალო ტემპერატურა +3.2°C; გათბობის დღეების რაოდენობა 151დღ.დ; 2536.8 გრად.დღე (სათავსის შიგა ჰაერის 20°C ტემპერატურის პირობებში).

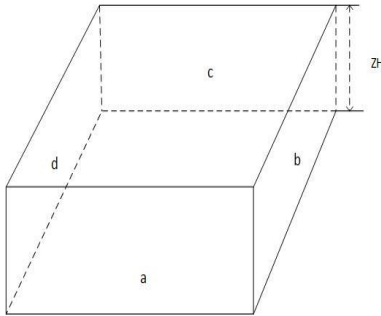
ცხრილ 1-ში მოცემულია ჩრდილოეთის, აღმოსავლეთის, დასავლეთის და სამხრეთის ორიენტაციის მქონე ვერტიკალური ზედაპირის ერთ კვ. მეტრზე (შენობის გარე შემომზღუდი კედელი) მზის ჯამური გამოსხივების ენერჯის საშუალო მნიშვნელობები გათბობის სეზონის თვეების მიხედვით და ასევე ჯამური მნიშვნელობები გათბობის სეზონისათვის.

შენობის ვერტიკალურ კონსტრუქციაზე მზის რადიაციის ზემოქმედების საანალიზოდ აღებულია მართკუთხა ფორმის თბილისში არსებული ტიპური ორსართულიანი საბავშვო ბაღის შენობა საბაზისო ზომებით: სიგრძე – 52მ (გარე შემომზღული კონსტრუქციები A და C); სიგანე – 13მ (გარე შემომზღული კონსტრუქციები B და D ); სიმაღლე – 7მ; გასათბობი ფართი შეადგენს 1352 კვ.მ..

**ცხრილი 2** საბაზისო შენობა ფაქტიური ზომებით 52X13, მზის ინსოლაციის გათვალისწინების გარეშე და მისი გათვალისწინებით

გათბობის საანგარიშო ტემპერატურა	შენობის ორიენტაცია	ხვედრითი თბური დანაკარგი a (52) შემ. კონსტრუქციისათვის q <sub>a</sub> (ვტ/მ²)	ხვედრითი თბური დანაკარგი c (52მ) შემ. კონსტრუქციისათვის q <sub>c</sub> (ვტ/მ²)	ხვედრითი თბური დანაკარგი b (13მ) შემ. კონსტრუქციისათვის q <sub>b</sub> (ვტ/მ²)	ხვედრითი თბური დანაკარგი d (13მ) შემ. კონსტრუქციისათვის q <sub>d</sub> (ვტ/მ²)	გათბობის სიმძლავრე კვტ	გათბობზე ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები q <sub>f</sub> (ვტ/მ²)
1	2	3	4	5	6	7	8
ხუთ დღიანი ცივი პერიოდი -8 °C	ნებისმიერი ორიენტაციით ინსოლაციის გარეშე	96.39	92.44	53.57	53.57	<b>113.97</b>	<b>84.30</b>
	დიაგონალური	64.34	74.57	48.33	50.40	<b>95.03</b>	<b>70.29</b>
	მერიდიანული	72.08	70.00	47.06	51.21	96.14	71.11
	განედური	56.60	79.13	49.59	49.59	93.91	69.46
გათბობის პერიოდი 3.2 °C	ნებისმიერი ორიენტაციით ინსოლაციის გარეშე	60.41	57.93	33.57	33.57	<b>73.10</b>	<b>54.07</b>
	დიაგონალური	28.35	40.05	28.33	30.40	<b>54.16</b>	<b>40.06</b>
	მერიდიანული	36.09	35.49	27.06	31.21	55.28	40.89
	განედური	20.62	44.61	29.59	31.40	53.21	39.36

შენობის ოპტიმალური ზომები გაანგარიშებულია შემდეგი ფორმულით:



“a” და “c” კონსტრუქციის ზომა (მ):

$$a = \sqrt{\frac{F_0 (q_b + q_d)}{Z (q_a + q_c)}} \quad (6)$$

“b” და “d” კონსტრუქციისათვის:

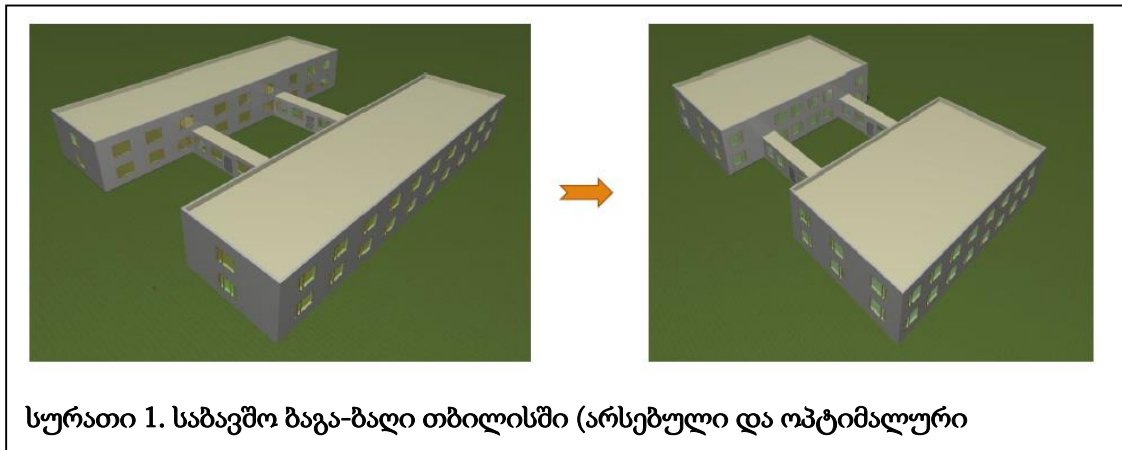
$$b = \frac{F_0}{az} \quad (7)$$

გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური ხვედრითი თბური დანაკარგები:

$$Q_F = \frac{q_{gad} + q_{sax}}{z} + 2 \sqrt{\frac{H^z}{F_0} Z (q_a + q_c)(q_b + q_d)} \quad (8)$$

სადაც  $F_0$  – არის შენობის საერთო ფართი, მ<sup>2</sup>;

$q_a, q_b, q_c, q_d, q_{gad}, q_{sax}$  – მახასიათებელი თბური დანაკარგები, შესაბამისად გარე შემომზღული კონსტრუქციები  $q$  ზომებით  $a, b, c, d$  და გადახურვისა და სახურავით ვტ/მ<sup>2</sup>;  $Z=2$  – სართულების რაოდენობა.



სურათი 1. საბავშვო ბაგა-ბაღი თბილისში (არსებული და ოპტიმალური)

ოპტიმიზაციის შედეგად იცვლება შენობის ზომები, გაანგარიშებით საბაზისო შენობის გვერდების თანაფარდობა 52/13 შეიცვალა 31/23-ით. ასევე მზის დასხივების ანგარიშში გათვალისწინებით მცირდება გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები და შენობის გათბობის დადგმული

სიმძლავრე 31%-ით. კონკრეტულად დადგმული სიმძლავრე  $-8^{\circ}\text{C}$  დროს მცირდება 113.97 კვტ-დან 87.26 კვტ-მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 78.11 კვტ-მდე. გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები შენობის ზომების ოპტიმიზაციით მცირდება 84.30 ვტ/მ<sup>2</sup>-დან 64,54 ვტ/მ<sup>22</sup>-მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 57.77 ვტ/მ<sup>2</sup>-მდე. ანალოგიურად მცირდება  $+3.2^{\circ}\text{C}$  დროს: 73.10 კვტ-დან 56.36 კვტ-მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 46.99 კვტ-მდე. გასათბობ ფართზე დაყვანილი მინიმალური თბური დანაკარგები შენობის ზომების ოპტიმიზაციით მცირდება 54.07 ვტ/მ<sup>22</sup>-დან 41.69 ვტ/მ<sup>22</sup>-მდე, ხოლო ინსოლაციის გათვალისწინებითაც 34.76 ვტ/მ<sup>22</sup>-მდე.

აღნიშნული საბავშვო ბაღის შენობაში 2014 წლის თებერვალში (გათბობის პერიოდი) ჩატარებულია კედლების თერმული წინაღობის შეფასება. გამოყენებული იქნა FLIR-ის თერმული კამერა და ИТП\_МГ4 სპეციალური თბური ნაკადის ელექტრული ხელსაწყო. გაზომილი იქნა თბური ნაკადი, გამოთვლილი იქნა ექსპლუატაციაში მყოფი კედლის თბოგამტარობის კოეფიციენტი  $\lambda$ . და მიღებული იქნა  $\lambda_{კედ} = 1,25$  ვტ/მ<sup>2</sup>\*K, თერმული წინაღობა  $R_{კედ} = 1/8.72 + 0.43/1.25 + 1/24.5 = 0.49$  მ<sup>2</sup>K/ვტ. თბოგადაცემი სიდიდე, რომელიც არის თერმული წინაღობი შებრუნებული სიდიდე, ვლებულობთ:  $U_{კედ} = 1/R = 1/0.49 = 2.04$  ვტ/მ<sup>2</sup>K. შედეგად დამამუშავებელი იქნა ენეროეკონომიკური ანალიზი და რეკომენდირებულია შემომზადებული კონსტრუქციების დათბუნება. დათბუნების ღონისძიების შემდეგ შენობის გარე კედლების თერმული წინაღობა იქნება:

$$R_{კედ} = 1/8.72 + 0.43/1.25 + 0,03/0,035 + 0,02/0,93 + 1/24.5 = 1,38 \text{ მ}^2\text{K/ვტ}$$

$$\text{და თბოგადაცემის სიდიდე: } U_{კედ} = 1/R = 1/1,38 = 0,73 \text{ ვტ/მ}^2\text{K.}$$

აღნიშნული ღონისძიების განხორციელების შემთხვევაში დათვლილია რენტაბელობის კრიტერიუმების შემდეგი მნიშვნელობები: 1. გათბობის პერიოდში (151დღე) ენერჯის დანაზოგი მიაღწევს 82850კვტ.სთ-ს, რომელიც ექვივალენტია 8900მ<sup>3</sup>/წ ბუნებრივი აირის; 2. დათბუნების ღონისძიების ინვესტიცია შეადგენს 33000ლარს; 3. მარტივი უკუგების პერიოდი 4,9 წელი; 4. წმინდა დანაზოგი 6675 ლარი; 5. NPVQ – 1,1; 6. CO<sub>2</sub> ემისის შემცირება 17ტ/წ.



გათბობის “წყვეტილ” რეჟიმს, რომლის პირობებში ენერგიის ხარჯის ოპტიმიზაცია გულისხმობს გათბობის ხარჯის ისეთ მართვას, რომელიც დააკმაყოფილებს შენობის თბური ბალანსის განტოლებას და ცალსახობის გარკვეულ პირობებს. აქტუალურია გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმის ოპტიმიზაციის ამოცანა გათბობაზე დახარჯული ენერგიის მინიმიზაციის მიზნით.

გათბობის “წყვეტილი” რეჟიმი მოიცავს სითბოს მიწოდების და შესაბამისად სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების 4 ერთმანეთთან დაკავშირებულ პერიოდს (ნახ.):

1. სტაციონარული პერიოდი, რომლის დროსაც სათავსში უზრუნველყოფილია სანიტარულ-ჰიგიენური ან ტექნოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისი ნორმატიული თბური მაჩვენებლები (შიგა ჰაერის ტემპერატურა, გარემოში სითბოს დანაკარგები);

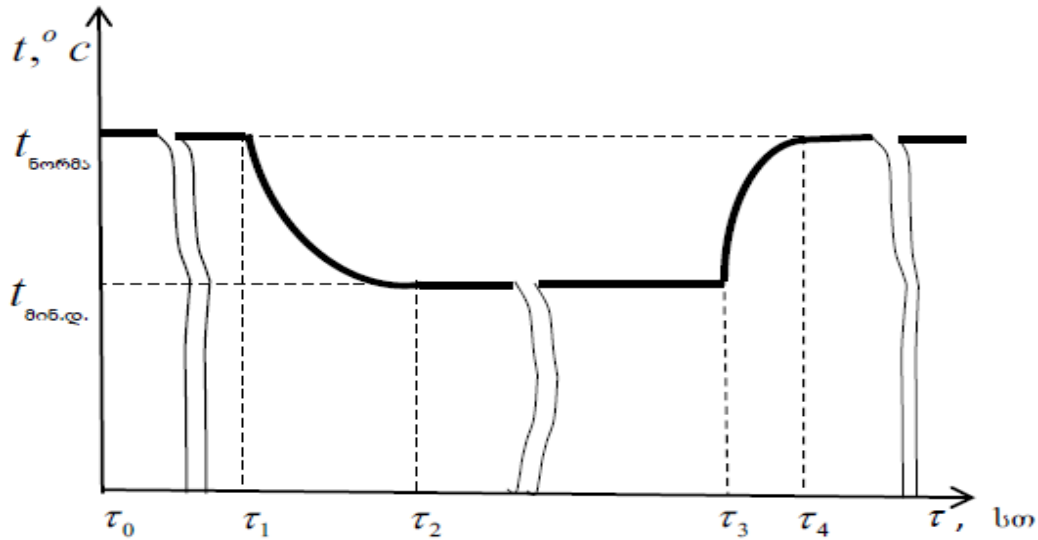
2. გაგრილების პერიოდი- დროის შუალედი, რომლის განმავლობაშიც შიგა ჰაერის ტემპერატურა მცირდება ნორმირებულ მინიმალურ დასაშვებ ტემპერატურამდე;

3. პერიოდი მინიმალური დასაშვები ტემპერატურით (სტაციონარული მდგომარეობა დაბალ ენერგეტიკულ დონეზე);

4. ინტენსიური გათბობის პერიოდი- რომლის განმავლობაშიც შენობის თბური რეჟიმი აღწევს საწყის სტაციონარულ მდგომარეობას ნორმატიული თბური მახასიათებლებით.

$\tau_1$  არის დროის მომენტი როცა ხდება სათავსში სითბოს მიწოდების შემცირება ან შეწყვეტა;  $\tau_2$  -დროის მომენტი საიდანაც იწყება სათავსში ჰაერის მინიმალური დასაშვები ტემპერატურის შენარჩუნება;  $\tau_3$  -დროის მომენტი, როცა იწყება სათავსის ინტენსიური გათბობა;  $\tau_4$  -დროის მომენტი როცა სათავსში მყარდება ჰაერის ნომინალური ტემპერატურა;  $t_{\text{ბ}}$  და  $t_{\text{ბგ}}$  - ნომინალური და სანიტარულ-

ჰიგიენური ნორმებით ან ტექნოლოგიური ნორმებით დასაშვები მინიმალური ტემპერატურები შესაბამისად.



**ნახაზი 1** შიგა ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების სამაგალითო გრაფიკი “წყვეტილი” რეჟიმით გათბობისას

ოპტიმიზაციის ამოცანა გულისხმობს გათბობის ენერჯის ( $E$ ) მინიმიზაციას:

$$E = \int_{\tau_1}^{\tau_4} Q(\tau) d\tau \rightarrow \min \quad (9)$$

ენერჯის მაქსიმალური დაზოგვის კუთხით განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პროცესის მეოთხე პერიოდი. რეკომენდაციების შესამუშავებლად საჭიროა შიგა ჰაერის თბური ბალანსის საფუძველზე ანალიზის ჩატარება.

ინტენსიური გათბობის პერიოდში მიწოდებული სითბო-  $Q(\tau)$  იხარჯება შიგა ჰაერის გათბობაზე-  $Q_{ჰაერი}$  , ჰაერის ინფილტრაციის სითბოს კომპენსაციაზე  $Q_{ინფ.}$  , შემომზღუდი კონსტრუქციების გათბობაზე -  $\sum Q_i$  , შენობის შიგნით მოთავსებულ ავეჯის ან მოწყობილობის გაცხელებაზე -  $Q_{ავეჯ.მოწყ.}$  . შიგა ჰაერის თბურ ბალანს აქვს სახე:

$$Q(\tau) = Q_{\text{კაერი}} + Q_{\text{ინფ.}} + \sum Q_i + Q_{\text{ვექტორული}} \quad (10)$$

ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმიზაცია მიიღწევა ორი ძირითადი პირობის შესრულებით:

1. შენობაში სითბოს მიწოდება საჭიროა სითბოს წყაროს მთლიანი დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით;

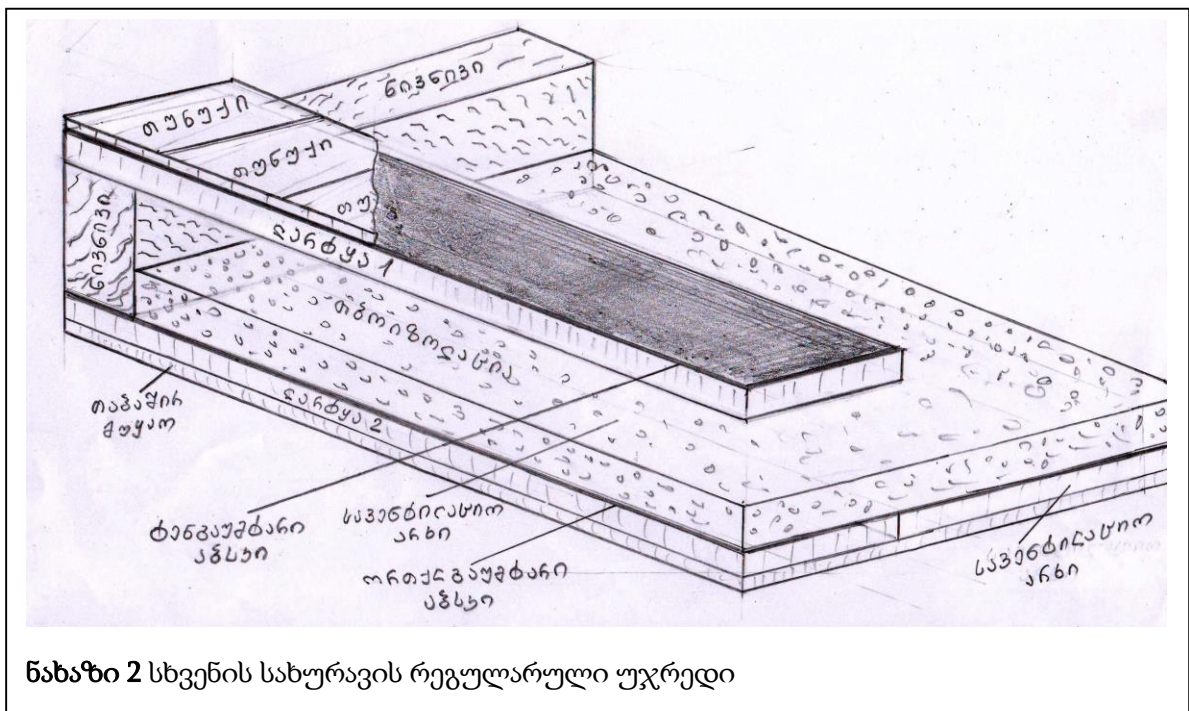
2. ინტენსიური გათბობის პერიოდში საჭიროა გათბობის სისტემის მობილური სქემის ამუშავება ("სწორი" ორგანიზება), რაც გულისხმობს შენობის შიგნით ენერჯის ოპტიმალურ განაწილებას.

საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობების გათბობის სეზონზე სითბოს ხვედრითი ხარჯის მნიშვნელობები მოყვანილა შემდეგ ცხრილში.

<b>ცხრილი 3</b> შენობის გათბობისათვის გათბობის სეზონზე საჭირო თბური ენერჯის ხვედრითი ხარჯი (კვტ.სთ/მ <sup>2</sup> გათ.სეზ.)								
შენობის ტიპი	შენობის სართულიანობა							
	1	2	3	4;5	6;7	8;9	10;11	12 მეტი
საცხოვრებელი შენობები, სასტუმროები, საერთო საცხოვრებლები	ცხრილი ///			120	110	105	100	95
საზოგადოებრივი შენობები (გარდა 3-6)	190	175	160	145	140	135	130	125
პოლიკლინიკები, სამკურნალო დაწესებულებები, ინტერნატები	170	165	160	155	150	145	140	-
სკოლამდელი დაწესებულებები	230			-	-	-	-	-
ადმინისტრაციული დანიშნულების (ოფისები)	165	155	145	125	110	100	90	90

## თავი I I I. შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაამგარიშების მეთოდის

ნაშრომში დამუშავებულია არაერთგვაროვან სისტემაში სითბოს გადაცემის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდის. გამოყენებულია ელემენტარული რეგულარული უჯრედის იზოთერმული და ადიაბატური მკვეთი სიბრტყეებით დაყოფის მათემატიკური მიდგომა. ჩატარებულია საცხოვრისად გამოსაყენებელი სხვენის სახურავის ვარიანტული თბური გათვლები და დაგენილია კონკრეტული პირობებისათვის თბური იზოლაციის სახე და საჭირო სისქე.



ნახაზი 2 სხვენის სახურავის რეგულარული უჯრედი

შენობის სხვენის სახურავის კონსტრუქციის ელემენტების თბური ბალანსების საფუძველზე დამუშავებულია სახურავიდან თბური დანაკარგების ინჟინრული გაანგარიშების მეთოდის ექსელის პროგრამული უზრუნველყოფით. გაანგარიშება ტარდება შემდეგი ალგორითმით: 1.სახურავის ძირითადი ელემენტების და თბოსაი-ზოლაციო მასალის შერჩევა; 2. ცალკეული ელემენტების შეთანწყობის დამუშავება, საიზოლაციო მასალის დატენიანებისაგან (გარე და საცხოვრისის შიგა ტენი) დაცვის გათვალისწინებით (სპეციალური ტენგაუმტარი

და ორთქლგაუმტარი აფსკების გამოყენება); 3. კონსტრუქციის სიმტკიცეიდან გამომდინარე ცალკეული ელემენტების გეომეტრული ზომების და ასევე საჭირო თბოფიზიკური მონაცემების დადგენა; 4. კლიმატური ზონის შესაბამისი სახურავის მოთხოვნილი თბური წინაღობის ნორმის დადგენა; 5. ვარიანტული გათვლების საფუძველზე კონკრეტული თბოსაიზოლაციო მასალის საჭირო სისქის დადგენა, რომელიც დააკმაყოფილებს თბური დაცვის პირობას პუნქტი 4); 6. საჭიროების შეთხვევაში ვარიანტული გამოთვლების ჩატარება სხვადასხვა თბოსაიზოლაციო მასალის გამოყენებით (ოპტიმიზაციის ამოცანა); 7. ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშება კონსტრუქციული გადაწყვეტის ოპტიმალური ვარიანტის დადგენა.

შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების დამუშავებული მეთოდის გამოყენებით ჩატარებულია სანიმუშო გაანგარიშება ელემენტარული რეგულარული უჯრედის მაგალითზე, რომლის ფართობია 0,564მ<sup>2</sup>. საცხოვრისის შიგა და გარე ჰაერის ტემპერატურების მნიშვნელობებია 20°C და -8°C შესაბამისად. თბოგაცემის კოეფიციენტები შიგა ჰაერიდან შიგა კედელზე არის 8,7 ვტ/(მ<sup>2</sup>K), ხოლო გარე ზედაპირიდან გარემო ჰაერზე 23 °C შესაბამისად.

**ცხრილი 4** ჰაერის ელემენტარული უჯრედის ფარგლებში კომპონენტების გეომეტრული და თბური მონაცემები

#	ელემენტის დასახელება	სიმაღლე (სისქე), მმ	სიგანე, მმ	სიგრძე, მმ	ინტერვალი, მმ	თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ <sup>2</sup> /K
1	თუნუქი	0,7	600	940	-	58
2	ტენგაუმტარი აფსკი	1	600	940	-	0,17
3	ლარტყა1	30	200	940	400	0,14
4	ნივნივა	160	90	600	850	0,14
5	ჰაერის ფენა	110	600	850	-	0.15(მK)/ვტ
6	თოიზოლაცია	50	600	850	-	0,035
7	ორთქლგაუმტარი აფსკი	1	600	940	-	0,17
8	ლარტყა2	25	200	940	-	0,14
9	თაბაშირ-მუყაო	10	600	940	-	0,19

ჰაერის ელემენტარული უჯრედის ფარგლებში კომპონენტების გეომეტრული და თბური მონაცემები მოყვანილია ცხრილში. მაგალითისათვის, მოცემული კლიმატური ზონისათვის (ქ.თბილისი) თუ მოთხოვნილია შენობის სახურავისათვის ეფექტური თერმული წინაღობის მნიშვნელობა  $-2 \text{ მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$ , ვარიანტული გათვლებით მისი უზრუნველყოფა შესაძლებელი იქნება 50 მმ სისქის თბოიზოლაციის გამოყენებით რომლის თბოგამტარობის კოეფიციენტი 0,035 ვტ/მ/კ. ასეთ პირობებში ელემენტარული უჯრედის იზოთერმული სიბრტყეებით დაყოფის შემთხვევაში თბოგადაცემის ჯამური თერმული წინაღობამ შეადგინა  $3,42\text{K}/\text{ვტ}$  ( $1,929\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$ ), ხოლო ადიაბატური დაყოფის დროს  $3,76 \text{ K}/\text{ვტ}$  ( $2,121\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$ ). უჯრედის კომბინირებული დაყოფის შემთხვევაში შესაბამისად მიღებულია მნიშვნელობა  $3,53 \text{ K}/\text{ვტ}$  ( $1,99\text{მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$ ). შენობის სხვენის სახურავის ეფექტური თბოგადაცემის კოეფიციენტი ტოლია  $0,5\text{ვტ}/\text{მ}^2\text{C}$ , ხოლო გარემოში სითბოს ხვედრითი დანაკარგები შეადგენს  $14,05 \text{ ვტ}/\text{მ}^2$ .

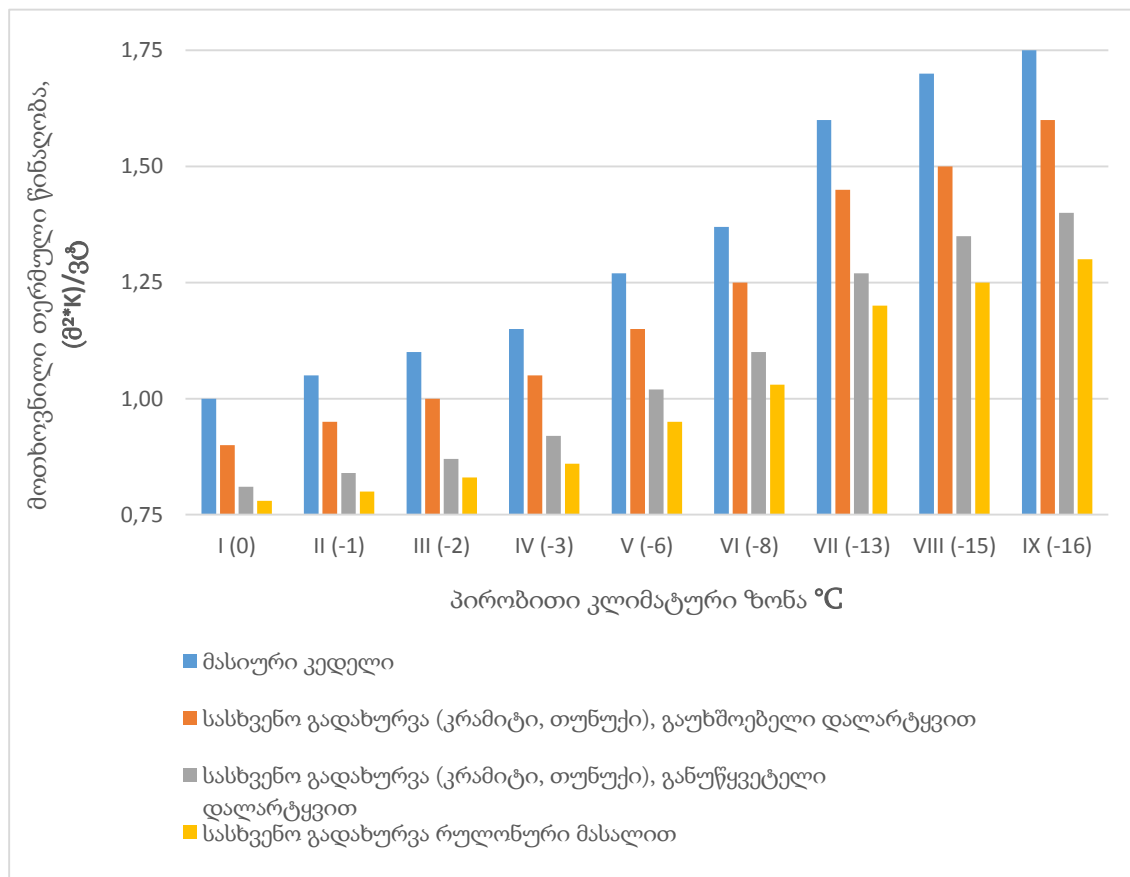
საქართველოს ტერიტორიის დასახლებულ პუნქტებისათვის გათბობისათვის გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა იცვლება ფართო ზღვრებში. გრაფიკ 1-ზე მოცემულია შენობის გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების საჭირო თბოგადაცემის თერმული წინაღობის საორიენტაციო სიდიდეები საქართველოს პირობითი კლიმატური ზონების მიხედვით [25]. I ზონად ჩათვლილია რაიონი, სადაც გათბობისათვის ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა  $0^{\circ}\text{C}$ ; II ზონად-  $-1^{\circ}\text{C}$ ; III ზონად-  $-2^{\circ}\text{C}$ ; IV ზონად-  $-3^{\circ}\text{C}$ ; V ზონად-  $-6^{\circ}\text{C}$ ; VI ზონად-  $-8^{\circ}\text{C}$ ; VII ზონად-  $-13^{\circ}\text{C}$ ; VIII ზონად-  $-15^{\circ}\text{C}$ ; IX ზონად-  $-16^{\circ}\text{C}$ .

განგარიშებები ჩატარებულია შემდეგი პირობებისათვის: სათავსში ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურად შეიძლება მივიღოთ  $22^{\circ}\text{C}$ . ასევე, ტემპერატურული სხვაობა სათავსის ჰაერსა და გარე კედლის შიდა ზედაპირს შორის ( $t_{\text{გ}} - \tau_{\text{გ}}$ ) =  $2.5^{\circ}\text{C}$ ; მასიური კედლისათვის  $m=1$ ; სასხვენო გადახურვის შემთხვევაში (კრამიტი,

თუნუქი) გაუხშობელი დალარტყვით  $n=0.9$  , იგივე უწყვეტი დალარტყვის დროს  $n=0.8$  და სასხვენო გადახურვისას რულონური მასალით  $n=0.75$  .

რადგან აგური მნიშვნელოვნად გამოიყენება შემომზღულ კონსტრუქციებში, შევაფასოთ აგურის კედლის ოპტიმალური სისქე წარმოდგენილი ნორმების მოთხოვნების მიხედვით. გაანგარიშებები აჩვენებს, რომ თბოგადაცემის მოთხოვნილი თერმული წინაღობის უზრუნველსაყოფად, მაგალითად  $R= 1,1; 1,4; 1,8$  ( $m^2 \cdot K$ )/ვტ, რომლებიც შეესაბამება საქართველოს ზოგიერთ კლიმატურ რეგიონს, აგურის კედლის სისქე კერემიკული აგურისათვის უნდა იყოს 0,5; 0,66; 0,85 მ და თიხის აგურისათვის კი 0,77; 0,98; 1,2 მ. შესაბამისად.

**გრაფ.1** კლიმატური ზონების მიხედვით შენობის კონსტრუქციების რეკომენდირებული თერმული წინაღობები



## თავი I V. თბოტექნიკური გამოცდა

ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის საქვების ორი წყლის გამაცხელებელი ბოილერის მუშაობის თბოტექნიკური ანალიზი თბოტექნიკური გამოცდის გამარტივებული მეთოდის გამოყენებით. თბოაგრეგატის ეფექტურობის განსაზღვრისათვის უნივერსალურ საზომ ხელსაწყოს წარმოადგენს ნამწვი



სურათი 2

აირების ანალიზატორი testo 335. წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურისა ( $163\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) და ჰაერის დიდი სიჭარბის კოეფიციენტის ( $\alpha = 1.9$ ) გამო ბოილერი #2 -ის ეფექტურობის კოეფიციენტი  $\eta = 87.8\%$ , რაც ნაკლებია აგრეგატის საპასპორტო მონაცემზე. მიახლოებით ანალოგიური სურათია ბოილერი #1 -ის შემთხვევაშიც.

ბოილერების საბალანსო

თბოტექნიკური გამოცდის საფუძველზე დადგინდა აგრეგატების შედარებით დაბალი ეფექტურობით მუშაობის ძირითადი მიზეზები: წვისათვის საჭირო ჰაერის ფაქტიური რაოდენობის დიდი სიჭარბე (არასწორი თანაფარდობა "ბუნებრივი აირი-ჰაერი"); წვის პროცესის არადაამაკმაყოფილებელი სურათი; წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურა.

ჩატარებული ღონისძიებით, ჰაერის ფარსაკეტის საჭირო დონემდე მიხურვით, რომელიც კონტროლირდებოდა წვის პროდუქტებში ჟანგბადის შემცველობით (ხელსაწყოთი testo 335-ით), დარეგულირდა სათბობის წვის პროცესი მინიმალურად საჭირო პრაქტიკული ჰაერის პირობებში, რამაც გამოიწვია ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის შემცირება (ნორმალურ სიდიდემდე), წარმავალი წვის პროდუქტების რაოდენობის შემცირება და შესაბამისი სითბოს დანაკარგების მინიმიზაცია.



გამართვის სამუშაოების ჩატარების შედეგად შემცირდა: ჰაერის სიჭარბის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა- 1.9 დან 1.2 –დე (ბოილერი№1) და 1.99-დან 1.23-დე (ბოილერი№2); წვის პროდუქტებში ჟანგბადის საშუალო შემცველობა-

**ცხრილი 5** წყალგამაცხელებელი ბოილერის გამართვის შემდეგ წვის პროდუქტების ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზი

ბოილერი №1					ბოილერი №2				
O <sub>2</sub> %	CO ppm	t <sub>წ.ა</sub> °C	t <sub>კ</sub> °C	P <sub>აბს</sub> კა	O <sub>2</sub> %	CO ppm	t <sub>წ.ა</sub> °C	t <sub>კ</sub> °C	P <sub>აბს</sub> კა
3.6	865	135.1	21.2	957760	4.1	56	143.2	26.9	95775
3.62	816	130.9	20.8	95762	4.09	50	147.3	26.6	95794
3.58	805	134.0	20.9	95755	3.99	49	139.9	27.1	95783
3.55	789	135	20.7	95749	4.3	42	134.8	27.6	95756
3.49	779	134.8	20.2	95747	4.5	39	136.7	27.8	95784
3.5	699	133.9	18.9	95739	4.56	37	138.1	27.7	95779
3.6	689	129.8	17.9	95775	4.65	31	130.1	27.8	95771
3.7	678	132.8	17.4	95765					
საშუალო სიდიდეები									
3.58	765.0	132.8	19.8	95757	4.31	43.4	138.6	27.36	95777

10.9 %-დან 3.6%-დე (ბოილერი№1) და 11.03%-დან 4.31%-დე (ბოილერი№2); წარმავალი აირების საშუალო ტემპერატურე- 136.9 °C -დან 132.8 °C -დე

**ცხრილი 6** გამართვის შემდეგ გაანგარიშების შედეგები, ბოილერი №1

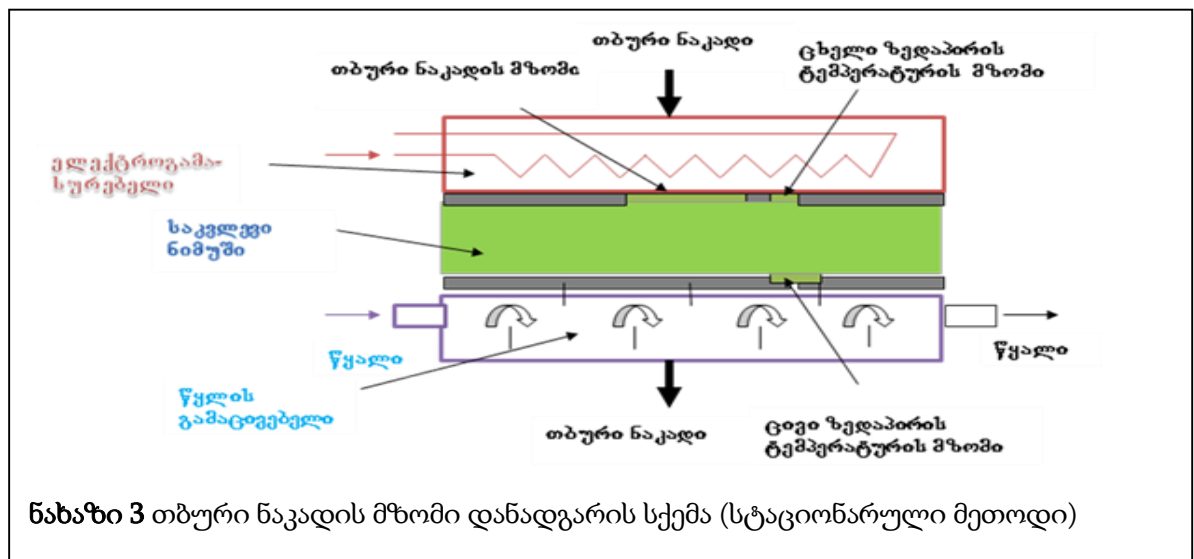
CO %	CO <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	h	$\alpha$	q <sub>2</sub> %	q <sub>3</sub> %	q <sub>5</sub> %	%
0.087	9.78	86.54	1.2	1.18	5.41	0.31	0.9	93.38
0.082	9.77	86.53	1.20	1.18	5.24	0.29	1.1	93.37
0.081	9.79	86.55	1.20	1.18	5.37	0.29	0.89	93.46
0.079	9.81	86.57	1.19	1.17	5.41	0.28	1	93.30
0.078	9.84	86.59	1.19	1.17	5.41	0.28	0.8	93.51
0.070	9.83	86.60	1.19	1.17	5.43	0.25	1.05	93.28
0.069	9.78	86.55	1.20	1.18	5.30	0.25	0.9	93.55
0.068	9.72	86.51	1.21	1.18	5.29	0.24	0.87	93.59
საშუალო სიდიდეები								
0.08	9.79	86.6	1.2	1.2	5.4	0.3	0.94	93.4

(ბოილერი№1) და 163.3 °C -დან 138.6 °C -დე (ბოილერი№2); სითბოს დანაკარგები

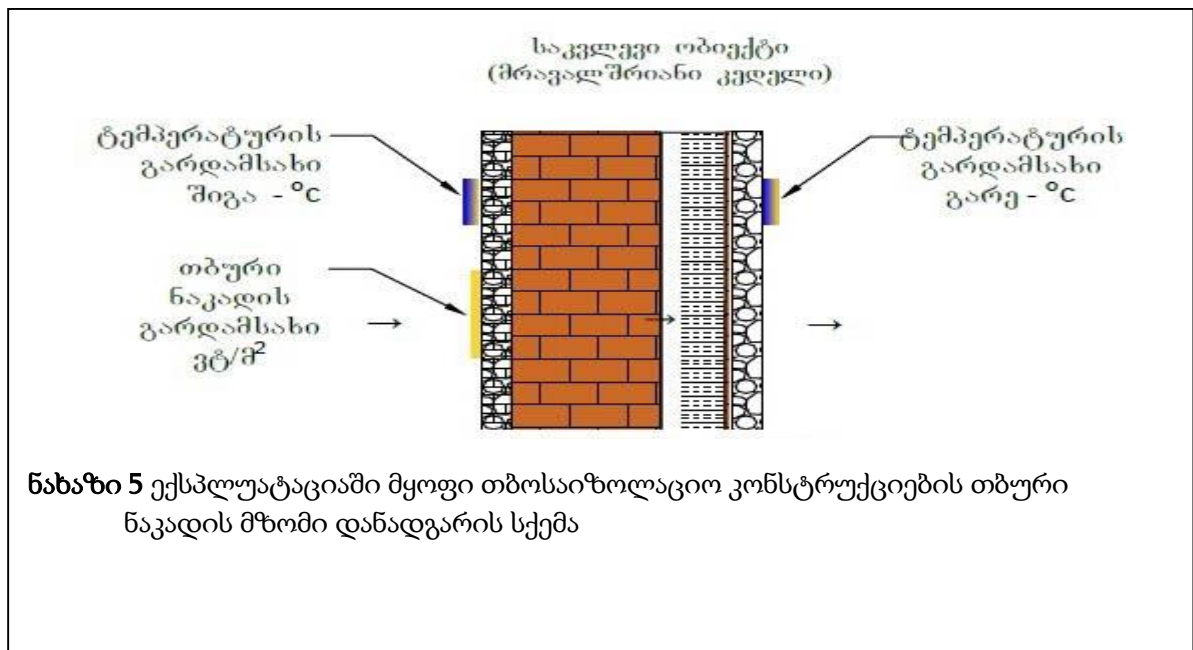
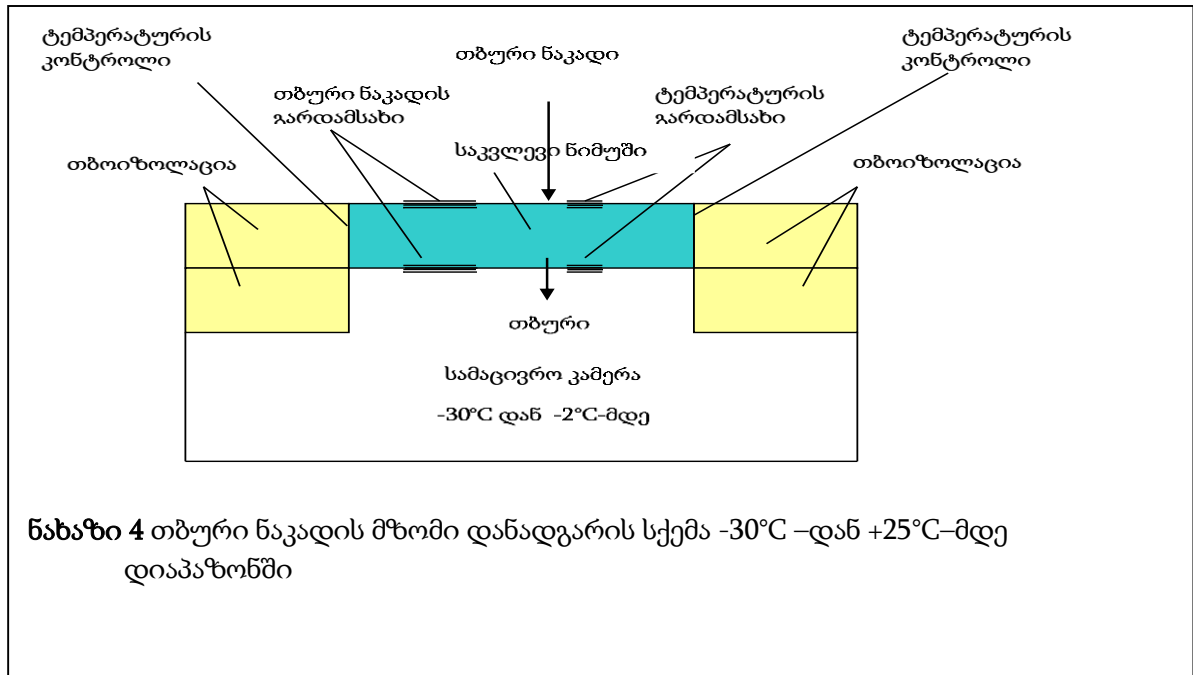
წარმავალი აირებით- 8.9 %-დან 5.4 %-დე (ბოილერი№1) და 11.22%-დან 5.54 %-დე (ბოილერი№2).

საბოლოო შედეგი გამოიხატა აგრეგატების ეფექტურობის ამაღლებაში 89.5 % -დან 93.4 %-დე (ბოილერი№1) და 87.8%-დან 93.5%-დე (ბოილერი№2).

სამშენებლო და თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის მაღალი სიზუსტით გასაზომად მიზანშეწონილია ბრტყელი ფირფიტის სტაციონარული აბსოლუტური მეთოდის გამოყენება. შექმნილი ბრტყელი ფირფიტის სტაციონარული აბსოლუტური მეთოდის დანადგარის ექსპერიმენტული გაზომის სქემა (ნახაზი 3). თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტის საზომი დანადგარის სქემა მინუს 30 °C –დან პლიუს 25 °C ტემპერატურის დიაპაზონში წარმოდგენილია ნახაზ 4-ზე. ხვედრითი თბურ ნაკადი იზომება ელექტრონული მზომი ხელსაწყოთი ИТП\_МГ4. ხელსაწყო გათვლილია თბური ნაკადების გასაზომად, რომელიც გადის ერთ ან მრავალშრიან ფენაში. მისი დანიშნულებაა შენობების ერთშრიან და მრავალშრიან შემომზღუდ კონსტრუქციებში გამავალი სითბური ნაკადების სიმკვრივის გაზომვა. ხელსაწყოთი იზომება აგრეთვე ზედაპირის ტემპერატურები თბური ნაკადის მიმართულებით, რაც კედლის თერმული წინაღობის და თბოგამტარობის კოეფიციენტის შეფასების საშუალებას იძლევა. თბური ნაკადის ტემპერატურის გაზომვის დიაპაზონია 10-999 ვტ/მ<sup>2</sup>. ხელსაწყოთი შესაძლებელია ექსპლუატაციაში მყოფი ენერგობიექტების



შემომზადებული კონსტრუქციების თერმული წინაღობის გაზომვა სქემით წარმოდგენილი ნახაზ 5-ზე.



შექმნილ დანადგარებზე გამოკვლევული იქნა შემომზადებულ კონსტრუქციებში ფართოდ გამოყენებული სხვადასხვა მრავალშრიანი თბოიზოლაციო მასალები:

**ცხრილი 7** თბოგამტარობის კოეფიციენტის გასაზომი დანადგარით მიღებული სხვადასხვა მასალების თბოტექნიკური მაჩვენებლები

დასახელება	$\lambda$ ვტ / (მ <sup>2</sup> /K)	t საშ °C ნიმუშის	q ვტ/მ <sup>2</sup>	$\Delta t$ °C ზედაპირებს შორის	$\Delta t$ °C ჰაერის
1 მუყაოს ჭერი	0,017	-10,924	64,058	32,853	53,201
2 სენდვიჩი 20მმ (18მმ ქაფპლასტი)	0,0316	-5,171	44,988	28,115	55,712
3 ლამბირი 20მმ (კარის გული 18მმ ჰაერის ღრეჩოთი)	0,053	-7,883	52,436	20,071	52,123
4 მინაპაკეტი 20მმ (12მმ ჰაერის ღრეჩოთი)	0,083	-4,534	62,123	15,012	53,122
5 პენობლოკი	0,094	-5,548	29,752	28,196	53,001
6 გიფსოკარდონი	0,184	-5,093	97,849	6,397	54,101
7 მინა 4მმ	0,342	-5,095	84,266	1,484	53,201
8 აგური (თეთრის სილიკატური)	0,387	-1,539	52,692	12,168	55,001

### ძირითადი დასკვნები

- ჩატარებულია პირველი ენერგოეფექტური შენობების კრიტიკული ანალიზი ენერგოგამზოგი ღონისძიებების კუთხით. ენერგოეფექტური ღონისძიებებიდან გამოყოფილია შენობის ფორმის, ზომისა და ორიენტაციის დადგენის საკითხი გარემო კლიმატის ზემოქმედების გათვალისწინებით. დამუშავებულია ძირითადი პრინციპები და ღონისძიებები რომლებსაც უნდა პასუხობდეს ენერგოეფექტური შენობები;
- ჩატარდა ტიპური ბაგა-ბაღის (თბილისში #109 და 107) ენერგოაუდიტი. გამოვლენილი იქნა შენობის მაღალი თბური დანაკარგების გამოწვევი მიზეზები და შემუშავებული იქნა გასატარებელი ენერგოეფექტური ღონისძიებები.

ძირითადად გამოყოფილია შემომზადებული კედლების დათბუნება. ერთი ბაგა-ბაღისათვის დათბუნების ღონისძიების ჩატარებით წელიწადში დაიზოგება 8900მ<sup>3</sup> ბუნებრივი აირი და ნახშირორჟანგის ემისია შემცირდება 17000 კგ.-ით. მარტივი უკუგება შეადგენს 4,9 წელს.

3. შენობის ოპტიმალური ორიენტაციის განსაზღვრის მეთოდის გამოყენებით ბაგა-ბაღის მართკუთხა შენობისათვის შენობიდან მინიმალური თბური დანაკარგების პირობით მიღებულია შენობის ოპტიმალური ზომები: სიგრძე- 31მ და სიგანე 23მ, მაშინ როცა მისი ფაქტიური ზომებია: 52მ და 13მ. ოპტიმალური ზომების შემთხვევაში გათბობის დადგმული სიმძლავრე შემცირდება 114კვტ-დან 78კვტ-დე (31%-ით). შენობების პროექტირების დროს სასურველია გათვალისწინებული იქნას შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ოპტიმიზაციის პირობა;
4. ჩატარებულია სტუ-ს მე-8 კორპუსის გათბობის წყალგამაცხელებელი ბოილერების სექსპლუატაციო გამოცდა სითბური ბალანსის შებრუნებული მეთოდის გამოყენებით. დადგენილი იქნა მათი მუშაობის რეჟიმული რუკები, რაც უზრუნველყოფს აგრეგატების მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდას 87,8%-დან 93,5%-დე. გამოცდების დროს გამოყენებული იყო ნამწვი გაზების ანალიზატორი TESTO 335 და ლაზერული თერმომეტ-რები;
5. შექმნილია თბოსაიზოლაციო მასალების თბოგამტარობის საზომი სტაციონარული რეჟიმით მომუშავე დანადგარი სამშენებლო ინდუსტრიაში გამოყენებული ტემპერატურული დიაპაზონისათვის. განადგარის კალიბრება ჩატარებულია სანიმუშო ნივთიერების -პენოპლასტის გამოყენებით. გაზომვის ცდომილება შეადგენს 3-5%-ს; დანადგარი სხვადასხვა კომპოზიციური მასალების ეფექტური თბოგამტარობის კოეფიციენტის განსაზღვრის საშუალებას იძლევა;
6. გამოკვლეულია თბოგამტარობის კოეფიციენტები შემდეგი მასალების: წითელი აგური, პენობლოკი, მუყაო-თაბაშირის ფილა, მინა, მინა-პაკეტი, სენდვიჩი, ლამბირი (მეტალოპლასტმასის კარის გული), შეკიდული ჭერის ფილა და სხვა;

7. შესწავლილია შენობის გათბობის „წყვეტილი რეჟიმის“ სტაციონარული, გაგრილების, მინიმალური ტემპერატურის და ინტენსიური გათბობის პერიოდების კანონზომიერებები. დადგენილია, რომ ინტენსიური გათბობის პერიოდში ენერჯის მინიმიზაცია მიიღწევა სითბოს წყაროს მთლიანი დადგმული სიმძლავრის გამოყენებით.
8. დამუშავებულია შენობის სხვენის სახურავის ინჟინრული თბური გაანგარიშების მეთოდის, რომელის საშუალებითაც შესაძლებელია ყოველი კონკრეტული ამოცანისათვის საჭირო თერმული წინაღობის უზრუნველსაყოფად თბოიზოლაციის ოპტიმალური სისქის დადგენა.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ ნაშრომებში:

1. გ. ქეთელაური, თ. კილურაძე, ს. ბარამიძე „შენობის სხვენის სახურავის საინჟინრო თბური გაანგარიშების მეთოდის“. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მდგრადი ენერჯეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ 2015 ქუთაისი
2. გ. ქეთელაური, „შენობის გათბობის „წყვეტილი“ რეჟიმის მართვა“. სტუდენტთა 83-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თბო და ჰიდროენერჯეტიკის სექცია. სტუ 2015 თბილისი
3. გ. ქეთელაური, თ. კილურაძე "პირველი ენერგოეფექტური შენობები" საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტი" #25, 2014წ. გვ. 118-126
4. თ. კილურაძე, გ. ქეთელაური, ს. ბარამიძე "შენობის გათბობის "წყვეტილი" რეჟიმის ოპტიმიზაცია" საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, შრომები #4, 2014წ. გვ. 14-19
5. თ. კილურაძე, გ. ქეთელაური „შენობის ფორმის, ზომებისა და ორიენტაციის ოპტიმალური შერჩევა“ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ

- ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტუ. შრომათა კრებული #18, 2014წელი გვ. 105-110
6. გ. ქეთელაური „საქვაზე აგრეგატის თბოტექნიკური გამოცდის მიზანი, კლასიფიკაცია და მისი მიზანი“ 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. სტუ, 2014 თბილისი
  7. თ. კილურაძე, გ. ქეთელაური, „შენობაზე გარე კლიმატის ზემოქმედების ინჟინრული გაანგარიშებების მეთოდოლოგია“. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, გამოყენებითი მექანიკის, მანქანათმშენებლობის, ენერგეტიკისა და მართვის სისტემების განყოფილება. აკადემიკოს ვახტანგ გომელაურის დაბადების 100 წლისათვის მიძღვნილი საიუბილეო სესია „ენერგეტიკა და მართვის პროცესები“ 2014 თბილისი
  8. Ketelauri G., **“Heat Generators Efficiency Assessment”** USAID Hydropower Investment Promotion Project (HIPP) organized Conference: “Young Engineers in Georgian Energy Sector” on 17 April, 2013 in Georgian Technical University. Tbilisi.
  9. გ. ქეთელაური, ქ. ჩხიკვაძე, თ. კილურაძე "წყალგამაცხელებელი ბოილერის მუშაობის თბოტექნიკური ანალიზი ექსპრეს მეთოდით. სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი "ენერჯია" #2(66), 2013წ
  10. გ. ქეთელაური, ქ. ჩხიკვაძე, თ. კილურაძე **„წყალგამაცხელებელი ბოილერის თბოტექნიკური გამოცდა“** მე-2-ე საერთაშორისო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. აკაკი წერეთლის უნივერსიტეტი 2013 ქუთაისი

## ABSTRACT

Projecting and construction of energy efficient buildings aims to use necessary energy resources for power supply of buildings through innovative methods and solutions. Implementation of the energy efficient measures shall be technically feasible, economically justified and both environmentally and socially acceptable with no changes in typical lifestyle.

While selecting energy-efficient technologies first priority is given to such technical solutions that can contribute to the improvement as of microclimate of buildings so protection of the environment at the same time.

There is generally discussed analysis of energy efficient measures of first and demonstrative energy-efficient buildings constructed in 1972 in Manchester and in 1973 near Helsinki in Otaniemi.

Buildings' shape, size and orientation shall be selected to maximize the benefit of positive impact of the environment on thermal balance of the building and neutralize negative influence.

Generally, the capacity of solar energy of having an effect on thermal balance of the facility is positive during the cold period while in the warm period this impact might be negative. The influence of the wind, on the contrary, is negative during the cold period while it might be positive at nights of the warm period and negative during the daytime of the same period. Especially important is the fact when the influence of solar radiation and wind on thermal balance of the building depends on orientation in case of the same useful areas, or the same useful volume. In fact, the building, which is located in the south and has longitude direction, gets more heat than the building with meridian direction. Moreover, the building facing prevailing wind by developed surface loses more heat during winters. As a result, it makes sense to discuss optimization issues of influence of solar radiation and wind.

By using of the method for determining optimal orientation for building, example Tbilisi kindergarten building (rectangular form), for the purpose of minimum heat loss from the building, is estimated optimum measures, which significantly differ from the dimensions of the real building. To foresee mentioned measure it would be possible to reduce by 31% the installed heating capacity. It would be recommended to be consider the shape, size and orientation of buildings during designing for purpose of the optimization of thermal losses.

Evaluation and study of external walls, insulation layer thickness and quality are necessary for thermal technical calculation. Different type of materials have different thermo physical properties. To know the thermo physical properties of materials is important for calculating thermal processes. Materials in databases mainly are given with dry thermo physical properties data. Humidity of utilized material can be increased and significantly can be worsened the quality of its thermal protection. Therefore, it is recommended to conduct measuring of the thermal resistance for the wall fencing in the building for energy audit.

External wall thermal resistance measurement was carried out in typical kindergarten building at Tbilisi, energy efficiency potential was considered for this building and special insulation materials were selected. Thermal infrared camera, laser thermometer and thermal resistance measurement precision device were used in studies.



On typical Tbilisi kindergarten building energy audit basis were identified cause of high heat loss and was worked out to be implemented energy efficiency measures - fencing wall insulation. By implementing insulation of external walls, kindergarten would save 8900 m<sup>3</sup> of natural gas per year and reduce carbon dioxide emissions 17 tons per year. Simple payback of 4.9 years.

There are also discussed thermal accumulation indicators of building materials and constructions along with their impact on heating speed and values of thermo physical indicators of materials. Thermo physical properties vary with different types of material.

Designed experimental equipment, by which can measure the heat conductivity coefficient of construction materials in range of required temperature. Device calibration carried out by using exemplary substance - foam. Measurement error range is 3-5%.

Studies were carried out of the thermal conductivity for next materials: red brick, foam block, cardboard-gypsum tile, glass, glass-pack, PVC door sandwich and composite panels, suspended ceiling and more.

Artificial or emergency heat "intermittent" mode conditions are characterized in buildings. There are discussed as follows: optimization of energy expenses in order to minimize energy costs on heating; heating regime management conditions; heat balance equation content of buildings; thermo physical properties and thermal accumulation indicators of building materials and constructions.

Heat transfer engineering calculation method has been developed for heterogeneous attic roof systems, which gives possibility to identify and ensure optimal thickness of insulation with necessary thermal resistance for any specific task.

It has been researched and studied stationary, cooling, minimum temperature and intense heating period's patterns for building heating "intermittent mode". It is estimated that during intense heating period the energy consumption minimization can be achieved by using the full installed capacity.

Operational experience of thermal aggregates shows that, in some cases, boilers may have some defects causing significant deterioration of the equipment's efficiency and reliability. One part of defects are explained by bad projects or poorly executed installation and the other part by low-level exploitation of devices. Full identification of defects is possible only through thermal-technical testing of boilers.

There are presented the boiler thermal performance testing results. Boiler testing Experiment was carried out in GTU 8th building by using simplified method. As a result of debugging work was ascertained their periodical working regime maps, which provoke to increase aggregate efficiency form 87.8% up to 93.5%. During examination was used flue gas analyzer tool "TESTO 335" and laser thermometers.