



საქართველოს ტექნიკური  
უნივერსიტეტი  
1922 წლიდან

სოლომონ გოდერძიშვილი

# შემომზადებული კონსტრუქციების თბური დაცვა დაფენილი ჭავლები გამოყენებით

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა მშენებლობა

შიფრი 0732

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი თბილისი, 0160, საქართველო

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### ფაკულტეტი სამშენებლო

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით **სოლომონ გოდერძიშვილის** მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: **შემომზადებული კონსტრუქციების თბური დაცვა დაფენილი ჭავლების გამოყენებით** და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო, ტექნოლოგიური და საბუნებისმეტყველო საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----,------2022წელი

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი მამული გრძელიშვილი

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2022წ

ავტორი:სოლომონ გოდერძიშვილი

დასახელება : შემომზადებული კონსტრუქციების თბური დაცვა დაფენილი ჭავლების გამოყენებით

პროგრამა: მშენებლობა

მისანიჭებელი კვალიფიკაცია: მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი

სხდომა ჩატარდა \_\_\_\_\_

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.

## რეზიუმე

ენერგოეფექტური მშენებლობის წინაპირობებიდან გამომდინარე, რაც გულისხმობს ისეთი შენობების აგებას სადაც კომფორტულობის პირობები უზრუნველყოფილი იქნება ენერგიის შესაძლო მცირე დანახარჯებით და ევროპული დირექტივების გათვალისწინებით ნულოვანი ენერგომოთხვონილების შენობების აგების შესახებ, რომელიც ხორციელდება შენობათა ენერგოეფექტურობის გაზრდის და მათში ენერგოეფექტური ტექნიკისა და ტექნოლოგიების გამოყენების გზით, თავის თავში მოიცავს შენობის თბური დაცვის ღონისძიებებს, რომლებიც სათავსებში თბურ კომფორტს უზრუნველყოფენ ანუ ისეთ ტემპერატურულ-ტენიანობრივ რეჟიმს ქმნიან, რომელიც როგორც სასიამოვნოა სათავსში მყოფი ადამიანებისთვის, ასევე აუცილებელია მათში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვისთვის.

ნაშრომში წარმოდგენილი ლიტერატურის შესწავლის და ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია შენობათა შემომზღუდი კონსტრუქციების თბური დაცვის ფიზიკური მოდელები მათზე დაფუძნებული ჭავლის ზემოქმედების დროს. განხილულია როგორც იძულებითი ასევე გრავიტაციული (თბური) ჭავლები. სადოქტორო ნაშრომის პირველ თავში გავაანალიზეთ დღეს დღეისობით საქართველოს მასშტაბით როგორც არსებული, ასევე მშენებარე შენობა-ნაგებობების შემომზღუდი კონსტრუქციების (კედლები, ფანჯრები, გადახურვები და ა.შ.) თბოტექნიკური მახასიათებლები, სახელდობრ სითბოს გადაცემის და თერმული წინაღობის კოეფიციენტები, მოვახდინეთ ფაქტიური თერმული წინაღობების მნიშვნელობების შედარება საქართველოში მოქმედი როგორც საბჭოთა, ასევე ევროპული სამშენებლო ნორმებში წარმოდგენილი საჭირო თერმული წინაღობის სიდიდეებთან, ამ სიდიდეების ერთმანეთთან შედარების და ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილია ფაქტიური თერმული წინაღობების შეუსაბამობა ნორმატიულ მნიშვნელობებთან და წარმოვაჩინეთ ამით გამოწვეული პრობლემები კერძოდ: თერმული წინაღობის დაბალი მნიშვნელობის გამო ვერ ხერხდება შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირსა და სათავსის ჰაერს შორის ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის დაცვა რითაც ირღვევა სან-ჰიგიენური ნორმები, ასევე მოსალოდნელია კონდენსატის გამოყოფა როგორც კონსტრუქციის სიზრქეში (შუქგაუმჭვირვალე შემომზღუდი კონსტრუქციები: კედლები, გადახურვები) ასევე მისი გამოყოფა კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე (შემინული ზედაპირები, ვიტრაჟები, კედლები) ამის საილუსტრაციოდ მოყვანილია საქართველოს სხვადასხვა ქალაქისთვის მრავალშრიანი კედლების ტემპერატურული ველები და მონიშნულია კედლების სიზრქეში კონდენსატის გამოყოფის არეები, ასევე ცხრილის სახით მოყვანილია შემინული შემომზღუდი კონსტრუქციის შიდა ზედაპირის ტემპერატურები გარე ჰაერის სხვადასხვა ტემპერატურების დროს. განხილულია სათავსის მიკროკლიმატის პარამეტრები და მათი გავლენა თბური რეჟიმის

ფორმირებაზე, რომლებიც გავლენას ახდენენ თბურ კომფორტზე როგორებიცაა: სათავსის ჰაერის ტემპერატურა, ფარდობითი ტენიანობა, სათავსში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე, სათავსში განლაგებული ზედაპირების ტემპერატურა, მოყვანილია როგორც ცალ-ცალკე მათი კომფორტულობის შესაბამისი მნიშვნელობები, ასევე მათ შორის თანაფარდობა ცხრილების, დიაგრამების და გრაფიკების სახით. ვინაიდან თერმული წინაღობის დაბალი მნიშვნელობით გამოწვეული პრობლემის გადაწყვეტის ერთ-ერთ ხერხად მიგვაჩნია შემომზადებული კონსტრუქციების თბური დაცვა დაფენილი ჭავლების გამოყენებით, მიმოხილულია ჭავლების ნაირსახეობები: ჭავლის გამოდინების ტემპერატურის მიხედვით, როგორც იზოთერმული ასევე არაიზოთერმული, მოძრაობის რეჟიმის მიხედვით ლამინარული და ტურბულენტური, სავენტილაციო ჭავლები სხვადასხვა გეომეტრიული ფორმის და კონფიგურაციის როგორებიცაა: ბრტყელი, კონუსური, მარაოსებრი. იძულებითი და გრავიტაციული. მოყვანილია მათი ძირითადი პარამეტრების გამოსათვლელი გამოსახულებები: ღერძული სიჩქარის , კვეთში საშუალო სიჩქარის, ჭარბი ტემპერატურის და სხვა.

რადგანაც ამ შრომის ფარგლებში ჩვენთვის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენდა კოანდას ეფექტით წარმოქმნილი დაფენილი ჭავლის თბოცვლა ბრტყელ ზედაპირთან, ჩვენს შემთხვევაში თბოცვლა შემომზადებული კონსტრუქციის შიდა ზედაპირსა და თბურ დაფენილ ჭავლს შორის, მეორე თავი მიეძღვნა ამ საკითხის თეორიულ კვლევას, კერძოდ შემუშავდა კონკრეტული ამოცანების ფიზიკური მოდელები, რომელთა შესწავლის საფუძველზე შედგა ბრტყელ ზედაპირთან კონვექციური ნაკადის სასაზღვრო შრის განტოლებები, სახელდობრ კარმან-პოლგაუზენის ენერჯის და მოძრაობის დიფერენციალურ-ინტეგრალური განტოლებები, რომლებიც შესაბამისი სასაზღვრო პირობების და წინასწარ ცნობილი სიჩქარის და ტემპერატურის განაწილების კანონზომიერების გათვალისწინებით იქნა ამოხსნილი, ამოხსნის შედეგად მივიღეთ იძულებითი და გრავიტაციული ჭავლების სასაზღვრო შრის სისქეების გამოსახულებები როგორც საწყის ასევე ძირითად უბნებზე, მიღებულია ნუსელტის უგანზომილებო კრიტერიუმის სიდიდეები და შესაბამისად დაფენილ ჭავლსა და შემომზადებული კონსტრუქციის შიდა ზედაპირს შორის სითბოს გადაცემის კოეფიციენტის გამოსათვლელი გამოსახულებები. ავად და მოვახდინეთ შედარება ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველებს შორის ჭავლის მოქმედების და ჩვეულებრივი პირობებისთვის. მესამე თავი მიეძღვნა მეორე თავში მიღებული შედეგების გაანალიზებას, კერძოდ თბური ბალანსის საფუძველზე გამოყვანილია თერმული წინაღობის საანგარიშო ფორმულა დაფენილი ჭავლის მოქმედების დროს და შესაბამისად მისი შეზღუდვებული სიდიდის სითბოს გადაცემის კოეფიციენტი. განხილულია სათავსის თბური რეჟიმის სამი შემთხვევა როდესაც შემომზადებული კონსტრუქციის შიდა ზედაპირის ტემპერატურა ტოლი, მეტია ან ნაკლებია სათავსის ჰაერის ტემპერატურაზე. ნაშრომის მეოთხე თავში წარმოდგენილია მიღებული თეორიული კვლევის რეზულტატების

პრაქტიკაში დანერგვის და სათანადო რეკომენდაციების დამუშავებისთვის კონკრეტული საცხოვრებელი სახლის მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების პროექტის მაგალითი, დაკვირვების ფარგლებში გაზომვების შედეგები მოყვანილია ცხრილის სახით და ასევე აღწერილია მოცემული სახლის მაგალითზე შემომზადებული კონსტრუქციის თბური დაცვის რეალური პრაქტიკული გადაჭრის ხერხები, ნაშრომის ბოლოს წარმოდგენილია შენობათა ჭავლური თბური დაცვის გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდი რომელიც წარმოდგენილია ბლოკსქემების სახით, ხოლო ბლოკსქემების საფუძველზე EXEL-ში შემუშავებულია პროგრამა რომელიც საჭირო პარამეტრების მითითების შემდეგ ავტომატურად აწარმოებს შემომზადებული კონსტრუქციის თბური დაცვის გათვლისთვის სასაზღვრო შრის სისქის, ნუსელტის კრიტერიუმის და სითბოს გადაცემის კოეფიციენტის გაანგარიშებას და ამით აიოლებს სადოქტორო თემის ფარგლებში მიღებული შედეგების პრაქტიკული გამოყენების საშუალებას.

## Abstract

Given the prerequisites for energy-efficient construction, which includes the construction of buildings with comfortable conditions provided by as low power inputs as possible, and the construction of zero-energy consumption buildings in accordance with European directives, which is achieved by enhancing the energy efficiency of buildings and the use of energy-efficient appliances and technologies therein, which includes measures of thermal protection of a building to provide thermal comfort in a building space. i.e. create a temperature-humidity regime that is as pleasant for the people staying in the building space, as well as being necessary for the ongoing technological process running therein.

Based on the study and analysis of the literature presented in the paper, physical models of thermal protection of the enclosing structures of buildings during the impact of a flux superimposed thereon have been developed. Both forced and gravitational (thermal) fluxes are discussed.

In the first chapter of the doctoral dissertation, we have analyzed the thermal-technical characteristics of existing buildings as well as those being under construction (walls, windows, roofs, etc.) throughout Georgia, namely heat transfer and thermal resistance coefficients. We have compared the values of the actual thermal resistance with the required thermal resistance values represented in both Soviet and European construction standards being in force in Georgia. Based on the comparison and analysis of these values, the inconsistency of the actual thermal resistance with the normative values has been identified and we presented the problems it causes, namely: due to the low value of thermal resistance, it is not possible to maintain the normalized temperature difference between the inner surface of the enclosure structure and the air of the building space, thereby violating the sanitary-hygienic norms, also expected is releasing the condensate in the construction mass (opaque enclosing constructions: walls, roofs) and in the construction inner surface alike (glazed surfaces, stained glasses, walls). This is illustrated by the temperature fields of multilayer walls for different cities of Georgia and the areas of condensate release within the mass of the walls are marked. Also, the internal surface temperatures of the glazed enclosure structure at different outdoor air temperatures are shown as a table. The microclimate parameters of a building space and their influence on the formation of thermal regime, which affect the thermal comfort, such as: the building space air temperature, relative humidity, velocity of air movement in the building space, temperature of the surfaces located in the building space. The values corresponding to their comfortability are given separately, as well as the ratio between them in the form of tables, diagrams and graphs are shown. Considering that one of the ways to solve the problem caused by the low value of thermal resistance is to provide thermal protection of the enclosing structures using superimposed thermal fluxes, types of fluxes are reviewed: according to the flux outflow temperature, both isothermal and non-isothermal, laminar and turbulent

according to the mode of movement, ventilation fluxes of different geometric shapes and configurations such as: flat, conical, fan-shaped, forced and gravitationally. The expressions to calculate their basic parameters: axial velocity, average velocity at intersection, excess temperature and etc. are given.

Due to the fact that our particular interest in this work was in the heat exchange of the superimposed flux generated by Coanda effect with a flat surface, in our case the heat exchange between the inner surface of the enclosing structure and the superimposed thermal flux, the second chapter was devoted to the theoretical study of this issue, in particular, physical models of specific tasks have been developed, on the basis of which the equations of the boundary layer of the convective flow with a flat surface, namely, the differential-integral equations of Kármán-Polgauzen energy and motion, were solved by taking into consideration the corresponding boundary conditions and the objective laws of pre-known velocity and temperature distributions. As a result of the solution, we obtained expressions of the boundary layer thicknesses of the forced and gravitational fluxes at both the initial and major sites. It has been obtained the Nusselt dimensionless criterion values, and expressions for calculating the heat transfer rate between the superimposed flux and the inner surface of the enclosing structure. We have constructed and compared the temperature fields of a flat wall during the flux action and in normal conditions. The third chapter is devoted to the analysis of the results obtained in the second chapter, namely, based on the thermal balance, the formula for calculating the thermal resistance during the action of the superimposed flux and, respectively, heat transfer rate of its inverse value has been derived. Three cases of thermal regime of the building space are considered when the temperature of the inner surface of the enclosing structure is equal to, greater than or less than the air temperature of the building space. The fourth chapter of the paper presents an example of a project of systems for providing microclimate of a specific house for the implementation of the obtained theoretical research results in practice and elaboration of appropriate recommendations. As a result of the observations, the results of the measurements are presented in the form of a table, and, also, the real practical solutions of the thermal protection of the enclosing structure on the example of the given house are described. At the end of the paper, the engineering method of calculating the thermal protection of buildings in the form of block diagrams is presented. Based on the block diagrams, a program in EXEL has been developed that, after specifying the required parameters, automatically calculates the thickness of the boundary layer, the Nusselt criterion and the heat transfer rate for the calculation of the thermal protection of an enclosing structure, thereby facilitating the practical application of the results obtained within the framework of the doctoral topic.



## შინაარსი

რეზიუმე.....	4
Abstract .....	7
შესავალი .....	14
<b>1 ლიტერატურის მიმოხილვა.....</b>	<b>17</b>
1.1 შენობათა თბური დაცვისადმი წაყენებული მოთხოვნები .....	18
1.2 მიკროკლიმატის პარამეტრები და მათი გავლენა შენობათა თბური რეჟიმის ფრომირებაზე.....	38
1.3 სათბობ-სავენტილაციო ჭავლები და საჰაერო თბური რეჟიმი.....	48
<b>2. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა.....</b>	<b>60</b>
2.1 კონდას ეფექტი და შენობების თბური დაცვა.....	60
2.2 ჭავლები თბური დაცვის ძირითადი სქემები და მათი ფიზიკური მოდელები.....	67
2.3 თბოგადაცემა დაფენილ ჭავლსა და შემომზღუდ კონსტრუქციის ზედაპირს შორის.....	81
2.4. თბოგაცემა დაფენილი ჭავლის ძირითად უბანზე.....	90
2.5 თბოგაცემა დაფენილ გრავიტაციულ ჭავლსა და ვერტიკალურ ზედაპირს შორის.....	92
2.6 დაფენილი ჭავლის ზემოქმედება ბუნებრივი კონვექციით წარმოქმნილ ქვემოთ მიმართულ ცივ ნაკადებთან.....	95
<b>3 შემომზღუდი კონსტრუქციის თბოგადაცემა მათზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს.....</b>	<b>103</b>
3.1 შემომზღუდი კონსტრუქციის თბოგადაცემა და ტემპერატურული ველი მათზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს .....	103
3.2 შემომზღუდი კონსტრუქციის თერმული წინააღმდეგობა მასზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს.....	118
<b>4 ჩატარებული კვლევების ექსპერიმენტული შემოწმება, გამოყენება და რეკომენდაციები .....</b>	<b>122</b>
4.1 ექსპერიმენტული შენობის მოკლე აღწერილობა და მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის გამოყენებული სისტემები.....	122
4.2 გაზომვების შედეგები და ანალიზი.....	128
4.3 შენობათა ჭავლური თბური დაცვის გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდი .....	135
4.4 დაფენილი თბური ჭავლის პარამეტრების განსაზღვრა EXCEL -ში დამუშავებულ პროგრამის საშუალებით.....	143
<b>დასკვნა.....</b>	<b>150</b>
<b>გამოყენებული ლიტერატურა .....</b>	<b>153</b>

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი.1.1	სხვადასხვა შემომზადებული კონსტრუქციების ბაზური საჭირო თერმული წინააღმდეგობები.....	20
ცხრილი.1.2	საქართველოს რეგიონებში კლიმატური პირობებისათვის დამახასიათებელი კედლის ნორმირებული თბოტექნიკური მახასიათებლები.....	21
ცხრილი.1.3	ერთგვაროვანი შემომზადებული კონსტრუქციის სისქეები ქ.თბილისისათვის.....	22
ცხრილი.1.4	EnEv 2014/2016-ის მოთხოვნები ძველი შენობებისათვის.....	23
ცხრილი.1.5	მინაპაკეტის შიგა ზედაპირის ტემპერატურები გარე ჰაერის სხვადასხვა ტემპერატურისათვის.....	34
ცხრილი.1.6	დაბალი ენერგომოთხოვნილების სახლების ევროპული სტანდარტები.....	37
ცხრილი.1.7	თბური შეგრძნების შეფასების შკალა.....	46
ცხრილი.3.1	გარე ზედაპირებიდან თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.....	114
ცხრილი.4.1	ტემპერატურული ველი №1 სათავსში .....	132
ცხრილი.4.2	ჩანართი “საწყისი პარამეტრების მითითება“ .....	144
ცხრილი.4.3	ჩანართი “ჰაერის ფიზიკური თვისებები” .....	145
ცხრილი.4.4	ჩანართი “საწყისი პარამეტრები ” პროგრამის მიერ ჰაერის ფიზიკური პარამეტრების განსაზღვრა.....	145
ცხრილი.4.5	ჩანართი “საწყისი უბანი” .....	145
ცხრილი.4.6	ჩანართი “ძირითადი უბანი“ .....	147
ცხრილი.4.7	ჩანართი “ბუნებრივი კონვექცია”.....	148
ცხრილი.4.8	ჩანართი “თბგ.კოეფიციენტი დაფენილი ჭავლის დროს”.....	149

## ნახაზების და სურათების ნუსხა

<b>ნახ.1.1</b> თბური ენერჯის მოხმარების ნორმების მრავალწლიანი ევოლუცია.....	25
<b>ნახ.1.2</b> თბური დაცვის მახასიათებლები შენობათა სხვადასხვა კონსტრუქციებისათვის.....	26
<b>ნახ.1.3</b> ნამის წერტილის განსაზღვრა I-D დიაგრამის საშუალებით.....	28
<b>ნახ.1.4</b> სხვადასხვა მასალისაგან შემდგარი მრავალშრიანი შემომზღული კონსტრუქციის ტემპერატურული ველი საქართველოს რამდენიმე ქალაქისათვის.....	32
<b>ნახ.1.5</b> ფაქტორები ,რომლებიც გავლენას ახდენენ თბურ კომფორტზე...39	
<b>ნახ.1.6</b> სათავსის და გარემო ჰაერის ტემპერატურებს შორის დამოკიდებულება.....	40
<b>ნახ.1.7</b> სათავსის ჰაერის ტემპერატურასა და მის ფარდობით ტენიანობას შორის დამოკიდებულება.....	41
<b>ნახ.1.8</b> კომფორტულობის ზონა I-D დიაგრამაზე.....	43
<b>ნახ.1.9</b> სათავსში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.....	44
<b>ნახ.1.10</b> ადამიანის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მისი ფიზიკური აქტივობის მიხედვით.....	45
<b>ნახ.1.11</b> დამოკიდებულება PMV და PPD ინდექსებს შორის.....	47
<b>ნახ.1.12</b> იზოთერმული სიმეტრიული ჭავლის განვითარების სქემა.....	49
<b>ნახ.1.13</b> ბრტყელი ჭავლის განვითარების სქემა.....	50
<b>ნახ.1.14</b> მარაოსებრი ჭავლის განვითარების სქემა.....	50
<b>ნახ.1.15</b> კონუსური ჭავლის განვითარების სქემა.....	51
<b>ნახ.1.16</b> გრიგალისებური ჭავლის განვითარების სქემა.....	51
<b>ნახ.1.17</b> არაიზოთერმულ ჭავლის განვითარების სქემა.....	52
<b>ნახ.1.18</b> დაფენილი ჭავლის გავრცელების სქემა სითბოს მიმღებ ან სითბოს გამცემ ზედაპირთან.....	55
<b>ნახ.1.19</b> კონვექციური ნაკადების წარმოშობა სხვადასხვანაირად განლაგებულ ზედაპირებთან.....	56
<b>ნახ.1.20</b> ჰორიზონტალურ ზედაპირთან კონექციური ნაკადის სტრუქტურა.....	57

<b>ნახ.1.21</b> კედლისპირა კონვექციური ნაკადის სტრუქტურა.....	58
<b>ნახ.2.1</b> კოანდას ეფექტის წარმოქმნის სტრუქტურა.....	61
<b>ნახ.2.2</b> შენობის გარსშემოდინება ჰაერის ნაკადით .....	62
<b>ნახ.2.3</b> კოანდას ეფექტის გამოყენება ჭერის ვენტილატორულ კონვექტორში.....	63
<b>ნახ.2.4</b> სათავსის ტემპერატურული რეჟიმი პლინტუსური და რადიატორული გათბობის დროს.....	64
<b>ნახ.2.5</b> პლინტუსური გათბობის პრინციპული სქემები .....	64
<b>ნახ.2.6</b> სათავსის ტემპერატურული რეჟიმი პლინტუსური და რადიატორული გათბობის დროს.....	66
<b>ნახ.2.7</b> ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველი მასზე ჭავლის ზემოქმედების დროს.....	67
<b>ნახ.2.8</b> ბუნებრივი (გრავიტაციული) ჭავლი ვერტიკალურ ზედაპირთან.....	72
<b>ნახ.2.9</b> იძულებითი ჭავლი ვერტიკალურ ზედაპირზე.....	73
<b>ნახ.2.10</b> იძულებითი ჭავლი ჰორიზონტალურ ზედაპირზე .....	74
<b>ნახ.2.11</b> იძულებითი ჭავლი ჰორიზონტალური ზედაპირის ქვეშ.....	74
<b>ნახ.2.12</b> ჰიდროდინამიული სასაზღვრო შრე პოტენციური დინების დროს .....	84
<b>ნახ.2.13</b> დაფენილ ჭავლის ზემოქმედება ბუნებრივი კონვექციის ქვემოთ მიმართულ ცივ ნაკადთან.....	97
<b>ნახ.3.1</b> ბრტყელი კედლის თბოგადაცემა მასზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს.....	104
<b>ნახ.3.2</b> ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველი და თბოგადაცემა.....	112
<b>ნახ.4.1</b> საცხოვრებელი სახლის 0.00 ნიშნულის გეგმა.....	123
<b>სურ.4.2.ა</b> დარბაზის სამხრეთ-აღმოსავლეთით განლაგებული ვიტრაჟი იატაკქვეშა კონვექტორი.....	124
<b>სურ.4.2.ბ</b> დარბაზის ჩრდილო-აღმოსავლეთით განლაგებული ვიტრაჟი იატაკქვეშა კონვექტორი.....	124
<b>სურ.4.3</b> საცხოვრებელსა და საძინებელში განლაგებული პანორამული შემინვა, დაბალი კონვექტორი.....	125
<b>ნახ.4.4</b> იატაკქვეშა კონვექტორი.....	126

<b>ნახ.4.5</b> დაბალი კონვექტორი.....	127
<b>ნახ.4.6</b> ალუმინის ჩარჩოიანი ხუთკამერიანი ორმაგი პანორამული ფანჯარა.....	129
<b>ნახ.4.7</b> სათავსი №1-ის პანორამული ფანჯრის (ვიტრაჟის) ტემპერატურული გაზომვების სქემა.....	130
<b>ნახ.4.8</b> გრავიტაციული ჭავლით თბური დაცვის დროს ტემპერატურული (თბური) კომფორტის გრაფიკული ინტერპრეტაცია.....	134
<b>ნახ.4.9</b> ზედაპირის გამოსხივების დამოკიდებულება მის ტემპერატურაზე.....	139
<b>ნახ.4.10</b> თბური რეჟიმის გათვლის ბლოკ-სქემა.....	140
<b>ნახ.4.11</b> თერმული კომფროტულობის დამოკიდებულება სათავსის ჰაერის და შემომზღუდი კონსტრუქციის ზედაპირის ტემპერატურებს შორის თანაფარდობაზე.....	141

## შესავალი

თანამედროვე სამშენებლო დარგის ერთ-ერთი ინოვაციური მიმართულებაა ენერგოეფექტური მშენებლობა, რაც გულსხმობს ისეთი შენობის აგებას, რომელიც უზრუნველყოფს შენობათა სათავსებში მაქსიმალურად კომფორტული გარემოს შექმნას ენერგიის შესაძლო მინიმალური დანახარჯებით. შენობა-ნაგებობები წარმოადგენენ ქვეყნის ყველაზე მსხვილ ენერგემომხმარებელს. მთელი მომხმარებელი ენერგიის თითქმის 40-43% სწორედ შენობებზე მოდის, რომლის ყველაზე დიდი წილი (86%-მდე) შენობათა გათბობასა და ცხელწყალმომარაგებას ხმარდება[1,2]. ვინაიდან ეს სისტემები ძირითადად ენერგომატარებლად გამოიყენებენ წიაღისეულ სათბობს, ბუნებრივია ისინი წარმოადგენენ გარემოს დაბინძურების ყველაზე დიდ წყაროს.

ევროპარლამენტის მთელი რიგი დირექტივების საფუძველზე [3,4] სამშენებლო სექტორში ენერგიის მოხმარება მინიმუმამდია დაყვანილი, რაც ხდება შენობათა ენერგოეფექტურობის გაზრდის და მათში ენერგოეფექტური ტექნიკისა და ტექნოლოგიების გამოყენების გზით. ევროპარლამენტის გადაწყვეტილების შესაბამისად, ევროკავშირის მთელ ტერიტორიაზე, 2050 წლისათვის ყველა შენობა უნდა იყოს ნულოვანი ენერგომოთხოვნილების.რაც იმას ნიშნავს, რომ შენობას ენერგია (მათ შორის წიაღისეული) გარედან აღარ მიეწოდება, ხოლო იმ მინიმალური ენერგიის გამომუშავება, რომელიც შენობას საკუთარი მიზნებისათვის ესაჭიროება უნდა მოხდეს ადგილზე, განახლებადი ენერგიის გამოყენების გზით[5].

ასეთი მკაცრი მოთხოვნების შესრულების მიზნით მნიშვნელოვანი ყურადღება ექცევა შენობის თბური დაცვის ღონისძიებებს, რომლებიც სათავსებში თბურ კომფორტს უზრუნველყოფენ ე.ი. შენობათა თბური დაცვის მიზანია ისეთი ტემპერატურულ-ტენიანობრივი რეჟიმის შექმნა, რომელიც როგორც სასიამოვნოა სათავსში მყოფი ადამიანებისთვის,

ასევე აუცილებელია მათში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის მიზნით.

შენობათა თბური დაცვა მათი ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტების თბური დაცვით მიიღწევა თბური დაცვის სხვადასხვა ხერხი არსებობს რომელთაგან აღსანიშნავია თბური დაცვის ჭავლური მეთოდი, რომელიც გულისხმობს სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების ისეთ განაწილებას რომელსაც შენობის საჰაერო რეჟიმის უზრუნველყოფასთან ერთად უზრუნველყოფილი იქნება შემომზღუდი კონსტრუქციების თბური დაცვაც.

**თემის აქტუალობა** – ჭავლების ნაირსახეობიდან რომლებიც გათბობის, ვენტილაციის და ჰაერის კონდიცირების სისტემებში გამოიყენება, მნიშვნელოვანია დაფენილი ჭავლები, რომლებიც წარმოიქმნება უშუალოდ ზედაპირებთან მათი ორგანიზებული მიწოდებით. მიუხედავად სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების მრავალრიცხოვანი კვლევებისა საჭიროა კიდევ დაფენილი ჭავლების რიგი პარამეტრების დადგენა და შესწავლა, რომლებიც ხელს შეუწყობს სათბობ-სავენტილაციო სისტემების დაპროექტებას და შენობის თბური დატვირთვების სწორად განსაზღვრას.

**ნაშრომის სიახლე** – წარმოადგენს კონსტრუქციულ [6,7,8] ეფექტურ დაფუძნებული ფიზიკური მოდელების ჩამოყალიბება, რომელიც სხვადასხვა სახით დაფენილი ჭავლების გავრცელებისას წარმოიქმნება შემომზღუდი კონსტრუქციების შიგა ზედაპირებთან და მათი მახასიათებლების შესწავლა.

**კვლევის მეთოდიკა** – არსებული მრავალრიცხოვანი სამეცნიერო-კვლევითი თუ პრაქტიკული საკითხების შესწავლის და ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნები და გამოკვეთილია საკითხები, რომელთა შესწავლაც საჭიროა შენობათა თბური რეჟიმის უზრუნველყოფის სისტემების გათვლის მიზნით.

**დისერტაციის მიზანია** – სასაზღვრო შრის თეორიის გამოყენებით კონვექციით თბოგაცემის პროცესის შესწავლა დაფენილ ჭავლსა და ზედაპირს შორის მათზე იძულებითი ან გრავიტაციული ჭავლების ზემოქმედების დროს.

**დისერტაციის პრაქტიკული გამოყენება** – მდგომარეობს იმაში ,რომ მიღებული საანგარიშო განტოლებების საშუალებით გამოთვლილ იქნას ზედაპირებთან ჭავლების გავრცელების ძირითადი პარამეტრები და თბური ნაკადების სიდიდეები, რომლებიც გამოიყენება გათბობის, ვენტილაციის და ჰაერის კონდიცირების სისტემების დაპროექტების დროს.

**სამეცნიერო პრაქტიკული ღირებულება** – მდგომარეობს იმაში ,რომ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დამუშავებული თბური რეჟიმის საინჟინრო გათვლის მეთოდოლოგია გამოიყენება გათბობა-ვენტილაციის და ჰაერის კონდიცირების სისტემებში ისეთი ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების გამოყენების დროს როგორც წიაღისეულ სათბობზე მომუშავე საკონდესაციო ტექნიკა და განახლებადი ენერჯის მაგენერირებელი თბური ტუმბოვანი ტექნიკა



## 1 ლიტერატურის მიმოხილვა

შენობის თბური დაცვა არის შენობის შემომზღვედი კონსტრუქციების (კედლები, ფანჯრები, ჭერი, იატაკი და ა.შ.) ერთობლიობის თვისება აღკვეთოს სითბოს გადასვლა ერთი სათავსიდან მეორეში ან სათავსის ჰაერიდან გარემოში .

შენობათა თბური დაცვის მიზანია უზრუნველყოს შენობაში კომფორტული ტემპერატურულ-ტენიანობრივი რეჟიმი. ამ მიზნის მისაღწევად კი ვიყინებთ შემდეგ ორ ხერხს

პირველი ხერხი – შენობის ისეთი არქიტექტურულ გეგმარებითი და კონსტრუქციული გადაწყვეტა, რომელიც უზრუნველყოფს ზამთარში სითბოს მინიმალურ კარგვას გარემოში და მზის რადიაციით მაქსიმალური სითბოს მოდინებას, ხოლო ზაფხულში სითბოს მინიმალურ მოდინებას შენობაში.

მეორე ხერხი – შენობათა აღჭურვა გათბობის, ვენტილაციის და ჰაერის კონდიციონირების თანამედროვე საიმედო სისტემებით

შენობათა თბური დაცვის და შესაბამისად თბური რეჟიმის უზრუნველყოფაზე და მის ფორმირებაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს როგორც გარემოს ასევე სათავსის ჰაერის პარამეტრები და თანამედროვე შენობების ისეთი აქტუალური მიმართულება როგორცაა ენერგოეფექტურობა[9,10,11,12]

სითბოს გადაცემის, შთანთქმის და ტრანსფორმაციის პროცესებს შენობებში, რომლებიც წარმოადგენენ შემომზღვედი კონსტრუქციების და საინჟინრო აღჭურვილობის რთულ სისტემებს შეისწავლის სამშენებლო ფიზიკა, ხოლო ფიზიკის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის ენერჯის გარდაქმნის პროცესებში თბურ მოვლენებს დაფუძნებულია სამ ექსპერიმენტულ კანონზე, რომლებიც ცნობილია თერმოდინამიკის სამი კანონის სახით [13].

მიღებულია, რომ შენობათა თბური დაცვის ანალიზის დროს შეგვიძლია შემოვიფარგლოთ საყოველთაოდ ცნობილი თერმოდინამიკის ორი კანონით:

**პირველი**-ჩაკეტილი სისტემებისათვის ენერჯის შენახვის კანონი, რომლის თანახმადაც სხეულზე მიწოდებული ენერჯია იხარჯება შიგა ენერჯის ცვლილებასა და გარე მუშაობის შესრულებაზე და **მეორე**-სითბოს თავისთავად გადასვლა დაბალი ტემპერატურული წყაროდან მაღალზე შეუძლებელია.

ამ ორი კანონის საფუძველზე თბოგადაცემის თეორიის გამოყენებით დამუშავებულია შენობათა თბური დაცვის კანონზომიერებანი და მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება შენობათა თბური რეჟიმების შესწავლის, შემომზადდი კონსტრუქციების და შენობების თბური დაცვის დაპროექტების სხვა მთელ რიგი საკითხების განხილვის დროს, რომლებიც დაკავშირებულია შენობათა მიკროკლიმატის პარამეტრების უზრუნველსაყოფად [14,15,16,17].

### 1.1 შენობათა თბური დაცვისადმი წაყენებული მოთხოვნები

შენობის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის მათ წაყენებათ სამი ძირითადი მოთხოვნილება ცალკეული ელემენტებისადმი (კედლები, ფანჯრები, გადახურვები და ა.შ.) კომპლექსური და სანიტარულ ჰიგიენური.

შემომზადდი კონსტრუქციების თბოტექნიკური ანგარიშის აუცილებელი პირობაა, რომ

$$R_0^{\text{ნორმ}} = R_0^{\text{საჭ.მ}} \quad (1.1)$$

სადაც  $R_0^{\text{ნორმ}}$  არის განსახილველი შემომზადდი კონსტრუქციის დაყვანილი თერმული წინააღმდეგობა ანუ ის თერმული წინააღმდეგობა რომელსაც ვადგენთ დაპროექტების სტადიაზე ( $\text{მ}^2\text{°C/ვტ}$ )

R<sub>0საქ</sub>- შემომზადებული კონსტრუქციის საჭირო თერმული წინააღმდეგობის ბაზური მნიშვნელობა და მისი სიდიდე განისაზღვრება მშენებლობის რაიონის გრად.დღეების მიხედვით

გათბობის პერიოდის გრად.დღე განისაზღვრება ფორმულით

$$\text{გრად.დღე} = (t_{\text{ა}} - t_{\text{გათ}}) Z_{\text{გათ}} \quad (1.2)$$

სადაც  $t_{\text{ა}}$  -სათავსის ჰაერის ტემპერატურაა და მისი მნიშვნელობა სტანდარტის მიხედვით ოპტიმალური ტემპერატურის მინიმალური სიდიდის ტოლი (20-22<sup>0</sup>C) აიღება [18,19]

$t_{\text{გათ}}$ ,  $Z_{\text{გათ}}$  გათბობის პერიოდის გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა და გათბობის პერიოდის ხანგრძლივობა დღე.დამ და აიღება ნორმების მიხედვით [20]

ცხრილში ეს სიდიდეები აიღება გარე ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურის მიხედვით საცხოვრებელი სახლებისათვის +8<sup>0</sup>C ხოლო საბავშვო და სამედიცინო დაწესებულებებისათვის +10<sup>0</sup>C ეს სიდეები მრავალი ათეული წლის მანძილზე მოდის ძველი საბჭოთა CHиП- დან და მას რეალურ პირობებთან არაფერი საერთო არ აქვს. ჩვენი გათვლების მიხედვით გათბობის პერიოდად უნდა ითვლებოდეს წლის ის პერიოდი, როდესაც გარე ჰაერის საშუალო დღეღამური ტემპერატურა +15<sup>0</sup>C არ აღემატება. გერმანიაში გათბობის პერიოდად აიღება წლის მონაკვეთი, როდესაც  $t_{\text{გ}}=+15^{\circ}\text{C}$ ; ავსტრიაში +12<sup>0</sup>C; აშშ-ში +20<sup>0</sup>C [21,22]

შემომზადებული კონსტრუქციების თბოტექნიკური გაანგარიშების დროს მათი თერმული წინააღმდეგობების ბაზური მნიშვნელობები (ცხრ.1) შენობის დანიშნულებისა და მშენებლობის რაიონის გრად.დღეების მიხედვით განისაზღვრება ნორმებით [23].

**ცხრ.1.1 სხვადასხვა შემომზადებული კონსტრუქციების ბაზური საჭირო თერმული წინააღმდეგობები**

შენობები და სათავსები, კოეფიციენტი a და b	გათბობის პერიოდის გრად.დღეები <sup>0</sup> C /წელი	შემომზადებული კონსტრუქციების საჭირო თერმული წინააღმდეგობის საბაზისო მნიშვნელობები R <sub>0</sub> <sup>საჭ</sup> მ <sup>2</sup> 0C/ვტ				
		კედლის	გადახურვები	გადახურვა გაუმთბარ სხვენებზე	შუქგამჭვირვალე შემომზადებული კონსტრუქციები	შუქფანრები
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
საცხოვრებელი, სამკურნალო პროფილაქტიკური საბავშვო დაწესებულებების სკოლები საბავშვო ბაღები, სასტუმროები და საერთო საცხოვრებლები	2000	2.1	3.2	2.8	0.3	0.3
	4000	2.8	4.2	3.7	0.45	0.35
	6000	3.5	5.2	4.6	0.6	0.4
	8000	4.2	6.2	5.5	0.7	0.45
	10000	4.9	7.2	6.4	0.75	0.5
	12000	5.6	8.2	7.3	0.8	0.55
<b>a</b>	-	0.00035	0.0005	0.00045		0.000025
<b>b</b>	-	1.4	2.2	1.9		0.25
საზოგადოებრივი გარდა ზემოთ მოყვანილისა, ადმინისტრაციული საყოფაცხოვრებლო საწარმოო შენობები მომატებული ტენიანობის ან სველი რეჟიმით	2000	1.8	2.4	2.0	0.3	0.3
	4000	2.4	3.2	2.7	0.4	0.35
	6000	3.0	4.0	3.4	0.5	0.4
	8000	3.6	4.8	4.1	0.6	0.45
	10000	4.2	5.6	4.8	0.7	0.5
	12000	4.8	6.4	5.5	0.8	0.55
<b>a</b>	-	0.0003	0.0004	0.0005	0.00005	0.000025
<b>b</b>	-	1.2	1.6	1.3	0.2	0.25
საწარმოო შენობები მშრალი და ნორმალური ტენიანობის რეჟიმით*	2000	1.4	2.0	1.4	0.25	0.2
	4000	1.8	2.5	1.8	0.3	0.25
	6000	2.2	3.0	2.2	0.35	0.3
	8000	2.6	3.5	2.6	0.4	0.35
	10000	3.0	4.0	3.0	0.45	0.4
	12000	3.4	4.5	3.4	0.5	0.45
<b>a</b>	-	0.0002	0.00025	0.0002	0.000025	0.000025
<b>b</b>	-	1.0	1.5	1.0	0.2	0.15

ქ. თბილისისა და საქართველოს უმეტესი რეგიონებისათვის გრადუსდღეების რაოდენობა 2000-ის ფარგლებში, არის გამოც მასიური შემომზადებული კონსტრუქციებისათვის (კედლები, გადახურვები, იატაკები) საჭირო თერმული წინააღმდეგობები (2.1-3.2) მ<sup>2</sup>С/ვტ ფარგლებშია. კედლების თბოგადაცემა (თბოგადაცემის კოეფიციენტი) უნდა იყოს

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2.1} = 0.476 \text{ ვტ /მ}^2\text{С} \quad (1.3)$$

საქართველოს კლიმატური პირობებისათვის დამახასიათებელია რეგიონებში კედლის ნორმირებული თბოტექნიკური მახასიათებლები ნაჩვენებია 1.2 ცხრილში.

**ცხრ.1.2 საქართველოს რეგიონებში კლიმატური პირობებისათვის დამახასიათებელი კედლის ნორმირებული თბოტექნიკური მახასიათებლები**

ადგილმდებარეობა	გათბობის სეზონის საშ. ტემპერატურა გრად	გათბობის სეზონის ხანგრძლივობა გრად, დღეები	გათბობის პერიოდის გრად. დღეები	კედლის ნორმირებული თერმული წინააღმდეგობა მ <sup>2</sup> С/ვტ	კედლის თბოგადაცემის კოეფიციენტი k=1/ R <sub>0</sub> ვტ /მ <sup>2</sup> °С
თბილისი	4.1	121	1924	2.1	0.476
ახალქალაქი	-0.8	206	4284	2.8	0.357
ჯვარი-გუდაური	-1.9	291	6373	3.5	0.286
ყაზბეგი	-5.7	365	7380	3.8	0.263
მესტია	-0.4	202	4040	2.8	0.357

ამ ცხრილში ნაჩვენებია კედლის თბოგადაცემის კოეფიციენტები გამოთვლილი СНиП-ის მიხედვით ორჯერ მეტია ევრონორმებთან (EnEv 2014/2016) შედარებით ანუ СНиП- თან შედარებით ევროპული ნორმებით დაპროექტებულ შემომზადებულ კონსტრუქციებს, სახელდობრ გარე კედლების ორჯერ მეტი წინააღმდეგობა გააჩნიათ ვიდრე ამას СНиП-ი გვთავაზობს.

ევროპაში ეს ნორმები კიდევ უფრო გამკაცრებულია და მიღებულია ახალი ნორმა, რომლის თანახმადაც  $\Sigma \leq 0.15$  ვტ/მ<sup>20</sup>C. სახლები რომლებიც ამ მოთხოვნებს აკმაყოფილებენ ეწოდება ნულოვანი ენერგომოთხოვნილების სახლები.

შენობათა შემომზადებული კონსტრუქციების სწორად შერჩევა შენობის ენერგომოთხოვნილების შემცირების წინაპირობაა. საქართველოში აშენებული და მშენებარე სახლების თბური დაცვა არც ერთ ნორმას არ ეთანადება არც СНиП-ის და არც EnEv-ს მოთხოვნებს.

საქართველოში ყველაზე უფრო გავრცელებული სამშენებლო მასალები, რომლითაც გასულ საუკუნეში შენდებოდა სახლები თბური დაცვის ვერც ერთ ნორმას ვერ აკმაყოფილებს. საილუსტრაციოდ შეიძლება შევავსოთ ცხრილი 1.3 მონაცემები, რომელშიც ქ. თბილისის კლიმატური პირობებისთვის წარმოდგენილია თბილისში გავრცელებული სამშენებლო მასალებით აგებული შენობების კედლის სისქეები.

**ცხრილი 1.3 ერთგვაროვანი შემომზადებული კონსტრუქციის სისქეები ქ.თბილისისათვის**

№	კედლის მასალა	სიმკვრივე კგ/მ <sup>3</sup>	თბოგამტარობის კოეფიციენტი ვტ/მ <sup>0</sup> C	სისქე δ მ
1	პენოპოლისტიროლის ფილები	25-30	0.044	0.09
2	ექსტრუდირებული პენოპოლისტიროლი	25-33	0.03	0.065
3	კერამზიტბეტონი	1600	0.79	1.659
4	თიხის ჩვეულებრივი გაგმოწვარი აგური	1800	0.81	1.7
5	ბეტონი	2400	1.86	3.9
6	რკინაბეტონი	2500	2.04	4.3

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს იმისათვის, რომ დაკმაყოფილდეს საჭირო თერმული წინააღმდეგობის ნორმატიული სიდიდე აგურის კედლის სისქე უნდა იყოს 1.7 მ და მეტი, ხოლო ბეტონის კედლის სისქე კი 3.9 მ და მეტი ბუნებრივია, რომ ასეთი სისქის კედლების აგება არარეალურია, არადა ფაქტია რომ აგურის სახლების უმეტესობის გარე კედლების სისქე 38 სმ–ია ანუ აგურნახევარი. ასეთი სახლების გათბობაზე 4-6 –ჯერ მეტი თბური ენერჯიაა საჭირო.

როგორც ევროპარლამენტის დირექტივებიდან ირკვევა 2050 წლისათვის ევროკავშირის ტერიტორიაზე ყველა სახლი უნდა იყოს ნულოვანი ენერგომოთხოვნილების რაც იმას ნიშნავს რომ ყოველწლიურად შენობა-ნაგებობების 3% უნდა უზრუნველყოფდეს თბური დაცვის ნორმატიულ მაჩვენებლებს. ეს პროცესი უკვე დაწყებულია და ევროკავშირის ტერიტორიაზე მშენებარე ყველა ახალი შენობა უნდა აკმაყოფილებდეს EnEv - ს მოთხოვნებს [24].

ყველა ძველი შენობისთვის შემომზადი კონსტრუქციებისათვის დაცული უნდა იქნეს თბური დაცვის 1.4 ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემები

**ცხრ. 1.4 EnEv 2014/2016- ის მოთხოვნები ძველი შენობებისათვის**

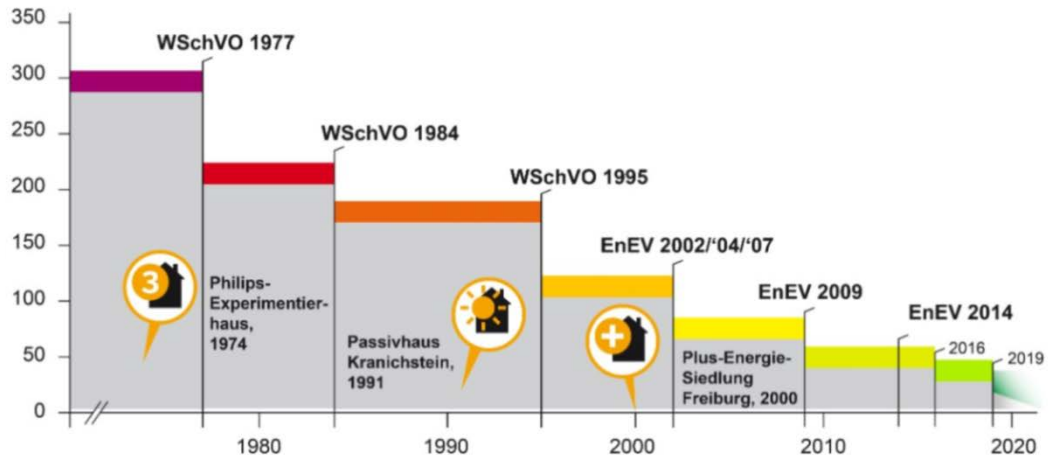
შემომზადი კონსტრუქცია	დათბუნება	სითბოსგადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა U ვტ/მ²K
სარდაფის იატაკი	შიდა დათბუნება	$U \leq 0.50$ ვტ/მ²K
სარდაფის კედლები	პერიმეტრის დათბუნება	$U \leq 0.30$ ვტ/მ²K $U \leq 0.30$ ვტ/მ²K
სარდაფის ჭერი	შიდა დათბუნება	$U \leq 0.30$ ვტ/მ²K $U \leq 0.30$ ვტ/მ²K
გარე კედელი	დათბუნება ჭერის ზემოდან	$U \leq 0.24$ ვტ/მ²K $U \leq 0.24$ ვტ/მ²K $U \leq 0.35$ ვტ/მ²K
ბრტყელი გადახურვა	დათბუნება ჭერის ქვემოდან	$U \leq 0.20$ ვტ/მ²K $U \leq 0.20$ ვტ/მ²K

ზედა სართულის გადახურვა	შეკიდული ფასადი	$U \leq 0.24$ ვტ/მ <sup>2</sup> K $U \leq 0.24$ ვტ/მ <sup>2</sup> K
დახრილი სახურავი	ბირთვის დაფუძნება	$U \leq 0.24$ ვტ/მ <sup>2</sup> K $U \leq 0.24$ ვტ/მ <sup>2</sup> K
ფანჯრები	ნორმარული ფანჯარა ვიტრაჟი შუქფანრები ზამთრის ბალები განსაკუთრებული შემინვა	$U \leq 1.3$ ვტ/მ <sup>2</sup> K $U \leq 1.1$ ვტ/მ <sup>2</sup> K $U \leq 1.4$ ვტ/მ <sup>2</sup> K $U \leq 2.0$ ვტ/მ <sup>2</sup> K $U \leq 1.6$ ვტ/მ <sup>2</sup> K
გარე კარები	.....	$U \leq 1.8$ ვტ/მ <sup>2</sup> K

ევროპის ქვეყნებში შემომზადებული კონსტრუქციების თბური დაცვის დაპროექტება ხდება შენობებისთვის უკვე ცნობილი წინასწარდასახული თბური დატვირთვის სიდიდეების მიხედვით. ასეთი ნორმების დამუშავება ევროპაში დაიწყო პირველი ენერგეტიკული კრიზისის (1973წ) შემდეგ [24]. იმ დროისათვის შენობებში თბური ენერჯის მოხმარება ევროპის ქვეყნებში შეადგენდა (300-350) კვტ.სთ/მ<sup>2</sup>წელ და უფრო მეტს. თბური ენერჯის მოხმარების შემცირების და გამონაბოლქვების მინიმუმამდე დაყვანის მიზნით ეს ნორმები სულ უფრო მკაცრდებოდა (ნახ.1.1) და დღეისათვის იგი უკვე თითქმის ნულამდეა დასული.



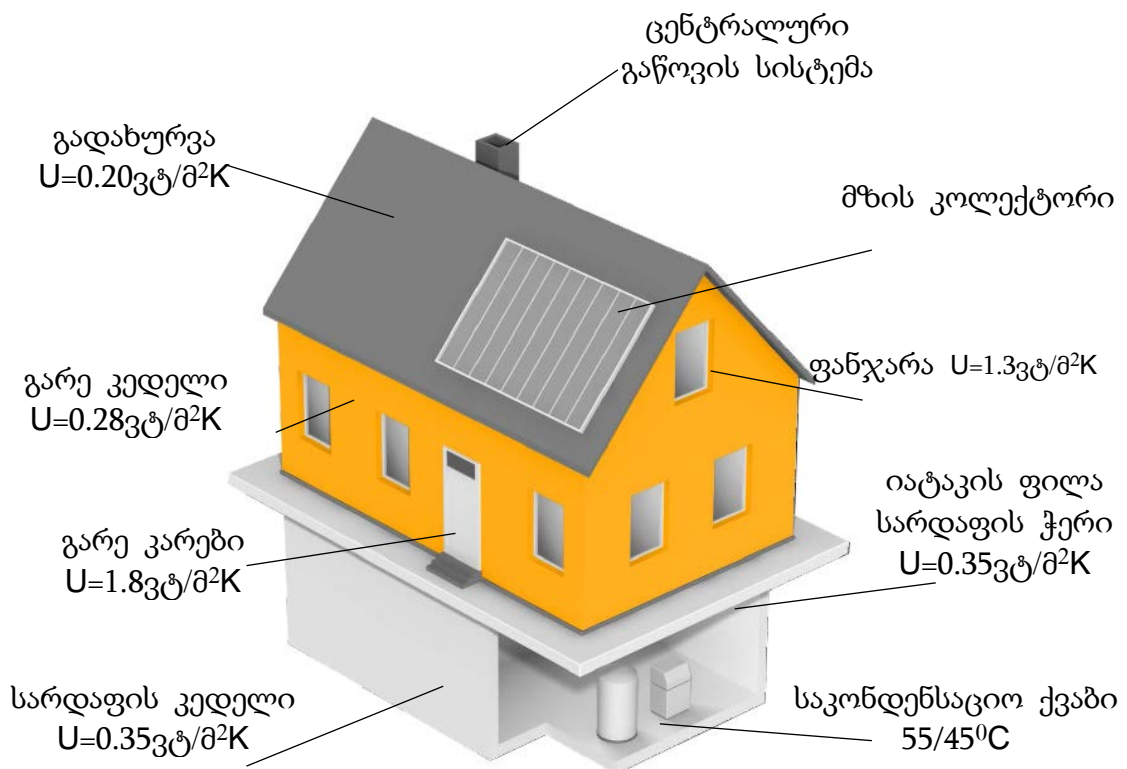
თბური ენერჯის მოხმარება კვტ/სთმ<sup>2</sup>წ.

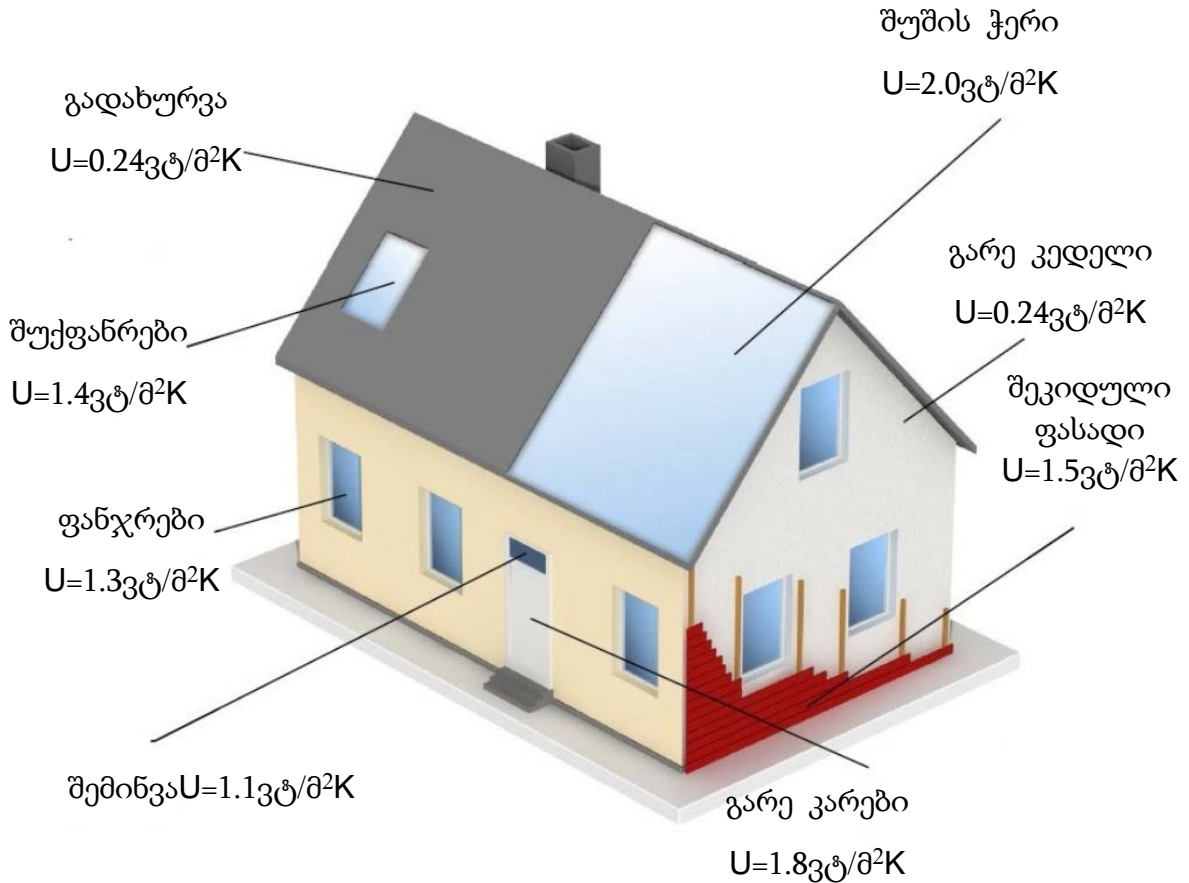


### ნახ.1.1 თბური ენერჯის მოხმარების ნორმების მრავალწლიანი ევოლუცია

თბური ენერჯის მოხმარების ნორმების მრავალწლიანი ევოლუციის შემდეგ თბური დაცვის მთავარმა მახასიათებელმა შენობათა სხვადასხვა კონსტრუქციებისათვის მიიღო (ნახ.1.2) ნაჩვენები მნიშვნელობები.

სიდიდე  $U$  წარმოადგენს ჩვენთვის კარგად ცნობილ თბოგადაცემის კოეფიციენტს ანუ შემომზღუდი კონსტრუქციის თერმული წინააღდეგობის შებრუნებულ სიდიდეს.





**ნახ.1.2 თბური დაცვის მახასიათებლები შენობათა სხვადასხვა კონსტრუქციებისათვის**

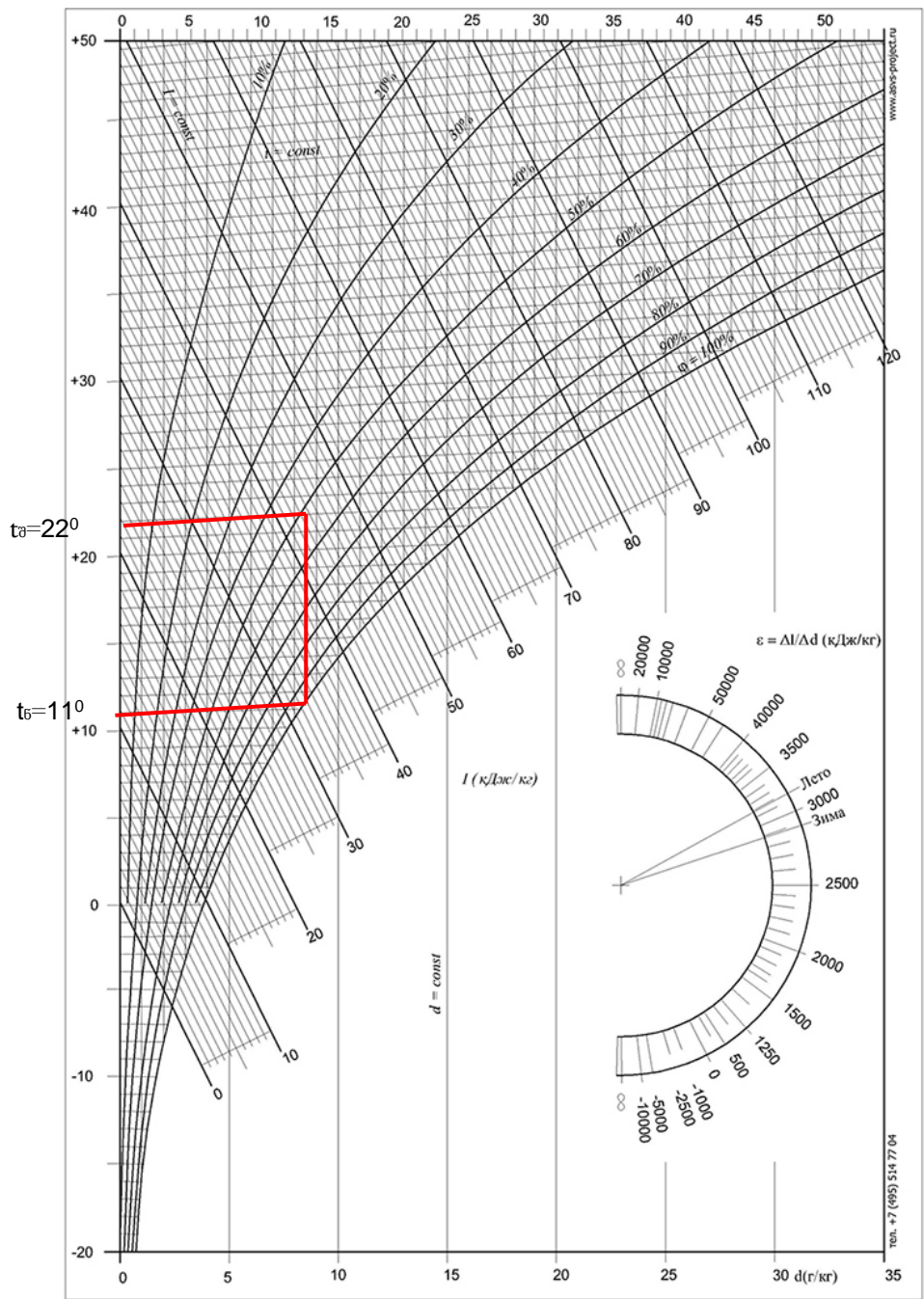
შენობათა დაცვის ერთ-ერთი ელემენტის მოთხოვნაა ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის  $\Delta t^{ნორმ}$ -ის უზრუნველყოფა. ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა ეს ის მინიმალური ტემპერატურული სხვაობაა, რომელიც უნდა არსებობდეს სათავის ჰაერსა და გარე შემომზღლუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირს შორის

$$\Delta t^{ნორმ} = t_{ა} - t_{გ} \quad (1.4)$$

და იგი მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს .

$\Delta t^{ნორმ}$  სიდიდეები შემომზღლუდი კონსტრუქციის სახეობის და შენობის დანიშნულების მიხედვით განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებით .[23]

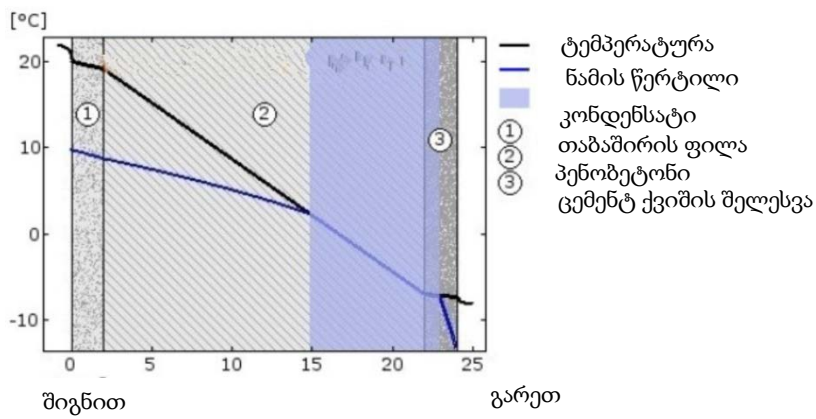
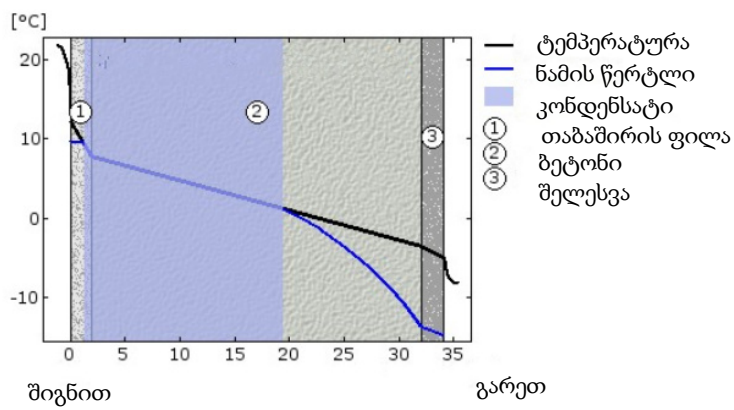
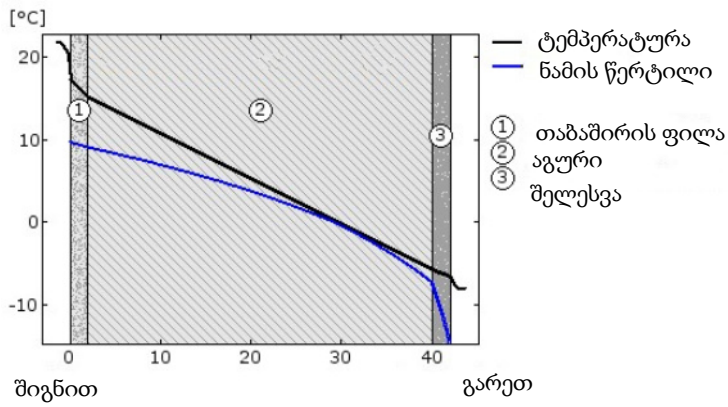
ამ ნორმების თანახმად საცხოვრებელი და მრავალი საზოგადოებრივი შენობის გარე კედლებისათვის იგი  $4^{\circ}\text{C}$  ტოლია . იმ შემთხვევაში თუ  $\Delta t^{\text{ნორმ}} > 4^{\circ}\text{C}$  სათავსში მყოფი ადამიანისთვის იქმნება ტემპერატურული დისკომფორტი. ამ დროს ადამიანი ცივ ზედაპირს გამოსხივებით გადასცემს სითბოს დიდ რაოდენობას რაც იწვევს მისი სხეულის გადამეტცივებას და შესაბამისად გაცივებით დაავადებას [25,26,27] ამ დროს რამდენადაც არ უნდა გავზარდოთ შიდა ჰაერის ტემპერატურა სასურველ ეფექტს ვერ მივაღწევთ. გარდა ამისა როდესაც  $\Delta t^{\text{ნორმ}} > 4^{\circ}\text{C}$  კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა შეიძლება დაეცეს სათავსის ჰაერის ნამის ტემპერატურაზე დაბლა, რაც ბუნებრივია გამოიწვევს კონდენსატის წარმოქმნას ზედაპირზე. ეს კონდენსატი მასიური კედლების ზედაპირებზე წარმოქმნის შემდეგ, წყლის სახით შეიწოვება კედლის სიზრქეში გამოიწვევს რა კედლის შრის თბოგამტარობის გაზრდას, გაზრდის კედლის არასასურველ თბოდანაკარგებს [28,29,30]. წყლის ორთქლის კონდენსაცია დაუშვებელია როგორც კედლის ზედაპირზე ასევე მის სიზრქეში. როდესაც სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურა  $t_{\text{ა}}=22^{\circ}\text{C}$  ხოლო ფარდობითი ტენიანობა  $\varphi_{\text{ა}}=50\%$  ნამის ტემპერატურა  $t_{\text{ნა}}=11^{\circ}\text{C}$  ე.ი. თუ კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა დაეცა  $11^{\circ}\text{C}$  -ზე დაბლა მაშინ ამ ზედაპირზე წარმოიქმნება კონდენსატი. ნამის წერტილის განსაზღვრის ერთ-ერთი უმარტივესი გზაა I-D დიაგრამის გამოყენება.



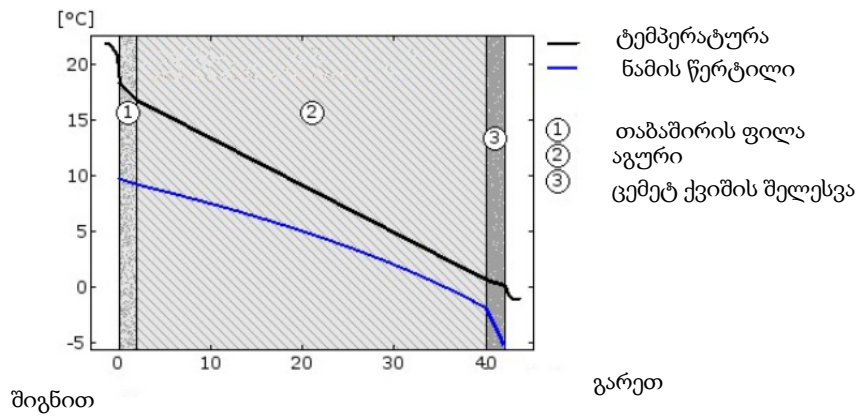
ნახ.1.3 ნამის წერტილის განსაზღვრა I-D დიაგრამის საშუალებით

ნახ.1.4 ნაჩვენებია სხვადასხვა მასალისაგან შემდგარი მრავალშრიანი შემომზღული კონსტრუქციის ტემპერატურული ველი საქართველოს რამდენიმე ქალაქისათვის თბილისი, ახალქალაქი, ბათუმი, სტეფანწმინდა (გუდაური)

## თბილისი

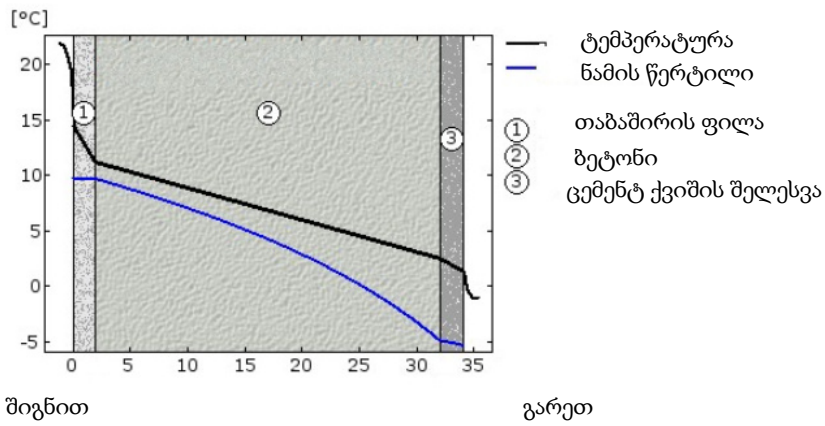


## ბათუმი



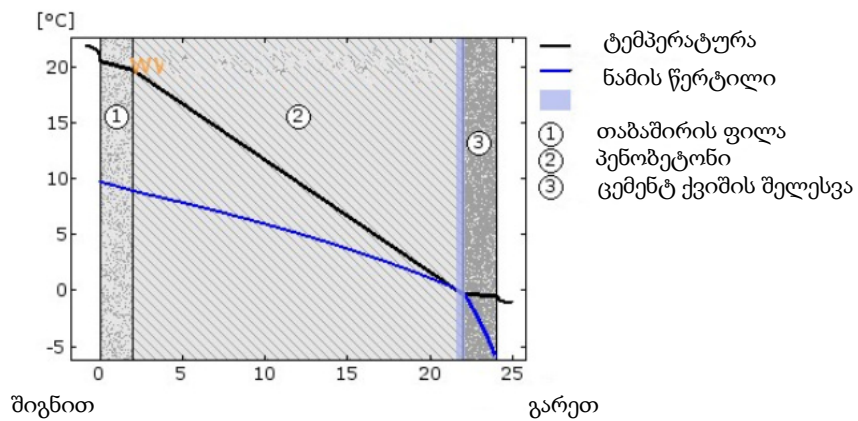
შიგნით

გარეთ



შიგნით

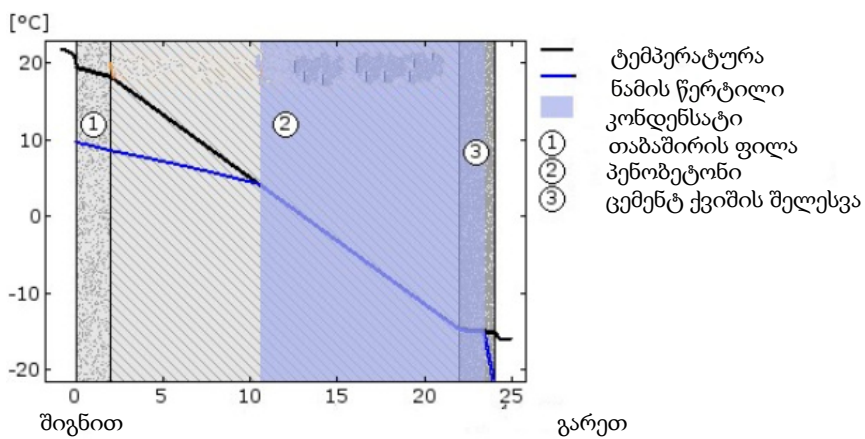
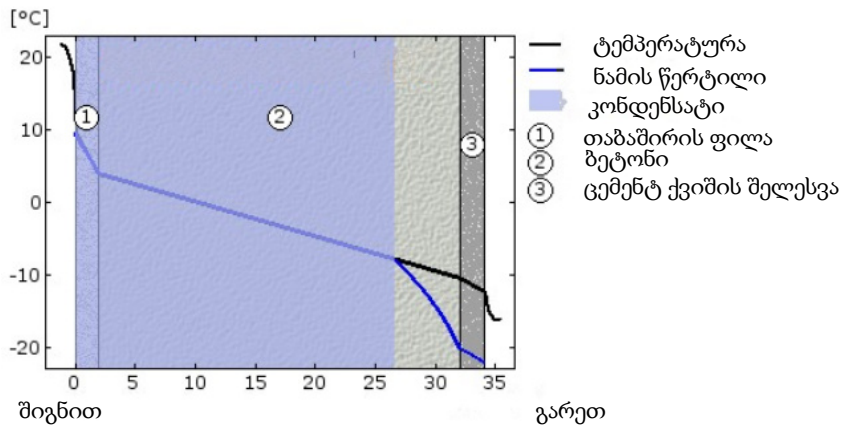
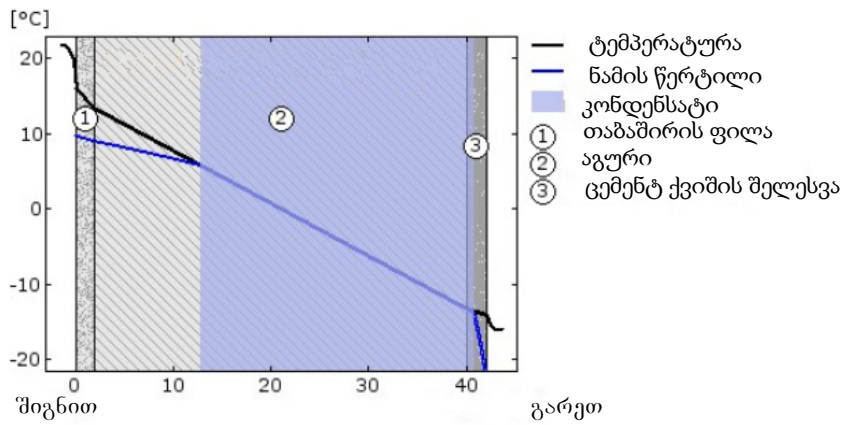
გარეთ



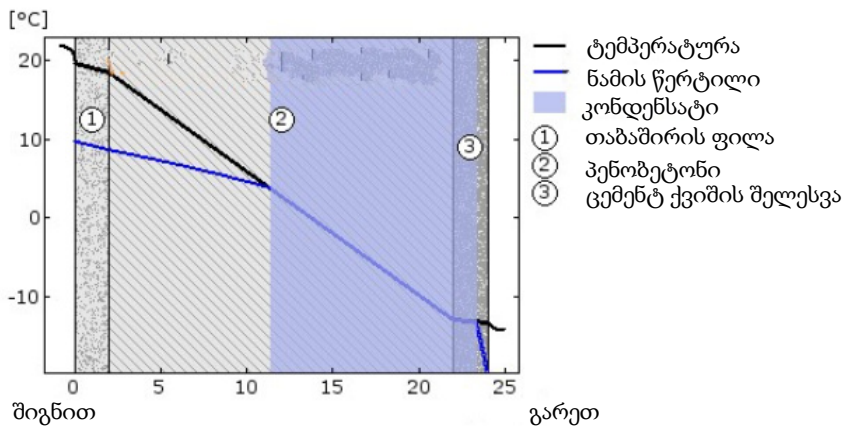
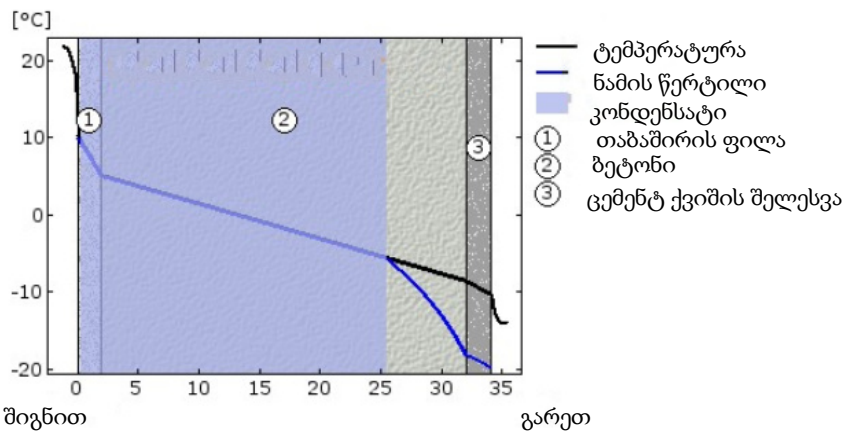
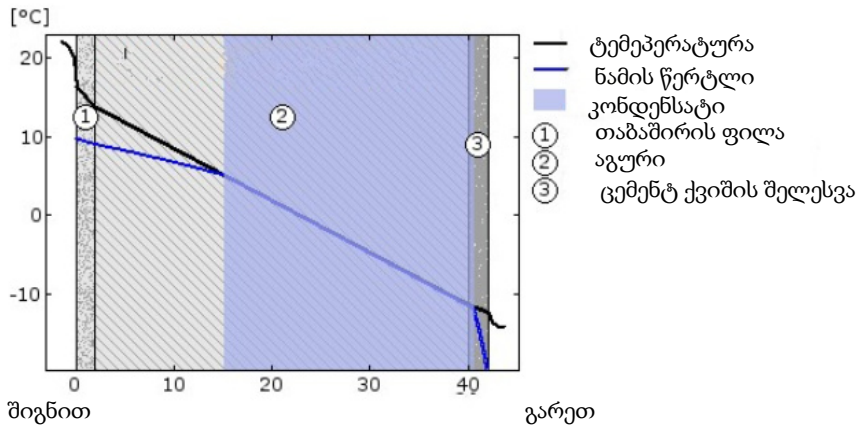
შიგნით

გარეთ

## ახალქალაქი



## სტეფანწმინდა



**ნახ.1.4 სხვადასხვა მასალისაგან შემდგარი მრავალშრიანი შემომზღული კონსტრუქციის ტემპერატურული ველი საქართველოს რამდენიმე ქალაქისათვის**

როგორც ამ გრაფიკებიდან ჩანს არც-ერთი ამ ქალაქისთვის დაცული არ არის თბური დაცვის პირობა  $\Delta t^{ნორმ}=4^{\circ}\text{C}$  თბილისისათვის



როდესაც გვაქვს რკინაბეტონის კედელი  $\Delta t_{\text{ნორმ}}=12^{\circ}\text{C}>>4^{\circ}\text{C}$  ხოლო აგურის კედლისთვის  $\Delta t_{\text{ნორმ}}=4.5^{\circ}\text{C}$  უფრო მაღალი ტენიანობის პირობებში კი არა მარტო ზედაპირზე, არამედ კედლის სიზრქეშიც გამოიყოფა კონდენსატი. ყველა ამ კედლისათვის კედლის თბოდაცემის სიდიდე ბევრად მეტია ვიდრე ამას EnEv ნორმები ითვალისწინებს რომლის თანახმადაც  $U=0.24 \text{ ვტ/მ}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ყველაზე საშიშ შემთხვევად კონსტრუქციას ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის  $\Delta t_{\text{ნორმ}}$  უზრუნველყოფის მიზნით წარმოადგენს შუქგამჭვირვალე კონსტრუქციები (ფანჯრები, აივნის კარები, ვიტრინები, ვიტრაჟები, შუქფანრები [31,32,33,34] და ამ კონსტრუქციების მაღალი ბოგადაცემის გამო ტემპერატურული სხვაობა სათავსის ჰაერსა და შემინულ ზედაპირს შორის ხშირად  $4^{\circ}\text{C}$  -ს აღემატება. ხანდახან ეს სხვაობა იმდენად დიდია, რომ ზედაპირის ტემპერატურა ნამის ტემპერატურაზე დაბლა ეცემა, რაც მასზე კონდენსატის წარმოქმნის პირობას იძლევა. СНиП-ის თანახმად შუქგამჭვირვალე კონსტრუქციების ბაზური თერმული წინააღმდეგობა დამოკიდებულია შენობის სახეობასა და მშენებლობის რაიონის გრად.დღ რიცხვზე (ცხრ.1.1) EnEv ნორმების მიხედვით იგი ნორმირებული ცნობილი სიდიდეა.

საქართველოში დღეისათვის ფანჯრის ყველაზე უფრო გავრცელებული კონსტრუქციაა შეწყვილებული მინაპაკეტი, რომელიც შევსებულია ჰაერით. ასეთი მინაპაკეტის თერმული წინააღმდეგობა, როდესაც მინებს შორის მანძილი 16-20 მმ ია ტოლია  $0.35 \text{ მ}^2\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{ვტ}$  შესაბამისად თბოგადაცემის  $U=\frac{1}{0.35}=2.68 \text{ ვტ/მ}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ჩვენს მიერ ჩატარებული ასეთი მინაპაკეტის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის ანგარიში გარე ჰაერის იმ სხვადასხვა ტემპერატურისათვის, რომელიც საქართველოს ზამთრის და გარდამავალი პერიოდებისათვის არის დამახასიათებელი (ცხრ.1.5)

**ცხრ.1.5 მინაპაკეტის შიგა ზედაპირის ტემპერატურები გარე ჰაერის სხვადასხვა ტემპერატურისათვის**

$t_{\text{გ}}$	15	10	5	0	-5	-10	-15
$\tau_{\text{გ}}$	19.7	18	16.4	14.7	13.1	10.8	9.1
$\Delta t^{\text{ნორმ}}=t_{\text{გ}}-\tau_{\text{გ}}$	2.3	4	5.6	7.3	8.9	11.2	12.9

როგორც ამ ცხრილიდან ირკვევა სანჰიგიენური ნორმებით გათვალისწინებული თბური დაცვის ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრი ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა შეიძლება შენარჩუნებულ იქნას მხოლოდ მაშინ, როდესაც გარე ჰაერის ტემპერატურა  $t_{\text{გ}}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$  გათბობის პერიოდის დაწყების დროს ( $t_{\text{გ}}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) საჭიროა ღონისძიებების მიღება, რომ ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა არ გაიზარდოს  $4^{\circ}\text{C}$  მეტად. სწორედ ამ ტემპერატურული სხვაობის ვერ უზრუნველყოფა ( $\Delta t^{\text{ნორმ}} > 4.5^{\circ}\text{C}$ ) იწვევს გარდამავალ პერიოდში გახშირებულ გაცივებით დაავადებებს.

რაც შეეხება ზედაპირზე კონდენსატის გამოყოფას იგი მოსალოდნელია მაშინ როდესაც გარე ჰაერის ტემპერატურა  $10^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბლა დაეცემა, რადგანაც გარე ჰაერის ამ ტემპერატურის დროს ზედაპირის ტემპერატურა ( $\tau_{\text{გ}}=-10^{\circ}\text{C}$ ) ნაკლებია სათავსის ჰაერის ( $t_{\text{გ}}=22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ნამის ტემპერატურაზე ( $t_{\text{საგ}}=11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ეს გათვლები ეხება მხოლოდ იმ შემთხვევას როდესაც სათავსში უზრუნველყოფილია ოპტიმალური, კომფორტული პარამეტრები ( $t_{\text{გ}}=22^{\circ}\text{C}$   $\varphi=50\%$ ) თუ სათავსში ტენიანობა არ რეგულირდება და სათავსის ჰაერი მარტო თბება ამ დროს სათავსის ჰაერის ტენიანობა (10-20%)-მდე ეცემა. ამ დროს კი ნამის ტემპერატურა ( $t_{\text{ს}}$ ) ჩამოდის  $-3^{\circ}\text{C}$ -მდე ე.ი  $t_{\text{საგ}}=-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  სწორედ ამიტომაც, რომ კონდენსატი ამ დროს მიუხედავად ზედაპირის დაბალი ტემპერატურისა არ გამოიყოფა. მაგრამ იზრდება საფრთხე კომფორტულობის პირობის დარღვევისა იმიტომ, რომ იზრდება ადამიანის მიერ ზედაპირზე რადიაციით სითბოს გაცემისა. ტენიანობის გაზრდით კი 60%-მდე და

ზევით ნამის წერტილი იზრდება 14°C-ზე მეტად და კონდენსატის გამოყოფა მოსალოდნელია უკვე 0°C-ზე ასეთ შემთხვევებს ადგილი აქვს ტენიან სათავსში როდესაც  $\varphi > 60\%$  ამ დროს იტყვიან, რომ ფანჯრები დაიორთქლაო.

ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის  $\Delta t^{ნორმ}=4$  °C უზრუნველყოფა უფრო მაღალი თბოტექნიკური მახასიათებლების მქონე შემინული კონსტრუქციებით.

EnEv -ის ნორმების თანახმად ფანჯრის თერმული წინააღმდეგობა უნდა იყოს (0.7-0.8) ვტ/მ<sup>2</sup>°C რაც ორჯერ და მეტად აღემატება СНиП-ით რეკომენდირებულ სიდიდეს ( $R_0=0.35$  ვტ/მ<sup>2</sup>°C) ხოლო ზედაპირის ტემპერატურა როდესაც გარე ჰაერის ტემპერატურა  $t_a=-10$ °C აღწევს 17.2°C . აქედან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ევრონორმების მოთხოვნების შესაბამისად დაპროექტებული შეუქვამჭვირვალე კონსტრუქციები გარე ჰაერის უფრო დაბალი ტემპერატურის დროს ( $t_a \leq 10$  °C ) უზრუნველყოფს ზედაპირის უფრო მაღალ ტემპერატურას. ვინაიდან შემინული ზედაპირების თბური დაცვა კონსტრუქციული თვალსაზრისით ხშირად შეუძლებელია მივმართავთ თბური დაცვის პირობების უზრუნველყოფას სათბობ სავენტილაციო ჭავლებით.

ჩვენს მიერ ზემოთგანხილული შენობის თბური დაცვის მახასიათებლები: შემომზადებული კონსტრუქციების დაყვანილი თერმული წინააღმდეგობა ( $R_0$ ) ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა ( $\Delta t^{ნორმ}$ ) შემომზადებული კონსტრუქციის ზედაპირებთან თბოგაცემის თერმული წინააღმდეგობები ( $R_{ა}$  და  $R_{გარ}$ ) და სხვ. წარმოადგენენ შენობათა ელემენტურ მოთხოვნებს და იგი საჭიროა შესრულდეს შენობათა ცალკეული ელემენტებისათვის (კედლები, ფანჯრები, კარები, ქერი, იატაკი და სხვა.) [35,36,37,38,39]

გარდა ელემენტური მოთხოვნებისა შენობათა თბური დაცვა მოითხოვს აგრეთვე კომპლექსური მოთხოვნების დაკმაყოფილებას, რომელიც გულისხმობს 1მ<sup>2</sup> შენობის თბური ენერგიით უზრუნველყოფის

სიდიდეს წლის განმავლობაში, რომელიც შენობის მოცულობისა და მშენებლობის რაიონის მიხედვით განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებით [23] ეს ნორმები სხვადასხვა თაობის შენობებისათვის სხვადასხვაა და მისი ძირითადი მიზანია განისაზღვროს შენობის ხვედრითი თბური დატვირთვა  $K$  ვტ/მ<sup>2</sup>°C რომელიც ბუნებრივია ითვალისწინებს თბური დაცვის ელემენტური მოთხოვნების დაკმაყოფილებას .

ევროპული ქვეყნების შენობათა საშუალო თბური დატვირთვა ძველი თაობის შენობებში შეადგენს 200-300 კვტ სთ/მ<sup>2</sup>წელ თბური დაცვის ძველი ნორმებით აშენებულ ევროპულ შენობებში დატვირთვების შემცირება 70-75% -ით შესაძლებელი გახდა ეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენებით შენობათა კონსტრუქციულ ელემენტებში.

დღეს ევროპაში არსებული ნორმებით დადგენილია შენობათა ენერგომოთხოვნა 80-100 კვტ სთ/მ<sup>2</sup>წელ

ახალი თაობის შენობებისათვის, რომლებიც პროექტდება და შენდება ახალი კონცეფციით ენერგომოთხოვნილება უნდა შეადგენდეს 15 კვტ სთ/მ<sup>2</sup>წელ ცხრ.1.6-ში ნაჩვენებია სხვადასხვა თაობის ევროპული შენობების სტრუქტურა და ენერგომოთხოვნილება.

საქართველოში შენობათა თბური დატვირთვების არავითარი ანალიზი არ არის ჩატარებული. ამიტომაც ვსარგებლობთ მოძველებული საბჭოთა სტანდარტებით.

თბური დაცვის პარამეტრების დადგენის მიზნით მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ევროკავშირის ქვეყნების შესაბამისი სტანდარტებით სარგებლობა. ამ სტანდარტების ჩამონათვალი ნაჩვენებია ცხრილში 1.6

**ცხრ.1.6 დაბალი ენერგომოთხოვნილების სახლების ევროპული სტანდარტები**

ქვეყანა	იფიციალური დასახელება
ავსტრია	შენობები დაბალი ენერგომომხმარებით=თბური ენერგიის წლიური მოხმარებით 60-40კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> ნაკლები რაც 30%-ით ნაკლებია საბაზო დონეზე “პასიური სახლი” = “პასიური სახლის” სამშენებლო სტანდარტი (Passivhaus Institut DrWolfgang Feist(“პასიური სახლის” ვოლფგანგ ფაისტის ინსტიტუტი)) (15 კვტსთ/მ <sup>2</sup> სასარგებლო ფართი (შტირია) და გასათბობი ფართის (ტიროლი )
ბელგია	ენერგომომხმარების პირველი კლასი 40%-ით ნაკლები ვიდრე საბაზო დონე 30%-ით ნაკლები ვიდრე საბაზო დონე ოფისებისთვის და სასაწავლო შენობებისთვის ძალიან დაბალი ენერგომომხმარების კლასი : საცხოვრებელი სახლებისთვის საბაზისო დონესთან 60 %-ით შემცირება და 40%-ით სკოლებისთვის და საოფისე შენობებისთვის
ჩეხეთი	დაბალი ენერგომომხმარების კლასი 51-97კვტ-სთ/ მ <sup>2</sup> წლიურად ძალიან დაბალი ენერგომომხმარების კლასი: 51კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> -ზე ნაკლები წლიურად ასევე გამოიყენება “პასიური სახლი” სამშენებლო სტანდარტი 15კვტ-სთ/მ <sup>2</sup>
დანია	დაბალი ენერგომომხმარების კლასი 1=საპროექტო ენერგოგამომუშავება 50%-ით ნაკლებია ვიდრე ახალი შენობების საბაზო მოთხოვნილება დაბალი ენერგომომხმარების კლასი2=საპროექტო ენერგოგამომუშავება 25%-ით ნაკლებია ვიდრე ახალი შენობებისთვის მინიმალური მოთხოვნილება(ანუ საცხოვრებელი სახლებისთვის =70+2200/ კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> წელიწადში (ჩაშენებული განათებისთვის ელქტრო ენერგიის ჩათვლით)
ფინეთი	სტანდარტი შენობებისთვის დაბალი ენერგომომხმარების : 40%-ით უკეთესია ვიდრე სტანდარტული შენობები .
საფრანგეთი	ახალი საცხოვრებელი შენობები: საშუალო წლიური ენერგო მოხმარება გათბობისთვის, გაგრილებისთვის ვენტილაციისთვის ცხელწყალმომარაგებისათვის და განათებისთვის უნდა იყოს ნაკლები 50კვტ.სთ/მ <sup>2</sup> (პირველადი ენერგიასთან შედარებით)ეს მონაცემი მერყეობს 40 კვტ.სთ/მ <sup>2</sup> -დან 60 კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> - მდე კლიმატური ზონის და შენობის სიმაღლიდან გამომდინარე. სხვა შენობები: საშუალო წლიური ენერგო მოხმარება გათბობისთვის, გაგრილებისთვის, ვენტილაციისთვის, ცხელწყალმომარაგებისათვის და განათებისთვის უნდა იყოს 50%-ით ნაკლები ვიდრე მითითებულია მიმდინარე სამშენებლო ნორმებში ახალი შენობებისთვის რეკონსტრუქციისთვის 80 კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> 2009 წელს

გერმანია	მოთხოვნები დაბალი ენერგომომხმარების საცხოვრებელი სახლებისთვის=60 კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> ან 40კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> მაქსიმალური ენერგომომხმარება ზღვრული მნიშვნელობები არსებული შენობებისთვის 40% და მეტი პასიური სახლი = 40კვტ- სთ შენობებისთვის დატვირთვით გათბობაზე 15კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> ნაკლები და საერთო მოხმარებით 120კვტ-სთ/მ <sup>2</sup> ნაკლები
----------	---

შენობათა თბური დაცვის პარამეტრების პასიური მეთოდებით განსაზღვრა ხშირ შემთხვევაში ვერ იძლევა სასურველ შედეგს. ამიტომაც საჭირო ხდება ამ პარამეტრების სრულყოფა სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების ორგანიზებული მიწოდებით. ეს ჭავლები შენობათა საერთო საჰაერო რეჟიმის უზრუნველყოფის პარალელურად უზრუნველყოფენ შენობათა ცალკეულ ელემენტების თბურ დაცვასაც.

## 1.2 მიკროკლიმატის პარამეტრები და მათი გავლენა შენობათა თბური რეჟიმის ფრომირებაზე

შენობის, როგორც ცალკეული ელემენტების, ასევე მთლიანი შენობის თბური დაცვის მიზანია უზრუნველყოს სათავსის თბური რეჟიმი ანუ ის ტემპერატურულ-ტენიანობრივი რეჟიმი, რომელიც სასიამოვნო იქნება სათავსში მყოფი ადამიანებისათვის და ხელს შეუწყობს ტექნოლოგიური პროცესების წარმართვას.

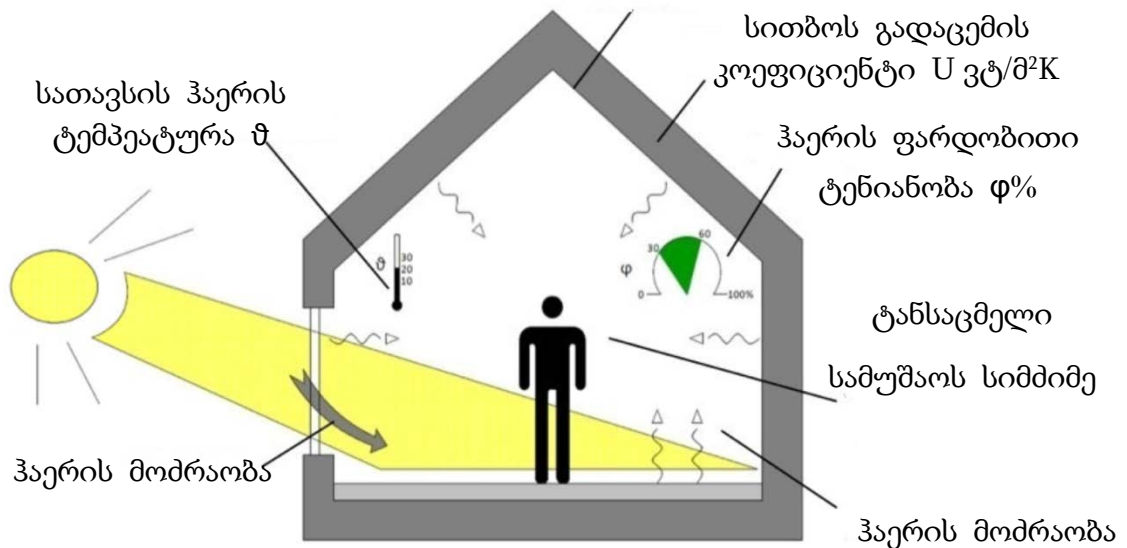
ტემპერატურულ-ტენიანობრივი რეჟიმს სხვანაირად სათავსის მიკროკლიმატსაც უწოდებენ და იგი წარმოადგენს სათავსის შიგა არის მდგომარეობას, რომელიც ზემოქმედებს ადამიანზე ისეთი პარამეტრებით როგორცაა სათავსის ჰაერის და შემომზღლუდი კონსტრუქციების ზედაპირების ტემპერატურა, ტენიანობა და ჰაერის მოძრაობა. სათავსის მიკროკლიმატის პარამეტრები შეიძლება დადებითად მოქმედებდნენ ადამიანებზე ან ახდენდნენ მათზე უარყოფით ზეგავლენას. ამიტომაც სამშენებლო თბოფიზიკაში შემოღებულია კომფორტულობის ცნება. ზოგადად სათავსის კომფორტულობაზე გავლენას ახდენს მთელი რიგი ისეთი ფაქტორები როგორცაა განათება, აკუსტიკა, შენობათა საინჟინრო

აღჭურვა და სხვა. კომფორტის იმ სახეს რომელსაც სამშენებლო თბოფიზიკაში განიხილავენ თბური კომფორტი ეწოდება. თბური კომფორტის პარამეტრების უზრუნველყოფა ხდება გათბობის, ვენტილაციის და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებით [40,41 ]

მიკროკლიმატის პარამეტრებიდან, რომელიც თბური რეჟიმის ფორმირებაზე ახდენს გავლენას, ძირითადია ტემპერატურა, ტენიანობა და ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე [42,43,44,45]

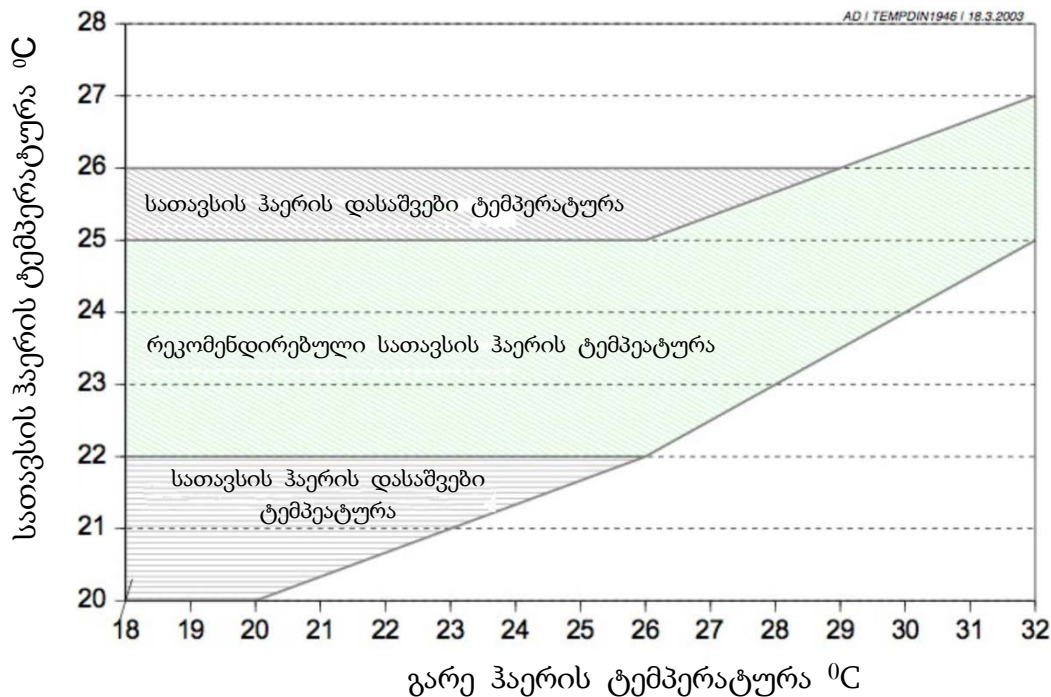
სათავსში თერმული ანუ თბური კომფორტის უზრუნველყოფაზე მოქმედი ფაქტორების ერთობლიობა ნაჩვენებია ნახ.1.4 კომფორტის უზრუნველყოფაზე ძირითადად გავლენას ახდენენ:

- სათავსის ჰაერის ტემპერატურა;
  - **ზედაპირების ტემპერატურა;**
  - ჰაერის ტემპერატურის განაწილება;
  - ჰაერის მოძრაობა;
- ზედაპირების  
ტემპერატურა



**ნახ.1.5 ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენენ თბურ კომფორტზე**

სათავსის ჰაერის ტემპერატურა დამოკიდებულია გარე ჰაერის ტემპერატურაზე



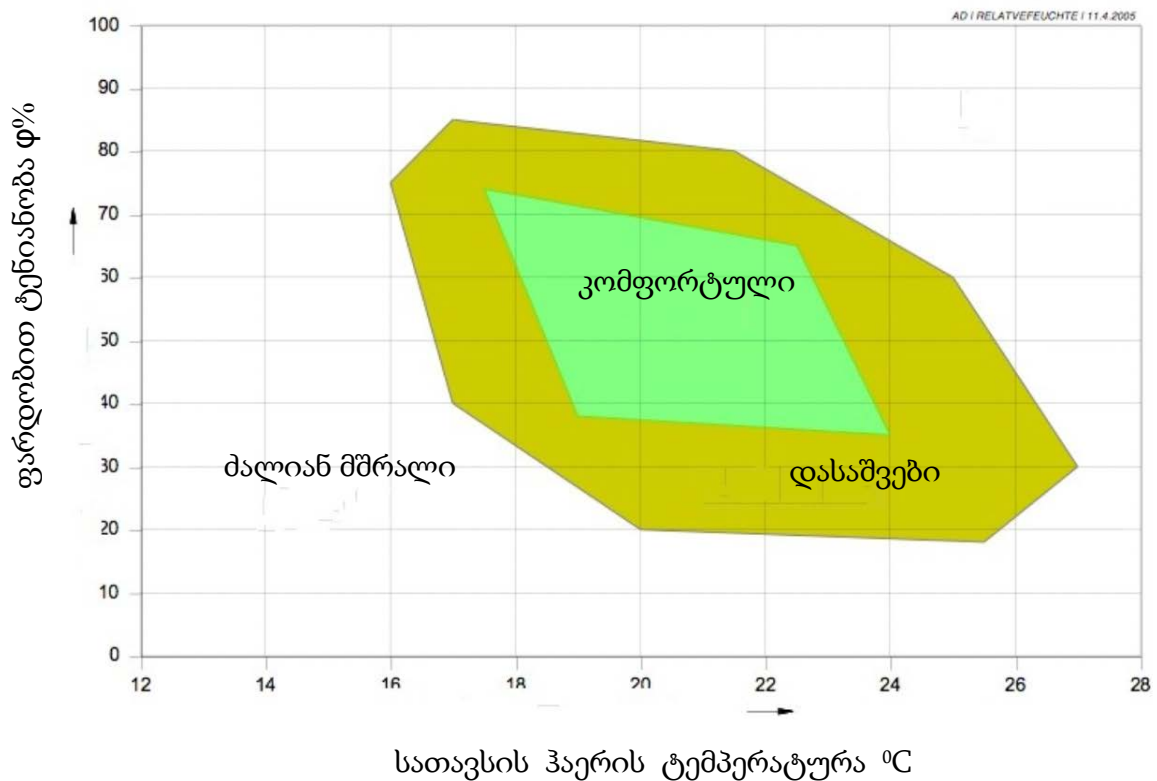
**ნახ.1.6 სათავსისა და გარემო ჰაერის ტემპერატურების შორის დამოკიდებულება**

სათავსის ჰაერის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის შემოღებულია ოპტიმალური და დასაშვები ტემპერატურების ცნება (ნახ 1.6) როგორც ამ ნახაზიდან ირკვევა ოპტიმალურია სათავსის ჰაერის ტემპერატურა  $t_{\text{ა}}=22-25^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში და ამიტომაც მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების დაპროექტების დროს შიგა ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურად იგი აიღება, სახელდობრ ზამთარში  $t_{\text{ა}}=22^{\circ}\text{C}$  ხოლო ზაფხულში  $t_{\text{ა}}=25^{\circ}\text{C}$  ზოგჯერ სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურა ხანმოკლე დროის მანძილზე შეიძლება იყოს მის ოპტიმალურ მნიშვნელობაზე მეტი ან ნაკლები და მას დასაშვები ტემპერატურა ეწოდება. ამ გრაფიკზე გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურები იწყება  $+18^{\circ}\text{C}$ -დან. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ გარე ჰაერის ყველა ტემპერატურისათვის ( $t_{\text{გ}} < 18^{\circ}\text{C}$ ) საჭიროა სათავსში უზრუნველყოფილ იქნას სათავსის ჰაერის ზამთრის საანგარიშო პარამეტრები [27]

ჰაერის ტენიანობა მნიშვნელოვანი ფაქტორია სათავსის თბური რეჟიმის ფორმირებასა და კომფორტული პირობების უზრუნველყოფაზე. ტენიანობის პირობები ყოველთვის დაკავშირებულია ჰაერში წყლის



ორთქლის რაოდენობასთან და მას ტემპერატურასთან ერთად მიკროკლიმატის ფორმირებაზე [46]. როდესაც ვიხილავთ ტენიანობას იგულისხმება ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა ( $\varphi$ ) ნახ 1.7 ნაჩვენებია ჰაერის ფარდობით ტენიანობასა ( $\varphi\%$ ) და სათავსის ჰაერის ტემპერატურას ( $t_a$ ) შორის დამოკიდებულება სადაც ნაჩვენებია ჰაერის ტემპერატურის და ტენიანობის ოპტიმალური და დასაშვები მნიშვნელობები.



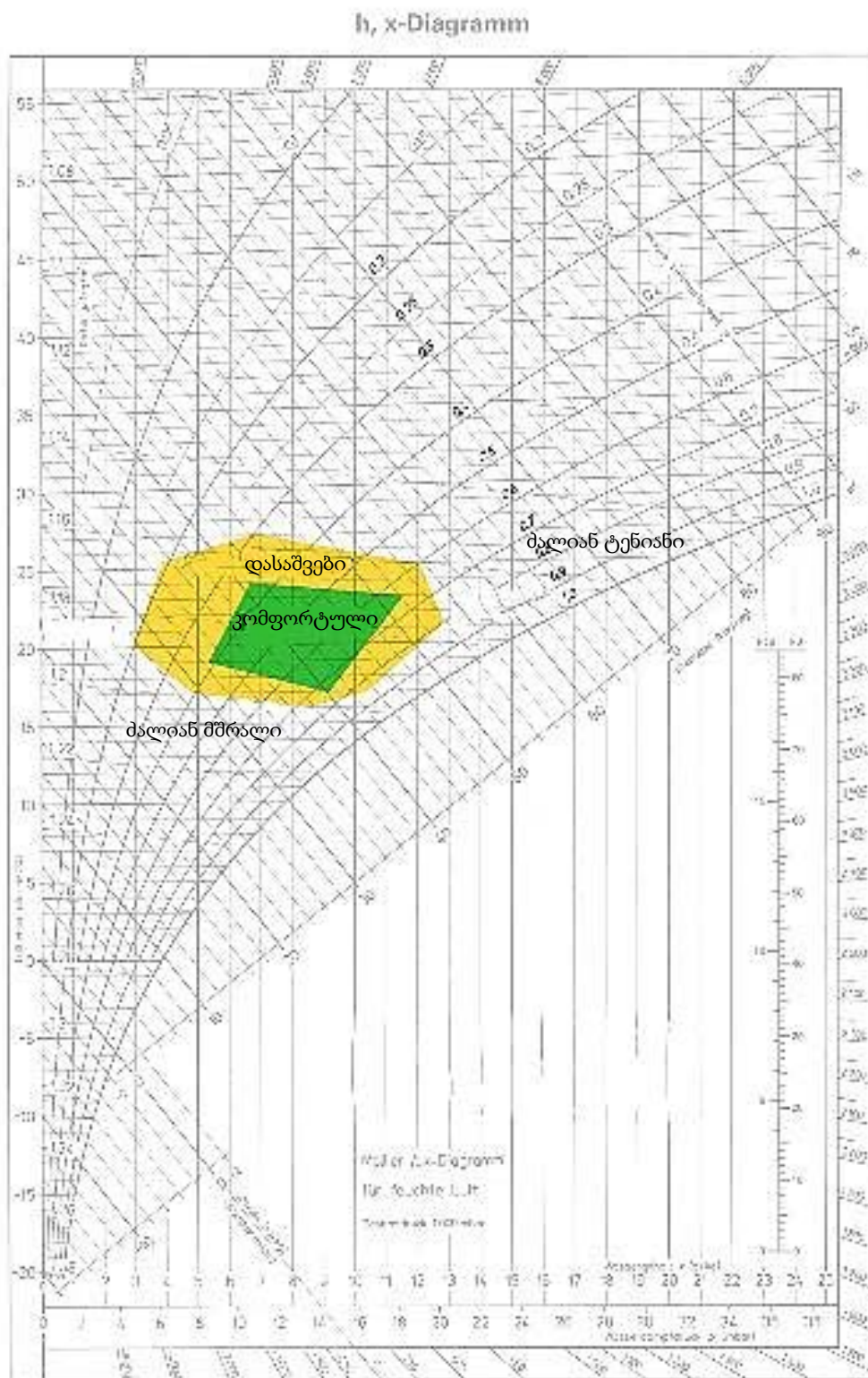
**ნახ.1.7 სათავსის ჰაერის ტემპერატურასა და მის ფარდობით ტენიანობას შორის დამოკიდებულება**

როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის ოპტიმალური მნიშვნელობა  $\varphi=40-70\%$  ფარგლებში მდებარეობს, დასაშვებად ითვლება ფარდობითი ტენიანობა  $\varphi=20-80\%$ . ჰაერი რომლის ფარდობითი ტენიანობაა  $\varphi=40\%$ -მდე  $t_a=18-20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროს ითვლება მშრალად. 30%-ის ქვემოთ ჰაერის ფარდობითი

ტენიანობა იწვევს თვალების სიმშრალეს და ლორწოვანი გარსის გაღიზიანებას. მშრალი ჰაერი ხელს უწყობს სხვადასხვა სახის ვირუსების გავრცელებას და სიცოცხლის უნარიანობას.

ჰარვარდის სამედიცინო სკოლის ინფექციური დაავადებების კონტროლის კონსულტანტის ASHRAE-ს ეპიდემიოლოგიური სამუშაო ჯგუფის წევრის პროფ. შტეფან ტეილორის რჩევით, საზოგადოებრივ შენობებში (საავადმყოფოები, სკოლები, ოფისები და ა.შ.) უზრუნველყოთ ფარდობითი ტენიანობის შენარჩუნება 40-60%-ის ფარგლებში [47] შენობებში ჰაერის გატენიანება არის მარტივი ხერხი სეზონური რესპირატორული ინფექციების, მათ შორის კოვიდის წინააღმდეგ ბრძოლაში. ამ საკითხზე მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნების მეცნიერ-მკვლევარები და სამედიცინო დაწესებულებები მუშაობენ.

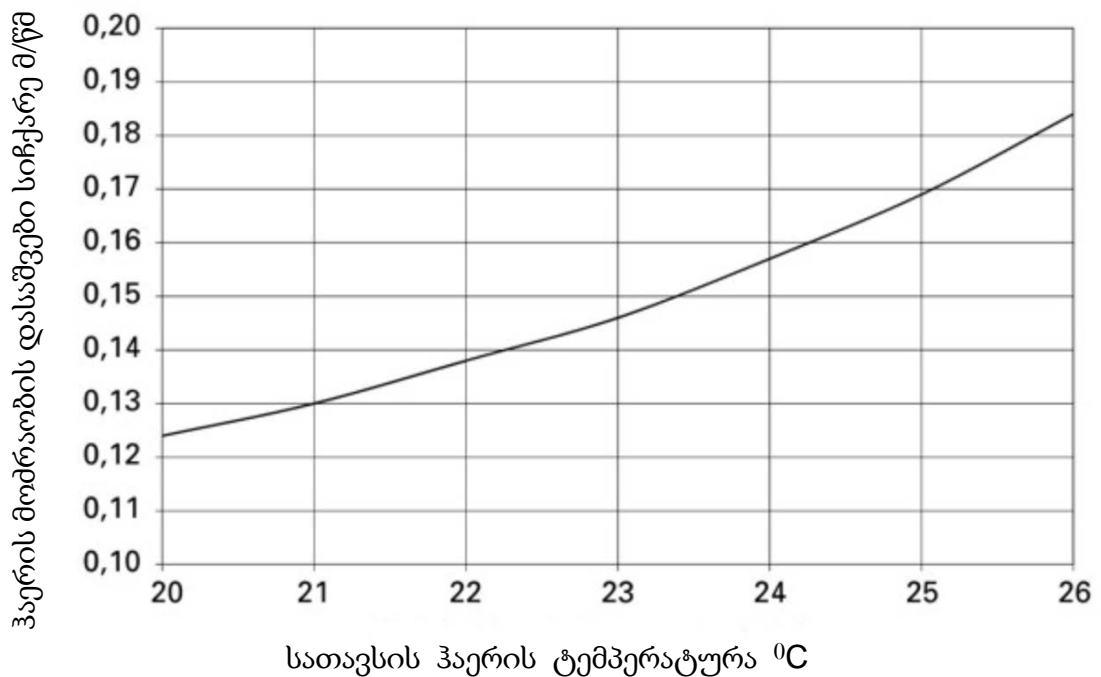
ამრიგად ჰაერის ორი მთავარი პარამეტრიც, რომელიც განსაზღვრავს კომფორტულობის პირობებს არის ჰაერის ტემპერატურა ( $t_a$ ) და ფარდობითი ტენიანობა ( $\phi_a$ ) ნახ.1.8 ნაჩვენებია ამ ორი პარამეტრის მიხედვით შედგენილი კომფორტულობის ზონა I-D დიაგრამაზე.



ნახ.1.8 კომფორტულობის ზონა I-D დიაგრამაზე

მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების მოწყობის დროს ჰაერის საანგარიშო პარამეტრები უნდა მდებარეობდეს ძირითადად კომფორტულობის ოპტიმალურ ზონაში, ხოლო ხანმოკლე დროით კი კომფორტულობის დასაშვებ ზონაში. გარდა ამ ორი მთავარი პარამეტრისა მიკროკლიმატის ანუ სათავსის თბური რეჟიმის ფორმირებაზე გავლენას ახდენს აგრეთვე ჰაერის მოძრაობა სათავსში, ადამიანის მიერ შესრულებული სამუშაოს ხასიათი სათავსში, მისი ჩაცმულობა და სხვა.

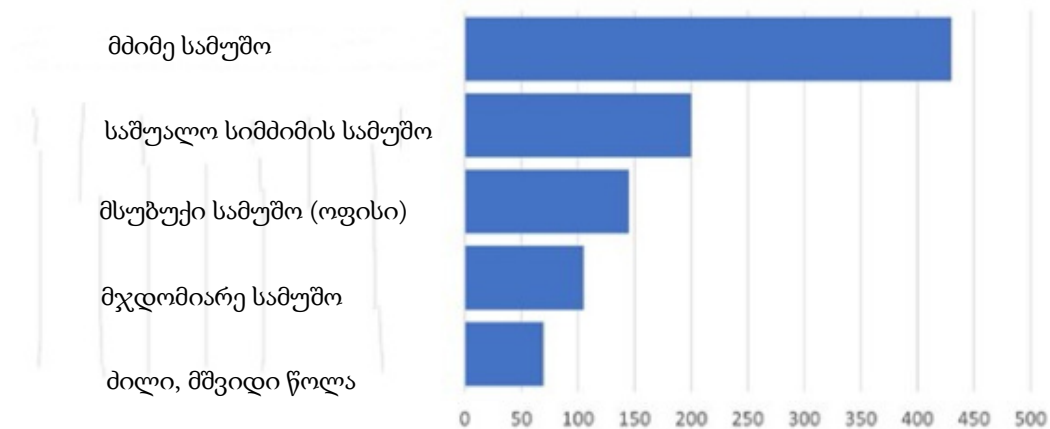
ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე სათავსში უნდა მერყეობდეს  $v=0.12-0.2$  მ/წმ ფარგლებში და მისი საანგარიშო მნიშვნელობა დამოკიდებულია სათავსის ჰაერის ტემპერატურაზე (ნახ.1.9) ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის გაზრდა დასაშვებზე მეტად იწვევს სათავსში მყოფი ადამიანებისათვის არასასიამოვნო შეგრძნებას, ხშირად კი გაცივებით დაავადებებს.



ნახ.1.9 სათავსში ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

აქედან გამომდინარე შემომზადებული კონსტრუქციების ჭავლური თბური დაცვის მოწყობის დროს უნდა ვეცადოთ, რომ ჭავლური სასაზღვრო შრის გარეთ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე არ აღემატებოდეს დასაშვებ სიდიდეს. გარდა ამისა დაფენილი ჭავლის პარამეტრები ისე იქნას შერჩეული, რომ გამორიცხული იქნას ზედაპირიდან ნაკადის მოწყვეტა და მისი გადაადგილება სათავსის მუშა ზონაში.

ადამიანის ფიზიკური აქტივობა ანუ მის მიერ შესრულებული სამუშაოს სახეობა იწვევს სათავსის ჰაერის ტემპერატურის და ფარდობითი ტენიანობის საანგარიშო მნიშვნელობების კორექტირებას. სხვადასხვა ფიზიკური აქტივობის დროს ადამიანის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ნაჩვენებია ნახ 1.10-ზე. რაც უფრო მეტს მოძრაობს ადამიანი მით მეტია მის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა და მით უფრო ნაკლები ტემპერატურაა საჭირო კომფორტული გარემოს უზრუნველსაყოფად [48]



Q კტ.სთ

**ნახ. 1.10 ადამიანის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მისი ფიზიკური აქტივობის მიხედვით**

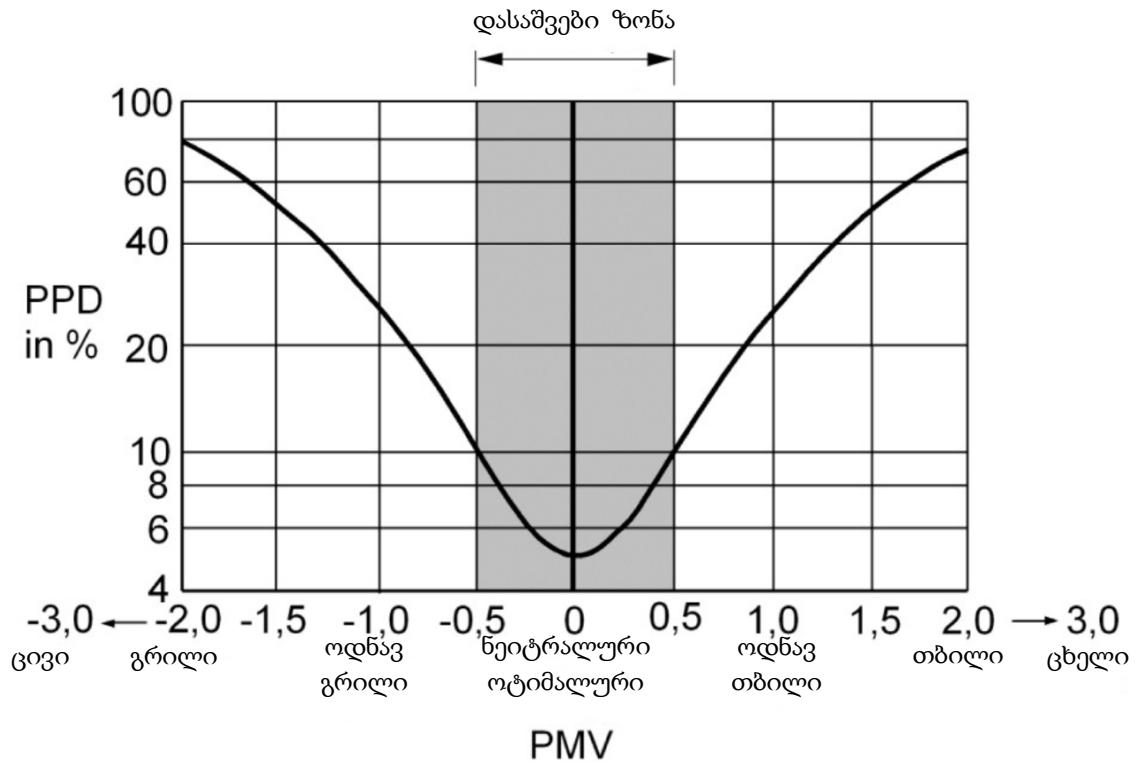
1972 წელს დანიელი მკვლევარის ოლე ფანგერის მიერ სათავსის თბური კომფორტის შესაფასებლად შემოღებულ იქნა. კომფორტის სიდიდის განმსაზღვრელი ინდექსები PMV და PPD [49,50]

ინდექსი PMV(Predicted Mean Vote) ნიშნავს სათავსში კომფორტის ან დისკომფორტის შეგრძნებას და ასახავს გამოკითხულ ადამიანთა დიდი ჯგუფის საშუალო სუბიექტურ შეფასებას თბური კომფორტის შეგრძნების შესახებ. გამოკითხული ადამიანები ჩაცმული იყვნენ ეთნაირ ტანსაცმელში, იმყოფებოდნენ ერთი და იგივე გარემოში (სათავსში) და ეწეოდნენ ერთი და იგივე აქტივობას. PMV ინდექსის სიდიდე მერყეობს -3 დან +3 მდე და მათი სიდიდეები 1.7 ცხრილში წარმოდგენილ თბურ შეგრძნებას შეესაბამება

**ცხრ1.7 თბური შეგრძნების შეფასების შკალა**

	სიცხე	სიგრილე	ოდნავ სიგრილე	ნეიტრალური	ოდნავ სითბო	სითბო	სიცხე
PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

PMV ინდექსი შეიძლება გაიზომოს სათანადო ხელსაწყოებით ან გამოითვალოს თანამედროვე კომპიუტერული მეთოდებით. ეს სიდიდე იცვლება (-3 +3) ფარგლებში და პირდაპირ კავშირშია PPD ინდექსთან (ნახ1.10) PPD ინდექსი (Predicted of Dissatisfied) არის ე.წ. უკმაყოფილობის სავარაუდო პროცენტი და იგი მოსალოდნელი საშუალო უკმაყოფილების მაჩვენებელია.



ნახ.1.11 დამოკიდებულება PMV და PPD ინდექსებს შორის

ზემოთ ჩვენ განვიხილეთ თუ რა გავლენას ახდენს სათავსში თბური რეჟიმის ფორმირებაზე მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის პარამეტრები. ამ გავლენების გათვალისწინებით შედგენილია მთელი რიგი ნორმები და სტანდარტები [18,19] რომელთა მიხედვითაც უნდა ვისარგებლოთ მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების დაპროექტებისას.

ამ თავის პირველ ორ პარაგრაფში განხილული საკითხების: შენობათა თბური დაცვისადმი წაყენებული მოთხოვნების და მიკროკლიმატის პარამეტრების საკითხების დაცვა შენობათა თბური რეჟიმის უზრუნველყოფის წინაპირობაა და მათი შესრულება განაპირობებს EnEv ნორმების მოთხოვნათა შესაბამის ენერგოეფექტურობას.

### 1.3 სათბობ-სავენტილაციო ჭავლები და საჰაერო თბური რეჟიმი

ჭავლს ეწოდება სითხის ან აირის ნაკადს რომელსაც გააჩნია სასრული განივი ზომები რომელიც განსაზღვრავს ჭავლის საზღვრებს.

სითხის და აირების ამგვარ ნაკადებს აქვთ დიდი მნიშვნელობა მრეწველობის სხვადასხვა დარგში, ავიაციაში, ჰიდროტექნიკაში აგრეთვე სათბობ-სავენტილაციო დარგში.

სავენტილაციო და კონდიციონირების სისტემების საშუალებით სათავსში მიწოდებული ჰაერით წარმოიქმნება ე.წ. მოდინებითი ჭავლები. ჭავლს ეწოდება თავისუფალი თუ მის გავრცელებას არ აფერხებს სათავსის კონსტრუქციული ელემენტები, ხოლო თუ მის გავრცელებაზე გავლენას ახდენს უკუდინება მას ეწოდება შეზღუდული. თუკი ჭავლი ვრცელდება შემომზღუდი კონსტრუქციის გასწვრივ ეწოდება დაფენილი ან ნახევრად შეზღუდული [51,52]

ასევე ჭავლებს განასხვავებენ მათი მოძრაობის რეჟიმის მიხედვით ლამინარულად და ტურბულენტურად. სავენტილაციო და კონდიციონირების სისტემებში პრაქტიკულად ყოველთვის საქმე გვაქვს ტურბულენტურ ჭავლებთან.

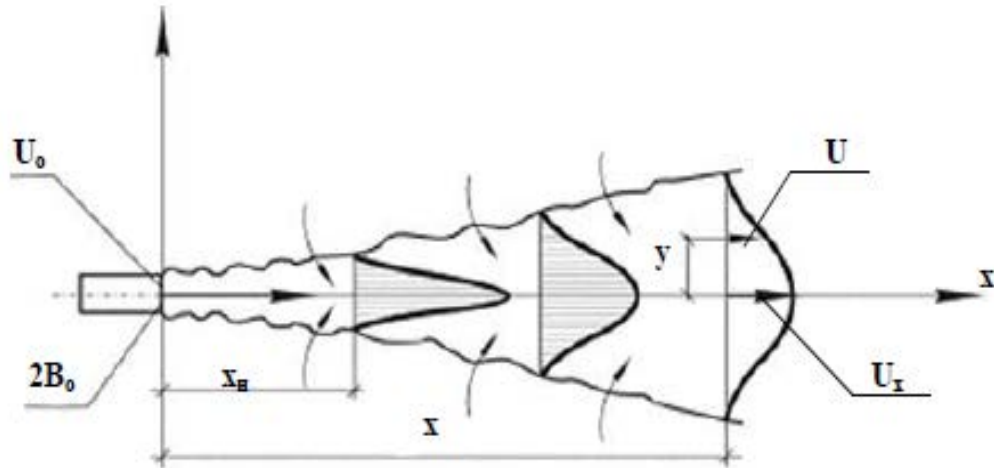
ჭავლებს განასხვავებენ გეომეტრიული ფორმის მიხედვით : კომპაქტურს, მარაოსებრ, კონუსურ და არასრულ მარაოსებრს.

ჰაერის ვენტილაციასა და კონდიციონირების სისტემებში საქმე გვაქვს ჭავლებთან რომლებიც ვრცელდება სათავსის ჰაერში, ასეთ ჭავლებს დატბორილი ჭავლები ეწოდება. სავენტილაციო ჭავლები ძირითადად ტურბულენტურია.

ჭავლის გამოდინების ტემპერატურის მიხედვით ასხვავებენ იზოთერმულ და არაიზოთერმულ ჭავლებს. იზოთერმული ჭავლების ტემპერატურა მის მთელ მოცულობაში ტოლია გარემო ჰაერის ტემპერატურისა, არაიზოთერმულ ჭავლებში ჭავლის ტემპერატურა



იკვლება მისი განვითარების მიხედვით და უახლოვდება გარემოს ტემპერატურას.



ნახ.1.12 იზოთერმული სიმეტრიული ჭავლის განვითარების სქემა

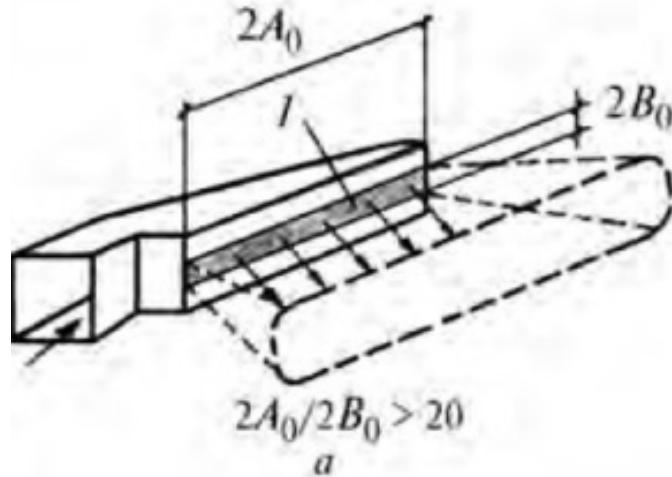
ჰაერგამანაწილებლის კონსტრუქციიდან გამომდინარე ჭავლს შეიძლება სხვადასხვა ფორმა ჰქონდეს ნახ.1.12 მოცემულია იზოთერმული სიმეტრიული ჭავლის განვითარება (გავრცელება) რომლის ყველა განივი ზომა ღერძის სიმეტრიულია [53,54]

ჭავლის საზღვარზე სადაც განივი სიჩქარის მნიშვნელობა ნულის ტოლია ხდება ჭავლში გარემო ჰაერის მასების შერევა რის შედეგადაც იკლებს ჭავლის სიჩქარე.  $x_n$  კოორდინატის ფარგლებში ჭავლის ღერძული სიჩქარე და მისი სიჩქარე განივკვეთში გამოდინების სიჩქარის ტოლია, ამ მონაკვეთს საწყისი მონაკვეთი ეწოდება. შემდგომში ღერძული სიჩქარე იკლებს როგორც განივკვეთის სიჩქარე.

სიმეტრიული ჭავლები გამოედინებიან მრგვალი ღრეჩოდან და კომპაქტურებია კომპაქტურ ჭავლებს განეკუთვნება ასევე მართკუთხა და ოთხკუთხა ღრეჩოდან გამოდინებული ჭავლები.

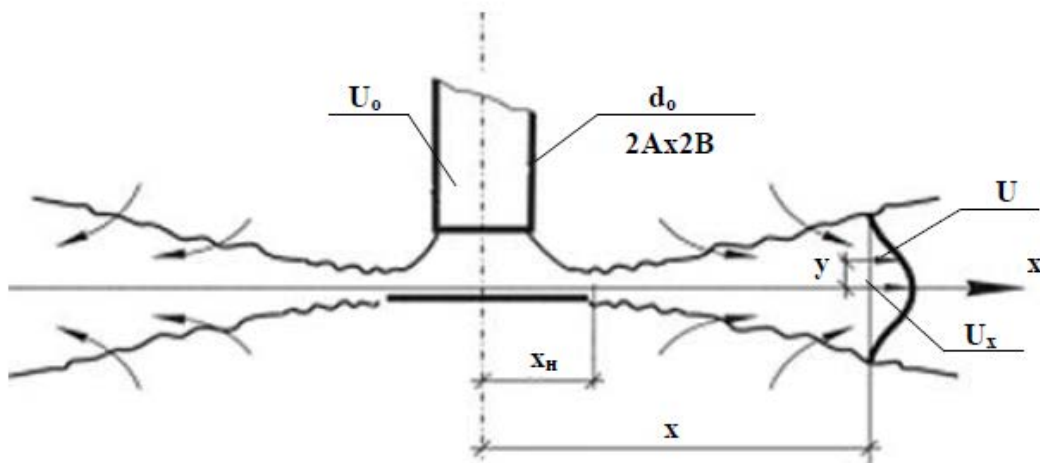
ბრტყელი ჭავლები წარმოიქმნება როდესაც ჰაერი გამოედინება ღრეჩოებიდან რომელთა მხარეთა თანაფარდობა 20-ზე მეტია (ნახ. 1.13) მიიღება, რომ ჭავლი ბრტყელია როდესაც  $x \leq 6(2A_0)$  სადაც  $(2A_0)$  არის

ღრეჩოს დიდი მხარის ზომა, შემდგომში ჭავლი განიხილება როგორც კომპაქტური.



ნახ.1.13 ბრტყელი ჭავლის განვითარების სქემა

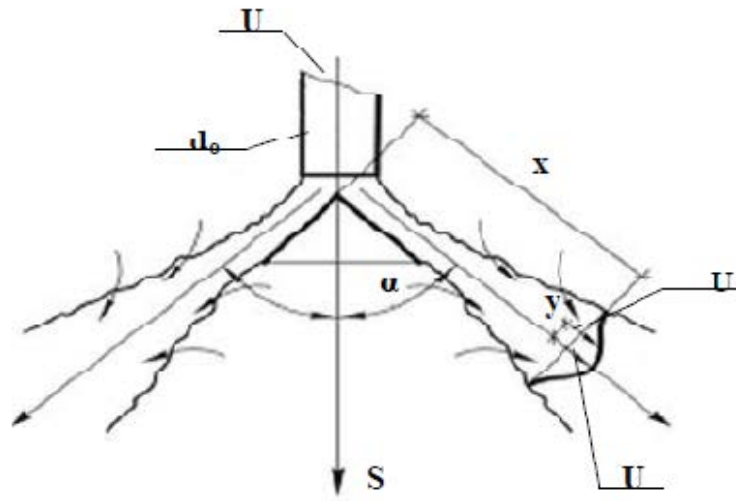
მარაოსებრი ჭავლები ეწოდება ჭავლებს რომელთა გავრცელება ხორციელდება გარკვეული კუთხით ნახ.1.14



ნახ.1.14 მარაოსებრი ჭავლის განვითარების სქემა

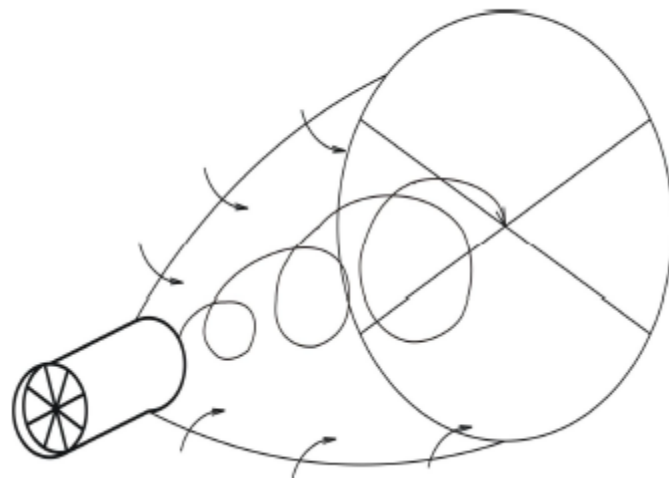
განასხვავებენ სრულ მარაოსებრ ჭავლებს გავრცელების კუთხით 320 გრადუსი და არასრული მარაოსებრ ჭავლებს გავრცელების კუთხით 360 გრადუსზე ნაკლები.

კონუსური ჭავლები წარმოიქმნება კონუსური ღრეჩოებიდან გამოდენისას, რომლის კუთხე სათავესთან  $60 \pm 2.5^\circ$ -ია (ნახ.1.15)



ნახ.1.15 კონუსური ჭავლის განვითარების სქემა

გრიგალისებური ჭავლები წარმოიქმნება ღრეჩოებიდან დამხვევი მოწყობილობით, როგორც სხვა ცხაურები აღნიშნული ცხაურებით ხორციელდება ჭავლის საზღვრების ხელოვნური გაფართოება რითაც მიიღწევა ჭავლის ჩახშობის დაჩქარება და მისი სიჩქარის კლება. (ნახ.1.16)

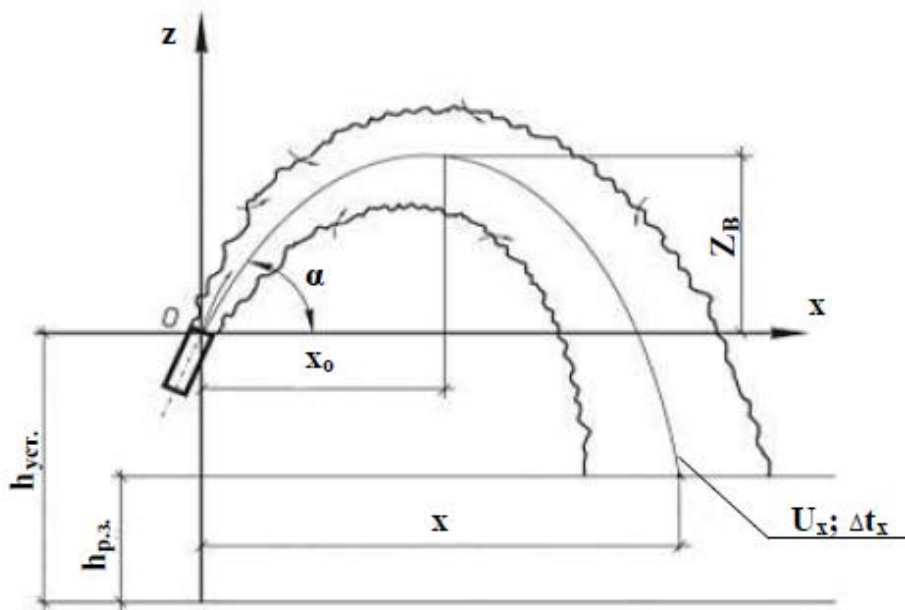


ნახ.1.16 გრიგალისებური ჭავლის განვითარების სქემა

ვენტლაციის და ჰაერის კონდირების სისტემებში ხშირ შემთხვევაში საქმე გვაქვს არაიზოთერმულ ჭავლებთან. ამგვარ ჭავლებში ჭავლის და გარემო ჰაერის სიმკვრივეთა სხვაობის გამო წარმოიქმნება გრავიტაციული (არქიმედეს) ძალები რომლებიც თანაზომადია ინერციულ ძალებთან. ამ ძალების ზემოქმედებით ხდება ჭავლის ღერძის გამრუდება.

ჭავლის ჰორიზონტალური გამოდინების შემთხვევაში ცივი ჭავლი ეშვება დაბლა, ხოლო ცხელი ჭავლის შემთხვევაში ხდება ჭავლის ამოტივტივება მაღლა.

არაიზოთერმულ ჭავლებს მრუდი ტრაექტორიის გამო ჰაერის შადრევნებს ეძახიან (ნახ.1.17)



ნახ.1.17 არაიზოთერმულ ჭავლის განვითარების სქემა

განვიხილოთ სავენტლიაციო ჭავლების ძირითადი თვისებები კომპაქტური და ბრტყელი ჭავლებისთვის

ძირითადი კანონზომიერებების დასადგენად კეთდება შემდეგი დაშვებები [55] :

1. ჭავლის ნებისმიერი განივკვეთის მოძრაობის რაოდენობა რჩება მუდმივი და ტოლია ჭავლის საწყისი მოძრაობის რაოდენობის

$$I_x = I_0 \quad (1.5)$$

2. არსებობს სიჩქარის ექსპოტენციალური განაწილების კანონზომიერება ჭავლის განივკვეთის ტურბულენტური ნაწილისთვის, არსებული ანალიტიკური ფორმულებიდან უპირატესობა ენიჭება შემდეგ გამოსახულებას

$$V_y = V_x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{cx}\right)^2} \quad (1.6)$$

სადაც  $V_x$  ღერძული სიჩქარეა მ/წმ

$c$  ექსპერიმენტული მუდმივა რომელიც ტოლია 0.082

$x, y$  სიბრტყის კოორდინატები, მ

ღერძული სიჩქარისთვის გარკვეულ  $X$  მანძილზე აქვს შემდეგი სახე

$$V_x = V_0 \frac{M}{x} \sqrt{F_0} \quad (1.7)$$

$V_0$  გამოდინების საწყისი სიჩქარე

$F_0$  გამოდინების ცხაურის კვეთის ფართი  $m^2$

$M$  აეროდინამიკური მახასიათებელი

$$M = 6.88 \sqrt{\frac{T_{\text{გარ}}}{T_0}} \sqrt[4]{\xi} \quad (1.8)$$

სადაც

$T_{\text{გარ}}$  გარემო ჰერის ტემპერატურაა

$T_0$  ჭავლის საწყისი კვეთის ტემპერატურა

$\xi$  გამანაწილებელი ცხაურის აეროდინამიკური წინააღდეგობის კოეფიციენტი

3. ჭარბი სითბოს რაოდენობა ჭავლის კვეთში მუდმივია და ტოლია საწყისი სითბოს რაოდენობისა

$$Q_x = Q_0 \quad (1.9)$$

4. ჭავლის განივკვეთში ტემპერატურის განაწილება სიჩქარის განაწილების ანალოგიურია და ექსპონენციალური სახე აქვს

$$\frac{t_y - t_{გარ}}{t_y - t_{გარ}} = e^{-\frac{1}{4} \left(\frac{y}{cx}\right)^2} \quad (1.10)$$

ხოლო ჭავლის ღერძზე ტემპერატურის განსაზღვრისათვის გამოიყენება შემდეგი გამოსახულება

$$t_x - t_{გარ} = (t_0 - t_{გარ}) \frac{N}{x} \sqrt{F_0} \quad (1.11)$$

სადაც  $N$  ჭავლის თბური მახასიათებელია და ტოლია

$$N = 5.17 \sqrt{\frac{T_{გარ}}{T_0}} \frac{1}{\xi} \quad (1.12)$$

ბრტყელი ჭავლებს ფორმირება ხდება ვიწრო ღრეჩოდან გამოდენისას სიგანით  $2B$

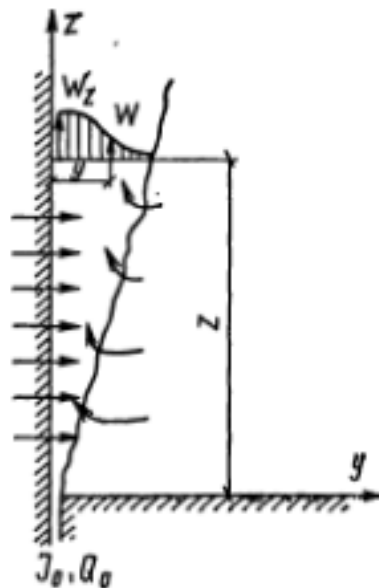
ბრტყელი ჭავლის ისევე როგორც კომპაქტური ჭავლის გავრცელებისას, ხდება მისი გარემო ჰაერთან შერევა და ტემპერატურის, სიჩქარეების პროფილის განსაზღვრა ხდება ზემოთ მოყვანილი გამოსახულებების საშუალებით იმის გათვალისწინებით, რომ აეროდინამიკური და თბური მახასიათებლებისთვის გამოიყენება შემდეგი გამოსახულებები

$$M = 2.62 \sqrt{\frac{T_{გარ}}{T_0}} \sqrt[4]{\xi} \quad (1.13)$$

$$N = 2.49 \sqrt{\frac{T_{გარ}}{T_0}} \sqrt[4]{\frac{1}{\xi}} \quad (1.14)$$

ამასთან ღერძული სიჩქარის და ჭარბი ღერძული ტემპერატურების განსაზღვრისთვის  $F_0$  ნაცვლად უნდა ჩავსვათ გამოდინების ცხაურის გაორმაგებული სიგანე  $2B$ .

როდესაც ჭავლების გამანაწილებელი ღრიჩო (რომლიდანაც გამოედინება ჰაერი ზევით ან ქვედა მიმართულებით) და კედლიდან მოშორებით არის განთავსებული ვიღებთ თავისუფალ ჭავლს, რომლის განვითარებისას ხდება გარემო ჰაერის მასების მიერთება ორივე მხრიდან, ხოლო როდესაც გამანაწილებელი ღრიჩო უშუალოდ კედლის სიახლოვეს არის განლაგებული ამ შემთხვევაში გარემო ჰაერის მიერთება ჭავლთან ხორციელდება მხოლოდ ერთი მხრიდან.



**ნახ.1.18 დაფენილი ჭავლის გავრცელების სქემა სითბო მიმღებ ან სითბოს გამცემ ზედაპირთან**

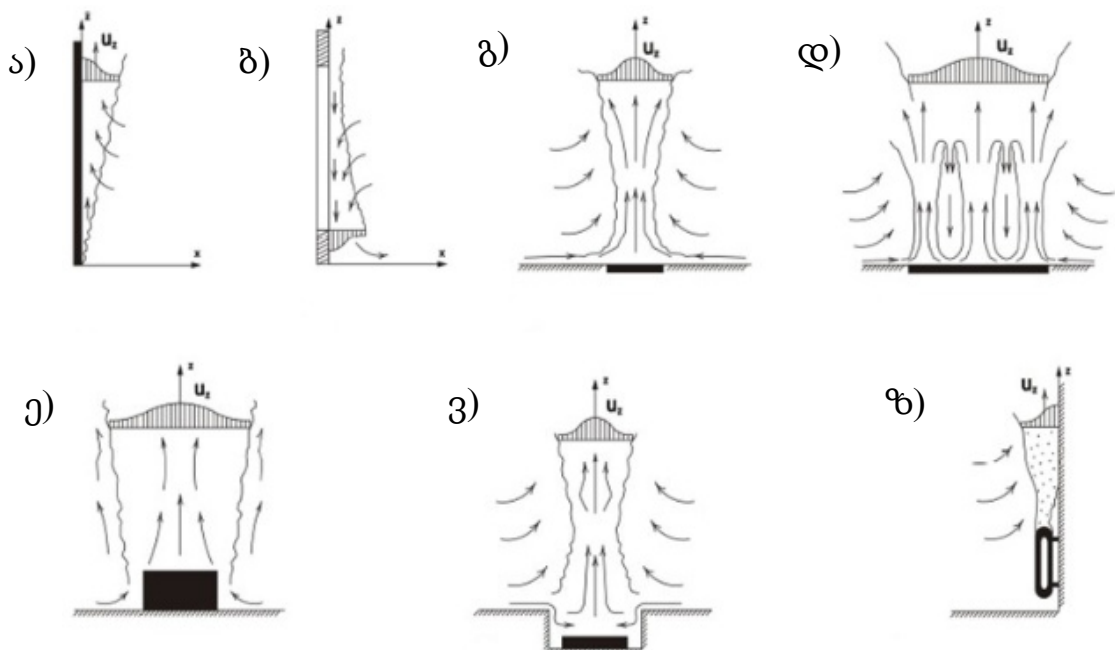
ასეთ ჭავლებს ნახევრად შეზღუდული ან დაფენილ ჭავლი ეწოდება. ყველაზე ზოგადი შემთხვევაა დაფენილი ჭავლის გავრცელება სითბოს მიმღებ ან სითბოს გამცემ ზედაპირთან ნახ.1.18 ასეთი ჭავლის განხილვისას თუ სიჩქარის და ტემპერატურის განაწილებას მივიღებთ ზემოთ მოყვანილ გამოსახულებებს იმის გათვალისწინებით, რომ მოძრაობის იმპულსი და სითბოს რაოდენობა ჭავლის განივკვეთში იცვლება კედლიდან სითბოს მოდინების ხარჯზე მიღებულია შემდეგი გამოსა-

ხულებები ჭავლის ნებისმიერ განივკვეთში მაქსიმალური სიჩქარის და ჭარბი ტემპერატურისთვის

$$w_z^3 = \left( \frac{2I_0}{c\sqrt{\pi}\rho_{0z}} \right)^{3/2} + \frac{2}{c\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{1+\sigma}{\sigma}} g \left( \frac{Q_0 + 0.6q_0 I_z}{I c \rho_{\infty} T_{\infty}} \right) \quad (1.15)$$

$$\vartheta_z = \frac{\sqrt{2(1+\sigma)}}{c\sqrt{\pi}} \frac{Q_0 + q_0 I_z}{c_p \rho_{\infty} w_z z} \quad (1.16)$$

სათავსში ცხელი ზედაპირების არსებობის შემთხვევაში ამ ზედაპირების მახლობლათ წარმოიქმნება ბუნებრივი კონვექციური ნაკადები ვინაიდან ცხელ ზედაპირთან შეხებისას ჰაერი თბება, მისი სიმკვრივე იკლებს, წარმოიქმნება რა ამწევი ძალა რომლის გავლენითაც ჰაერი იწყებს მოძრაობას მაღლა, ხოლო მის ადგილს იკავებს უფრო ცივი ჰაერი. ზემოთ მიმართულ კონვექციურ ნაკადში შიდა ხახუნის ძალების მოქმედების და ჰაერის შერევის შედეგად ფორმირდება მოდინებითი ჭავლების ანალოგიურად სიჩქარის და ჭარბი ტემპერატურების პროფილები



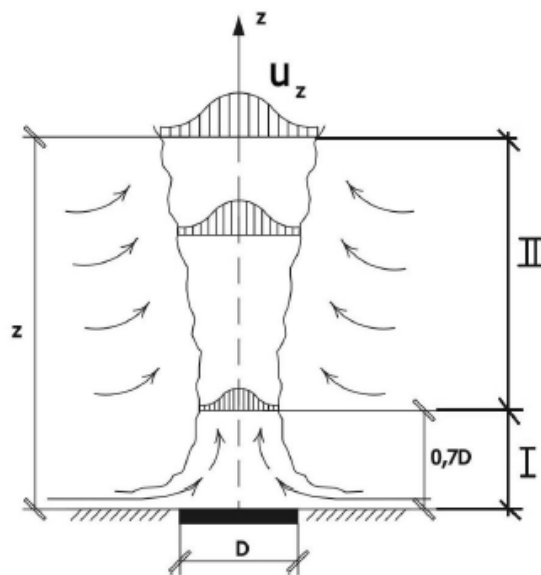
ნახ.1.19 კონვექციური ნაკადების წარმოშობა სხვადასხვანაირად განლაგებულ ზედაპირებთან



ნახ.1.19-ზე გამოსახული კონვექციური ნაკადების წარმოშობა სხვადასხვანაირად განლაგებულ ზედაპირებთან:

- ა) ვერტიკალურ ზედაპირთან ბ) ვერტიკალურ ცივ ზედაპირთან
- გ) კომპაქტურ ან სიმეტრიულ ზედაპირთან დ) ბრტყელ ზედაპირთან
- ე) მოცულობით ცხელ ზედაპირთან ვ) ცხელ ზედაპირზე რომელიც ჩაღრმავებაშია განლაგებული ზ) ცხელ მოცულობით ზედაპირთან რომელიც ვერტიკალურ ზედაპირთან არის განლაგებული (სახურებელი ელემენტი რომელიც კედელთან არის განლაგებული)

კონვექციური ნაკადები ჰორიზონტალურ ზედაპირთან მოდინებითი ჭავლების ანალოგიურად შეიძლება გამოიკვეთოს ორი მონაკვეთი გაქანების I სადაც ხდება ნაკადის ფორმირება რომელიც ხასიათდება სიჩქარის მზარდი მაჩვენებლით ჭავლის ღერძზე და ძირითადი II მონაკვეთი რომელიც ღერძული სიჩქარის კლებით ხასიათდება ნახ.1.20



**ნახ.1.20 ჰორიზონტალურ ზედაპირთან კონვექციური ნაკადის სტრუქტურა**

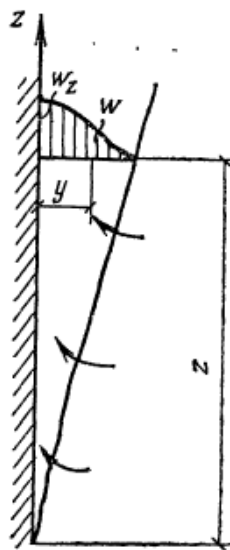
გაქანების მონაკვეთი შედგება ლამინარული ქვეშრისგან რომელიც განლაგებულია უშუალოდ ზედაპირთან და ნაკადის სასაზღვრო შრისაგან რომელიც შედგება ცალკეული ურთიერთქმედი ნაკადებისგან

რომელთაგანაც არის შედგენილი მთლიანი კონვექციური ნაკადი. ფორმირების მონაკვეთის ბოლოს რომელიც ხასიათდება სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობით და ნაკადის გარკვეული შევიწროებით დაახლოებით  $0.7D$  მანძილზე არის გარდმავალი მონაკვეთი ამ მონაკვეთის შემდეგ იწყება ძირითადი მონაკვეთი ღერძის მიმართ სიმეტრიული სიჩქარეთა პროფილით და ტურბულენტური ჭავლებისთვის დამახასიათებელი ჭარბი ტემპერატურით.

მონაკვეთის სიგრძე სადაც ხდება კონვექციური ნაკადის ფორმირება სიმეტრიული ჭავლებისთვის არის  $(1-2)D$  ბრტყელი ჭავლებისთვის  $(2-2.5)B$

აქ  $D$  სიბრტყის წყაროს დიამეტრია ან მართკუთხა ფორმის შემთხვევაში ექვივალენტური დიამეტრიც, ხოლო  $B$  წყაროს სიგანე.

კედლისპირა კონვექციური ნაკადის სტრუქტურა საკმაოდ რთულია ნახ.1.21 ჰაერის რაოდენობა მის განივკვეთში სიმაღლესთან ერთად განუწყვეტლივ იზრდება გარე ჰაერის მიერთების შედეგად აგრეთვე სიბრტყის რაოდენობა კვეთიდან კვეთამდე იზრდება კედლიდან სიბრტყის მიღების შედეგად.



ნახ.1.21 კედლისპირა კონვექციური ნაკადის სტრუქტურა

თბილი ჰაერის ვერტიკალური სიჩქარე თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს კედლისპირა და ტურბულენტურ შრეებს შორის ხოლო სათავის ჰერის მიმართულებით კი იკლებს და ნულს უტოლდება, ხოლო ტემპერატურას აქვს შუალედური მნიშვნელობა კედელსა და ჰაერის ტემპერატურებს შორის.

რიგი დაშვებების შედეგად და კონვექციური ნაკადის განიკვეთში სიჩქარის განაწილებისთვის ექსპოტენციალური გამოსახულების გამოყენების საშუალებით

$$w = w_z e^{-\frac{1}{2}(\frac{y}{cz})} \quad (1.17)$$

განსაზღვრულია ნაკადის ნებისმიერ განიკვეთში სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობისთვის შემდეგი განტოლება

$$w_z^3 = \frac{1.2}{c} \sqrt{\frac{1+\sigma}{\sigma\pi}} \frac{gq_0z}{c_p\rho_\infty T_\infty} \quad (1.18)$$

ხოლო მაქსიმალური სიჩქარის ადგილას ჭარბი ტემპერატურისთვის მიღებულია შემდეგი გამოსახულება

$$\vartheta_z^3 = \frac{5}{3} \frac{\sqrt{2}(1+\sigma)}{\pi c^2} \frac{T_\infty}{c_p^2 \rho_\infty^2} \frac{q_0^2}{z} \quad (1.19)$$

სადაც :

$q$  სითბოს რაოდენობა ცხელი ზედაპირიდან ნაკადისკენ

$\vartheta$  ტემპერატურათა სხვაობა კედელსა და კონვექციური ნაკადის განიკვეთის ტემპერატურათა შორის

$T_\infty$  გარემო ჰაერის ტემპერატურა

$z$  მანძილი ზედაპირის ძირიდან ნაკადის ნებისმიერ განიკვეთამდე

$c, \sigma$  ექსპერიმენტული კონსტანტები

$\rho_\infty$  ჰაერის სიმკვრივე

## 2. კვლევის შედეგები და მათი განსჯა

### 2.1 კოანდას ეფექტი და შენობების თბური დაცვა

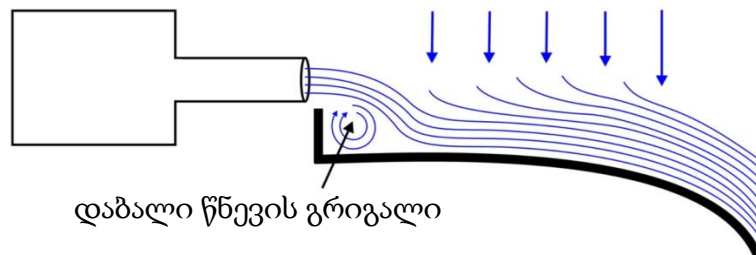
კოანდას ეფექტი არის ფიზიკური მოვლენა რომელიც აღმოჩენილ იქნა 1932 წელს რუმინელი მეცნიერის ანრი კოანდას მიერ და ამ ეფექტს მის პატივსაცემად ეწოდება კოანდას ეფექტი. იგი მდგომარეობს შემდეგში, სითხის (გაზის) ჭავლი, რომელიც გამოედინება საქშენიდან თავისი გავრცელების მიმართულებით ცდილობს მასთან ახლო მდებარე ზედაპირისკენ გადახრას და გარკვეულ პირობებში ეკვრის მას და ამ ზედაპირზე განაგრძობს მოძრაობას. ეს პროცესი კოანდამ [6,7,8] აღმოაჩინა მაშინ როდესაც აწარმოებდა მის მიერ დამზადებული საფრენი აპარატის ექსპერიმენტულ გამოცდას. ეს საფრენი აპარატი აღჭურვილი იყო რეაქტიული ძრავით და გააჩნდა ხის კორპუსი. რეაქტიული ჭავლისგან კორპუსის აალების თავიდან აცილების მიზნით მან კორპუსს ძრავიდან ჭავლის გამოსვლის ადგილას გვერდებზე ააკრა ლითონის ფირფიტები, რომლის დანიშნულებაც ცხელი ჭავლისგან კორპუსის თბური დაცვა იყო, მაგრამ ეფექტი მოსალოდნელის საწინააღმდეგო გამოდგა. გაუგებარი მიზეზების გამო ძრავიდან გამოფრქვეულმა რეაქტიულმა ჭავლებმა დაიწყეს ფირფიტებისკენ გადახრა და მათზე გარსდენა, რის გამოც კინაღამ მთელი კონსტრუქცია დაიწვა. მოხდა ავარია, მაგრამ გამომგონებელი გადარჩა და მოხდა ეს XX საუკუნის დასწყისში.

ეს ეფექტი აიხსნება იმით, რომ კედელი ხელს უშლის ჰაერის ნაკადის ჭავლისაკენ თავისუფალ გადაადგილებას, ჰქმნის რა შემცირებული წნევის ზონაში გრიგალს [56], (ნახ. 2.1)

ჰაერის ჭავლი შეიძლება იყოს თავისუფალი (როდესაც ჭავლი შემოსაზღვრულია გარემო ჰაერით) ან დაფენილი (ნახევრად შემოსაზღვრული) რომელიც ვრცელდება (ვითარდება) ზედაპირის გასწვრივ. თუ სიბლანტეს უგულებელვყოფთ ჭავლის საზღვარზე ჰაერის სიჩქარე იქნება ნულის ტოლი. დაფენილი ჭავლი ნახევრად

შემოსაზღვრულია და იგი ყოველთვის შემომზღუდი კონსტრუქციის გასწვრივ ვრცელდება. ასეთი ჭავლის შორსმსროლობა 1.2 ჯერ მეტია ვიდრე ჭავლისა, რომელიც ორივე მხრიდან შეზღუდულ არეში ვრცელდება ე.ი. ჭავლი, რომელიც ჭერთან ან რომელიმე სხვა შემომზღუდ კონსტრუქციასთან ვრცელდება უფრო გრძელია ე.ი. გააჩნია მეტი შორსმსროლობა ვიდრე თავისუფალ ჭავლებს [57]

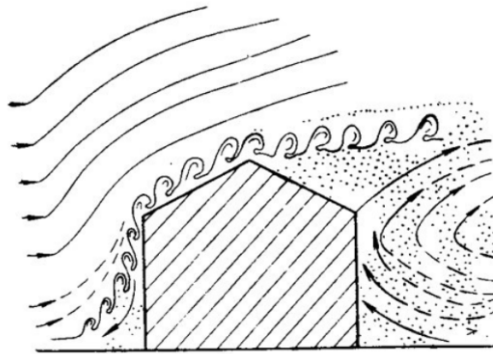
### ატმოსფერული წნევა



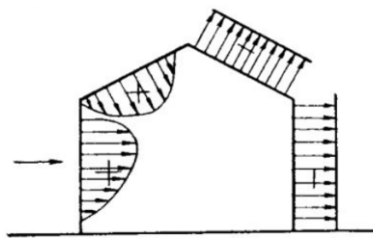
### ნახ.2.1 კოანდას ეფექტის წარმოქმნის სტრუქტურა

კოანდას ეფექტის თავდაპირველი გამოყენების სფერო საავიაციო ტექნიკაა. თვითმფრინავმშენებლობაში კოანდას ეფექტი გამოიყენება, როგორც ამწევი ძალის გაზრდის საშუალება საფრენი აპარატის ფრთის ზემო ზედაპირის, ძრავიდან გამოფრქვეული გაზების გადაბერვის გზით. თვითმფრინავის ძრავიდან გამოფრქვეული რეაქტიული ჭავლის გადაბერვით ფრთის ამწევი ძალის გაზრდის მიზნით აგებული იქნა მრავალი საფრენი აპარატი მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. დიდია კოანდას გამოყენების სფერო შენობა-ნაგებობებში. დასახლებული რაიონის ან ცალკეული შენობის აეროდინამიკური მახასიათებლები ძირითადად ამ ეფექტით განისაზღვრება, რადგანაც შენობათა აეროდინამიკური კოეფიციენტების სიდიდის დადგენა სწორედ ამ ეფექტზეა დაფუძნებული [58,59] კოანდას ეფექტის შენობის ეროდინამიკაზე გავლენა წარმოდგენილია ნახაზზე 2.2

ა)



ბ)

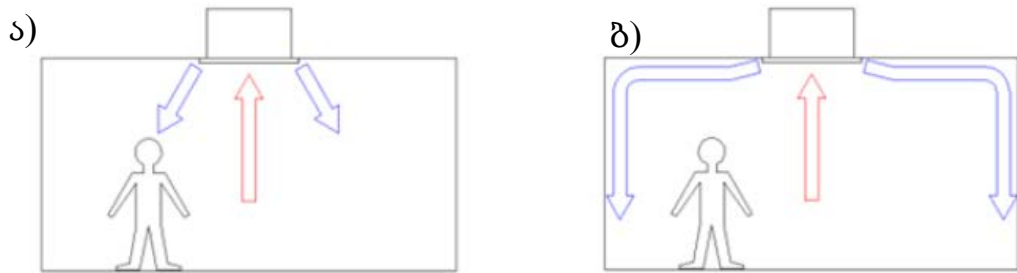


ნახ.2.2 შენობის გარსშემოდინება ჰაერის ნაკადით

ა) გარე შემოდინების სქემა ბ) წნევების განაწილება

ეს ეფექტი მნიშვნელოვანია შენობათა საინჟინრო სისტემებში განსაკუთრებით კი გათბობის ვენტილაციის და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში [56], რადგანაც კონდას ეფექტი გაპირობებულია სითხის (ჰაერის) ჭავლებით და შემომზღუდი კონსტრუქციებით (ზედპირებით) შენობა სხვა არაფერია თუ არა შემომზღუდი კონსტრუქციები და მისი მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემები. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი: 2.3 ნახაზზე ნაჩვენებია ჰაერის განაწილება სათავსში ჭერის ვენტილატორული კონვექტორის გამოყენებით. ჰაერის სტანდარტული მოწოდების დროს გამანაწილებელი გისოსიდან გამოსული ჭავლი მიმართულია ქვემოთ მუშა ზონისაკენ და უბერავს რა სათავსში მყოფ ადამიანს იწვევს მის დისკომფორტულობას და ხშირად კი გაცივებას. კონდას ეფექტის გამოყენების შემთხვევაში კი გისოსიდან გამომავალი ჰაერის ჭავლი ეკვრის ჭერს და განაგრძობს ჭერის გასწვრივ მოძრაობას ვიდრე მიაღწევს დინების მართობულად განლაგებული შემომზღუდი

კონსტრუქციის ზედაპირს. ამ ზედაპირთან შეჯახების შედეგად ჰაერის ჭავლი უხვევს  $90^{\circ}$ -ით და განაგრძობს მოძრაობას ვერტიკალურად ქვემოთ, რაც იწვევს ორპირა ქარის შეგრძნების აღმოფხვრას და სათავსის მუშა ზონაში დისკომფორტულობის გამორიცხვას [52]



### ნახ.2.3 კოანდას ეფექტის გამოყენება ჭერის ვენტილატორულ კონვექტორში

#### ა) ჰაერის სტანდარტული მოწოდების დროს

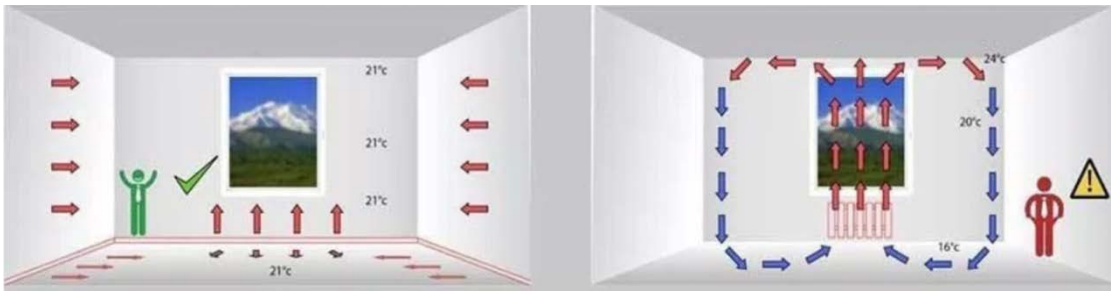
#### ბ) კოანდას ეფექტის გამოყენებით ჰაერის მიწოდების დროს

კოანდას ეფექტის გამოყენების თვალსაჩინო მაგალითია სათავსის პლინტუსური გათბობის სისტემა. როგორც ნახ.2.4-ზე ჩანს, შენობის რადიატორული გათბობის დროს ტემპერატურის განაწილება სათავსის მოცულობაში არათანაბარია. უშუალოდ იატაკთან ჰაერის ტემპერატურა მინიმალურია, რაც იწვევს ფეხებთან ცივი ჰაერის შებერვის შეგრძნებას. სათავსის სიმაღლის ზრდასთან ერთად იცვლება მისი ტემპერატურაც და ჭერთან წარმოიქმნება მაქსიმალური ტემპერატურის მქონე გადახურებული ზონა, ნახაზზე ნაჩვენები სქემის დროს ჰაერის არასასურველი ბუნებრივი ცირკულაციის დროს სათავსის მუშა ზონაში ჰაერის ტემპერატურა საანგარიშოზე დაბალია რაც ქმნის დისკომფორტულობას სათავსში, ხოლო უშუალოდ იატაკთან ჰაერი ფაქტიურად ცივია. სათბობი პლინტუსის გამოყენების დროს სათავსის მთელ მოცულობაში ჰაერის ტემპერატურა ერთი და იგივეა და უზრუნველყოფილია ნორმებით გათვალისწინებული ტემპერატურული რეჟიმის დაცვა. ტემპერატურული რეჟიმის ასეთი უზრუნველყოფა გაპირობებულია კოანდას ეფექტით, რომელიც გამორიცხავს ჰაერის ცივი ნაკადების

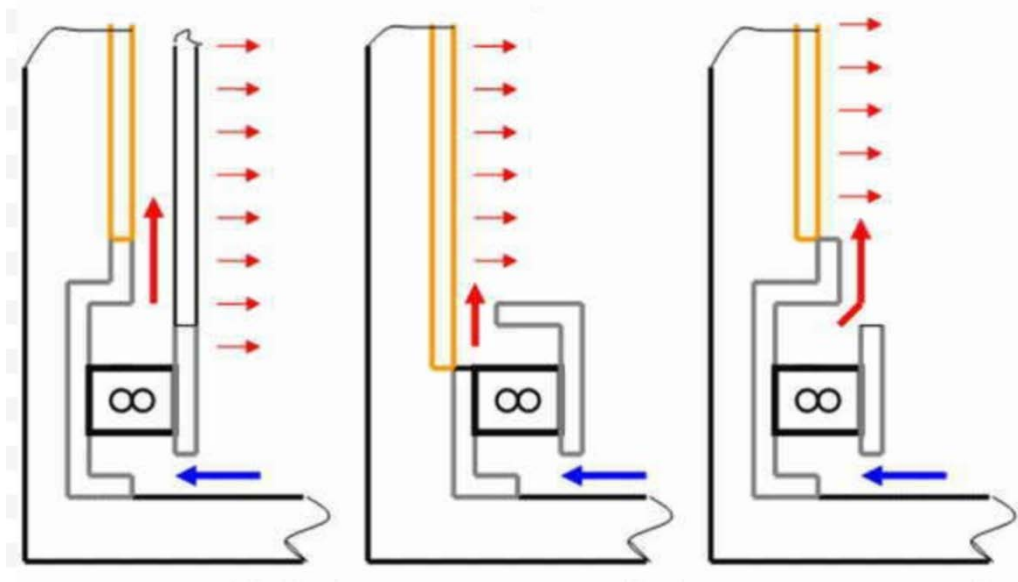
მეორად დინებებს სათავსებში. სათბობ პლინტუსებთან წარმოქმნილი თბური (გრავიტაციული) ჭავლი ეკვრის რა შემომზღუდი კონსტრუქციების ზედაპირებს მოძრაობს ვერტიკალურად ზევით წარმოქმნის თბურ ფარდას და იწვევს მთელ მოცულობაში ჰაერის თანაბარ გათბობას [60,61].

თბილი პლინტუსი

რადიატორი



ნახ.2.4 სათავსის ტემპერატურული რეჟიმი პლინტუსური და რადიატორული გათბობის დროს



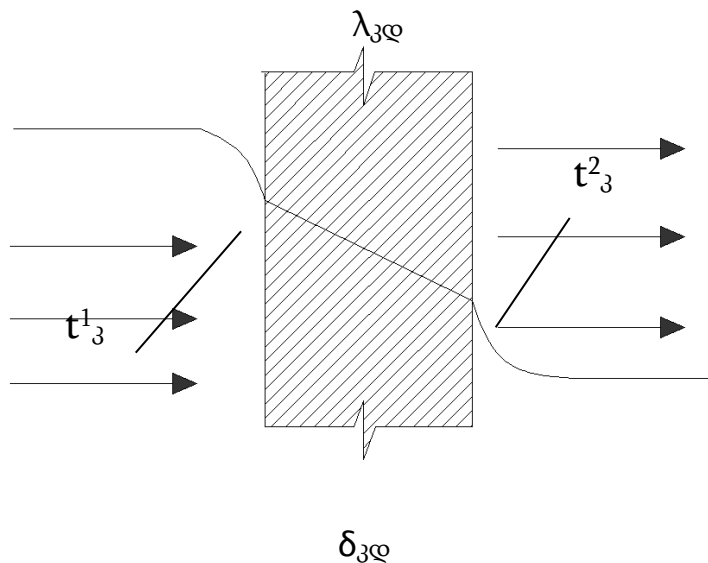
ნახ.2.5 პლინტუსური გათბობის პრინციპული სქემა

ა) ჰიპოკაუსტი ბ) და გ) უშუალოდ კედლის ქვეშე

კონდას ეფექტზე დაფუძნებული პლინტუსური გათბობის სისტემის პრინციპული სქემები ნაჩვენებია ნახაზზე 2.5 სათბობი პლინტუსი,



რომელიც განლაგებულია შემომზღუდი კონსტრუქციის ქვემო ნაწილში მის მთელ სიგრძეზე თბური ენერგიის გრავიტაციული ჭავლის სახით აწვდის არხში (ნახ 2.5ა) ან უშუალოდ ზედაპირთან (ნახ 2.5 ბ,გ) დაფენილი ჭავლის სახით [62]. აქედან პირველ არის ჩვეულებრივი ჰიპოკაუსტის სისტემა. აღსანიშნავია, რომ სამივე შემთხვევაში შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირი სითბოს აწვდის სათავსის ჰაერს რაც გაპრობებულია მისი მაღალი ტემპერატურით  $t_w > t_a$  ამ დროს უზრუნველყოფილია, როგორც სანიტარულ-ჰიგიენური ნორმებით გათვალისწინებული ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა, რომლებიც რეგლამენტირებულია ნორმებით [23] ასევე ზედაპირზე სათავსის ჰაერიდან წყლის ორთქლის წარმოქმნის აღმოფხვრა, რადგანაც ზედაპირის ტემპერატურა ყოველთვის მეტია ნამის წერტილის ტემპერატურაზე,  $t_w > t_a$  ბრტყელი კედლიდან ნახ.2.7-ზე წარმოდგენილი თბოგადაცემის სქემა განსხვავდება ჩვეულებრივ პირობებში ბრტყელი კედლის თბოგადაცემისგან. ჩვეულებრივ პირობებში  $t_1 > t_2$  და თბური ნაკადი  $t_2$  ტემპერატურული არიდან გადაეცემა  $t_2$  ტემპერატურულ არეს ისე როგორც ეს ნახ.2.6-ზეა წარმოდგენილი. ამ შემთხვევაში ტემპერატურულ ველს აქვს ტეხილი ხაზის სახე და ამ ტემპერატურების სიდიდეები კლებულობს  $t_1$  დან  $t_2$ -მდე. შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირს შორის თბოგაცემა მიმდინარეობს ბუნებრივი კონვექციის პირობებში. ხოლო თბოგაცემის კოეფიციენტის ნორმირებული სიდიდე  $\alpha = 8.7$  ვტ/მ<sup>2</sup> °C ნახ.2.7-ზე ნაჩვენები სქემებისათვის გარე კედლის შიგა ზედაპირი სითბოს სათავსის ჰაერიდან კი არ ღებულობს არამედ პირიქით სითბოს გასცემს მას. ამ შემთხვევაში კედლის ტემპერატურული ველი განსხვავდება ნახ.2.6-ზე წარმოდგენილი ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველისგან.

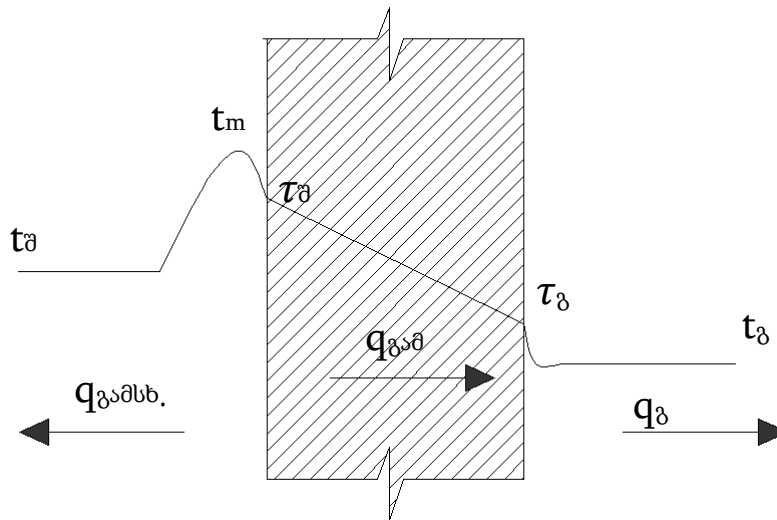


**ნახ. 2.6 თბოგადაცემა ერთშრიან ბრტყელ კედელში**

ჭავლური თბური დაცვის დროს ბრტყელი კედლის ტემპერატურულ ველს აქვს ნახ.2.7-ზე ნაჩვენები სახე. ამ დროს შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა მეტია როგორც სათავსის ასევე გარე ჰაერის ტემპერატურაზე

$$t_{\text{შ}} > t_{\text{შ}} > t_{\text{გ}}$$

და თბური ნაკადი კონვექციით და გამოსხივებით გადაეცემა სათავსს, ნაწილი კი თბოგამტარობით გადის კედლის სიზრქეში, რომელიც ფურიეს კანონის მიხედვით განისაზღვრება და შემდგომ კვლავ კონვექციით და გამოსხივებით გადაეცემა გარემოს. კედლის შიგა ზედაპირთან ჭავლის ზემოქმედების გამო თბოგაცემის პროცესი სავსებით სხვა ბუნებისაა და იგი განისაზღვრება ჭავლური სასაზღვრო შრის თავისებურებებით. შემომზღულ კონსტრუქციასთან ჭავლის ზემოქმედების დროს თბური ნაკადების სქემა ნაჩვენებია ნახ.2.7-ზე ქვემოთ კი განხილული გვაქვს ჭავლურ სასაზღვრო შრეში თბოგაცემის პროცესი როგორც გრავიტაციულ ასევე იძულებითი დაფენილი ჭავლებისათვის.



**ნახ.2.7 ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველი მასზე ჭავლის ზემოქმედების დროს**

კონდას ეფექტის გამოყენების შესაძლებლობები გვაძლევს საშუალებას მოვახდინოთ სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების მართვა ისე, რომ უზრუნველყოფილ იქნა მიკროკლიმატის ოპტიმალური პარამეტრების შენარჩუნება სათავსებში.

## **2.2 ჭავლები თბური დაცვის ძირითადი სქემები და მათი ფიზიკური მოდელები**

შემომზადებული კონსტრუქციების თბური დაცვის მიზანია უზრუნველყოს ამ კონსტრუქციების (კედელი ჭერი, იატაკი, შეშინვა) ზედაპირებსა და სიზრქეში ნორმებით გათვალისწინებული ტემპერატურის სიდიდეები. შიგა ზედაპირზე საჭიროა სანიტარული ნორმებით გათვალისწინებული იმ აუცილებელი ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის უზრუნველყოფა რომელიც უნდა არსებობდეს სათავსის ჰაერის ტემპერატურასა ( $t_{ა}$ ) და შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურას ( $\tau_{ა}$ ) შორის

$$\Delta t^{ნორმ} = t_{ა} - \tau_{ა} \quad (2.1)$$

სადაც  $t_{\theta}$  არის სათავსის ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა წლის ცივი პერიოდისათვის და იგი განისაზღვრება სპეციალური რეგლამენტების მიხედვით სათავსის სახეობის და მასში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესების მიხედვით. საცხოვრებელ და უმეტეს საზოგადოებრივ შენობებისათვის დელტა  $\Delta t=4-5^0$  გრადუსია, ხოლო სამრეწველო შენობებისათვის ეს სიდიდე მნიშვნელოვნად იცვლება და ხშირად 12 გრად.-ს აჭარბებს [23].

საცხოვრებელი და საზოგადოებრივი შენობებში თუ ეს სიდიდე დელტა  $\Delta t^{ნორმ}=4^0$ -ზე ნაკლებია კომფორტული პირობების უზრუნველყოფა შეუძლებელია და სათავსში მყოფი ადამიანები გარშემო მყოფ ცივ ზედაპირებზე დიდი რაოდენობით სითბოს გაცემენ გამოსხივებით, ეს კი იწვევს გაცივებით დაავადებებს, რაც განსაკუთრებულად დაუშვებელია საბავშვო და სამკურნალო დაწესებულებებისათვის. გარდა ამისა ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის გაზრდა ნორმაზე მეტად იწვევს შემომზღუდი კონსტრუქციების ზედაპირების ტემპერატურის დაცემას ნამის ტემპერატურაზე უფრო დაბლა, რაც იწვევს ამ ზედაპირებზე სათავსის ჰაერიდან წყლის ორთქლის კონდენსაციას. გარდა ამისა მასიურ შემომზღუდი კონსტრუქციებში (კედელი, ჭერი, იატაკი) მოსალოდნელია სათავსიდან კედლის სიზრქეში დიფუნდირებული წყლის ორთქლის კონდენსაცია, რაც თავის მხრივ იწვევს შემომზღუდი კონსტრუქციის დატენიანებას. ტენის წარმოქმნა კონსტრუქციაში იწვევს სხვადასხვა სახის მიკროორგანიზმების წარმოშობას და მათ გავრცელებას სათავსებში. მეორეს მხრივ კონსტრუქციის დატენიანება ზრდის ამ კონსტრუქციის თბოგამტარობას და შესაბამისად თბოდანაკარგების გაზრდას. შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა დამოკიდებულია ამ კონსტრუქციის თერმულ წინააღდეგობას ( $R_0$ ) და ზედაპირთან თბოგაცემის თერმულ წინააღმდეგობაზე ( $R_{\theta}$ ) და გამოითვლება ფორმულით:

$$\tau_{\theta}=t_{\theta}-\frac{R_{\theta}}{R_0}(t_{\theta}-t_{\delta}) \quad (2.2)$$

სადაც  $R_{\text{წ}}=1/\alpha_{\text{წ}}=1/8.7=0.115 \text{ მ}^2\text{C}/\text{ვტ}$

თბოგაცემის თერმული წინააღმდეგობა და იგი თბოგაცემის კოეფიციენტის ( $\alpha_{\text{წ}}$ ) შებრუნებული სიდიდეა, რომელიც ძირითადად ბუნებრივი (თავისუფალი) კონვექციით განისაზღვრება. ვინაიდან თავისუფალი კონვექციის დროს ( $\alpha_{\text{წ}}$ ) ძირითადად გრავიტაციული ძალებით განისაზღვრება, მისი სიდიდე იმდენად მცირეა, რომ ოთახის ჰაერის შემომზღუდ კონსტრუქციასთან შეხების დროს ეს ჰაერი ვერ უზრუნველყოფს შიგა ზედაპირის ტემპერატურის იმდენად აწევას რომ დაცული იქნას პირობა, რის გამოც  $\Delta T_{\text{წორმ}^0\text{C}} < 4$  და ადგილი აქვს სათავისსაკენ ცივი ჰაერის დინებას, რაც ბუნებრივია ქმნის დისკომფორტს, განსაკუთრებით დისკომფორტი იგრძნობა დიდი შემინული ზედაპირების მქონე შემომზღუდ კონსტრუქციებთან. მეორე მხრივ შემომზღუდი კონსტრუქციების დაბალი თერმული წინააღმდეგობის გამო ამ კონსტრუქციებიდან ხდება სითბოს ინტენსიური კარგვა ისე რომ პირობა ვერ სრულდება.

შემომზღუდი კონსტრუქციების თბური დაცვის პარამეტრების გაზრდის რამდენიმე გზა არსებობს, რომელთაგან განსაკუთრებით ორი ხერხი გამოირჩევა: პასიური ანუ შემომზღუდი კონსტრუქციის თბური დაცვა მისი თერმული წინააღმდეგობის გაზრდით. ამ დროს შემომზღუდი კონსტრუქციების გარედან ძირითად კონსტრუქციულ შრეს უკეთდება დამატებითი თბოსაიზოლაციო შრე, რომელიც უზრუნველყოფს ამ კონსტრუქციის ნორმატიულ (საჭირო) თერმულ წინააღმდეგობას. ეს გზა ძირითადად გამოიყენება მასიური კედლების თბური დაცვის ხარისხის გასაუმჯობესებლად. მეორე ხერხია შემომზღუდი კონსტრუქციის თბური დაცვა სათბობ სავენტილაციო ჭავლებით ანუ სათავისის მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების ისე დაპროექტება და შემდეგ განხორციელება, რომ სისტემის ფუნქციონალურ დანიშნულებასთან ერთად უზრუნველყოფილ იქნეს

ცალკეული კონსტრუქციების თბური დაცვაც, რაც საბოლოოდ უზრუნველყოფს შენობის თბურ დაცვას და მისი ენერგოეფექტურობის გაზრდას.

სათბობ სავენტილაციო ჭავლების ორგანიზებული მიწოდება განაწილება და თბოგაცემის პროცესების მართვა დაფუძნებულია ჭავლების აეროდინამიკასა და თბოგადაცემის კანონზომიერებაზე. შენობათა საჰაერო რეჟიმების უზრუნველსაყოფად მრავალნაირი ჭავლი გამოიყენება: თავისუფალი, იზოთერმული, არაიზოთერმული, გრავიტაციული, კომპაქტური დაფენილი და სხვა [63]

ჭავლების ამ ნაირსახეობიდან ჩვენს მიერ შერჩეულია იძულებითი და გრავიტაციული დაფენილი ჭავლები, რომლებიც კარგად ესადაგება როგორც საჰაერო რეჟიმის უზრუნველყოფას ასევე შემომზღუდი კონსტრუქციების თბურ დაცვას. დაფენილი ჭავლები წვება რა შემომზღუდ კონსტრუქციაზე ქმნის ე.წ. საჰაერო თბურ ფარდას არაიზოთერმული ჭავლის შემთხვევაში, როდესაც ჭავლის საწყისი ტემპერატურა ( $t_0$ ) მეტია შიგა ჰაერის ტემპერატურაზე ( $t_0 = t_{\infty}$ ) და მეტია შემომზღუდი კონსტრუქციის ტემპერატურაზე ( $t_w$ )

$$t_0 > t_w > t_{\infty}$$

იწვევს კედლის ზედაპირის შეთბობას ისე, რომ კედლის ზედაპირის ტემპერატურა  $t_w$  ყოველთვის მეტია სათავსის ჰაერის ტემპერატურაზე და ამ დროს თბური ნაკადი იცვლის მიმართულებას და იგი უკვე მიმართული იქნება გარე შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირიდან სათავსისაკენ. ამ კონსტრუქციიდან კონვექციური თბური ნაკადი მიმართული იქნება სათავსის ჰაერისაკენ, ხოლო სხივური სითბოს ნაკადი კი მიმართული იქნება სათავსში განლაგებული ზედაპირებისაკენ. დაფენილი ჭავლიდან ზედაპირზე გადაცემული სითბოს ნაკადი შემომზღუდი კონსტრუქციის თბოგამტარობით გადაეცემა გარემოს. ამ თბური ნაკადების ჯამი (ნახ.2.7) განსაზღვრავს

სითბოს იმ რაოდენობას რომელიც დაფენილმა ჭავლმა უნდა შემოიტანოს სათავსში.

ამრიგად დაფენილი ჭავლის შემთხვევაში სათავსის ჰაერიდან გარემოში იცვლება რა თბოგადაცემის მიმართულება იცვლება უკვე თბური კომფორტის პირობებიც.

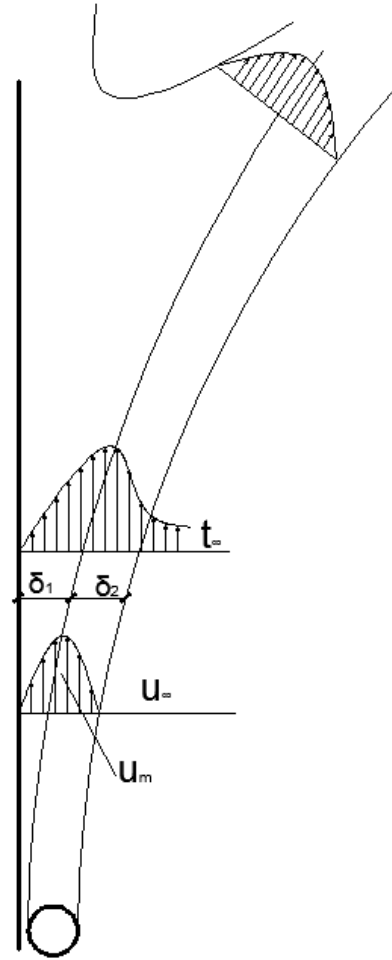
რადგანაც  $t_w > t_a$  სათავსში მყოფი ადამიანი გარე შემომზღულ კონსტრუქციებს გამოსხივებით კი არ გადასცემს სითბოს, არამედ პირიქით მისგან გამოსხივებით იღებს სითბოს, რაც მაღალი ხარისხის კომფორტულ გარემოს ქმნის. თბოგადაცემის პროცესის ამრიგად შეცვლა იძლევა საშუალებას დავწიოთ სათავსის ჰაერის ტემპერატურა  $22-24^{\circ}\text{C}$  დან  $16-18^{\circ}\text{C}$  მდე, რაც ამცირებს გათბობისთვის სითბოს ხარჯს და დამატებით ზრდის კომფორტულობის პირობებს ფარდობითი ტენიანობის გაზრდის ხარჯზე.

ჭავლური თბური დაცვა ფართოდ გამოიყენება ტექნიკის მრავალ დარგში: მანქანათმშენებლობა, ავიაცია, კოსმოსური ტექნიკა, შრობის ტექნიკა და ტექნოლოგია კვების პროდუქტების წარმოება და სხვა. ამ დარგებში ჭავლური თბური დაცვა გამოიყენება სხვადასხვა სახის კონსტრუქციების და ტექნოლოგიური პროცესების საიმედოობის უზრუნველყოფის მიზნით, განსაკუთრებული როლი ენიჭება ჭავლურ თბურ დაცვას მშენებლობაში, სადაც სათბობ სავენტილაციო ჭავლების ორგანიზებული მართვის პირობებში მიიღწევა, როგორც შემომზღული კონსტრუქციების თბური დაცვა, ასევე მიკროკლიმატის კომფორტული და ტექნოლოგიური პარამეტრების უზრუნველყოფა.

ნახ.2.8-2.11-ზე წარმოდგენილია შემომზღული კონსტრუქციების ჭავლური თბური დაცვის პრინციპული სქემები დაფენილი (ნახევრად შემოსაზღვრული) გრავიტაციული (თავისუფალი) და იძულებითი ჭავლების საშუალებით. გრავიტაციული ანუ თავისუფალი ჭავლები წარმოიქმნება ხაზობრივ თბურ წყაროსთან თავისუფალი ანუ ბუნებრივი კონვექციის გზით.

ა) თავისუფალი კონვექციის ზონა

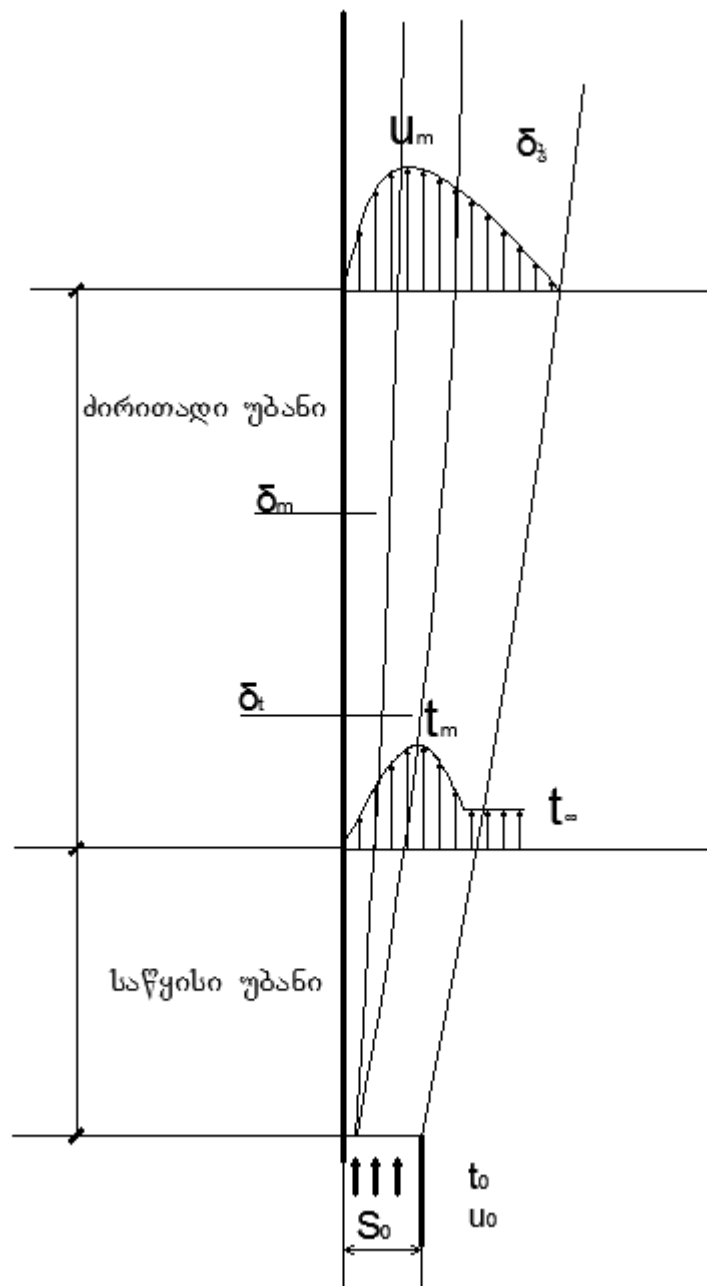
გრავიტაციული ჭავლის გავრცელების ზონა



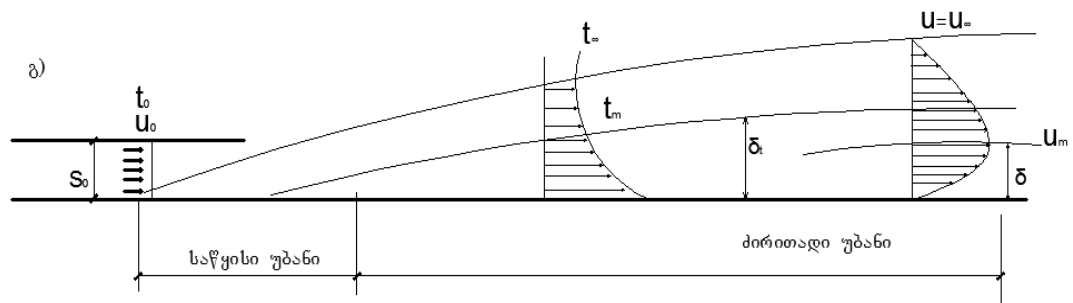
ნახ.2.8 ბუნებრივი (გრავიტაციული) ჭავლი ვერტიკალურ ზედაპირთან



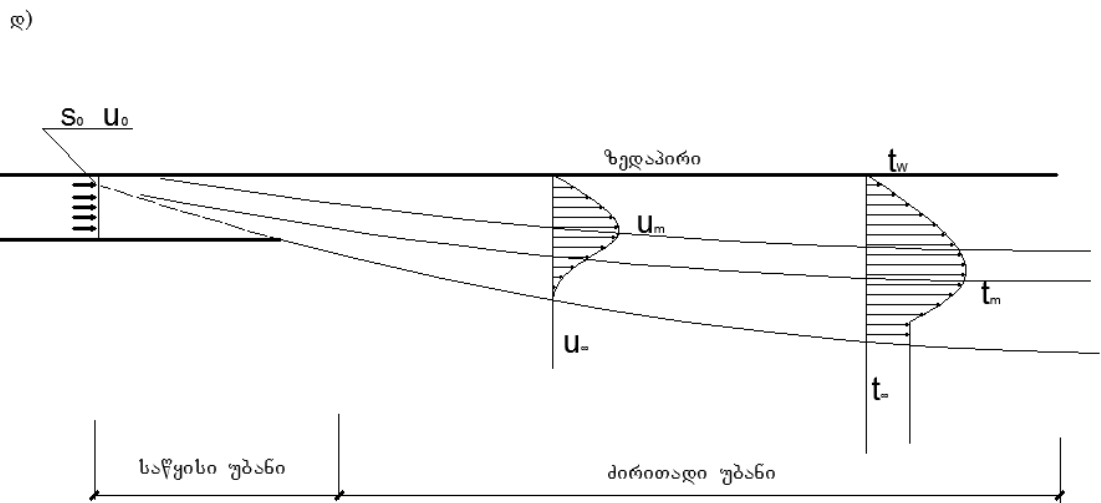
ბ)



ნახ.2.9 იძულებითი ჭავლი ვერტიკალურ ზედაპირზე



ნახ.2.10 იძულებითი ჭავლი ჰორიზონტალურ ზედაპირზე



ნახ.2.11 იძულებითი ჭავლი ჰორიზონტალური ზედაპირის ქვეშ

ასეთ ჭავლებს თბური ჭავლებსაც უწოდებენ (ნახ.2.8) ამ შემთხვევაში სახურებელი ელემენტი (გლუვი ან წიბოვანი მილი, კლაკნილა კონვექტორი) განლაგებულია შემომზღუდი კონსტრუქციის კედელი, ფანჯარა, ვიტრაჟი ქვემოთ, იატაკზე ან იატაკქვეშა არხში. ამ ელემენტის ზედაპირის ტემპერატურა  $t_0$  მეტია კონსტრუქციის ზედაპირის ტემპერატურაზე მეტია სათავსის ჰაერის ანუ გარემოს ტემპერატურაზე,  $t_\infty = t_a$ . სახურებელი ელემენტის ქვემო ნაწილში სათავსის ჰაერი ტემპერატურით  $t_a - t_\infty \ll t_0$  ეხება რა ცხელ ზედაპირს თბება, რის გამოც მისი სიმკვრივე მცირდება, ჰაერი მსუბუქდება იწყებს მოძრაობას ზემოთ. ეს ჰაერი სახურებელი ელემენტის ცხელ

ზედაპირს კონვექციით ართმევს სითბოს და ახდენს მის ტრანსპორტირებას ვერტიკალურად ზემოთ. ვინაიდან სახურებელი ელემენტი შემომზღული კონსტრუქციის ქვეშ მის უშუალო მახლობლობაშია განლაგებული, წარმოქმნილი გრავიტაციული ჭავლი კოანდას ეფექტის თანახმად წვება ვერტიკალურ ზედაპირზე და მიცოცავს ზემოთ, ქმნის რა ამ ზედაპირის საიმედო თბურ დაცვას.

უშუალოდ შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირთან წარმოიქმნება სასაზღვრო შრე, რომელიც შედგება ორი ნაწილისაგან: კედლისპირა და გარე ჭავლური შრისაგან. უშუალოდ კედელთან წარმოიქმნება მცირე სისიქის ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო შრე სისიქით (δ) ამ შრის სისიქეში სიჩქარე  $u$  იცვლება ნულიდან მის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე ანუ 0-დან  $u_m$  სიდიდემდე. ჰიდროდინამიურ შრესთან ერთად ყალიბდება თერმული სასაზღვრო შრე, რომელის შიგნითაც ხდება ტემპერატურის ცვლილება  $t=t_w$  სიდიდიდან  $t=t_m$  სიდიდემდე, რომელიც წარმოადგენს კედლისპირა შრის გარე საზღვარზე მაქსიმალურ ტემპერატურას  $t_m$ . ამ შრის გარეთ ანუ გარე ჭავლურ შრეში, ტემპერატურა იცვლება მისი მაქსიმალური მნიშვნელობიდან ( $t_m$ ) გარე სასაზღვრო შრის გარეთ ტემპერატურის სიდიდემდე, ეს ტემპერატურა კი ეთანადება სათავსის შიგა ჰაერის ტემპერატურას.

ნახაზზე ნაჩვენებია სიჩქარის და ტემპერატურის პროფილები თბური ჭავლის მართობულ სიბრტყეში. რადგან ზედაპირს ეფინება ცხელი ჰაერი, რომლისთვისაც განსახილველ ტემპერატურულ დიაპაზონში პრანდტლის რიცხვი  $Pr=0.73$  ჰიდროდინამიკური და ტემპერატურული სასაზღვრო შრეები ტოლია ე. ი.  $\delta=\delta_t$  [64,65].

ეს კი გვამღევს საშუალებას ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრის სისიქის (δ) განსაზღვრის საფუძველზე განვსაზღვროთ ამ შრეში ტემპერატურული გრადიენტი და შესაბამისად, თბოგაცემის

კოეფიციენტი რომელიც ლამინარული ქვეშრის თბოგამტარობით განისაზღვრება.

თბური ჭავლის სიგრძე და პარამეტრები დამოკიდებულია სახურებელი ელემენტის ტემპერატურასა ( $t_0$ ) და დიამეტრზე  $d_0$ .

ბუნებრივი გრავიტაციული ჭავლის მოძრაობა ისევე, როგორც ნებისმიერი სხვა დინება შეიძლება იყოს ლამინარული ან ტურბულენტური, რომელიც რეინოლდსის უგანზომილებო კრიტერიუმით განისაზღვრება

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (2.3)$$

სადაც  $Re$  არის რეინოლდსის რიცხვი საწყისი კვეთის მიხედვით

$v$  და  $d$  ამ კვეთების შესაბამისი სიჩქარე და მსაზღვრელი ზომა (მმ)

$\nu$  კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი  $m^2/წმ$

ზოგადად ჭავლური დინებისათვის დადგენილია რომ როდესაც  $Re < 30$  ზე მოძრაობის რეჟიმი ლამინარულია ხოლო  $Re > 30$  ჭავლურ დინებებში მოძრაობა ტურბულენტურია. სავენტილაციო ჭავლებში  $Re \gg 30$  ამიტომ შემომზღუდი კონსტრუქციების ჭავლური თბური დაცვის დროს განვიხილავთ ტურბულენტურ სასაზღვრო შრის კანონ-ზომიერებებს. თუმცა ტურბულენტური სასაზღვრო შრის თანამედროვე მოდელების მიხედვით უშუალოდ კედლისპირა სასაზღვრო შრეებში ტურბულენტური პულსაციები ვერ აღწევს და სითხის ნაწილაკები მხოლოდ სწორხაზოვნად გადაადგილდებიან, რაც ამ შრეში ლამინარული დინების დამადასტურებელია [53,54,57].

გრავიტაციული ჭავლის ვერტიკალურ ზედაპირებთან გავრცელების დროს სასაზღვრო შრეში წარმოიქმება სამი ჰიდროდინამიურად განსხვავებული ზონა ესენია გრავიტაციული ჭავლის გავრცელების ზონა, რომელიც ფორმირდება ზედაპირის ქვემო ნაწილში ანუ სახურებელი ელემენტის თავზე. ზედაპირის ზემო ნაწილში სადაც ზედაპირის ტემპერატურა  $t_w$  ნაკლებია სათავსის ტემპერატურაზე  $t_{\infty}$ .

ფორმირდება თავისუფალი კონვექციის ზონა, სადაც ჰაერის კონვექციური ნაკადი მიმართულია ქვემოთ. ამ ზონაში თბოგაცემის პროცესი აღიწერება ბუნებრივი კონვექციის კანონზომიერებით და იგი როგორც თეორიულად ასევე ექსპერიმენტულად საკმარისი სიზუსტითაა შესწავლილი, როგორც ლამინარული ასევე ტურბულენტური სასაზღვრო შრეებისთვის. ასევე შესწავლილია ამ ზონაში როგორც ჰაერშელწევადობის გავლენა თბოგაცემაზე (სასაზღვრო შრეში ერთგვაროვანი შებერვის ან გაწოვის რეჟიმებისათვის) ასევე ჰიდროდინამიკის და თბოგაცემის პროცესები, რომელიც გართულებულია მასის გაცემის პროცესით ე.ი. ამ შემთხვევაში განხილულია ბინარული (ორკომპონენტური) სასაზღვრო შრე. თბომასაგადაცემის ასეთი მოდელები დამახასიათებელია სამრეწველო დანიშნულების ისეთი ობიექტებისათვის სადაც ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის დროს შემომზადდი კონსტრუქციების შიგა ზედაპირებზე ხდება ჰაერიდან წყლის ორთქლის კონდენსაცია. მესამე ზონა რომელც ზედაპირთან წარმოიქმნება არის შეგუბებული ნაკადის ზონა იგი ზემოთხსენებული ორი ნაკადის გრავიტაციული ჭავლის გავრცელების ზონაში წარმოქმნილ ზემოთ მიმართული და ბუნებრივი კონვექციის გავრცელების ზონაში წარმოქმნილი ქვემოთ მიმართული ნაკადების ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება. ზედაპირთან ამ ზონაში ჰიდროდინამიკისა და თბოგაცემაზე გავლენას ახდენს როგორც ბუნებრივი კონვექციის ასევე ჭავლური დინების კანონზომიერებები. ამ ორი ნაკადის შეხვედრის ზონაში გრავიტაციული ჭავლის დერძული სიჩქარე და ქვემოთ მიმართული კონვექციურ ნაკადის სიჩქარე ერთმანეთს უტოლდება, ხდება ერთიანი შერეული ნაკადის წარმოქმნა, რომელიც წყდება ზედაპირიდან შემომზადდი კონსტრუქციის ზედაპირს და საწყისი ნაკადების პარამეტრების მიხედვით იგი შეიძლება მიმართული იქნას ჰორიზონტალურად სათავსის მოცულობაში, ვერტიკალურად ზემოთ სათავსის ჭერის ზედაპირისკენ და ვერტიკალურად

ქვემოთ სათავსის მუშა ზონაში[6,64,65,]სათავსის მიკროკლიმატის პარამეტრების თანაფარდობის მიხედვით საჭიროა ამ ჭავლის ზედაპირთან მართვა ისე, რომ სათავსში გამორიცხული იქნას დისკომფორტული ზონის წარმოქმნა. ჭავლური თბური დაცვის შემდეგი სახეა იძულებითი ჭავლის გავრცელება ზედაპირთან (ნახ.2.9 2.10 2.11) იძულებითი ჭავლი გარეშე ამგზნების (ვენტილატორი,ჰაერშემხერი) საშუალებით ვიწრო ხვრელიდან სიგანით  $s_0$  მიეწოდება სათავსს შემომზღუდი კონსტრუქციის გასწვრივ ტანგენციალურად, რომლის საწყისი სიჩარეა  $u_0$  ხოლო ტემპერატურა  $t_0$ . გრავიტაციულ ჭავლისაგან განსხვავებით იძულებითი ჭავლით შესაძლებელია ნებისმიერი შემომზღუდი კონსტრუქციის თბური დაცვა ამასთანავე ვერტიკალურ ზედაპირთან ჭავლის გავრცელება შესაძლებელია როგორც ქვემოდან ზემოთ ასევე ზემოდან ქვემოთ, ხოლო ჰორიზონტალური ზედაპირთან ჭავლის შეიძლება გავრცელდეს როგორც ზედაპირზე ასევე მის ქვეშ.

იძულებითი ჭავლის ზედაპირთან გავრცელების დროს (ნახ.2.10 2.11) ისევე როგორც გრავიტაციული ჭავლის შემთხვევაში ზედაპირთან წარმოიქმნება სასაზღვრო შრე, რომელიც შედგება შიდა კედლისპირა სასაზღვრო შრე სისქით  $\delta_m$  და გარე ჭავლური შრე სისქით  $\delta_w$  გარდა ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო შრისა ( $\delta_m$ ) წარმოიქმნება კიდევ თბური ანუ ტემპერატურული სასაზღვრო შრე სისქით  $\delta_t$ . როგორც ამ სქემებიდან ჩანს სიჩქარეები ჰიდროდინამიკურ სასაზღვრო შრეში იცვლება 0-დან (უშუალოდ ზედაპირზე) მის მაქსიმალურ  $u_m$  სიდიდემდე. სიჩქარე  $u_m$  არის კედლისპირა ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრის გარე საზღვრის შესაბამისი სიჩქარე.ეს სიჩქარე ჭავლის ღერძული სიჩქარის ტოლია.ჭავლური შრის სისქეში ეს ღერძული სიჩქარე კლებულობს და ის გარე საზღვარზე უტოლდება ჭავლის გარეთ ჰაერის ნაკადის სიჩქარეს  $u_0$ .ასევე იცვლება ტემპერატურაც,  $\delta_t$  სისქის თერმული სასაზღვრო შრეში.ზედაპირზე ტემპერატურა ტოლია  $t_w$  ხოლო თერმული სასაზღვრო შრის სისქეზე  $\delta_t$  აღწევს მაქსიმალურ

მნიშვნელობას,  $t_m$  და შემდეგ იგი კვლავ მცირდება ჭავლური შრის გარეთ ტემპერატურამდე  $t_\infty$  რომელიც სათავსის ჰაერის ტემპერატურის ტოლია  $t_\infty = t_a$  [57].

ვერტიკალურ შემომზღულ კონსტრუქციასთან იძულებითი ჭავლის გავრცელების დროს ქვემოდან ზემოთ ანალოგიურად გრავიტაციული ჭავლის გავრცელებისა ზედაპირთან ყალიბდება სამი ზონა:

1. ჭავლის გავრცელების ზონა ქვემო ნაწილში 2. ბუნებრივი კონვექციის ზონა ზედაპირის ზემო ნაწილში და 3. შეგუბებული ზონა რომელიც დაფენილი ჭავლის და ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება [63]. ჭავლური თბური დაცვის მიზანია თბოგაცემის კანონზომიერების დადგენა ჭავლურ სასაზღვრო შრეში ანუ ვერტიკალური შემომზღული კონსტრუქციის სიმაღლის და ტემპერატურული რეჟიმის პირობებიდან გამომდინარე შერჩეულ იქნას იძულებითი ჭავლის ისეთი პარამეტრები, რომელიც უზრუნველყოფს ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადების აღკვეთას და სათავსში დისკომფორტული ზონის წარმოქმნას. იძულებითი ჭავლის ჰორიზონტალურ ზედაპირებთან გავრცელების შემთხვევაში კი განიხილება მხოლოდ ჭავლის გავრცელების ზონა. მართალია ჰორიზონტალური ჭავლის შემთხვევაშიც ზედაპირთან წარმოიქმნება გრავიტაციული კონვექციური ნაკადი რომელიც ზედაპირსა და სასაზღვრო შრის გარეთ ტემპერატურული სხვაობის გამო ( $\Theta = t_w - t_\infty$ ) ზრდის ან ამცირებს თბოგაცემის საერთო სიდიდეს ეს კი იმას ნიშნავს რომ ზედაპირთან ჭავლის გავრცელების დროს თბოგაცემა განიხილება როგორც შერეული (ბუნებრივი და იძულებითი) კონვექციის დროს. ჰორიზონტალურ სამშენებლო კონსტრუქციებთან სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების გავრცელების დროს საექსპლუატაციო ტემპერატურული რეჟიმიდან გამომდინარე საერთო თბოგაცემის სიდიდეზე გრავიტაციული ძალების გავლენა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ იგი

შეიძლება უგულებელვყოთ, როგორც ნახაზიდან ჩანს დაფენილი ჭავლის კვეთში სიჩქარის პროფილს გააჩნია ჭავლის მკვეთრი მაქსიმალური სიდიდე ჭავლის ღერძის გასწვრივ მისი გავრცელების მიმართულებით და იგი იცვლება ჭავლის გავრცელების ღერძის მიმართულებით ე.ი

$$U=f(x) \quad (2.4)$$

სწორედ ამით განსხვავდება ჭავლური დინება ნაკადის პოტენციალური დინებისგან სადაც სიჩქარე იცვლება ნულიდან  $u_{\infty}$  -მდე ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო შრის გარე საზღვარზე რომელიც პოტენციური ნაკადის სიჩქარის  $u_{\infty}$  ტოლია.

ჭავლის გავრცელების დროს მისი გავრცელების მიმართულებით გამოსვლის კვეთიდან გარკვეული  $x$  მანძილზე ჭავლის ღერძული სიჩქარე არ იცვლება და იგი ჭავლის გამოსვლის კვეთში სიჩქარის ტოლია

$$U=U_0 \quad (2.5)$$

მონაკვეთს, რომლის სიგრძეზეც ჭავლის ღერძული სიჩქარე მისი გავრცელების მიმართულებით არ იცვლება ჭავლის საწყისი უბანი ეწოდება. მისი სიგრძე დამოკიდებულია ჭავლის პარამეტრებზე გამოსვლის კვეთში და იგი გამოსვლის კვეთიდან გარკვეულ მანძილზე იწყებს კლებას. ზედაპირთან ჭავლის გავრცელების ამ მონაკვეთს ჭავლის ძირითადი უბანი ეწოდება. ამ უბანზე ჭავლის ღერძული სიჩქარე მცირდება და ხდება მისი ჩახშობა, ვიდრე ჭავლის ღერძული სიჩქარე ნულს გაუტოლდება. მონაკვეთს გამოსვლის კვეთიდან ღერძული სიჩქარის ნულოვანი სიდიდის კვეთამდე ჭავლის შორსმსროლობა ეწოდება. გვეცოდინება რა ჭავლის გავრცელების მთელ მონაკვეთზე თბოგაცემის კოეფიციენტების ლოკალური მნიშვნელობები შეგვიძლია შევარჩიოთ ჭავლის ისეთი პარამეტრები, რომელიც უზრუნველყოფს შემომზღუდი კონსტრუქციის თბური დაცვის პარამეტრების შენარჩუნებას.



უნდა აღინიშნოს, რომ სათბობ-სავენტილაციო ჭავლები რომლებიც სათავსის თბური (საჰაერო) რეჟიმის უზრუნველსაყოფად გამოიყენება არაიზოთერმული ე.ი.

$$t_0 \leq t_{\infty} \quad (2.6)$$

ანუ არაიზოთერმული ეს ისეთი ჭავლია რომლის გამოსვლის ტემპერატურაც განსხვავდება იმ გარემოს ტემპერატურისაგან რომელშიც ის ვრცელდება.

## 2.3 თბოგაცემა დაფენილ ჭავლსა და შემომზღულდ

### კონსტრუქციის ზედაპირს შორის

კონდას ეფექტის თანხმად ნებისმიერი ჭავლის მათ შორის სათბობ –სავენტილაციო წვება რა რაიმე ზედაპირზე ეკვირს მას და განაგრძობს მოძრაობას ამ ზედაპირთან. არაიზოთერმული ჭავლის შემთხვევაში ( $t_0 > t_{\infty}$ ) ზედაპირთან წარმოიქმნება სასაზღვრო შრე რომლის სიზრქეშიც მოძრაობა და თბოგაცემა აღიწერება ნავიე-სტოქსის განტოლებებით რომლებიც ბრტყელი მოძრაობის შემთხვევისათვის მოიცავს სამ ძირითად განტოლებას მოძრაობის, ენერჯის და უწყვეტობის. ეს განტოლებები რომლებიც ზოგადი ტურბულენტური მოძრაობის რეინოლდსის განტოლებების ნაირსახეობას წარმოადგენს ჩვენს მიერ წინა პარაგრაფში განხილული ფიზიკური მოდელებისათვის (სქემებისათვის) შიძლება წარმოადგენილ იქნას შემდეგი სახით:

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + g\beta_1 \theta \quad (2.7)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (2.9)$$

ეს განოტელებები წარმოადგენენ სტაციონარული რეჟიმის პირობებისათვის ( $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$ ) კერძოწარმოებულიან დიფერენციალურ განტოლებებს, რომლებიც ჩაწერის ფორმით გაცილებით მარტივია ვიდრე ტურბულენტური მოძრაობის რეინოლდსის ზოგადი განტოლებები, მაგრამ მათი ამოხსნა საკმაოდ რთული და ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელიც არის, ამიტომ საინჟინრო ამოცანების ამოსახსნელად მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ უფრო მარტივი, სასაზღვრო შრის თეორიაში კარგად ცნობილი კარმან-პოლგაუზენის მეთოდით. ამ მეთოდის გამოყენებით საკმაო სიზუსტით გადაწყვეტილია ჰიდროდინამიკისა და თბოგაცემის მთელი რიგი პროცესები სხვადასხვა ზედაპირებთან სითხის (გაზი) პოტენციალურ დინებებში, როგორც ბუნებრივი ასევე იძულებითი ან შერეული კონვექციის პირობებისათვის. უნდა აღინიშნოს, რომ თბომასაგადაცემის საკითხები შერეული კონვექციის დროს ფართოდ იქნა შესაწავლილი ბოლო 50 წლის მანძილზე [6;53;54;58;66]. შერეული კონვექციის მოვლენა უფრო აღინიშნება არაიზოთერმულ ჭავლების შემთხვევაში. ასეთი ჭავლების გამოყენების დროს ტემპერატურა იცვლება, როგორც ჭავლის განივკვეთში, ასევე ზედაპირის გასწვრივ მთელ სიგრძეზე. ტემპერატურის ცვლილების გამო იცვლება ჰაერის სიბლანტეც და მასთან ერთად სიჩქარეთა ველის პროფილიც. იმისდა მიუხედავად თუ რა მიმართულებისაა სითბოს ნაკადი ეს ცვლილება სხვადასხვანაირია. ტემპერატურის უთანაბრობა იწვევს ამწევი ძალის წარმოქმნას და სათანადოდ ბუნებრივ კონვექციასაც. ამგვარად არაიზოთერმული მოძრაობის დროს წარმოიქმნება შერეული კონვექცია (იძულებითი და თავისუფალი) იძულებითი მოძრაობის დროს თბოგაცემის სიდიდე დამოკიდებულია ხახუნის და ინერციის ძალების თანაფარდობაზე ანუ რეინოლდსის (Re) რიცხვზე შერეული კონვექციის დროს მოძრაობაზე გარკვეულ გავლენას ახდენს გრავიტაციული ძალებიც, რომლებიც გრასხოფის კრიტერიუმით (Gr) განისაზღვრება. კრიშერის მონაცემების მიხედვით შერეული კონვექციის დროს

მოდრაობა შეიძლება დახასიათდეს რეინოლდსის ე.წ.პირობითი კრიტერიუმით [67]

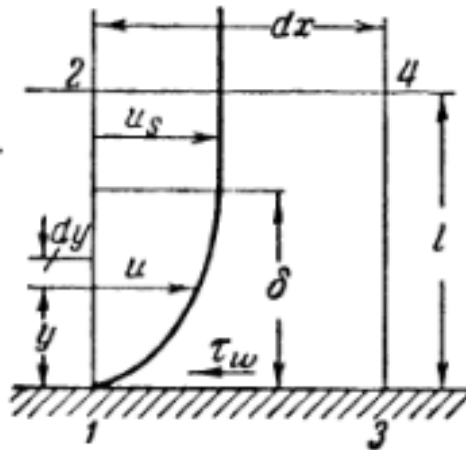
$$Re = Re + \sqrt{\frac{Gr}{2}} \quad (2.10)$$

რეინოლდსისა და გრასჰოფის კრიტერიუმებში მსაზღვრელ ზომად აღებულია ზედაპირის სიგრძე  $l$ , ხოლო მსაზღვრელ ტემპერატურად ჰაერის ტემპერატურა.

ამწევი ანუ გრავიტაციული ძალის მოძრაობის რეჟიმზე გავლენის ანალიზის საფუძველზე მივდივართ იმ დასკვნამდე, რომ შენობათა თბური დაცვის მიზნით გამოყენებული იძულებითი სათბობ-სავენტილაციო ჭავლებში ბუნებრივი კონვექციის ანუ ამწევი ძალების გავლენა შეიძლება უგულებელვყოთ და თბოგაცემა ზედაპირებთან შევისწავლოთ ცალკე იძულებითი ჭავლებისათვის და ცალკე გრავიტაციული ჭავლებისათვის [67].

თბური დაცვის ორივე ეს მეთოდი შეიძლება პრაქტიკულად გამოვიყენოთ პლინტუსური გათბობის სისტემებში ან არხულ კონვექტორებში შემბერი ვენტილატორებით. ეს უკანასკნელი გამოიყენება როგორც ზამთარში თბილი ჰაერის მიწოდებით ასევე ზაფხულში ცივი ჰაერის მიწოდების მიზნით. რაც უზრუნველყოფს შენობათა თბურ დაცვას როგორც ზაფხულის ასევე ზამთრის ტემპერატურული პირობებისათვის.

განვიხილოთ ჭავლური სასაზღვრო შრე ზედაპირთან იძულებითი ბრტყელი არაიზოთერმული ჭავლის ზემოქმედების დროს (ნახ.2.12)



ნახ.2.12 ჰიდროდინამიული სასაზღვრო შრე პოტენციური დინების დროს

ლამინარული სასაზღვრო შრის განტოლებები ჯერ 1904 წელს ამოხსნილი იქნა პრანდტლის მიერ[58,6]. ბუნებრივია იგულისხმება ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრე. ამ ამოხსნების გამოთვლითი ნაწილი მეტად რთულია და შრომატევადია. ამ მიზეზის გამო კარმანის მიერ დამუშავებული იქნა მიახლოებითი მეთოდი, რომელიც გამოირჩევა სიმარტივით და შეიძლება გამოყენებულ იქნას იმ შემთხვევებში როდესაც სასაზღვრო შრის განტოლებების ზუსტი ამოხსნა შეუძლებელია. ეს მეთოდი დაფუძნებულია მოძრაობის რაოდენობის (mv) კანონზომიერებაზე, რომელიც ნაკადის დამყარებული მოძრაობის რეჟიმისათვის შეიძლება ასე ჩამოყალიბდეს: თუ მოძრავ ნაკადში გამოვყოფთ ნებისმიერი ფორმის რაიმე ზედაპირს მაშინ ამ ზედაპირთან მოძრაობის დროს გაზის (ჰაერის) ნაწილაკები იცვლიან თავის მოძრაობის რაოდენობას რომელიც მოძრავი გაზის მასის (m) და მისი მოძრაობის სიჩქარის (v) ნამრავლის ტოლია მვ. მოძრავი სითხის ნაკადის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება ამ მონაკვეთში შესულ და მისგან გამოსული ნაკადების მოძრაობის რაოდენობების სხვაობის ტოლია დროის გარკვეულ მომენტში. მოძრაობის რაოდენობის ეს ცვლილება დროის მონაკვეთში ინერციის ძალების ტოლია და გაწონასწორებულია

გარე ძალებით რომლებიც ზემოქმედებენ მონაკვეთის ზედაპირზე ან მის შიგნით.

გამოვიყენოთ ეს კანონი ორგანზომილებიანი ბრტყელი ნაკადისათვის (ნახ.2.12) სადაც  $x$  ღერძი ემთხვევა ნაკადის მიმართულებას, ხოლო  $y$  ღერძი მის მართობულადაა მიმართული, სიჩქარის ვექტორი  $u$  ზედაპირის პარალელურია, ხოლო სიჩქარის ვექტორი  $v$  რომელიც ზედაპირის მართობულადაა მიმართული უმნიშვნელოა და იგი შეგვიძლია უგულებელვყოთ. მოძრაობის რაოდენობის ცვლილების კანონი განიხილება მხოლოდ  $x$  ღერძის მიმართულებით მოძრავ ნაკადში, პარალელუპიპედის სახით გამოვყოფთ საკონტროლო მონაკვეთს, რომელიც 1-2 და 3-4 სიბრტყეებით არის შემოსაზღვრული და ერთმანეთისაგან  $dx$  მანძილითაა დაშორებული. საკონტროლო მონაკვეთი შემოსაზღვრულია აგრეთვე ზედაპირით და ზედაპირიდან  $l$  მანძილზე დაშორებული სიბრტყით. ეს მანძილი ( $l$ ) სასაზღვრო შრის სისქეზე ( $\delta$ ) მეტია  $l \gg \delta$  1-2 სიბრტყეზე სიჩქარის განაწილების პროფილი ნაჩვენებია ნახაზზე. ზედაპირზე სიჩქარის სიდიდე ნულია ( $u=0$ ) და იგი იზრდება  $u_0$  სიდიდემდე, რომელიც სასაზღვრო შრის გარეთ პოტენციალური დინების სიჩქარის სიდიდის ტოლია.

დროის გარკვეულ მონაკვეთში ზედაპირიდან  $y$  მანძილზე დაშორებული  $dy$  მონაკვეთში გაივლის მასა  $dy$  ღერძის მიმართულებით ამ ნაკადის მოძრაობის რაოდენობა იქნება მასის სიდიდის ( $\rho u dx$ ) ნამრავლი სიჩქარეზე ე.ი. გვექნება  $\rho u^2 dy$  მთლიანად 1-2 სიბრტყეში გავლილი ნაკადის მოძრაობის რაოდენობა იქნება

$$\rho \int_0^l u^2 dy \tag{2.11}$$

$x$  ღერძის გასწვრივ მოძრაობის დროს მოძრაობის რაოდენობა შეიცვლება სიდიდით

$$\frac{d}{dx} \left( \int_0^l u^2 dy \right) dx = \rho dx \frac{d}{dx} \int_0^l u^2 dy \tag{2.12}$$

უმუალოდ ზედაპირთან ანუ 1-3 სიბრტყეში სითხის (გაზის) ნაწილაკების მოძრაობა არ გვაქვს 2-4 სიბრტყეში კი ჩვეულებრივი ნაწილაკები მოძრაობენ და ეს მასა ტოლია:

$$\rho u d \frac{d}{dx} \int_0^l u dy \quad (2.13)$$

აქედან გამომდინარე განსახილველ პარალელეპიპედში მოძრაობის რაოდენობის ზოგადი ნამატი იქნება:

$$-\rho u_s dx \frac{d}{dx} \int_0^l u dy + \rho dx \frac{d}{dx} \int_0^l u^2 dy = -\rho dx \frac{d}{dx} \int_0^l (u_s - u) u dy + \rho dx \frac{dU_s}{dx} \int_0^l u dy \quad (2.14)$$

მოძრაობის რაოდენობის ეს ცვლილება გაწონასწორებულია გარე ძალებით. განსახილველ პარალელეპიპედზე  $x$  ღერძის მიმართულებით მოქმედებს შემდეგი გარე ძალები: ხახუნის ძალები რომლებიც ხახუნის ძაბვის სიდიდით განისაზღვრება  $\tau_w$  იგი მოქმედებს 1-3 ზედაპირის გასწვრივ და წნევის ძალები  $p$  და  $p + (\frac{dp}{dx})dx$  შესაბამისად 1-2 და 3-4 ზედაპირებზე 2-4 ზედაპირებზე ხახუნის დამაბულობა (ძაბვა) არ არის რადგანაც ეს ზედაპირი მდებარეობს სასაზღვრო შრის გარე ზედაპირზე სადაც ხახუნს ადგილი არა აქვს.

თუ ამ ძალებს გავუტოლებთ მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებას მივიღებთ

$$\rho dx \frac{d}{dx} \int_0^l (u_s - u) u dy - \rho \frac{dU_s}{dx} \int_0^l u dy = \tau_w + l \frac{dp}{dx} \quad (2.15)$$

სასაზღვრო შრის თეორიის თანახმად წნევა  $p$   $y$  ღერძის მიმართულებით მთელ სასაზღვრო შრეში იცვლება უმნიშვნელოდ [6].

ბერნულის განტოლების

$$p + \rho \frac{u^2}{2} = \text{const} \quad (2.16)$$

სასაზღვრო შრის გარეთ სიჩქარე  $U_s$  დაკავშირებულია წნევის გრადიენტთან გამოსახულებით:

$$\frac{dp}{dx} = -\rho U_s \frac{dU_s}{dx} \quad (2.17)$$

თუ ამ გამოსახულებით შევცვლით წნევის გრადიენტის სიდიდეს ფორმულაში (2.15) მივიღებთ მოძრაობის რაოდენობის უფრო მოხერხებულ გამოსახულებას რიცხვითი გამოთვლებისათვის

$$\rho \frac{d}{dx} \int_0^\delta (u_s - u) u dy + \rho \frac{dU_s}{dx} \int_0^\delta (u_s - u) dy = \tau_w \quad (2.18)$$

ეს განტოლება წარმოადგენს კარმანის ცნობილ განტოლებას ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრისათვის, რომელიც გამოიყენება სითხის ნაკადის ზედაპირებთან შეხების დროს აეროდინამიური მახასიათებლების შესასწავლად პოტენციალურ დინებებში როგორც ლამინარული ასევე ტურბულენტური რეჟიმებისათვის.

ჩვენს მიერ შესასწავლი ამოცანის გადასაწყვეტად მარტო ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრის გამოყენება შედეგს ვერ მოგვცემს, რადგანაც ჩვენს მიერ დასმულ ამოცანებში ზედაპირის ტემპერატურა განსხვავდება გარემო ტემპერატურისგან  $t_w \neq t_\infty$  ზედაპირსა და ჰაერს შორის ტემპერატურათა სხვაობის არსებობის გამო ზედაპირთან ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრის გარდა წამოიქნება თერმული ანუ თბური სასაზღვრო შრე, რომლის სისქეც  $\delta_t$  განსხვავდება ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრის სისქისგან ( $\delta$ ) გარდა ამისა ზედაპირზე შემოქმედებს არა პოტენციალური ნაკადი არამედ ჭავლური, რომელიც ცვლის ზემოთ განხილულ სურათს. მართალია კარმანის განტოლება წარმოადგენს ძირითად საფუძველს მაგრამ სხვა პარამეტრებით და სასაზღვრო პირობებით. ჰიდროდინამიური სასაზღვრო შრის განტოლებას დაემატება ენერჯის ანუ თერმული სასაზღვრო შრის განტოლებაც. განვიხილოთ ეს ამოცანები ცალ-ცალკე ნახაზის მიხედვით

1. თბოგაცემა ბრტყელ დაფენილ ჭავლებსა და ზედაპირებს შორის (ნახ2.9-2.11) ჭავლის საწყისი უბნისათვის .

მოძრაობის რაოდენობის და ენერგიის განტოლებები ჩავწეროთ შემდეგი სახით

$$U \frac{d}{dx} \int_0^\delta u \, dy - \frac{d}{dx} \int_0^\delta u^2 \, dy = \frac{\tau_w}{\rho} \quad (2.19)$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_t} (t_s - t) u \, dy = \frac{q_w}{\rho c_p} \quad (2.20)$$

ეს განტოლებები შეესაბამება სასაზღვრო შრეში მოძრაობის ტურბულენტურ რეჟიმს ანუ გვაქვს ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემა ტურბულენტური სასაზღვრო შრისთვის.

ენერგიის განტოლებაში  $q_w$  არის სასაზღვრო შრეში თბოგამტარობით გადატანილი სითბოს რაოდენობა. რეინოლდსის ანალოგიის გათვალისწინებით [68] ,რომელიც ითვალისწინებს ანალოგიიდან გადახრას გაზებისთვის (სითხეებისათვის) რომელთა პრანდტლის რიცხვი განსხვავებულია ერთისაგან თბოგამტარობით გადატანილი სითბოს რაოდენობა შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი გამოსახულებით

$$q_w = \tau_w c_p \frac{\theta_m}{u_m} \quad (2.21)$$

სადაც სიდიდე  $Pr^{-2/3}$  ითვალისწინებს ანალოგიიდან გადახრას ანალოგიის ქვეშ იგულისხმება იმპულსის (მოძრაობის რაოდენობის) და ენერგიის გადატანის პროცესების ანალოგია სასაზღვრო შრეში.

სიჩქარის და ტემპერატურის განაწილების კანონზომიერება შესაბამისად ჰიდროდინამიური და თბურ სასაზღვრო შრეებში მივიღოთ სასაზღვრო შრის [6] თეორიის მიხედვით

$$\frac{U}{U_m} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^n \quad (2.22)$$

$$\frac{\theta}{\theta_m} = 1 - \left(\frac{y}{\delta_t}\right)^n \quad (2.23)$$



ამ გამოსახულებებში ხარისხის მაჩვენებელი  $n$  სიჩქარეების და ტემპერატურის ცვლილებისთვის დამოკიდებულია ზედაპირთან ნაკადის მოძრაობის ანუ დინების სახეზე.

ზედაპირების პოტენციალური ნაკადებით გარსდენის პირობებში თბოგაცემის თეორიის თანახმად ეს სიდიდე  $1/7$ -ის ტოლია  $n=1/7$  და იგი ცნობილია “ ერთი მეშვიდედის “ კანონით.

ჭავჭავური ნაკადებით გარსდენის შემთხვევაში სიჩქარეების და ტემპერატურების პროფილები უფრო სრულია, ვიდრე პოტენციალური დინების დროს და ასეთი პროფილებისთვის  $n=1/10$   $1/12$

ასეთი განსხვავება ხარისხის მაჩვენებლებს შორის ბუნებრივია ასახვას ჰპოვებს ზედაპირთან აეროდინამიური წინააღმდეგობის სიდიდეზე, რომელიც ბლაზიუსის [69] კანონით გამოისახება. ამ შემთხვევაში თუ ავიღებთ რომ  $n=1/12$  მხევი ძაბვის სიდიდე გამოისახება ფორმულით

$$\tau_w = 0.0083 \rho_w U_m^2 \left( \frac{v}{u_m \delta_t} \right)^{2/13} \quad (2.24)$$

სიდიდეების ჩასმით ენერჯის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_t} (t - t_\infty) \rho u dy = 0.0083 \rho_w U_m \left( \frac{v}{u_m \delta_t} \right)^{2/13} (t_w - t_\infty) \quad (2.25)$$

ჭავჭავების თეორიიდან ცნობილია, რომ ჭავჭავის გამოსვლის კვეთიდან გარკვეულ სიგრძეზე ჭავჭავის მაქსიმალური ღერძული სიჩქარე ( $u_m$ ) ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას და იგი ჭავჭავის გამოდინების კვეთში სიჩქარის ( $u_0$ ) ტოლია

$$U_m = U_0 \quad (2.26)$$

ჭავჭავის საწყისი უბნის სიგრძე დაახლოებით 14-18 კალიბრის ტოლია ე.ი.

$$\frac{x}{a} = 14-18$$

სადაც  $x$  არის ჭავჭავის სიგრძე მ-ობით

a გამოსვლის კვეთის სიმაღლე ანუ მსაზღვრელ ზომა. (2.21-2.24) გათვალისწინებით და (2.19-2.20) განტოლებების ამოხსნით მივიღებთ ჰიდროდინამიური და თერმული სასაზღვრო შრეების სისქეებს

$$\frac{\delta}{x} = 0.188 \text{Re}_0^{-2/15} \left(\frac{\rho_w}{\rho_0}\right)^{0.86} \left(\frac{S}{x}\right)^{2/15} \quad (2.27)$$

აქ მხედველობაში მიღებულია ჰაერის ჭავლი, რომელისთვისაც პრანდტლის რიცხვი ერთის ფარგლებშია ( $\text{Pr} = 1$ ) და  $\delta = \delta_t$

თუ ნუსელტის რიცხის ლოკალური მნიშვნელობების გამოსათვლელ ფორმულაში

$$\text{Nu} = \frac{\alpha S}{\lambda} = \frac{q_w S}{\vartheta_m \lambda} \quad (2.28)$$

ჩავსვამთ სათანადო მნიშვნელობებს (2.18-2.21) გათვალისწინებით მივიღებთ დაფენილი ჭავლის საწყის უბანზე ნუსელტის რიცხვის ლოკალური მნიშვნელობების გამოსათვლელ ფორმულას

$$\text{Nu}_0 = 0.1 \text{Re}_0^{0.867} \left(\frac{S}{x}\right)^{0.133} \quad (2.29)$$

## 2.4 თბოგაცემა დაფენილი ჭავლის ძირითად უბანზე

შემომზღული კონსტრუქციის თბური დაცვის და სათავსში საერთო საჰაერო რეჟიმის უზრუნველყოფის მიზნით საინტერესოა თბოგაცემის შესწავლა დაფენილი ჭავლის ძირითად უბანზე. ჭავლის საწყის უბანს მისი მცირე დაფენილობის გამო ხშირად მხედველობაში არ იღებენ და ჭავლის მთელ სიგრძეს განიხილავენ როგორც ძირითად უბანს [31,63,64]. თუ ჭავლის საწყის უბანზე მისი ღერძული სიჩქარე მიდმივია და იგი ჭავლის გამოდინების კვეთში სიჩქარის ტოლია ( $U_m = U_0$ ) ძირითად უბანზე ეს სიჩქარე დამოკიდებულია მისი გავრცელების მანძილზე ( $U_m = f(x)$ ). ჭავლის გავრცელების სიჩქარის  $x$  ღერძის გასწვრივ თანდათან მცირდება ვიდრე იგი არ გაუტოლდება ნულს ე.ი. ნაკადი სრულად არ გაჩერდება ან არ შეეჯახება შემხვედრ ნაკადს. ჭავლის ძირითად უბანზე მოძრაობა ძირითადად

ტურბულენტურია[31,63] და ამიტომაც თბოგაცემის შესწავლის მიზნით ვსარგებლობთ ტურბულენტური სასაზღვრო შრის განტოლებებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ლამინარული მოძრაობა ჭავლურ დინებებში მხოლოდ მათ საწყის უბნებზე გვხვდება. სასაზღვრო შრის განტოლებებში (2.19–2.20) შემოდის კიდევ ერთი ცვალებადი სიდიდე, ჭავლის ღერძის გასწვრივ, ანუ კედლისპირა სასაზღვრო შრის გარე საზღვარზე მაქსიმალური ღერძული სიჩქარე  $u_m$  რომელიც  $x$  მანძილის ფუნქციაა.

მაქსიმალური ღერძული სიჩქარისათვის გამოვიყენოთ ტურბულენტური ჭავლების თეორიაში კარგად ცნობილი სიგალის ფორმულა[57]:

$$U_m = 3.8 U_0 \left(\frac{S}{x}\right)^{0.133} \quad (2.30)$$

ხოლო

$$\frac{\vartheta_m}{\vartheta_0} = \left(\frac{b_0}{x}\right)^{1/12} \quad (2.31)$$

მოძრაობის რაოდენობის და ენერჯის განტოლებების ამოხსნით, როდესაც განტოლებებში ხარისხის მაჩვენებელი  $n=1/12$  (განსხვავებით პოტენციალური დინებისაგან, სადაც  $n=1/7$ ) ხოლო სასაზღვრო პირობები იგივეა რაც ჭავლის საწყისი უბნისთვის

(2.18-2.20) განტოლებათა გათვალისწინებით მივიღებთ ჰიდროდინამიური ( $\delta$ ) და თერმულ ( $\delta_t$ ) სასაზღვრო შრეების სისქეებს

$$\frac{\delta}{x} = 0.026 \operatorname{Re}_0^{-2/15} \left(\frac{S}{x}\right)^{1/15} \rho \nu^{3/15} \quad (2.32)$$

$$\frac{\delta_t}{x} = 0.026 \operatorname{Re}_0^{-2/15} \left(\frac{S}{x}\right)^{1/5} \rho \nu^{3/15} \quad (2.33)$$

თუ სასაზღვრო შრეების ამ მნიშვნელობებს ჩავსვავთ ნუსელტის კრიტერიუმის გამოსახულებაში მივიღებთ

$$\operatorname{Nu}_0 = 0.0323 \operatorname{Re}_0^{0.867} \left(\frac{S}{x}\right)^{0.567} \quad (2.34)$$

ეს უკანასკნელი წარმოადგენს ჭავლის ძირითად უბანზე თბოგაცემის კოეფიციენტების ლოკალური მნიშვნელობების გამოსათვლელ კრიტერიულ განტოლებას.

თუ გამოვიყენებთ საშუალო ინტეგრალურის შესახებ თეორემას და მოვახდენთ (2.33) განტოლების ინტეგრირებას  $x=0$  დან  $x=1$ -მდე მივიღებთ თბოგაცემის უგანზომილებო კოეფიციენტების საანგარიშო ფორმულას

$$Nu_0 = 0.54 Re_0^{0.867} \left(\frac{\delta}{L}\right)^{0.567} \quad (2.35)$$

## 2.5 თბოგაცემა დაფენილ გრავიტაციულ ჭავლსა და ვერტიკალური ზედაპირს შორის

ამოცანის ფიზიკური მოდელი წარმოდგენილია (ნახ.2.8) ასეთი ამოცანები გამოიყენება ძირითადად პლინტუსური გათბობის სისტემებში და გათბობის კონვექტორულ სისტემებში, როდესაც სათბობ ხელსაწყოებად გამოყენებულია სათბობი კონვექტორები ან იატაკქვეშა არხული კონვექტორები. ყველა ეს ხელსაწყო მუშაობს შებერვის გარეშე ანუ თავისუფალი კონვექციის პრინციპზე, სწორედ ამიტომაც ჭავლს ანუ თბურ ფარადს, რომელიც წარმოიქმნება კონვექტორულ სათბობ ხელსაწყოსთან ეწოდება გრავიტაციული, რადგანაც ამ ჭავლში მოძრაობა გაპირობებულია გრავიტაციული ძალებით, რომლებიც ცივ და ცხელ ნაწილაკებს შორის სიმკვრივეთა სხვაობის ხარჯზე განისაზღვრება გრასპოფის რიცხვის დაბალი მნიშვნელობებისათვის ( $Gr_0 < 2.10^7$ ) სასაზღვრო შრეში მოძრაობა ლამინარულია ხოლო უფრო მაღალი მნიშვნელობებისათვის ( $Gr_0 > 2.10^7$ ) მოძრაობა უკვე განვითარებული ტურბულენტურია [64]. გათბობასა და ვენტილაციის ტექნიკაში მათში მიმდინარე პროცესების და კონსტრუქციული თავისებურებების გამო ლამინარული რეჟიმი ნაკლებად გვხვდება და ამიტომაც თბოგაცემა შესწავლილი გვაქვს მხოლოდ ტურბულენტური რეჟიმისათვის.

მოძრაობის რაოდენობის (იმპულსების) და ენერგიის ინტეგრალური განტოლებები გრავიტაციული დაფენილი ჭავლისთვის ტურბულენტური რეჟიმისთვის შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$\frac{d}{dx} \int_0^\delta u^2 dy - U_m \frac{d}{dx} \int_0^\delta u dy = g\beta_t \int_0^\delta \vartheta dy - \frac{I_w}{\rho} \quad (2.36)$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^\delta u \vartheta dy = \frac{q_w}{\rho c_p} \quad (2.37)$$

ვინაიდან გრავიტაციულ ჭავლებში თბოგაცემა ექვემდებარება თავისუფალი კონვექციის პრინციპებს ამიტომ სასაზღვრო შრეში სიჩქარეების და ტემპერატურის განაწილება შეიძლება აღვწეროთ კონვექციით თბოგაცემის თეორიაში მიღებული “ერთი მეშვიდეის” კანონით [6] სათანადოდ სიჩქარეების და ტემპერატურების პროფილები იქნება

$$\vartheta = \vartheta_m \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7} \quad (2.38)$$

$$U = u_m \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7} \quad (2.39)$$

ამ შემთხვევაში ხარისხის მაჩვენებელი  $n=1/7$  განსხვავებულია იძულებითი ჭავლისაგან, სადაც ხარისხის მაჩვენებელი იყო  $n=1/12$  (იხ ფორმულა) ეს განსხვავება განაპირობებს რიცხობრივ განსხვავებას ბუნებრივ და იძულებით ჭავლების თბოგაცემის კოეფიციენტებს შორის.

ჰიდროდინამიური და თბური სასაზღვრო შრეების სისქეები გრავიტაციული ჭავლის დროს ტოლია ე.ი.  $\delta_{\vartheta} = \delta_{\text{თბ}}$  სიჩქარისა და ტემპერატურის ფორმულები აკმაყოფილებენ სასაზღვრო პირობებს:

როდესაც  $y=0; \vartheta = t - t_w = 0; u=0;$

როდესაც  $y = \delta; \vartheta = \vartheta_{\vartheta} = t_m - t_w \quad u = u_m;$

თუ თბური ნაკადის სიდიდისათვის გამოვიყენებთ იგივე თანაფარდობას, როგორც იძულებითი ჭავლის დროს და ვისარგებლებთ

რეინოლდსის ანალოგიით რომელიც ითვალისწინებს ანალოგიიდან გადახრას სითხეებისათვის, რომელთა პრანდტლის რიცხვი ერთისაგან განსხვავებულია (2.37-.240) შეგვიძლია განვსაზღვროთ სასაზღვრო შრეში თბოგამტარობით გადატანილი სითბოს რაოდენობა

$$q_w=0.253g\rho \rho c_p u_m \vartheta_m \left(\frac{v}{u_m \delta_t}\right)^{1/2} Pr^{-2/3} \quad (2.40)$$

ამ გამოსახულებაში მხები ძაბვისათვის ( $\tau_w$ ) ბლაზიუსის კანონის ნაცვლად გამოყენებული გვაქვს პროფ. ბრდლიკის ფორმულა

$$\tau_w=0.253\rho U_m^2 \left(\frac{v}{u_m \delta_t}\right)^{1/2} \quad (2.41)$$

რომელიც მან მიიღო ზედაპირებთან ბუნებრივი კონვექციის შესწავლის დროს. (2.37-.240) გამოსახულებების ჩასმით მოძრაობის რაოდენობის და ენერგიის განტოლებებში შეგვიძლია ეს ინტეგრალური განტოლებები გადავიყვანოთ ალგებრულ განტოლებებში, რომელთა ამოხსნის შედეგად ვღებულობთ ჭავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური სიჩქარის ( $U_m$ ) და კედლისპირა სასაზღვრო შრის სისქის განმსაზღვრელ ფორმულბეს;

$$U_m=0.94(g\beta A)^{1/2}x^{0.15} \quad (2.42)$$

$$\delta=2.9 v^{1/3}(g\beta A)^{-1/6}x^{0.616} \quad (2.43)$$

(2.35-2.36) განტოლებების ამოხსნის დროს გრავიტაციული ჭავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალურ ტემპერატურის ცვლილების სიდიდე ჭავლის გავრცელების მიმართულებით გამოყენებული იქნა ემპირიული ფორმულა[70,71,72,73]

$$D\vartheta_m= t_m-t_w=0.34(t_0-t_w) \left(\frac{t_0-t_w}{t_0-t_\infty}\right) \left(\frac{d_0}{x}\right)^{0.7} \quad (2.44)$$

რომელიც ავტორმა მიიღო გრავიტაციული ჭავლების ტემპერატურული ველების ინტერფერომეტრული მეთოდით ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად.

(2.42-2.43) გამოსახულებაში მიღებულია, რომ

$$A=0.34(t_0-t_w) \left(\frac{t_0-t_w}{t_0-t_\infty}\right) d_0^{0.7} \quad (2.45)$$

ხოლო

$$\vartheta_m = A x^{-0.7} \quad (2.46)$$

ნუსელტის რიცხვის გამოსახულებაში

$$Nu = \frac{q_w d_0}{\vartheta_m \lambda} \quad (2.47)$$

სათანადო მნიშვნელობების ჩასმით (2.43-2.45) გამოსახულებების გათვალისწინებით მივიღებთ დაფენილი გრავიტაციული ჭავლის გავრცელების მიმართულებით თბოგაცემის კოეფიციენტის უგანზომილებო თბოგაცემის კოეფიციენტების ლოკალურ მნიშვნელობების საანგარიშო გამოსახულებას:

$$Nu_0 = 0.21 Gr_0^{1/3} \left(\frac{d_0}{x}\right)^{0.25} \left(\frac{t_0-t_w}{t_0-t_\infty}\right)^{1/3} \quad (2.48)$$

ანგარიშები გვიჩვენებს, რომ სიდიდე  $\left(\frac{t_0-t_w}{t_0-t_\infty}\right)^{1/3}$  მცირე გავლენას ახდენს თბოგაცემაზე და საინჟინრო გათვლებში იგი შეიძლება უგულებელვყოთ, რაც ამარტივებს (2.47) გამოსახულებას მაშინ

$$Nu_0 = 0.21 Gr_0^{1/3} \left(\frac{d_0}{L}\right)^{0.25} \quad (2.49)$$

ეს განტოლება პროცესის ავტომოდელურობის გამო გამოიყენება როგორც ლოკალური ასევე საშუალო მნიშვნელობებისათვის.

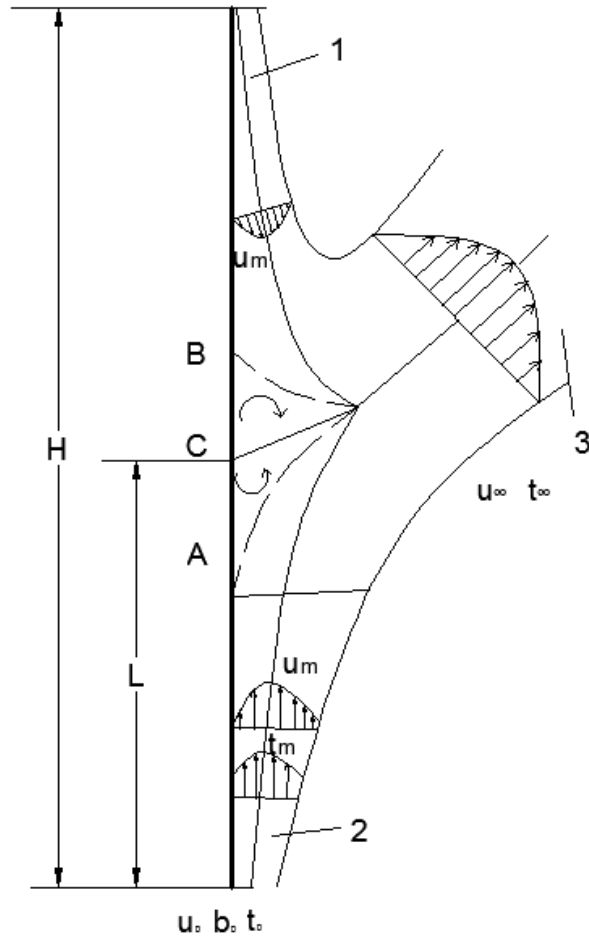
## 2.6 დაფენილი ჭავლის ზემოქმედება ბუნებრივი კონვექციით წარმოქმნილ ქვემოთ მიმართულ ცივ ნაკადებთან

ვერტიკალურ შემომზღულ კონსტრუქციებთან (მასიური კედლები, ფანჯრები, ვიტრაჟები) ზამთრის პირობებში, შიგა და გარე

ჰაერს შორის მაღალი ტემპერატურული სხვაობის ( $t_a > t_b$ ) გამო ამ კონსტრუქციების შიგა ზედაპირებთან წარმოიქმნება ჰაერის ქვემოთ მიმართული ცივი ნაკადი, რომელიც გარკვეულ ტემპერატურულ-ტენიანობრივი რეჟიმის პირობებში აღწევს სათავსის მუშა ზონაში, რაც ბუნებრივია იწვევს სათავსში დისკომფორტს. ზოგჯერ შემომზადული კონსტრუქციების შიგა ზედაპირები ცივდება ნამის წერტილის დაბლა, რაც მათზე კონდენსატის წარმოქმნას იწვევს. ამ დროს შეუძლებელია აგრეთვე სანჰიგიენური მოთხოვნებით გათვალისწინებული ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის ( $\Delta t^{ნორმ}$ ) უზრუნველყოფა.

სწორედ ამ არასასიამოვნო მოვლენის აღსაკვეთადაა საჭირო ვერტიკალური ზედაპირების ჭავლური თბური დაცვა. დაფენილი ჭავლი, რომელიც შემომზადული კონსტრუქციის ქვემო ნაწილიდან მიეწოდება ზემოქმედებს მის ზემო ნაწილში წარმოქმნილ კონვექციურ ცივ ნაკადებთან, რომლებიც ვერტიკალურად ქვემოთაა მიმართული (ნახ2.13) ამ ნაკადების ურთიერთსაწინააღმდეგო მოძრაობის შედეგად მათი შეხვედრის ადგილას წარმოიქმნება ე.წ დაგუბებული ზონა .ამ ზონაში ზედაპირთან თბოგაცემის სიდიდეზე გავლენას ახდენს როგორც ბუნებრივი ასევე იძულებითი კონვექციის კანონზომიერებანი





ნახ.2.13 დაფენილი ჭავლის ზემოქმედება ბუნებრივი კონვექციის ქვემოთ მიმართულ ცივი ნაკადთან

- 1- ქვემოთ მიმართული ცივი ნაკადი
- 2-დაფენილი ჭავლის ზონა
- 3-შერეული ნაკადის ზონა
- A- ჭავლის მოწყვეტის წერტილი
- B- ქვემოთ მიმართული ცივი ნაკადის მოწყვეტის წერტილი
- C- მოწყვეტილი ნაკადების შეხვედრის წერტილი

ამრიგად ზედაპირთან დაფენილი ჭავლის გავრცელების დროს წარმოიქმნება თბოგაცემის სამი ზონა: დაფენილი ჭავლის ზონა, ბუნებრივი კონვექციის ზონა და ე.წ. დაგუბებული ზონა.

თბოგაცემა ჭავლის გავრცელების ზონაში ჩვენს მიერ ზემოთ არის განხილული, რის საფუძველზეც მიღებულია ამ ზონაში თბოგაცემის საანგარიშო კრიტერიალური განტოლებები თბოგაცემის კოეფიციენტების ლოკალური და საშუალო მნიშვნელობებისათვის. მიღებულია აგრეთვე განტოლებები სასაზღვრო შრის სისქის ( $\delta$ ) და მაქსიმალური ღერძული ტემპერატურის ( $t_m$ ) საანგარიშო გამოსახულებები როგორც ბუნებრივი ასევე იძულებითი ჭავლის შემთხვევაში ამ ჭავლების საწყის და ძირითად უბნებზე, ტურბულენტური სასაზღვრო შრის პირობებისათვის.

იძულებითი ჭავლის შემთხვევაში გამოსვლის კვეთიდან გარკვეულ მანძილზე სიჩქარე მუდმივია და იგი გამოსვლის კვეთში სიჩქარის სიდიდის ტოლია ( $u_m = u_0$ ).

ბუნებრივი ჭავლის შემთხვევაში გამოსვლის ანუ ბუნებრივი ჭავლის წარმოქმნის კვეთიდან მისი გავრცელების მიმართულებით ყალიბდება ე.წ. გაქანების მონაკვეთი სადაც ჭავლის ღერძული სიჩქარე იზრდება.

გრავიტაციული ანუ ბუნებრივი ჭავლების კანონზომიერებიდან ცნობილია, რომ გაქანების უბნის შემდეგ ყალიბდება გრავიტაციული ჭავლის ძირითადი უბანი, რომლის ბუნებაც იძულებითი ჭავლის ძირითადი უბნის ანალოგიურია [70,71,72,73]

$$U_m = f(x) \quad (2.50)$$

ე.ი. ძირითად უბანზე ჭავლს სიჩქარე დამოკიდებულია გავრცელების მიმართულებით მანძილზე ამ უბანზე მანძილის ზრდასთან ერთად ხდება მაქსიმალური ღერძული სიჩქარის შემცირება ანუ იწყება შენელებული მოძრაობა. ზედაპირთან ქვემოთ მიმართული ცივი ნაკადის გამო ჭავლის ძირითადი უბანი სრულ ფორმირებას ვერ ასწრებს.

ზედაპირთან ორი შემხვედრი ნაკადის შეხვედრისას წარმოქმნილი შეგუბებულ ზონაში ხდება სასაზღვრო შრეში სითხის დამუხრუჭება (შეჩერება) და მისი გადატანა გარე დინებაში, რის გამოც ხდება

ზედაპირიდან სასაზღვრო შრის მოწყვეტა. სასაზღვრო შრის ასეთი მოწყვეტა ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ.2.13)

დაფენილი ჭავლი წყდება რა ზედაპირს კვლავ განაგრძობს მოძრაობას, მაგრამ შეცვლილი ტრაექტორიით. ამ მონაკვეთზე კოანდას ეფექტი უკვე აღარ მოქმედებს. მოწყვეტილი ჭავლი განაგრძობს რა მოძრაობას კედლიდან მოშორებით ხვდება კედელთან ქვემოთ მოძრავ კონვექციურ ნაკადს, რომელიც თავის მხრივ წყდება ზედაპირს და იცვლის რა მოძრაობის ტრაექტორიას, ხვდება ზედაპირიდან მოწყვეტილ დაფენილ ჭავლს.

ზედაპირიდან ნაკადების მოწყვეტის თეორიის თანახმად მოწყვეტის წერტილში სრულდება პირობა [70,71,72,73]

$$\left. \frac{\partial U}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (2.51)$$

სადაც  $u$ - სიჩქარის ვექტორის მდგენელია მოძრაობის მიმართულებით. რადგანაც ზედაპირზე მართებულია გამოსახულება

$$\tau_w = \mu \left. \frac{\partial U}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (2.52)$$

გამოდის, რომ მოწყვეტის წერტილში მხების ძაბვა ანუ ხახუნის დაძაბულობა ხდება ნულის ტოლი.

ჭავლის მოწყვეტის წერტილის (A) მოწყვეტის ზემოთ წარმოიქმნება უკუდინება, რაც სასაზღვრო შრის სისქის მნიშვნელოვან ზრდას იწვევს და აღწევს მაქსიმალურ სიდიდეს მოწყვეტის წერტილიდან რაღაც მანძილზე. კვეთი სადაც მოწყვეტილი სასაზღვრო შრე აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას ითვლება ნაკადების შეხვედრის ადგილად.

მანძილს ჭავლის საწყისი კვეთიდან ნაკადების შეხვედრის ადგილამდე ჭავლის შორსმსროლობა ეწოდება.

ჭავლის შორსმსროლობას ანუ ზედაპირთან დაფენილი ჭავლის გავრცელების ზონის განსაზღვრა მნიშვნელოვანია ამ ზედაპირთან

თბური დაცვის პარამეტრების ( $\tau_{\text{თ}}, \alpha_{\text{თ}}, \Delta t^{\text{ნორმ}}, R_{\text{თ}}$ ) განსაზღვრის დროს. დაფენილი ჭავლის შორსმსროლობის განსაზღვრის შემდეგ მთელი განსახილველი ზედაპირი შეგვიძლია დავყოთ ორ ზონად დაფენილი ჭავლის და ბუნებრივი კონვექციის მოქმედების ზონებად. ამ ზონებში თბოგაცემის კოეფიციენტების გამოთვლის საფუძველზე შეგვიძლია დავთვალოთ თბოდანაკარგები ამ ზონებიდან და დავადგინოთ დაფენილი ჭავლის საწყისი პარამეტრები. შემხვედრი ნაკადების დროს ჭავლის შორსმსროლობის განსაზღვრისას მთელ რიგ შრომებში [70,71,72] გამოყენებულია ჰიპოთეზა შემხვედრი ნაკადების მაქსიმალური სიჩქარეების ტოლობის შესახებ რაც გვადლევს ზონების დადგენის საშუალებას.

(2.33; 2.34; 2.48) განტოლებებიდან ჩანს, რომ ჭავლის გავრცელების ზონაში თბოგაცემის კოეფიციენტი ( $\alpha_3$ ) ჭავლის გამოსვლის კვეთიდან მთელ სიმაღლეზე იცვლება მისი მაქსიმალურ მნიშვნელობიდან (გამოსვლის კვეთიდან) მინიმუმადე თბოგაცემის კოეფიციენტის ეს მინიმალური მნიშვნელობა ქვემოთ მიმართული ბუნებრივი კონვექციით აღძრული ნაკადის თბოგაცემის ტოლია

$$\alpha_3 = \alpha_3 \quad (2.53)$$

ე.ი. ნაკადების შეხვედრის ზონაში თბოგაცემის კოეფიციენტების სიდიდეები ტოლია.

ზემოთ ჩვენს მიერ მიღებული სამი კრიტერიალური განტოლება (2.29) (2.34) და (2.47) რომლებიც გვადლევს საშუალებას განვსაზღვროთ ნუსელტის რიცხვის ლოკალური მნიშვნელობები სათანადო იძულებითი ჭავლის საწყის და ძირითად უბნებზე.

ქვემოთ მიმართულ ცივი ნაკადების ზონაში ანუ შემომზღული კონსტრუქციის ზემო ნაწილში თბოგაცემა ემორჩილება ბუნებრივი კონვექციის კანონზომიერებებს.

თბოგაცემა ბუნებრივი კონვექციის დროს ვერტიკალურ ზედაპირთან საკმარისად იქნა შესწავლილი XX საუკუნის 30-60 წლებში [74,75] ბუნებრივი კონვექციის დროს ვერტიკალურ ზედაპირებთან თბოგაცემის კოეფიციენტის გამოსათვლელად ტურბულენტური რეჟიმის დროს ფართოდაა გავრცელებული კრიტერიალური განტოლება

$$Nu=c(GrPr)^n \quad (2.54)$$

სადაც  $c=0.135$  ხოლო  $n=1/3$  ანუ

$$Nu=0.135(GrPr)^{1/3} \quad (2.55)$$

$n=1/3$  სიდიდე მიუთითებს, რომ ბუნებრივი კონვექციის პირობებში ტურბულენტური სასაზღვრო შრის დროს თბოგაცემის პროცესი ავტომოდელურია, ე.ი. არ არის დამოკიდებული გეომეტრიულ ზომებზე  $Gr$ -ის გამოსახულებაში

$$Gr=\frac{g\beta\Delta t l^3}{\nu^2} \quad (2.56)$$

მსაზღვრელი (გეომეტრიული) ზომა კუბშია ( $l^3$ ) ხოლო (2.53) განტოლებაში  $n=1/3$  ე.ი.  $(l^3)^{1/3}=l$  ეს კონვექციით თბოგაცემის პროცესის ავტომოდელურობას ნიშნავს

თუ (2.53-2.54) გამოსახულებებში თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდეებს წარმოვადგენთ შემდეგი სახით :

$$\alpha_p = Nu_p \frac{\lambda}{d_0} \quad (2.57)$$

$$\alpha_v = Nu_v \frac{\lambda}{l} \quad (2.58)$$

სადაც  $Nu$  არის ნუსელტის რიცხვის მნიშვნელობა და გამოითვლება (2.33, 2.34, 2.48 ) კრიტერიალურ განტოლებებით

$Nu$  არის ბუნებრივი კონვექციის დროს ნუსელტის რიცხვის მნიშვნელობა და (2.54 ) კრიტერიალური განტოლებით გამოითვლება;  $d_0$  და  $l$  მსაზღვრელი ზომა;  $d_0$  გრავიტაციული ჭავლის დროს  $b_0$  ან  $S_0$  კი იძულებითი ჭავლის დროს

თუ (2.56) - (2.57) განტოლებებში ჩავსვათ ნუსელტის რიცხვის მნიშვნელობებს შესაბამის კრიტერიალურ განტოლებიდან და გავუტოლობთ ერთმანეთს გვექნება :

იძულებითი ჭავლის დროს

$$0.0323 \operatorname{Re}_0^{0.876} \left(\frac{S}{x}\right)^{0.567} = 0.135 \operatorname{Gr}^{1/3} \quad (2.59)$$

გრავიტაციული ჭავლის დროს

$$0.21 \operatorname{Gr}_0 \left(\frac{d_0}{x}\right)^{0.25} \left(\frac{t_0 - t_w}{t_0 - t_\infty}\right) = 0.135 \operatorname{Gr}^{1/3} \quad (2.60)$$

აღვნიშნოთ ჭავლის შორსმსროლობა 1-ით მაშინ (2.58-2.59) განტოლებების ამოხსნით 1-ის მიმართ ( $x=1$ )

იძულებითი ჭავლის დროს

$$L = 1.7 \frac{\operatorname{Gr}_0^{0.2}}{\operatorname{Re}_0^{0.5}} \quad (2.61)$$

გრავიტაციული ჭავლის დროს

$$L = 0.9 \left(\frac{\operatorname{Gr}_1}{\operatorname{Gr}_0}\right)^{0.1} \left(\frac{\theta}{\theta_m}\right)^{0.1} d_0 \quad (2.62)$$

სადაც

$$\theta = t - t_\infty \quad \text{და} \quad \theta_m = t_0 - t_w$$

ამრიგად მივიღეთ ორი ფორმულა (2.60) და (2.61) რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია გამოვთვალოთ შემომზღულ კონსტრუქციასთან გავრცელებული ბრტყელი დაფენილი ტურბულენტური ჭავლის შორსმსროლობა ანუ ჭავლის გავრცელების ის ზონა სადაც თბოგადაცემა ექვემდებარება ჭავლური სასაზღვრო შრის კანონზომიერებებს.

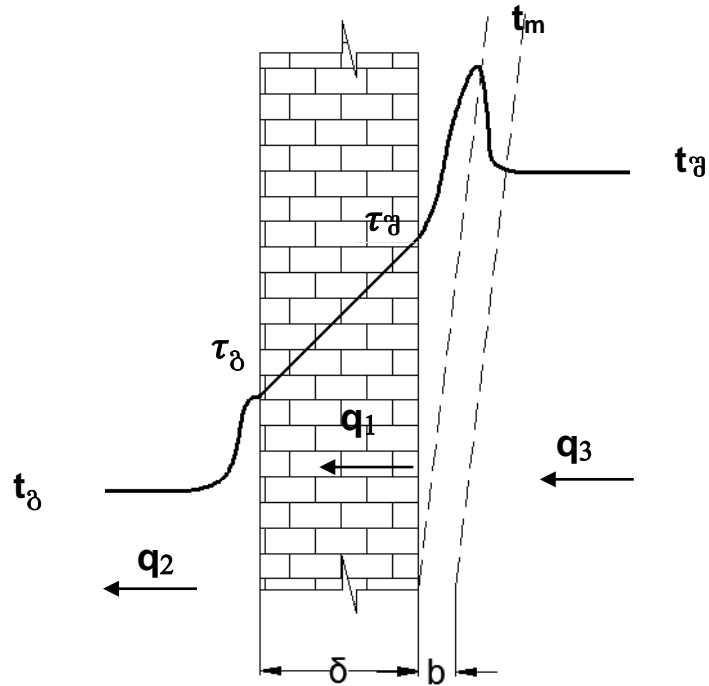
მიღებული ფორმულების პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობები განხილული გვაქვს წარმოდგენილი ნაშრომის IV თავში.

### 3 შემომზადებული კონსტრუქციის თბოგადაცემა მათზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს

#### 3.1 შემომზადებული კონსტრუქციის თბოგადაცემა და ტემპერატურული ველი მათზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს

შენობათა თბური დაცვის მთავარი განმსაზღვრელი პირობაა შემომზადებული კონსტრუქციების სწორი თბოტექნიკური გაანგარიშება და ეკონომიკურად და ეკოლოგიურად ისეთი კონსტრუქციის შერჩევა, რომელიც სათავსში მაქსიმალური კომფორტის შექმნას უზრუნველყოფს. შემომზადებული კონსტრუქციის თბური დაცვის ორი ძირითადი პარამეტრით განისაზღვრება. ესენია საჭირო თერმული წინააღმდეგობა და თბომდგრადობა. ზამთრის თბური რეჟიმის განსაზღვრის დროს გადამწყვეტ როლს თამაშობს შემომზადებული კონსტრუქციის საჭირო თერმული წინააღმდეგობა  $R_{0საჭ}$  ამ სიდიდის მიხედვით ხდება შემდგომ შემომზადებული კონსტრუქციის ტემპერატურული ველის განსაზღვრა, გადატანილი სითბოს და ტენის რაოდენობის ანგარიში და შენობის საერთო თბური დატვირთვის დადგენა. ჩვეულებრივ პირობებში მრავალშრიანი ბრტყელი კედლის თბოგადაცემის ტიპური სქემა ნაჩვენებია ნახ 2.6-ზე

დამყარებული ანუ სტაციონარული თბური რეჟიმის დროს გარე კედლის შიგა ზედაპირის მიერ სათავსიდან მიღებული სითბო ტოლია ამ კედლის ცალკეული მატერიალური შრეების მიერ გატარებული სითბოს რაოდენობისა და ტოლია გარე ზედაპირის მიერ გარემოში გაბნეული სითბოს რაოდენობისა. სითბოს ეს რაოდენობა სათავსის თბური დატვირთვის ძირითადი განმსაზღვრელი სიდიდეა და მას თბოგადაცემის კოეფიციენტი ეწოდება, ხოლო მის შებრუნებულ სიდიდეს თერმული წინააღმდეგობა  $R_0 = \frac{1}{k}$  მ<sup>2</sup>გრად/ვტ [76,77,78,79]



ნახ.3.1-ბრტყელი კედლის თბოგადაცემა მასზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს

სადაც  $K$  კედლის თბოგადაცემის სიდიდეა, რომელიც თბოგადაცემის კოეფიციენტითაა ცნობილი ვტ/მ<sup>2</sup>გრად.

ევროპულ ნორმებში ეს მახასიათებელი  $U$  სიდიდითაა ცნობილი და ყველა სახის სამშენებლო კონსტრუქციის ძირითად საპასპორტო მაჩვენებელს წარმოადგენს.[ 80,81]

შემომზადებული კონსტრუქციის საჭირო თერმული წინააღმდეგობა გრად.დღეების მიხედვით განისაზღვრება ნორმებით [23]  $R_0 \geq R_0^{საჭ}$  პირობის გათვალისწინებით.

შემომზადებული კონსტრუქციის თბოგადაცემის სიდიდეს ( $K$ ) და შესაბამისად თერმულ წინააღმდეგობას ( $R_0$ ) კედლის ცალკეული შრის მასალის გამტარობის კოეფიციენტთან ერთად განსაზღვრავს თბოგაცემის სიდიდეებს კედლის შიგა და გარე ზედაპირებთან. ეს სიდიდეები ცნობილია შიგა ( $\alpha_{ში}$ ) და გარე ( $\alpha_{გარ}$ ) ზედაპირებთან თბოგაცემის



სიდიდით ვტ/მ<sup>2</sup>გრად და კონვექციით და გამოსხივებით გაცემული სითბოს რაოდენობების ჯამის ტოლია.

კედლის შიგა ზედაპირთან თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდე განსაზღვრულია ბუნებრივი კონვექციის კანონზომიერებით და სხვადასხვა ტიპის სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის მისი სიდიდე არ აღემატება 10ვტ/მ<sup>2</sup> გრად. ნორმებში მოცემული სიდიდეები არ შეესაბამება რეალურ სიდიდეებს, რომლითაც ხასიათდება კონვექციით თბოგაცემა ზედაპირთან დაფენილი ჭავლების ზემოქმედებისას. ამიტომ ნორმებით წარმოდგენილი სიდიდეების ნაცვლად კონვექციით თბოგაცემის სიდიდეების საანგარიშოდ უნდა გამოვიყენოთ ჩვენს მიერ შესწავლილი პროცესების საანგარიშო მახასიათებლები, რომლებიც განხილული გვაქვს მეორე თავში.

განვიხილოთ ერთშირიანი გარე კედელი, რომლის სისქეა  $\delta$  ხოლო თბოგამტარობის კოეფიციენტი  $\lambda$  (ნახ.3.1) კედლის გარე ზედაპირის ტემპერატურაა  $\tau_b$  ხოლო შიგა ზედაპირის ტემპერატურა  $\tau_a$  შიგა ჰაერის ტემპერატურა  $t_a$  ხოლო გარე ჰაერის ტემპერატურა  $t_b$ . კედლის შიგა ზედაპირთან ქვედა ნაწილში, ვიწრო ხვრელიდან რომლის სიგანეა  $a$  მიეწოდება არაიზოთერმული იძულებითი ჭავლი, რომლის ტემპერატურაა  $t_0$  ხოლო საწყისი სიჩქარე  $u_0$ . გამოსვლის კვეთის მიხედვით რეინოლდსის რიცხვი  $Re = \frac{u_0 d}{\nu} > 30$  რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ჭავლი ტურბულენტურია  $t_0 > t_a$  ანუ ჭავლი არაიზოთერმულია  $t_0 > t_a$  ხოლო  $\tau_a \geq t_a$

კედლის შიგა ზედაპირთან წარმოიქმნება ჰიდროდინამიური და თერმიული სასაზღვრო შრეები, რომელთა სისქეები ჰაერის პირობებისათვის ( $Pr=1$ )  $\delta = \delta_t$  ტოლია ვინაიდან  $t_a > \tau_b$  კედლის სიზრქეში აღიძვრება თბური ნაკადი  $q_{გამტ}$  რომელიც კედლის შიგა ზედაპირიდან გარე ზედაპირს სითბოს გადასცემს თბოგამტარობით, საიდანაც ეს სითბო გამოსხივებით და კონვექციით გადაეცემა გარემოს ვინაიდან  $\tau_a \geq$

$\tau_a$  კედლის შიგა ზედაპირი გასცემს სათავსის ჰაერს სითბოს თუ  $\tau_a > \tau_a$  ან არ გასცემს სითბოს თუ  $\tau_a = \tau_a$

ამრიგად ორივე შემთხვევაში სათავსის ჰაერიდან სითბო არ გადაეცემა გარემო ჰაერს. ეს შემთხვევა კი განსხვავდება ბრტყელი კედლის თბოგადაცემის შემთხვევისაგან, რომელიც ჩვენ წინა თავში განვიხილეთ (ნახ.2.6) გამოდის რომ კედლის შიგა ზედაპირი თბოიზოლირებულია სათავსის ჰაერისგან. ეს თბოიზოლირება კი გამოწვეულია იმ დამატებითი თერმული წინააღმდეგობით რომელსაც დაფენილი არაიზოთერმული ჭავლი ჰქმნის კედლის ზედაპირთან.

იმისათვის, რომ დავადგინოთ კედლის საერთო თერმული წინააღმდეგობა და შესაბამისად თბოგადაცემის სიდიდე კედლიდან გარემოში საჭიროა ვიცოდეთ ამ კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის ცვლილების კანონზომიერება . კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურაზე გავლენას ახდენს როგორც ჭავლის საწყისი პარამეტრები, ასევე თვით შემომზღუდი კონსტრუქციის თბოფიზიკური მახასიათებლები და გარემო ჰაერის ტემპერატურა.

დამყარებული (სტაციონარული) თბური რეჟიმის დროს კედლის სიზრქეში გატარებული თბური ნაკადის სიდიდე ( $q_{გაბ}$ ) კედლის გარე ზედაპირიდან გარემოში გაცემული თბური ნაკადის ( $q_{გაც}$ ) სიდიდის ტოლია.

თუ თბური ნაკადის სიდიდეებს შესაბამისი თერმული წინააღმდეგობებით გამოვსახავთ გვექნება

$$\frac{\tau_a - \tau_b}{R_{გაბ}} = \frac{\tau_b - \tau_c}{R_{გაც}} \quad (3.1)$$

ანუ

$$\frac{\tau_a - \tau_b}{\tau_a - \tau_b} = \frac{R_{გაბ}}{R_{გაც}} \quad (3.2)$$

ამ ფორმულებში ყველა სიდიდე რეგლამენტირებულია ნორმების მიხედვით გარდა გარე ზედაპირის ტემპერატურისა  $\tau_c$  ჩვეულებრივი

თბოგაცემის დროს (ნახ.2.6) გარე კედლის გარე ზედაპირის ტემპერატურა გამოითვლება ფორმულით

$$\tau_g = t_g - \frac{R_{გარ}}{R_0}(t_{\text{თ}} - t_g) \quad (3.3)$$

სადაც  $t_g$  არის გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა და იგი მოცემული ადგილმდებარეობისათვის ყველაზე ცივი ხუთდღიურის ტემპერატურის ტოლია

$t_{\text{თ}}$  შიგა ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა, რომლის სიდიდე სათავსის დანიშნულების მიხედვით სტანდარტით განისაზღვრება[18,19,20].

$R_{გარ}$  გარე ზედაპირთან თბოგაცემის თერმული წინააღმდეგობაა და იგი თბოგაცემის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდეა

$$R_{გარ} = \frac{1}{\alpha_g} = \frac{1}{23,3} = 0,043 \text{ მ}^2 \text{ გრად/ვტ}$$

$R_0$  შემომზღუდი კონსტრუქციის საერთო თერმული წინააღმდეგობაა და განისაზღვრება ნორმატიული საჭირო თერმული წინააღმდეგობით ადგილმდებარეობის გრად.დღეებ-ის მიხედვით (ცხრ1.1)

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ საერთო თერმული წინააღმდეგობა საჭიროა თბოგაცემის სიდიდის განსაზღვრა გარე კედლის შიგა ზედაპირთან. ჩვეულებრივ ბუნებრივი კონვექციის შემთხვევაში ნორმების თანახმად  $\alpha_{\text{თ}}=8.7$  ვტ/მ<sup>2</sup>გრად ტოლი აიღება, რაც ჭავლური გარსდენის პირობებისათვის მიუღებელია, რადგანაც დაფენილი ჭავლის შემთხვევაში ზედაპირთან თბოგაცემა იძულებითი კონვექციის კანონზომიერებით აღიწერება.

ამიტომ შემომზღუდი კონსტრუქციის თერმული წინააღმდეგობის განსაზღვრის ნორმებით რეკომენდებული მეთოდიკა მიუღებელია.

თუ (3.2) ფორმულიდან განვსაზღვრავთ გარე კედლის გარე ზედაპირის ტემპერატურას მივიღებთ

$$\tau_g = \frac{\tau_{\text{თ}} + at_g}{1+a} \quad (3.4)$$

სადაც

$$a = \frac{R_{\text{გამტ}}}{R_{\text{გარ}}} \quad (3.5)$$

დავუშვათ, რომ  $\tau_{\text{გ}} = t_{\text{ა}}$

ეს იმას ნიშნავს, რომ სათავსის ჰაერიდან ანუ სათავსიდან გარემოში სითბოს კარგვას ადგილი არა აქვს ე.ი. შიგა ზედაპირის მიერ შეთვისებული სითბო ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ჭავლის მოქმედების შედეგად უშუალოდ ზედაპირთან წარმოქმნილი კედლისპირა სასაზღვრო შრის სისქით, რომლის გამოსათვლელად ჩვენს მიერ სასაზღვრო შრის ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნის შედეგად მიღებულია ორი საანგარიშო ფორმულა: ფორმულა (2.32) რომელიც განსაზღვრავს კედლისპირა სასაზღვრო შრის სისქეს ზედაპირთან იძულებითი დაფენილი ჭავლის ზემოქმედებისას და ფორმულა (2.42) რომლის მიხედვითაც გამოითვლება კედლისპირა სასაზღვრო შრის სისქე ზედაპირზე დაფენილი გრავიტაციული ჭავლის ზემოქმედებისას

გვეცოდინება რა კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა უნდა დავადგინოთ ჭავლის საწყისი ტემპერატურა  $t_{\text{ა}}$  ანუ ის ტემპერატურა რომელიც დაფენილ ჭავლს გააჩნია გამოსვლის კვეთში. ეს ტემპერატურა ყოველთვის მეტია გარე კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურაზე  $t_{\text{ა}} > \tau_{\text{ა}}$

კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრის დროს უნდა განვიხილოთ სამი შემთხვევა:

1.  $\tau_{\text{ა}} = t_{\text{ა}}$  ამ დროს თბოცვლას სათავსის ჰაერსა და გარე კედლის შიგა ზედაპირს შორის ადგილი არა აქვს. უცილებელი ანუ ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა

$$\Delta t^{\text{ნორმ}} = t_{\text{ა}} - \tau_{\text{ა}} = 0 \quad (3.6)$$

ეს ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა განისაზღვრება სანჰიგიენური ნორმებით [23] და საცხოვრებელი სახლების, სკოლების და სამკურნალო დაწესებულებებისათვის არ აღემატება  $4^{\circ}\text{C}$

2.  $t_{\text{a}} > t_{\text{a}}$  ამ დროს დაფენილი ჭავლის მთლიანი სითბო გადაეცემა გარე კედლის შიგა ზედაპირს რაც იწვევს ამ ზედაპირის შეთბობას ჭავლიდან ზედაპირზე სითბოს კონვექციით გადაცემისას. ზედაპირის ტემპერატურა  $t_{\text{a}}$  გამოითვლება (2.43) ფორმულით .ამ ფორმულაში ზედაპირის ტემპერატურის განსაზღვრისათვის საჭიროა ჭავლის საწყისი ტემპერატურის ცოდნა რომელიც ჰაერით გათბობის სისტემაში განისაზღვრება გამოყენებული ხელსაწყოს ტიპისა და თბომომცველის პარამეტრების მიხედვით, ხოლო ვენტილაციასთან შეთავსებული გათბობის სისტემებისათვის განისაზღვრება სათავსის თბური ბალანსის მიხედვით ან ანალიზური გზით ან გრაფიკული მეთოდით I-D დიაგრამის გამოყენებით. საჭირო თბური ჭავლი სითბოს ნაწილს კონვექციით გადასცემს სათავსის ჰაერს, ამ უკანასკნელის გარე ჭავლურ შრეში შერევის შედეგად, ხოლო ნაწილს გადასცემს კედლის ზედაპირს. ვინაიდან  $t_{\text{a}} > t_{\text{a}}$  კედლის შიგა ზედაპირი, სტეფან-ბოლცმანის კანონის თანახმად, გამოსხივებით გადასცემს სითბოს სათავსში განლაგებულ ზედაპირებს, რომელთა ტემპერატურაც სათავსის ჰაერის ტემპერატურის ტოლია. ვინაიდან  $t_{\text{a}} > t_{\text{a}}$  ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის უზრუნველყოფა საჭირო აღარ არის. ამ დროს ვინაიდან სათავსში მყოფი ადამიანი გამოსხივებით არ გასცემს სითბოს, არამედ დებულობს მას იქმნება თბური კომფორტის საუკეთესო პირობები ხოლო სათავსის ჰაერის ტემპერატურა შეგვიძლია  $3-4^{\circ}\text{C}$  დავწიოთ რაც თბური ენერჯის დაზოგვას იწვევს.

3.  $t_{\text{a}} < t_{\text{a}}$ —ამ დროს აუცილებელია დაცული იქნას ნორმების მოთხოვნილება, რომლის თანახმადაც  $\Delta t^{\text{ნორმ}}$  ნორმირებული რეგლამენტებით [23] მისი სიდიდე სათავსის დანიშნულების მიხედვით  $4-12^{\circ}\text{C}$  ფარგლებშია. ამ შემთხვევაში დაფენილი ჭავლი კონვექციით

სითბოს გადასცემს როგორც შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირს ასევე სათავსის ჰაერს ისე, რომ უზრუნველყოფილ იქნას  $t_a$  და  $t_a$  ტემპერატურების შენარჩუნება ნორმის ფარგლებში. სათავსში განლაგებული ზედაპირები თავის მხრივ შიგა ზედაპირს დამატებით გადასცემენ სითბოს გამოსხივებით, რაც იწვევს თბოდანაკარგებს შემომზღული კონსტრუქციებიდან.

თბოგადაცემის და შესაბამისად თბური რეჟიმის ასეთი პროცესი ახასიათებს ისეთ სათავსებს, რომლებიც ჭარბი სითბოს დიდი რაოდენობით ხასიათდებიან. ჭავლის გამოსვლის კვეთში ჰაერის ტემპერატურა განისაზღვრება დაფენილი ჭავლის დანიშნულებით. თუ დაფენილი ჭავლი გამოიყენება მხოლოდ შემომზღული კონსტრუქციის თბური დაცვის მიზნით, რაც გულისხმობს მხოლოდ ჰაერის შეთბობას, ჭავლის საწყისი ტემპერატურა განისაზღვრება გამოყენებული (შერჩეული) გათბობის სისტემების პარამეტრების მიხედვით. წიაღისეული სათბობის (გაზი, საღუმელე საწვავი, ნახშირი) წყლით სათბობ სისტემებში თბოშემცველის პარამეტრები აიღება ნორმებით. ამასთანავე ცხელი წყლის ტემპერატურა აიღება  $50-57^{\circ}\text{C}$  ტოლი. ამ დროს საკონდენსაციო თბოგენერატორები მაქსიმალური თბომწარმოებლობით ხასიათდებიან და მათი მარგი ქმედების კოეფიციენტი 108-110%-ს აღწევს ე.ი. თბოგენერატორებს, მათი კონსტრუქციული თავისებურებების გამო შეეძლება უზრუნველყონ სათბობის უმაღლესი მუშა თბოუნარიანობის რეალიზება. [82,24]

თბოგენერატორებად თბური ტუმბოების გამოყენების შემთხვევაში გათბობის სისტემაში ცხელი წყლის ტემპერატურა შეიძლება დაწეულ იქნას  $35^{\circ}\text{C}$  -მდე.

ანალოგიური ტემპერატურა აიღება აგრეთვე თბოგენერატორებად რეგენერაციული თბოგადამცემების გამოყენების შემთხვევაშიც.

გათბობის სისტემაში თბოშემცველის ტემპერატურული ვარდნილი აიღება  $10-20^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში ე.ი.

$$\Delta t = t_{\text{გბ}} - t_{\text{გოგ}} = 10-20^{\circ}\text{C}$$

ამ ტემპერატურული ვარდნილის განსაზღვრა ხდება პროექტირების სტადიაზე გათბობის სისტემის შერჩევის დროს სათბობი ხელსაწყოების თერმოჰიდრავლიკური და სანჰიგიენური მახასიათებლების გათვალისწინებით. [21]

იმ შემთხვევაში, როდესაც დაფენილი ჭავლები შემომზღული კონსტრუქციის თბური დაცვის გარდა ემსახურება სათავსში საჰაერო თბური რეჟიმის შექმნას ანუ სათავსის ვენტილაციას, მისაწოდებელი დაფენილი ჭავლის ტემპერატურა უნდა გამოითვალოს სათავსის თბური ბალანსის ანალიზის საფუძველზე გრაფიკულიზურად I-D დიაგრამის გამოყენებით და შემოწმდეს შემომზღული კონსტრუქციის ნორმებით გათვალისწინებული მახასიათებლები. მე-3 შემთხვევაში ძირითადად ( $t_a < t_n$ ) უმთავრესად გამოიყენება სამრეწველო დანიშნულების შენობებში როდესაც სავენტილაციო და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებმა უნდა უზრუნველყონ სათავსში მიმდინარე საწარმოო-ტექნოლოგიური მოთხოვნები.

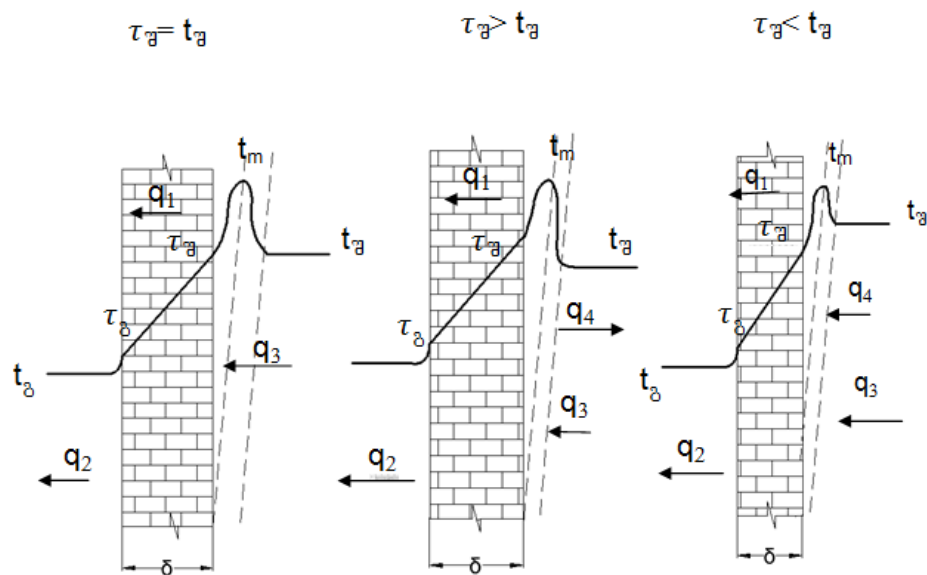
იმ შემთხვევაში როდესაც შემომზღული კონსტრუქცია მრავალშრიანია საჭიროა განისაზღვროს ტემპერატურები კედლის მატერიალური შრეების საზღვარზე და განისაზღვროს ნამის ტემპერატურები კედლის კონსტრუქციაში ტენის შესაძლო კონდენსაციის თავიდან ასაცილებლად, კედლის ზედაპირზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების პირობების გათვალისწინებით.

ქვემოთ ნახაზზე (ნახ.2) წარმოდგენილია ერთშრიანი ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველი და თბური ნაკადების მიმართულებები მასზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს ჩვენს მიერ ზემოთ განხილული სამივე შემთხვევისთვის.

ნ-არის კედლის სისქე, ხოლო  $\lambda$ - შრის მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა განისაზღვრება შრის მასალის მიხედვით, შენობის განლაგების, ადგილმდებარეობის, ტენიანობის (ე.წ.

ტენიანობის ზონის) და თვით შენობის საექსლუატაციო ტენიანობის გათვალისწინებით.

სამივე შემთხვევაში კედლის შიგა ზედაპირიდან გარე ჰაერისაკენ თბოგადაცემის პროცესს და შესაბამისად ტემპერატურულ ველს აქვს ერთი და იგივე სახე. კედლის სიზრქეში ადგილი აქვს თბოგამტარობას ( $q_1$ ) ხოლო გარე ზედაპირიდან გარემოსადმი მიმდინარეობს თბოგადაცემის პროცესი ( $q_2$ ) და სრული სითბოს რაოდენობა კონვექციით და გამოსხივებით გაცემული სითბოს რაოდენობების ჯამის ტოლია. საქართველოში მოქმედი ნორმების [23] თანახმად თბოგადაცემის კოეფიციენტის ეს მნიშვნელობა ვერტიკალური შემომზღუდი კონსტრუქციებისთვის (გარე კედლები, ფანჯრები, გარე კარებები, ვიტრაჟები) ერთი და იგივე და იგი 23 ვტ/მ<sup>2</sup>0C ტოლია რაც არასწორია და არ ითვალისწინებს გარე ზედაპირთან ჰაერის მოძრაობის



### ნახ.3.2 ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველი და თბოგადაცემა

1-ტემპერატურის განაწილების მრუდი შემომზღუდი კონსტრუქციის სიზრქეში და მის ირგვლივ;

თბური ნაკადები:

$q_1$  კედლის სიზრქეში თბოგამტარობით



q<sub>2</sub> კედლის გარე ზედაპირიდან გარემოში გამოსხივებით და კონვექციით

q<sub>3</sub> შიგა ზედაპირზე კონვექციით

q<sub>4</sub> გამოსხივებით შიგა ზედაპირიდან სათავსში ან პირიქით

რეჟიმს, მისი მოძრაობის მიმართულების და ტურბულენტურობის ხარისხის მიხედვით. ამიტომ ხშირ შემთხვევაში შემომზღუდი კონსტრუქციებიდან თბოგადაცემის და შესაბამისად თბური დატვირთვის ანგარიშები არასწორ შედეგებს იძლევა.

აქედან გამომდინარე გარე ზედაპირებიდან თბოგადაცემის ანგარიშის დროს მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ ევრონორმებით. გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების გარე ზედაპირებიდან თბოგადაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობები ამ ზედაპირებთან ჰაერის მოძრაობის პირობების გათვალისწინებით წარმოდგენილია ცხრილის სახით (ცხრ.3.1). [83,84,85,86,87,88] ამავე ცხრილში წარმოდგენილია აგრეთვე კედლის შიგა ზედაპირთან ბუნებრივი კონვექციის პირობებში თბოგადაცემის კოეფიციენტის სიდიდე  $\alpha=8\text{ვტ/მ}^2\text{0K}$  რაც აგრეთვე არასწორია და ითვალისწინებს კედლის შიგა ზედაპირთან თბოგადაცემის მხოლოდ ერთ შემთხვევას, სახელდობრ ბუნებრივ პირობებში თბოგადაცემას (ნახ.2.6) თუმცა ამავე ცხრილში ნაჩვენებია ჰაერის მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმისათვის იძულებითი კონვექციის დროს თბოგადაცემის კოეფიციენტის სიდიდეები რომლებიც ჰაერის მოძრაობის სიჩქარით (v) განისაზღვრება. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ ცხრილში მოცემული თბოგადაცემის კოეფიციენტის ორი მნიშვნელობა 8 და 20 პირდაპირ გადმოტანილია საბჭოური ნორმებიდან [23] რომლებიც მოქმედია საქართველოში.

თბოგადაცემის კოეფიციენტები  $\alpha$

**ცხრ.3.1 გარე ზედაპირებიდან თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობები**

გამოყენების შემთხვევები (სიჩქარე V მ/წმ)	$\alpha$ ვტ/მ <sup>20</sup> K
სათავსის ჰაერი კედლის შიგა ზედაპირთან	8
ჰაერი კედლის გარე ზედაპირთან	23
ჰაერი კედლის გარე ზედაპირთან შტორმის დროს	116-მდე
ჰაერი უძრავ წყნარ მდგომარეობაში ბრტყელი კედლის მართობული მიმართულებით	3.5-35
ჰაერი ზომიერად მოძრავი ბრტყელი კედლის მართობულად	23-70
ჰაერი ძლიერ შენჯღრეული მოძრავი ბრტყელი კედლის მართობულად	68-290
ჰაერი ზომიერად შენჯღრეული ( $v < 5$ მ/წმ) ბრტყელი კედლის გასწვრივ	5.7-4 v
ბრტყელი კედლის გასწვრივ სწრაფად მოძრავი ჰაერი ( $v > 5$ მ/წმ)	$7.1 v^{0.78}$
ჰაერი ზომიერად მოძრავი ( $v < 5$ მ/წმ) ხორკლიანი კედლის გასწვრივ	$6.2 + 4.2 v$
წრაფად მოძრავი ჰაერი ( $v > 5$ მ/წმ) ხორკლიან კედელზე	$7.1 v^{0.78}$
წყალი ქვაბებსა და რეზერვუარებში	580..2300
გამდინარე წყალი მილებში	2300 4700
მდუღარე წყალი მილებში	4700 700
კონდენსირებადი წყლის ორთქლი	6000- 12000

დავუბრუნდეთ ნახვ.2-ზე წარმოდგენილ შემთხვევებს. თუ კედლის შიგა ზედაპირიდან გარემო ჰაერისაკენ თბოგაცემის პროცესი იგივეა რაც ჩვეულებრივ პირობებში, სულ სხვა სურათია კედლის შიგა ზედაპირთან სადაც დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების გამო ყალიბდება

ჭავჭავური სასაზღვრო შრე, რომელშიც მოძრაობის რეჟიმი იძულებითია და ჭავჭავის საწყისი პარამეტრებით განისაზღვრება.

გრავიტაციული ჭავჭავის შემთხვევაში თბოგაცემის პროცესი ბუნებრივი კონვექციის კანონზომიერებებს ემორჩილება, სადაც მოძრაობის გამომწვევად ითვლება გრავიტაციული ანუ ამწევი ძალები, რომლებიც ჰაერის ცხელ და ცივ ნაწილაკებს შორის სიმკვრივეთა სხვაობაზეა დამოკიდებული და თბოგაცემის თეორიაში გრასჰოფის ცნობილი კრიტერიუმით განისაზღვრება [89]

$$Gr = \frac{g\beta(t_m - t_{\text{შ}})d^3}{\nu^2} \quad (3.7)$$

ორივე შემთხვევაში როდესაც  $t_m = t_{\text{შ}}$  დაფენილი ჭავჭავიდან თბური ნაკადი  $q_3$  კონვექციით გადაეცემა ზედაპირს. ამ დროს კონვექციით სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ნიუტონის ფორმულით

$$q_3 = \alpha(t_m - T_{\text{შ}}) \quad (3.8)$$

სადაც  $t_m$  არის ჭავჭავის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურა, რომელიც ჩვენი გამოთვლების თანახმად გამოითვლება: გრავიტაციული ჭავჭავის შემთხვევისთვის (2.49) ფორმულით, ხოლო იძულებითი ჭავჭავის შემთხვევაში კი (2.31) ფორმულით. ეს უკანასკნელი გვაძლევს საშუალებას გამოვთვალოთ ჭავჭავის მაქსიმალური ღერძული ტემპერატურა იძულებითი ჭავჭავის ძირითად უბანზე. საწყის უბანზე ეს ტემპერატურა ( $t_m$ ) ტოლია ჭავჭავის გამოდინების საწყისი ტემპერატურის ( $t_0$ ) გრავიტაციული ჭავჭავის შემთხვევაში საწყისი ტემპერატურა,  $t_0$  ტოლია ჭავჭავის წარმოქმნელ სახურებელი ელემენტის ზედაპირის ტემპერატურის ტოლი.  $\alpha$ - არის კონვექციით თბოგაცემის კოეფიციენტი და იგი ტოლია

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d} \quad (3.9)$$

d არის მსაზღვრელი ზომა ანუ სახურებელი ელემენტის დიამეტრი (გრავიტაციული ჭავლის შემთხვევაში) იძულებითი ჭავლის შემთხვევაში მსაზღვრელ ზომად აღებული გვაქვს  $l_0$  რომელიც ჰორიზონტალური ჭავლის შემთხვევაში გამოდინების ხვრელის სიმაღლეა ხოლო ვერტიკალური ჭავლის შემთხვევაში ამ ხვრელის სიგანე.

თბოგადაცემის აღნიშნული მოდელი ეხება ისეთი სათავსების თბურ რეჟიმს, რომლებშიც არ არის განლაგებული ისეთი ცხელი ზედაპირები, რომელთა ტემპერატურებიც კედლის შიგა ზედაპირის ( $\tau_a$ ) ან სათავსის ჰაერის ტემპერატურას ( $t_a$ ) აღემატება. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭირო იქნება დამატებით გამოსხივებით სითბოს რაოდენობის ანგარიში ცხელ ზედაპირებიდან გარე კედლის შიგა ზედაპირზე.

$Nu$ - არის ნუსელტის რიცხვი და იგი ტოლია [89]

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} \quad (3.10)$$

ახასიათებს კონვექციით თბოგადაცემის ინტენსივობას ზედაპირთან

ნუსელტის უგანზომილებო კრიტერიუმის გამოსათვლელად ჩვენს მიერ მე-2 თავში მიღებულია კრიტერიალური განტოლებები (2.33) (2.34) და (2.48) ზედაპირის გასწვრივ ნუსელტის რიცხვის ლოკალური და საშუალო მნიშვნელობების გამოსათვლელად, როგორც იძულებითი ასევე გრავიტაციული დაფენილი ჭავლებისთვის.

მეორე  $\tau_a > t_a$  და მესამე  $\tau_a < t_a$  შემთხვევებში გარემოში თბოგადაცემა და სათანადო ტემპერატურული ველი წინა შემთხვევის ( $\tau_a = t_a$ ) ანალოგიური შიგა ზედაპირთან თბოგადაცემის პროცესი განსხვავდება, როგორც ერთმანეთისგან ასევე წინა შემთხვევისგან.

როდესაც  $\tau_a > t_a$  ზედაპირიდან სხივური თბური ნაკადი  $q_4$  გადაეცემა სათავსში მოთავსებულ ყველა ზედაპირს რომელთა ტემპერატურაც ზედაპირის ტემპერატურაზე ნაკლებია. ასეთ სათავსებში მყოფი ადამიანები ზედაპირებზე გამოსხივებით გაცემენ სითბოს

უმცირეს რაოდენობას, რაც მათთვის დამატებით კომფორტულ გარემოს ქმნის. ამ დროს ისევე როგორც წინა შემთხვევაში სათავსის ჰაერის ტემპერატურა შეიძლება 3-4<sup>0</sup>-ით შევამციროთ.

როდესაც  $\tau_a < t_a$  სხივური სითბო  $q_4$  მიმართული იქნება სათავსიდან ზედაპირისკენ. ამ დროს საჭიროა სანჰიგიენური ნორმებით გათვალისწინებული ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის  $\Delta t_{\text{ნორმ}}$  უზრუნველყოფა ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის გაზრდა რეგლამენტებით გათვალისწინებულ სიდიდეზე მეტად იწვევს ადამიანების მიერ კედლის შიგა ზედაპირებზე გამოსხივებით სითბოს საგრძნობ კარგვას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს სათავსში თბური კომფორტის პირობებს.

გარდა ამისა მაღალი ტემპერატურული სხვაობა ხშირ შემთხვევაში შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე ან მის სიზრქეში იწვევს ტემპერატურის დაცემას ნამის წერტილზე დაბლა რაც კონდენსატის წარმოქმნის წინაპირობაა. დატენიანებული კონსტრუქციები ხასიათდებიან მათი თბოტექნიკური მახასიათებლების მნიშვნელოვანი შემცირებით, რაც ზრდის თბოდანაკარგებს და შესაბამისად შენობის თბურ დატვირთვებს.

კონდენსატის თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა დამატებით ჩატარდეს შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობრივი რეჟიმის გამოკვლევა და სათანადო ღონისძიებების გათვალისწინება ტენის წარმოქმნის აღმოსაფხვრელად.

ზემოთ ჩამოყალიბებული თბოგადაცემის მოდელი და ტემპერატურული ველის აგების მეთოდის მართებულია მხოლოდ ერთშრიანი შემომზღუდი კონსტრუქციისათვის.

თუ კედელი მრავალშრიანია მაშინ ტემპერატურული ველის აგება და თბოგადაცემის პროცესი ისევე იანგარიშება როგორც ზემოთ არის განხილული ერთშრიანი კედლის შემთხვევაში, ხოლო კედლის სიზრქეში თბოგამტარობის დროს აიღება კედლის მატერიალური

შრეების თერმულ წინააღმდეგობათა ჯამი.კედლის ტემპერატურული ველი განსაზღვრის დროს უნდა დადგინდეს კედლის შრეების საზღვრებზე ტემპერატურები.

მრავალშრიანი კედლის დროს იზრდება კედლის საერთო თერმიული წინააღმდეგობა ( $R_0$ ) რომელიც ამცირებს შემომზღული კონსტრუქციიდან თბოდნაკარგების სიდიდეს რაც შენობის თბური კომფორტის გაზრდასთან ერთად ენერგოეფექტურობის გაზრდის მაჩვენებელია.

### **3.2 შემომზღული კონსტრუქციის თერმული წინააღმდეგობა**

#### **მასზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს**

შენობათა შემომზღული კონსტრუქციების თბოტექნიკური ანგარიშის დროს, რაც მათ თბურ დაცვას განაპირობებს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია მისი თერმული წინააღმდეგობა. იგი წარმოადგენს სხეულის ( მისი ზედაპირის ან ნებისმიერი მატერიალური შრის) უნარს გაუწიოს წინააღმდეგობა მოლეკულათა თბური მოძრაობის გავრცელებას.

სამშენებლო თბოფიზიკაში, ისევე როგორც ზოგადად თბოგადაცემაში განასხვავებენ თერმიული წინააღმდეგობის სამ სახეს: შემომზღული კონსტრუქციის სრული თერმული წინააღმდეგობა, რომელიც თბოგადაცემის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეა, ზედაპირული თერმული წინააღმდეგობა, რომელიც კონსტრუქციის ზედაპირებთან თბოგადაცემის კოეფიციენტის შებრუნებული სიდიდეა და ბოლოს შემომზღული კონსტრუქციის შრის თერმული წინააღმდეგობა, რომელიც ტოლია შრის სისქის ფარდობისა მის თბოგამტარობის კოეფიციენტთან. [35,36,37,38,39]

შემომზღული კონსტრუქციების თერმული წინააღმდეგობები რეგლამენტირებულია და მათ საჭირო თერმული წინააღმდეგობა ეწოდება და იგი წარმოადგენს კონსტრუქციის იმ მინიმალურ თერმულ

წინააღმდეგობას, რომელიც სანჰიგიენურ მოთხოვნებს პასუხობს და ოპტიმალურია ტექნიკო-ეკონომიური თვალსაზრისით[23]. შემომზადებული კონსტრუქციების დაპროექტების (შერჩევის) დროს დაცული უნდა იქნას პირობა

$$R_0 \geq R_0^{\text{საჰ}} \quad (3.11)$$

სადაც  $R_0$  არის დასაპროექტებელი შემომზადებული კონსტრუქციის სრული თერმული წინააღმდეგობა მ<sup>2</sup>გრ/ვტ

$R_0^{\text{საჰ}}$  ნორმებით რეკომენდებული თერმული წინააღმდეგობა, რომელიც ნებისმიერი შემომზადებული კონსტრუქციისთვის განისაზღვრება შენობის ფუნქციონალური დანიშნულების და მშენებლობის რაიონის გრად.დღეების მიხედვით (ცხრ.1.1) დამყარებული თბური რეჟიმის დროს შემომზადებული კონსტრუქციის სრულ თერმულ წინააღმდეგობასა და შიგა ზედაპირის ტემპერატურას შორის არსებობს დამოკიდებულება

$$\frac{t_{\text{შ}} - \tau_{\text{შ}}}{R_{\text{შ}}} = \frac{t_{\text{შ}} - t_{\text{გ}}}{R_0} \quad (3.12)$$

ანუ

$$R_0 = R_{\text{შ}} \frac{t_{\text{შ}} - t_{\text{გ}}}{t_{\text{შ}} - \tau_{\text{შ}}} \quad (3.13)$$

ტემპერატურული სხვაობა სათავსის ჰაერსა და შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირს შორის  $t_{\text{შ}} - \tau_{\text{შ}}$  არის სამშენებლო თბოფიზიკაში ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობით ცნობილი სიდიდე  $\Delta t^{\text{ნორმ}}$  [23] (3.13) ფორმულა ჩავწერთ ასეთი სახით

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{შ}}} + R_0 + \frac{1}{\alpha_{\text{გ}}}} (t_{\text{შ}} - t_{\text{გ}}) = \alpha_{\text{შ}} (t_{\text{შ}} - \tau_{\text{შ}}) \quad (3.14)$$

სადაც მარცხენა მხარე არის სათავსიდან გარემოში თბოგადაცემით გადატანილი სითბოს რაოდენობა, ხოლო მარჯვენა მხარე სათავსის მხრიდან შიგა ზედაპირზე მოხვედრილი თბური ნაკადი.რადგანაც

თბოგადაცემის პროცესი სტაციონარულია შემომზღუდი კონსტრუქციაში სითბოს დაგროვება არ ხდება.

(3.14) ფორულიდან ჩანს, რომ შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე მოქმედებს შიგა ჰაერი ტემპერატურით  $t_a$ . ზედაპირზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს თბოგადაცემის პროცესის სურათი განსხვავებულია და თბოგადაცემის სიდიდეზე გავლენას ახდენენ სათბობი სისტემის ტემპერატურა  $t_0$  ჭავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურა  $t_m$  და სათავსის ჰაერის ტემპერატურა  $t_a$ . ჭავლის ზემოქმედების დროს შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე ხვედრითი თბური ნაკადის სიდიდე იქნება

$$q = \alpha_3 (t_m - T_{\theta}) + \alpha_{\text{გამოსხ.}} (t_0 - T_{\theta}) \quad (3.15)$$

ამ განტოლების მარჯვენა მხარეში პირველი წევრი წარმოადგენს ჭავლსა და ზედაპირს შორის კონვექციურ თბურ ნაკადს, ხოლო მეორე წევრი სხივურ თბურ ნაკადს, რომელიც წარმოიქმნება სახურებელ ელემენტსა და შიგა ზედაპირს შორის. აქ იგულისხმება აგრეთვე ის ზედაპირები, რომელთა ტემპერატურაც ზედაპირის ტემპერატურაზე მეტია. (3.15) განტოლების მარჯვენა მხარე გავამრავლოთ და გავყოთ

$\alpha_3 + \alpha_{\text{გამოსხ.}}$  სიდიდეზე მივიღებთ

$$\alpha_3 (t_m - T_{\theta}) + \alpha_{\text{გამოსხ.}} (t_0 - T_{\theta}) = (\alpha_3 + \alpha_{\text{გამოსხ.}}) \left( \frac{\alpha_{\theta} t_m + \alpha_{\theta\theta\theta} t_0}{\alpha_{\theta} + \alpha_{\theta\theta\theta}} \right) \quad (3.16)$$

ავღნიშნოთ  $\frac{\alpha_{\theta} t_m + \alpha_{\theta\theta\theta} t_0}{\alpha_{\theta} + \alpha_{\theta\theta\theta}} = t_{\text{პირ}}$  რომელიც წარმოადგენს სათავსის პირობით ტემპერატურას ნაცვლად ტემპერატურისა (3.14) ფორმულაში და  $\alpha_3 + \alpha_{\text{გამოსხ.}} = \alpha_{\text{პირ}}$  რომელიც წარმოადგენს კედლის შიგა ზედაპირებთან თბოგადაცემის პირობით (სრულ) კოეფიციენტს მაშინ (3.14) განტოლება მიიღებს სახეს

$$\frac{t_{\text{პირ}} - T_{\theta}}{\frac{1}{\alpha_{\text{პირ}}} + R_0 + \frac{1}{\alpha_{\text{გარ}}}} = \alpha_{\text{პირ}} (t_{\text{პირ}} - T_{\theta}) \quad (3.17)$$



ამ განტოლებიდან კი მივიღებთ შემომზღული კონსტრუქციის თერმული წინააღმდეგობის გამოსათვლელ ფორმულას მასზე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების დროს

$$R_0 = \frac{t_{\text{ვირ}} - t_{\text{გ}}}{\alpha_{\text{ვირ}}(t_m - t_{\text{ფ}}) + \alpha_{\text{გარ}}(t_0 - t_m)} \quad (3.18)$$

თუ შემომზღულ კონსტრუქციაზე ჭავლი არ ზემოქმედებს  $t_m = t_0 = t_{\text{გ}}$  და (3.18) ფორმულიდან როგორც კერძო შემთხვევა მიიღება (3.14) ფორმულა, რომელიც ასახავს თბოგაცემის პროცესს ჩვეულებრივ პირობებში ანუ ბუნებრივი კონვექციის დროს.

ამრიგად მივიღეთ განტოლება, რომელიც გვამლევს საშუალებას დავთვალოთ თბოდანაკარგების სიდიდე ჭავლის მოქმედების ზონაში. ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობის შესანარჩუნებლად საჭიროა წინა პარაგრაფში განხილული შემთხვევების გათვალისწინება ზედაპირის ტემპერატურისათვის, ხოლო  $R_0$  ყოველთვის მეტი უნდა იყოს გრად.დდ. გათვალისწინებულ თერმიულ წინაღობაზე.

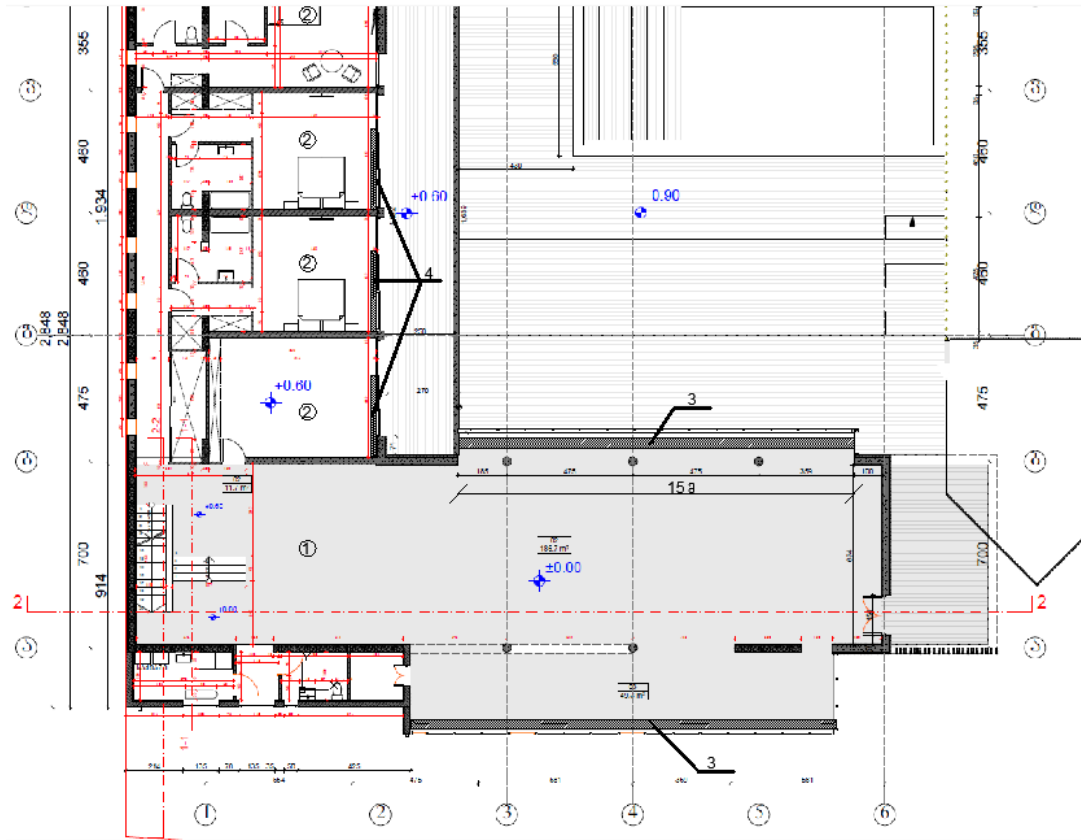
#### **4. ჩატარებული კვლევების ექსპერიმენტული შემოწმება, გამოყენება და რეკომენდაციები**

მიღებული თეორიული კვლევის რეზულტატების პრაქტიკაში დანერგვის და სათანადო რეკომენდაციების დამუშავების მიზნით დამუშავებული იქნა კონკრეტული საცხოვრებელი სახლის მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების პროექტები, რომელიც განხორციელდა ქ.თბილისის შემოგარენში და უკვე ნატურულ პირობებში 2 წლის მანძილზე ვაწარმოებდით გაზომვებს, რომ დაგვედგინა ჩვენი დაშვების სისწორე და დაგვემუშავებინა რეკომენდაციები შემდგომში მსგავსი ტიპის შენობების თბური რეჟიმის უზრუნველსაყოფად.

##### **4.1 ექსპერიმენტული შენობის მოკლე აღწერილობა და მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის გამოყენებული სისტემები**

საცხოვრებელი სახლი განლაგებულია სამ ნიშნულზე და მისი საერთო ფართი 600 კვ. მეტრამდეა. შენობა აგებულია მონოლითური რკინაბეტონისგან, რომლის კედლის სისქე თავდაპირველად იყო 30 სმ. ასეთი გარსის მქონე შენობა მიუღებელია როგორც თბოტექნიკური ასევე სანიტარულ-ჰიგიენური თვალსაზრისით. ეს საკითხები განხილულია დისერტაციის I თავში. გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა ქ.თბილისის ირგვლივ (წყნეთი, კოჯორი, საგურამო, წავკისი და ა.შ.) -14<sup>0</sup> C –ის ტოლია, განსხვავებით ქ.თბილისისგან სადაც საანგარიშოდ მიღებულია -8<sup>0</sup>C. სათავსის ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა ნორმების თანახმად +20-22<sup>0</sup>C– ია. მიღებული ტემპერატურული პირობების დროს ექსპლუატაციის პირობებში მოსალოდნელი იყო ტენის მუდმივი გამოყოფა როგორც კედლის ზედაპირებზე, ასევე მის სიზრქეში.

გარდა ამისა შენობის უმეტესი ნაწილი შემოფარგლულია პანორამული



ნახ.4.1 საცხოვრებელი სახლის 0.00 ნიშნულის გეგმა

ფანჯრებით (ვიტრაჟებით) რომელთა თერმული წინააღმდეგობა რკინაბეტონის კედლის თერმულ წინააღმდეგობაზე ნაკლებია. აგებული სახლის ერთ-ერთი ნიშნულის გეგმა ნაჩვენებია ნახ.4.1

1-არის პანორამული ფანჯრებით შემოფარგლული დარბაზი-სათავსი, რომლის ფართი 260 მ<sup>2</sup> – მდებარე და ამ სათავსს ჩრდილო-დასავლეთით და სამხრეთ-აღმოსავლეთით აქვს 4 მეტრი სიმაღლის ვიტრაჟი რომლის სიგრძე თითოეულ მხარეზე 15 მ-ია (ნახ.4.2)



**სურ.4.2.ა დარბაზის სამხრეთ-აღმოსავლეთით განლაგებული ვიტრაჟი  
იატაკქვეშა კონვექტორი**



**სურ.4.2 ბ დარბაზის ჩრდილო-დასავლეთით განლაგებული ვიტრაჟი  
იატაკქვეშა კონვექტორი**

2-არის საცხოვრებელი და სამინებელი ოთახები, რომლებიც აგრეთვე შემოფარგლულია პანორამული ფანჯრებით რომელთა სიმაღლე 2.7 მ-ია. შემინვის ქვედა ნაწილში 30 სმ-ის სიმაღლეზე დატოვებულია კედელი (ნახ. 4.3)



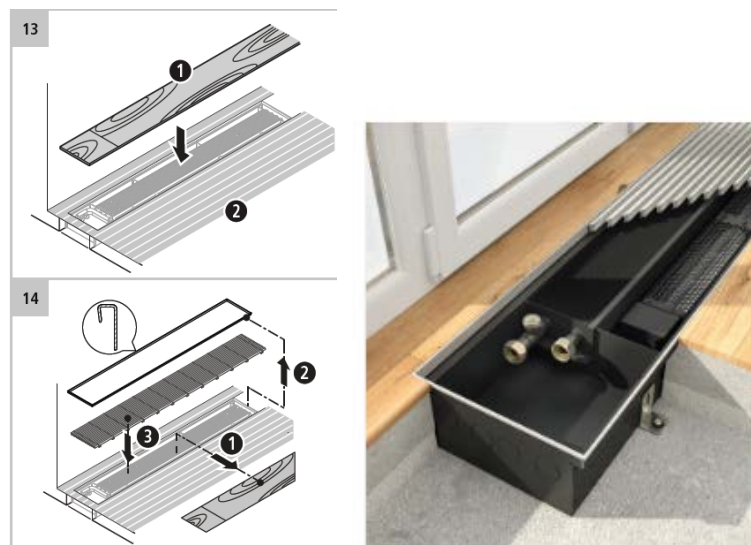
**სურ.4.3 საცხოვერბელსა და საძინებელში განლაგებული პანორამული  
შემინვა, დაბალი კონვექტორი**

ჩვენს წინაშე იდგა ამოცანა შეგვერჩია ნახ. 4.2 გათბობის ისეთი სისტემა, რომელიც სათავსში უზრუნველყოფდა საანგარიშო ტემპერატურას ( $t_{\text{в}}=+20-22^{\circ}\text{C}$ ) ასევე გამორიცხავდა ტენის გამოყოფას შემომზღული კონსტრუქციების ზედაპირებზე და მის სიზრქეში. ჩვენთვის კარგად ცნობილი რადიატორული გათბობის სისტემა ასეთ არქიტექტურული-გეგმარებით სათავსებში ვერ უზრუნველყოფს ტემპერატურულ კომფორტს რადგანაც რადიატორული გათბობის დროს დიდია ტემპერატურული გრადიენტი როგორც სათავსის სიმაღლეზე ასევე მის სიღრმეში. გარდა ამისა შემომზღული კონსტრუქციის განსაკუთრებით პანორამული ფანჯრების ცივ ზედაპირებთან წარმოქმნილი ქვემოთ მიმართული ცივი ნაკადები აღწევენ, რა სათავსის მუშა ზონაში იწვევენ დისკომფორტს, რომ აღარაფერი ვთქვათ სათავსის არაესთეტიკურ ხედზე, მათში კომპაქტური სათბობი ხელსაწყოების განლაგების დროს.

შემომზღული კონსტრუქციების (გარე კედლები, გადახურვა) კომპლექსური თბოტექნიკური გაანგარიშების საფუძველზე

დათბუნებული იქნა როგორც რკინაბეტონის კედლები ასევე გადახურვა.მათი თბოგადაცემის კოეფიციენტები მიყვანილ იქნა EnEv-2014 ნორმების დონემდე [4] (ნახ.1.2), რომლს თანახმადაც მასიური კედლების თბოგადაცემა  $U=0.28-0.36$  ვტ/მ<sup>2</sup> °C. გარდა ამისა გადახურვის დათბუნება შერჩეულ იქნა ისე, რომ გარდა ზამთრის ტემპერატურული რეჟიმის მოთხოვნებისა დაკმაყოფილებული იქნა ზაფხულის პირობებიც, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ შეთავაზებული დათბუნების გათვალისწინებით გადახურვის შიგა ზედაპირის ტემპერატურული რხევის ამპლიტუდა 1°C არ გადააჭარბებს ე.ი.  $A_i < A_{i,დახ} = 1.5-2^{\circ}C$

1-ლი სათავსის (დარბაზის) გათბობა შერჩეულია ისე რომ პანორამული ფანჯრები დაფარული იყოს ნახ.4.2 დაფენილი ჭავლებით. ამ კონკრეტული შემთხვევაში გამოყენებული გვაქვს გრავიტაციული (თბური) ჭავლები.ამ მიზნით ვიტრაჟების გასწვრივ იატაკში მოეწყო ბეტონის არხები, რომლის სიგანეა 25 სმ ხოლო სიღრმე 20 სმ ნახ4.4

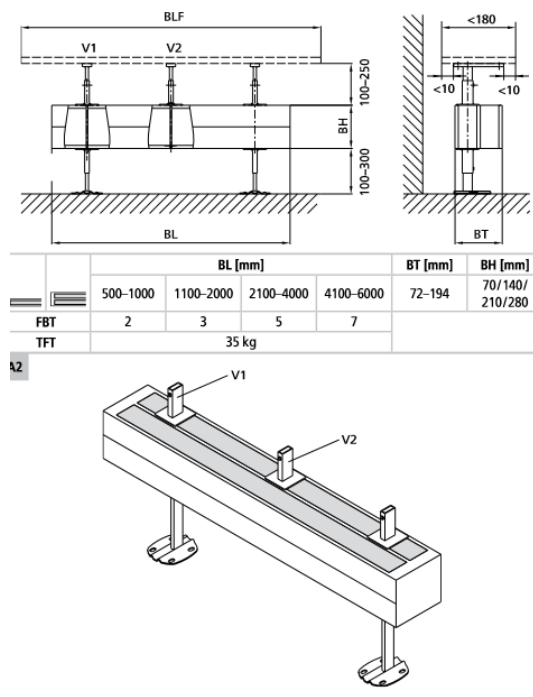


**ნახ.4.4 იატაკქვეშა კონვექტორი**

არხში ვიტრაჟის მთელ სიგრძეზე მოთავსებულია სახურებელი ელემენტი, რომელიც წარმოადგენს სპილენძის მილს დიამეტრით 20 მმ, მასზე მოწყობილი ალუმინის წიბოებით, რომელთა სიმაღლე 10 სმ-ია ნახ.4.2 ეს წიბოები მოწყობილია თბოგადაცემის ფართის გაზრდის

მიზნით[62].იატაკში გაყვანილი ბეტონის არხი ზემოდან იფარება დეკორატიული გისოსით. ჩვენ შემთხვევაში გამოყენებული ქარხნული წესით დამზადებული იატაკქვეშა კონვექტორი.

სათავსებში 2 გამოყენებულია ასევე ქარხნული წესით დამზადებული დაბალი კონვექტორი ნახ.4.5. ეს კონვექტორი რომელიც წარმოადგენს აგრეთვე სპილენძის გაწიბოვებულ მილს, დაფარულია დეკორატიული პანელით და მოთავსებულია პანორამული ფანჯრის რაფის ქვეშ [62.] კონვექტორებში თბომატარებლად გამოყენებულია წყალი,რომლის პარამეტრების რეგულირებაც გარემო ჰაერის ტემპერატურის მიხედვით ხდება კედლის საკონდენსაციო გაზის ქვაბში, რომლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ცხელი (მისაწოდებელი) წყლის ტემპერატურის მიხედვით (95-108) % -ის ფარგლებში იცვლება.



**ნახ.4.5 დაბალი კონვექტორი**

ორივე შემთხვევაში პანორამული ფანჯრების თბური დაცვა ხორციელდება კოანდას ეფექტზე დაფუძნებული მცოცავი გრავიტაციული ჭავლებით.ჭავლის პარამეტრების რეგულირებით, რომელსაც უზრუნველყოფს თბოგენერატორის მდოვრე რეგულირების სისტემა,

რომელიც გაზის ხარჯის რეგულირების საშუალებით უზრუნველყოფს თბომომცველის საჭირო პარამეტრებს. უშუალოდ კონვექტორებიდან გამოსული გრავიტაციული ჭავლის საწყის პარამეტრებს არეგულირებს უშუალოდ ხელსაწყობთან დაყენებული თერმოსტატვენტლები.

კონვექტორების სახურებელი ელემენტების თბოგაცემის ფართო დიაპაზონში რეგულირების შესაძლებლობის გამო გაზის საკონდენსაციო ქვაბი შევცვალოთ თბური ტუმბოთი, რომლის სიმძლავრის კოეფიციენტიც დაბალიპოტენციურ რეჟიმში ( $t_{a\text{წ}}=+35^{\circ}\text{C}$ ) მუშაობის დროს ოთხს აღწევს, რაც თბილისის პირობებში სავსებით შესაძლებელია უზრუნველყოფილი იქნას “ჰაერი-წყლის” თბური ტუმბოთი. ანალოგიური ჭავლური თბური დაცვის სისტემა გამოყენებულია შენობის სხვა სათავსებშიც, ეს ორი სათავსი მოვიყვანეთ იმიტომ რომ გაზომვებს ვაწარმოებდით მხოლოდ ამ ორ სათავსებში.

პროექტის შედგენის დროს ჩატარებული ანგარიშები გვიჩვენებს, რომ შენობის ექსპლუატაციის პირობებში თბური დატვირთვა იქნება (100-120) ვტ/მ<sup>2</sup>წლ რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ევროპული სტანდარტიზაციის მიხედვით შენობა მიეკუთვნება B კლასის ენერგოეფექტურ შენობებს [90]. სამომავლოდ ეს შენობა თბური ენერჯის მოხმარების თვალსაზრისით შეიძლება გადაკეთდეს ნულოვანი ენერგომოხმარების ანუ ZERO სტანდარტის შესაბამის შენობად. ამ მიზნით საჭირო იქნება გაზის საკონდენსაციო ქვაბის შეცვლა თბური ტუმბოთი, როდესაც უკვე გამორიცხული იქნება ნამწვი გაზების გაფრქვევა გარემოში [21]

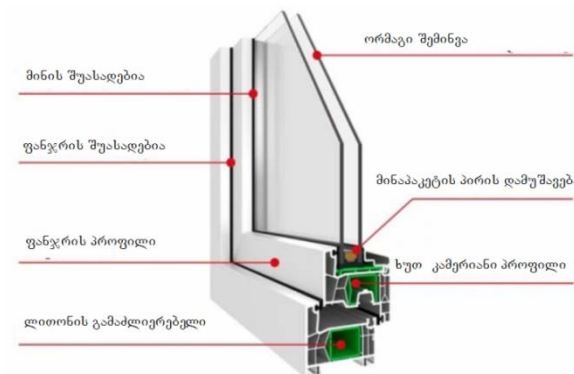
## 4.2 გაზომვების შედეგები და ანალიზი

ექსპერიმენტული გაზომვები ვაწარმოეთ ორ ძირითად სათავსში. სათავსი №1 (ნახ. 4.1) რომლის ფართებია 260 მ<sup>2</sup> და სიმაღლე 4.0 მ. სათავსის ორი ძირითადი შემომზღუდი კონსტრუქცია ჩრდილო-დასავლეთით და სამხრეთ-აღმოსავლეთით შესრულებულია ვიტრაჟის ტიპის ორმაგი კონსტრუქციის პანორამული ფანჯრებით (ნახ.4.2 ა,ბ)

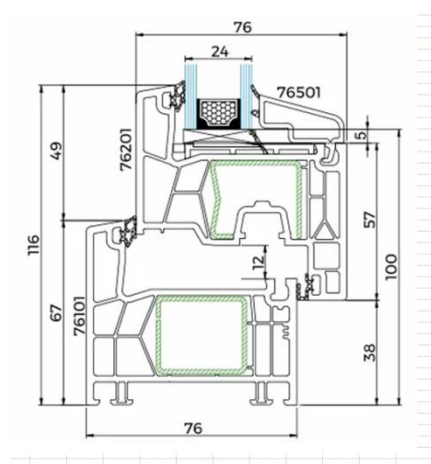


მათი სიმაღლე იატაკიდან ჭერამდე 4 მ-ია. ფანჯრის ძირითადი თობტექნიკური მახასიათებელი, თბოგადაცემის კოეფიციენტი  $U=1.2$  ვტ/მ<sup>2</sup> °K (ნახ.4.6)

ა)



ბ)



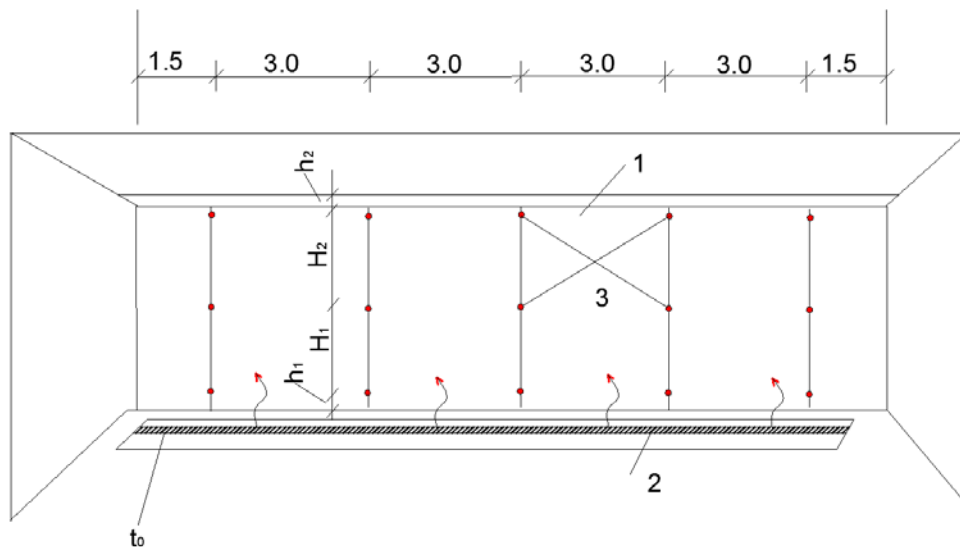
**ნახ.4.6 ალუმინის ჩარჩოიანი ხუთკამერიანი ორმაგი პანორამული ფანჯარა;**

**ა-ფანჯრის ზოგადი ხედი; ბ- ალუმინის პროფილი;**

რომელიც ეთანადება ენერგოეფექტურობის D კლასს შემინული ზედა-პირებისათვის და იგი წარმოადგენს სტანდარტულ ფანჯარას, მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ვიტრაჟების თბოგადაცემა 2.4 ჯერ ნაკლებია, ვიდრე საქართველოში მასიურ მშენებლობაში გამოყენებული მინაპაკეტებისა, რომელთა თბოგადაცემა ტოლია  $U=2.8$  ვტ/მ<sup>2</sup>K

ევროპული კლასიფიკაციის მიხედვით შემინული ზედაპირებისათვის ენერგოეფექტურობის ყველაზე დაბალი კლასია G რომლის თბოგადაცემა  $U_w \leq 1.5$  ვტ/მ<sup>2</sup>K ხოლო ყველაზე მაღალი კლასია A+++ რომლის თბოგადაცემა  $U_w \leq 0.8$  ვტ/მ<sup>2</sup> K და ითვლება ფანჯრის ძალიან კარგ კონსტრუქციად. შერჩეული ფანჯრის ორმაგი მინის თბოგადაცემაა  $U_{\text{მინ}} = 1.1$  ვტ/მ<sup>2</sup> K მაგრამ, როგორც წესი საანგარიშოდ აიღება ჯამური თბოგადაცემა, რომელიც შემინვასთან ერთად ითვალისწინებს ალუმინის მრავალკამერიან კონსტრუქციასაც. ჭავლური თბური დაცვის ძირითადი პარამეტრების ანგარიშის დროს მნიშვნელოვან სიდიდეს სწორედ შემინული ზედაპირის თბოგადაცემა წარმოადგენს რაც მეტია U მით უფრო ძლიერი სახურებელი ელემენტი გამოიყენება დაფენილი ჭავლის სასურველ პარამეტრების მისაღებად და მით მეტი ენერგია იქნება საჭირო თბური დაცვის უზრუნველსაყოფად.

ვიტრაჟის ზედაპირის ტემპერატურა გაზომილ იქნა ლაზერული თერმომეტრის საშუალებით 15 ძირითად წერტილში რომელთა განლაგება ნაჩვენებია ნახ.4.7-ზე. გამოსვლის კვეთში გრავიტაციული ჭავლის ტემპერატურა შეადგენდა 35 50 და 60 °C (ნახ.4.7)



ნახ.4.7 სათავსი №1-ის პანორამული ფანჯრის (ვიტრაჟის)

ტემპერატურული გაზომვების სქემა

1 – ვიტრაჟი; 2 – იატაკქვეშა კონვექტორი; 3 – გაზომვების წერტილები

გამოსვლის კვეთში ტემპერატურის ცვლილება ანუ რეგულირება ხდებოდა როგორც უშუალოდ სათბობ ხელსაწყოსთან მოწყობილ თერმოსტატ-ვენტილის საშუალებით ასევე ქვაბზე მოწყობილ ტემპერატურის რეგულატორის საშუალებით. ამ ექსპერიმენტის მიზანი ზუსტი-პრეციზიული გაზომვა არ ყოფილა, არამედ შემოწმებითი, ტემპერატურის საბოლოო სიდიდის დადგენა, რომელიც სისტემის გაშვება-გამართვითი სამუშაოების ჩატარების დროს ხდება, რომ დადგინდეს გათბობის სისტემის სამუშაო საექსპლუატაციო პარამეტრები. ოთახის ჰაერის ტემპერატურა  $16-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  - ში ფარგლებში მერყეობდა. გაზომვები ჩატარდა გარე ჰაერის  $t_{\text{გ}}=-3^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროს. მართალია გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  - ია მაგრამ ეს არის ყველაზე ცივი ხუთდღიურის საშუალო ტემპერატურა და შესაძლებელია გათბობის სეზონის განმავლობაში ეს ტემპერატურა საერთოდ არ დაფიქსირდეს. თუმცა რამდენიმე დღეღამის განმავლობაში გარე ჰაერის ტემპერატურა არა თუ ნულს დაბლა ჩამოვიდა, არამედ  $-12^{\circ}\text{C}$  მდე დაეცა. ეს რა თქმა უნდა მოხდა ღამის საათებში, მაგრამ გათბობის სისტემა ისეთი მარაგით ეწყობა, რომ თბური კომფორტი უზრუნველყოფილ უნდა იქნას როგორც საანგარიშო ასევე მასზე დაბალი ტემპერატურის დროსაც კი.

ექსპერიმენტის დროს ვცდილობდით რომ შიგა ზედაპირის ტემპერატურა  $20^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში ყოფილიყო, ამ დროს არც კონდენსატი წარმოიქმნება და არც ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა იცვლება იგი ფაქტიურად აღარ არსებობს.

ტემპერატურული გაზომვების შედეგები გარე ჰაერის ორი მნიშვნელობისათვის  $t_{\text{გ}}=-3^{\circ}\text{C}$  და  $t_{\text{გ}}=2^{\circ}\text{C}$  წარმოდგენილი გვაქვს ცხრილის სახით ცხრ.4.1

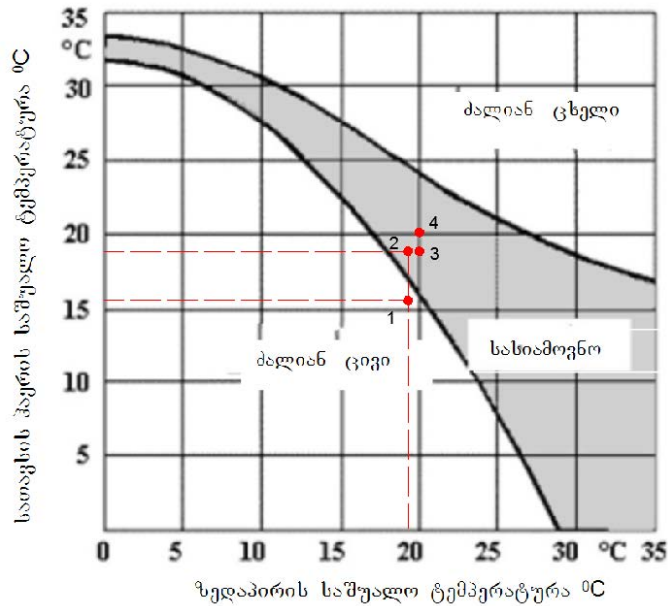
ცხრ.4.1 ტემპერატურული ველი №1 სათავსში

$t_g$ °C	$t_0$ °C	$t_w$ საშ °C	$t_{\text{შ}} \text{ საშ}$ °C	$t_{\text{ჭერ}}$ °C	$t_{\text{იატ}}$ °C
-3	35	18	16	18	14
	50	19	18	20	15
	60	20	18	20	16
2	35	19	18	19	16
	50	21	20	22	16
	60	22	20	22	17

ტემპერატურები გაზომილი გვაქვს ისეთი მახასიათებელი წერტილებისათვის როგორცაა ჭერი, იატაკი და ბუნებრივია თვით პანორამული ფანჯრის ზედაპირი. ზედაპირის ტემპერატურა თითქმის თანაბარია და გადახრა საშუალო ტემპერატურიდან 0.5-1.5 °C- ის ფარგლებშია, იგივე ტემპერატურული რეჟიმი მყარდება სათავსის მოცულობაში და ჭერთან. ჭერი საკმაოდ დათბუნებულია ( $U_0=0.3\text{ვტ/მ}^2\text{ K}$ ) გარდა ამისა კონვექციური თბური ნაკადი საკმაოდ დიდია ამ ზედაპირთან რაც გამოწვეულია ჰაერის თბილი მასის გადაადგილებით სათავსის მოცულობიდან ჭერისაკენ. შედარებით დაბალია ტემპერატურა იატაკის გასწვრივ, რაც გამოწვეულია ამ ზედაპირის ცივი კონვექციური დინებით. იმ შემთხვევაში თუ სათავსი განლაგებული იქნება გამთბარ სათავსზე აღნიშნული გარემოება აღმოიფხვრება. ჩვენს შემთხვევაში იატაკი განლაგებული იყო გაუმთბარ (ცივ) სარდაფზე ამიტომაც მისი ტემპერატურა ნორმაზე დაბლა ეცემოდა (იხ.ცხრ. 4.1) იმ შემთხვევაში როდესაც გარე ჰაერის ტემპერატურა ნულზე დაბლა დაეცა იატაკის ზედაპირთან ტემპერატურა 12-14 °C მდე დაიწია, რაც საგრძნობ დისკომფორტს იწვევს სათავსში. ამ მოვლენის აღმოფხვრის მიზნით ჩვენი კონკრეტული შემთხვევისათვის ჯერ კიდევ პროექტის შედგენის სტადიაზე გავითვალისწინეთ თბილი იატაკის მოწყობა, რომელიც

მიეკუთვნება დაბალტემპერატურულ გათბობის სახეს. იატაკის ზედაპირის ტემპერატურა  $24-26\text{ }^{\circ}\text{C}$  ფარგლებში მერყეობდა, მაშინ როდესაც გარე ჰაერის ტემპერატურა უარყოფით ნიშნულებამდე იყო დაწეული თბილი იატაკი დამატებით წარმოქმნის რა აღმავალ კონვექციურ დინებას სითბოს მნიშვნელოვან რაოდენობას ირგვლივ განლაგებულ ზედაპირებს სითბოს გადასცემს გამოსხივებით რაც მნიშვნელოვნად ზრდის თბური კომფორტის პირობებს. განხილულ სათავსში როგორც იატაკის, ასევე კონვექტორული გათბობა ცალ-ცალკე უზრუნველყოფენ ამ სათავსის ნორმალურ თბურ რეჟიმს. მათი ერთობლივი მოქმედება საჭირო ხდება მხოლოდ პიკური თბური დატვირთვების დროს ან ჩვენი კლიმატის შესაბამისი ტემპერატურულ პირობებში მკვეთრი აცივების პირობებში, რომელიც განსხვავებით ჩრდილოეთი ქვეყნებისგან სულ რაღაც  $0-5^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის დროსაა მოსალოდნელი.

გაზომვების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ შემომზადული კონსტრუქციების, უმეტესწილად ვიტრაჟის ტიპის პანორამული ფანჯრების თბური დაცვა გრავიტაციული ჭავლებით, სათავსში თბური კომფორტის შექმნის ეფექტური საშუალებაა. გრავიტაციული ჭავლით თბური დაცვის დროს ტემპერატურული (თბური) კომფორტის გრაფიკული ინტერპრეტაცია ნაჩვენებია 4.8 ნახაზზე, რომლის აბსცისათა ღერძზე დატანილია შემინული ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა  $t_w$  ხოლო ორდინატთა ღერძზე სათავსის ჰაერის საშუალო ტემპერატურა,  $t_{\infty}(t_a)$ . როგორც ამ გრაფიკიდან ირკვევა როდესაც



**ნახ.4.8 გრაფიტაციული ჭავლით თბური დაცვის დროს ტემპერატურული (თბური) კომფორტის გრაფიკული ინტერპრეტაცია**

ზედაპირის ტემპერატურაა  $18^{\circ}\text{C}$  სათავსის ჰაერის ტემპერატურა კი  $16^{\circ}\text{C}$  ეს მდგომარეობა წერტილი 1 გამოსულია თბური კომფორტის პირობებიდან. იმისათვის, რომ უზრუნველვყოთ ტემპერატურული კომფორტი საჭიროა გრაფიტაციული ჭავლის საწყისი ტემპერატურის  $t_0$  გაზრდა რაც ზრდის ზედაპირის ტემპერატურას ისე, რომ უზრუნველყოფილ იქნას სათავსის ტემპერატურული კომფორტი. ჩვენი შემთხვევისათვის გამოსვლის კვეთში ჰაერის ტემპერატურის გაზრდით  $35$ -დან  $50^{\circ}\text{C}$  – მდე შესაძლებელია ზედაპირის ტემპერატურის ( $18$ - $20^{\circ}\text{C}$ )-ის ფარგლებში შენარჩუნება (წერტილები 2 და 3) ამ პირობებისათვის გარე ჰაერის ტემპერატურა იყო  $0^{\circ}\text{C}$  – ის ფარგლებში. გარე ჰაერის უფრო დაბალი ტემპერატურის დროს საჭირო ხდება გრაფიტაციული ჭავლის საწყისი ტემპერატურის გაზრდა. ზედაპირის ტემპერატურის გაზრდით  $20$ -დან  $22^{\circ}\text{C}$  – მდე შესაძლებელი ხდება სათავსის ჰაერის  $15$ - $16^{\circ}\text{C}$ –მდე დაწვევა. ზედაპირის ტემპერატურების უფრო მაღალ ტემპერატურამდე გაზრდა იძლევა საშუალებას გარემო ჰაერის შედარებით დაბალ ტემპერატურულ პირობებში უზრუნველვყოთ ტემპერატურული

კომფორტი. ეს უკვე სხივური გათბობის სფეროა და გამოიყენება ღია სივრცეების ( სტადიონები, კაფე რესტორნები და ა.შ.) გასათბობად[25].

### **4.3 შენობათა ჭავლური თბური დაცვის გაანგარიშების**

#### **საინჟინრო მეთოდი**

შენობათა თბური დაცვის მიზანია შენობის ისეთი გარსის შექმნა, რომელიც მის მოცულობაში ისეთი მიკროკლიმატის შექმნას უზრუნველყოფს, რომელიც აუცილებელია ადამიანის სიცოცხლის-უნარიანობის და ტექნოლოგიური ან საყოფაცხოვრებო დანადგარების მუშაობის განსახორციელებლად. გარდა ამისა უნდა დაიცვას შენობები ატმოსფერული ზემოქმედებისაგან და უზრუნველყოს გათბობისა და ვენტილაციის სისტემებში თბური ენერჯის ეფექტური ხარჯვა. შენობათა თბური დაცვა მისი ცალკეული კონსტრუქციული ელემენტების თბურ დაცვასაც გულისხმობს. შენობათა თბური დაცვა მთელ რიგი ნორმებისა და სტანდარტების [23,18,19,20,4]. საფუძველზე ხორციელდება, რომლებიც შენობის შემომზადებულ კონსტრუქციებთან ერთად მისი საინჟინრო სისტემებით უზრუნველყოფაში გამოიხატება.ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევა რომელიც შემომზადებული კონსტრუქციების თბურ დაცვას ემსახურება მათზე დაფენილი სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების ზემოქმედებისას სწორედ ამ მიზანს ემსახურება და ნორმატიულ საპროექტო სამშენებლო-სამონტაჟო და საექსპლუატაციო მოთხოვნებში გარკვეული კორექტივები შეაქვს.

აქედან გამომდინარე მიზანშეწონილად ჩავთავლეთ ჩვენი კვლევების მონაცემთა საფუძველზე დაგვემუშავებინა ჭავლური თბური დაცვის საინჟინრო გათვლის მეთოდიკა, რომელიც გამოყენებული იქნება შენობათა როგორც დაპროექტების ასევე ექსპლუატაციის სტადიაზე.

მეთოდიკა გულისხმობს შემომზადებული კონსტრუქციების ძირითად თბოტექნიკური მახასიათებლების დადგენისას, დაფენილი ჭავლის პარამეტრების განსაზღვრის და მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემის სწორ შერჩევას.

მეთოდის განსხვავდება შემომზადებული კონსტრუქციების ძირითადი თბოტექნიკური მახასიათებლების საჭირო თერმული წინააღმდეგობის ( $R_{0\text{საჭ}}$ )  $CH\Pi$  –სეულ განსაზღვრისაგან, რომელიც გულისხმობს ამ კონსტრუქციის შიგა ზედაპირთან ბუნებრივ კონვეციას და რადიაციას სათავსის მხრიდან, რაც ჩვეულებრივ პირობებში, გარკვეული დაშვებებით მისაღებია.

შემომზადებულ კონსტრუქციაზე დაფენილი ჭავლის გავრცელების დროს (ნახ 3.1) სათავსის გათბობა ხდება არა კონვექციით როგორც ეს მთელ რიგ გათბობის სისტემებში ხდება, არამედ რადიაციით (გამოსხივებით). დაფენილი ჭავლები, როგორც იძულებითი, ასევე გრავიტაციული, ჭავლის მიერ გადატანილ მთელ სითბოს ახმარენ შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის გაზრდას, რომლის რადიაციული ნაწილი ( $q_{\text{რად}}$ ) სხივფენით (გამოსხივებით) გადაეცემა სათავსს, ხოლო კონვექციური ნაწილი შემომზადებული კონსტრუქციის თბოგამტარობით გადაეცემა მის გარე ზედაპირს საიდანაც კონვექციით და გამოსხივებით გარემოში გაიბნევა.

ამ ფიზიკური თავისებურების გამო შემომზადებულ კონსტრუქციებთან დაფენილი ჭავლების წარმოქმნა გათბობის სისტემებს რადიაციულ ან გამოსხივებით გათბობის სისტემებს მიაკუთვნებენ. ასეთ სისტემებს მიეკუთვნება პლინტუსური გათბობა. კონვექტორული გათბობა კედლის ძირში მოწყობილი დაბალი კონვექტორებით, იატაკქვეშა არხის კონექტორები და კედლის სხივური სათბობი სისტემები. სხივური სისტემების პრინციპული სქემა დაფენილი ჭავლების დროს ნაჩვენებია 3.2 ნახაზზე.

სხივური ანუ რადიაციული სათბობ სისტემებში კონვექცია გამორიცხულია და სითბოს მთლიანი რაოდენობა მხოლოდ გამოსხივებით გადაეცემა სათავსს თბური გამოსხივება იგივე ელექტრომაგნიტური გამოსხივებაა, რომელიც გასცემს სხეული მისი შინაგანი ენერჯის ხარჯზე. ყველა სხეული ამა თუ იმ ხარისხით ასხივებს



ელექტრომაგნიტურ ტალღებს. სხეული, რომელიც ძალიან მაღალ ტემპერატურამდე თბება ანათებს, ხოლო ნორმალური ანუ ჩვეულებრივ ტემპერატურამდე გამთბარი სხეულები ითვლებიან ინფრაწითელ გამოსხივების წყაროებად. სწორედ ასეთებს მიეკუთვნება გათბობის ტექნიკაში გამოყენებული პანელურ-სხივური სისტემები-იატაკის, ჭერის, კედლი და ა.შ.[25]

თბური გამოსხივებას ახასიათებს გამოსხივების უწყვეტი სპექტრი და იგი დამოკიდებულია სხეულის ტემპერატურაზე, რომელიც შესაბამისი სიგრძის ელექტრომაგნიტურ ტალღებს წამოქმნის. სხეულის მაღალი ტემპერატურა წამოქმნის მოკლე ელექტრომაგნიტურ ტალღებს. მათ ულტრაიისფერ გამოსხივებას უწოდებენ, რადგანაც ისინი იწვევენ ნათებას. დაბალი ტემპერატურის დროს წარმოქმნილი ინფრაწითელი გამოსხივებაა გრძელ ელექტრომაგნიტური ტალღებით ხასიათდება.[25]

სხეულის მიერ გამოსხივებით სითბოს რაოდენობა სტეფან-ბოლცმანის კანონით განისაზღვრება, რომლის თანახმადაც სხეულის მიერ გამოსხივებით სითბოს რაოდენობა მისი აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია

$$Q = \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (4.1)$$

სადაც:

$\varepsilon$ - გამოსხივების კოეფიციენტი და იცვლება 0-დან 1-მდე;

$\sigma$  – სტეფან-ბოლცმანის მუდმივა და იგი ტოლია  $\sigma = 5.6710^{-8}$  ვტ/მ<sup>2</sup> K<sup>4</sup>

A- გამოსხივების ზედაპირის ფართობი მ<sup>2</sup>

T - გამოსხივების ზედაპირის ტემპერატურა <sup>0</sup>K

სიდიდე  $\varepsilon$  ცნობილია აგრეთვე, როგორც სხეულის სიშავის ხარისხი და იგი მაქსიმალურია აბსოლუტურად შავი სხეულებისთვის.

სათავსის პირობებში, როდესაც გვაქვს რომელიღაც ცხელი ზედაპირი ფართით F მ<sup>2</sup> და აბსოლუტური ტემპერატურით T<sub>1</sub> <sup>0</sup>K და ცივი ზედაპირი ფართით F<sub>2</sub> და ტემპერატურით T<sub>2</sub> მაშინ F<sub>1</sub>

ზედაპრიდან გამოსხივებით გაცემული სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით

$$Q = \varepsilon \sigma F_1(T_1^4 - T_2^4) \quad (4.2)$$

სითბოს ეს რაოდენობა შთაინთქმება სათავსში განლაგებული ზედაპირების მიერ, ანუ ეს იქნება ის რადიაციული სითბო, რომელიც ცხელი ზედაპირიდან გადაეცემა სათავსს ამიტომაც (4.1) ფორმულაში  $T_2$  ტემპერატურა შეგვიძლია მივიღოთ სათავსის ჰაერის ტემპერატურად ე.ი.

$$T_2 = t_{\text{აგ}} \quad (4.3)$$

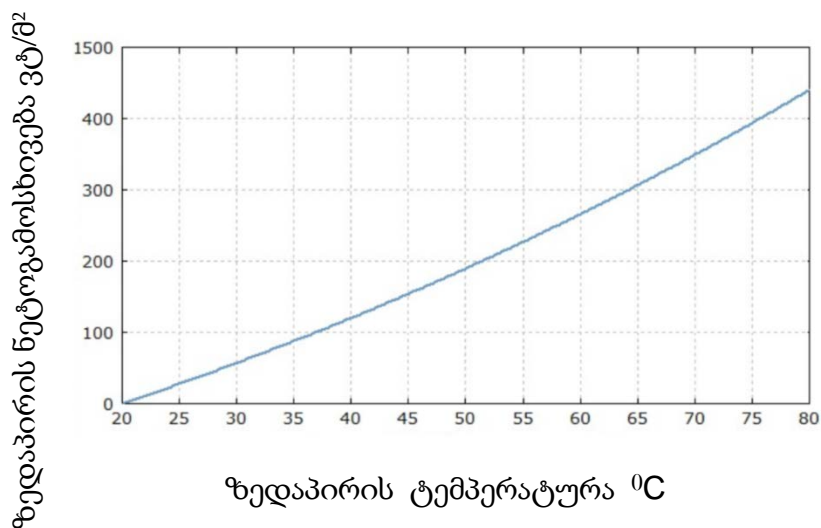
ყველა სხეული ასხივებს რა თბურ ენერგიას შთანთქავს კიდევ მას. სხეული, რომელიც უფრო მეტ ენერგიას ასხივებს ვიდრე შთანთქავს ცივდება და პირიქით სხეული, რომელიც უფრო მეტ ენერგიას შთანთქავს ვიდრე ასხივებს თბება. სწორედ ეს პრინციპი უდევს საფუძვლად ჭავლური თბური დაცვის სისტემის გამოყენებას სათავსის თბური რეჟიმის უზრუნველსაყოფად.

შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირი რომლის ტემპერატურა  $t_{\text{ა}} = T_1$  გამოსხივებით გაცემს სითბოს სათავსს, რომლის ტემპერატურაა  $t_{\text{ბ}} = T_2$  ამიტომაც შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირი ცივდება ხოლო სათავსი თბება. იმისათვის, რომ ზედაპირმა შეინარჩუნოს მუდმივი ტემპერატურა  $t_{\text{ა}} = \text{const.}$  საჭიროა სათავსში რადიაციით გაცემული სითბოს რაოდენობის კომპენსაცია ეს კი მოხდება დაფენილი ჭავლის პარამეტრების შერჩევით. ამ დროს გათვალისწინებული უნდა იქნას აგრეთვე სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც გადაეცემა გარემოს. (4.2) ფორმულის საფუძველზე აგებულია გრაფიკი (ნახ4.9) რომელიც გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ ზედაპირიდან გაცემული სითბოს რაოდენობა ვტ, რომელსაც გაცემს ცხელი ზედაპირის 1 კვ.მ მისი ტემპერატურის მიხედვით. [91]

ამ გრაფიკის ორდინატთა ღერძზე ნაჩვენებია ზედაპირის ე.წ. ნეტოგამოსხივება

$$Q_{\text{netto}} = Q_{\text{სრ.რად}} - Q_{\text{შთანქ}} \quad (4.4)$$

რომელიც წარმოადგენს ზედაპირის მიერ გამოსხივებულ ( $Q_{\text{სრ.რად}}$ ) და შთანთქმულ ( $Q_{\text{შთანქ.}}$ ) სხივურ ნაკადებს შორის სხვაობას ანუ სხივური ენერჯიის იმ რაოდენობას, რომელიც სითბოს სახით გადაეცემა სათავსს



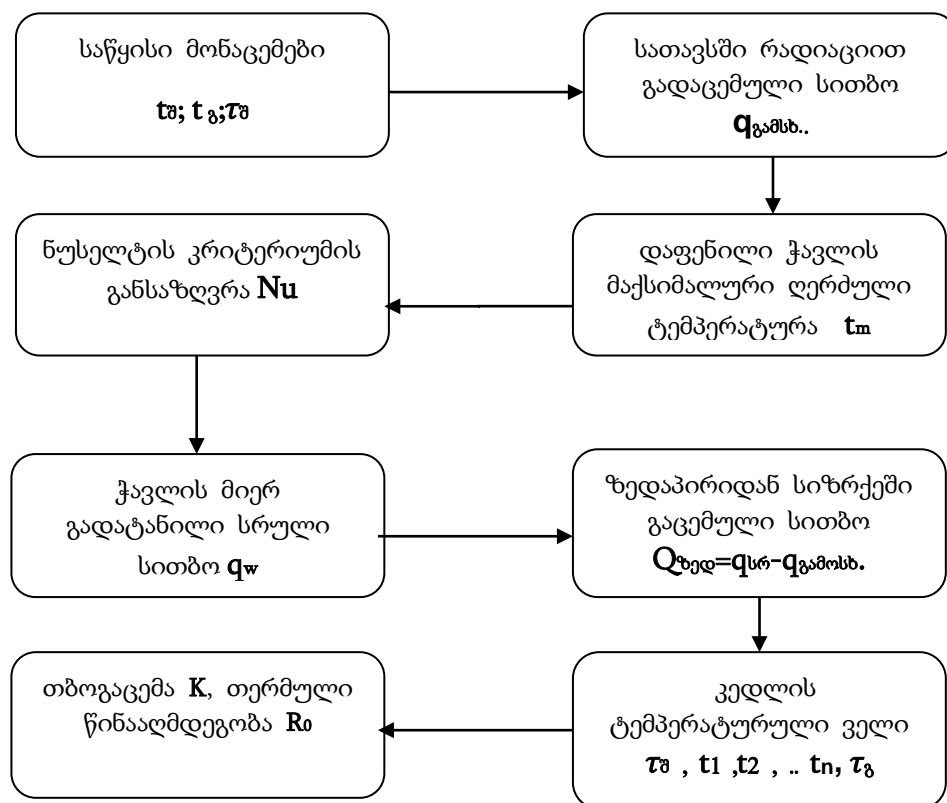
**ნახ.4.9 ზედაპირის გამოსხივების დამოკიდებულება მის ტემპერატურაზე**

თბური რეჟიმის ფორმირება ხდება ორი მიმართულებით : პირველი შემომზღუდი კონსტრუქციის ტემპერატურული ველის განსაზღვრით, რომელიც თავისთავად კონსტრუქციის შრეების მასალების თბოფიზიკური მახასიათებლებით განისაზღვრება და მეორე დაფენილი ჭავლის ზემოქმედების ზონაში თბოგაცემის პროცესის მახასიათებელი პარამეტრების განსაზღვრით, რაც გულისხმობს ჭავლის ძირითადი პარამეტრების და თბური ნაკადების განსაზღვრას.

შემომზღუდი კონსტრუქციის თბოგაცემის განსაზღვრისათვის საჭიროა მისი მთავარი თბოფიზიკური მახასიათებლის (თბოგადაცემის კოეფიციენტის ან თერმული წინააღმდეგობა) განსაზღვრა. ამ მიზნით საჭიროა წინასწარ დავადგინოთ სათავსის და გარემოს საანგარიშო პარამეტრები ანუ სათავსის და გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურები, რომლებიც შესაბამისი ნორმატივებით განისაზღვრება [19,20]. ასევე ნორმებით განისაზღვრება სათავსის ჰაერსა და გარე კედლის შიგა ზედაპირს შორის არსებული ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა

( $\Delta t^{წორმ}$ ) და საჭირო თერმული წინააღმდეგობა ( $R_{0საჭ}$ ). მაგრამ ასეთი მიდგომა ჭავლური თბური დაცვის ფიზიკურ მოდელს არ შეესაბამება. ამიტომ სათავსისა და გარე ჰაერის ტემპერატურებთან ერთად წინასწარ უნდა დავადგინოთ გარე კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურაც, რაც კედლის პანელური გათბობის პირობების შეესაბამება. თბილ კედლისა და სათავსის ჰაერს შორის ტემპერატურული სხვაობა ამ დროს 11 °C არ უნდა აღემატებოდეს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ადამიანი თავს არაკომფორტულად გრძნობს ანუ სათავსში სადაც კედელი ასხივებს სითბოს მისი ზედაპირის ტემპერატურა უნდა იყოს 29-31 °C ფარგლებში [92,25]

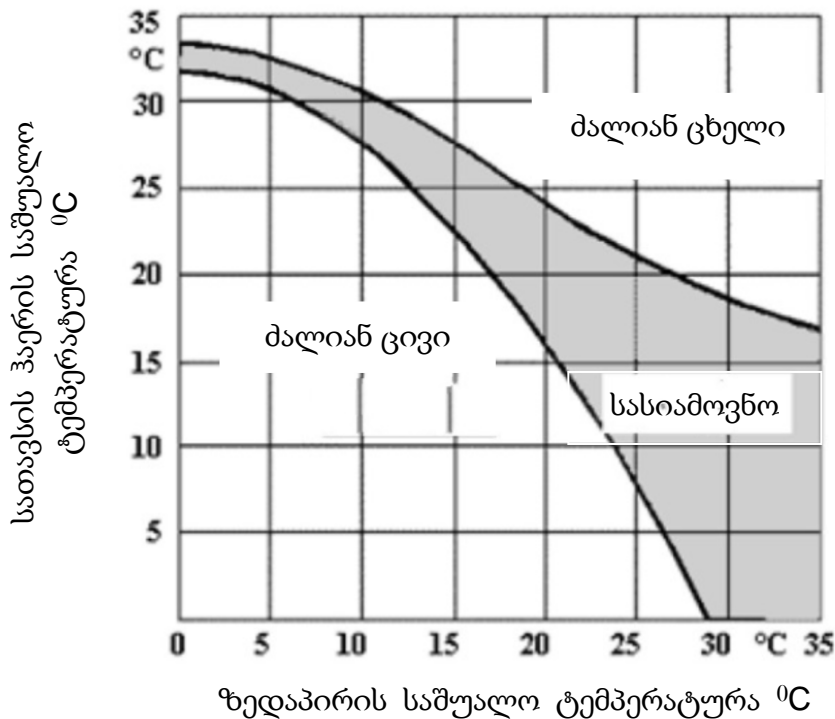
თბური რეჟიმის გათვლის ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდის შეგვიძლია წარმოვადგინოთ შემდეგი ბლოკ-სქემით



**ნახ.4.10 თბური რეჟიმის გათვლის ბლოკ-სქემა**

ამ ბლოკ სქემის მიხედვით გათვალისწინებული კომპლექსური თბოტექნიკური გაანგარიშება მოიცავს შვიდ პუნქტს, რომლებიც შემდეგი რეკომენდაციებით უნდა შესრულდეს:

1. სათავსის და გარემოს ტემპერატურები შესაბამისი რეგლამენტებით [23] უნდა განისაზღვროს ხოლო შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა აიღება



**ნახ.4.11 თერმული კომფორტულობის დამოკიდებულება სათავსის ჰაერის და შემომზადებული კონსტრუქციის ზედაპირის ტემპერატურებს შორის თანაფარდობაზე**

ნახ.2 ნაჩვენები გრაფიკის მიხედვით, ეს ტემპერატურა შეიძლება იყოს სათავსის ჰაერის ტემპერატურაზე მეტი ნაკლები ან ტოლი. ნაკლებობის შემთხვევაში დაცული უნდა იქნას სანჰიგიენური ნორმებით გათვალისწინებული ნორმირებული ტემპერატურული სხვაობა,  $\Delta t^{ნორმ.}$ . მეტობის შემთხვევაში შიგა ზედაპირის ტემპერატურა შეიძლება განისაზღვროს კედლის გათბობის სისტემის ანალოგიურად. ამ დროს

$$t_a = t_{\text{a}} + (4-10) \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.5)$$

ტოლობის შემთხვევაში კედლის შიგა ზედაპირსა და სათავსის ჰაერს შორის თბოგაცემას ადგილი არ ექნება და ამ დროს ჭავლის მიერ

მიწოდებული მთელი სითბოს რაოდენობა დაიხარჯება შემომზღული კონსტრუქციის თბოდანაკარგის ანაზღაურებაზე

2. სათავსში გამოსხივებით გაცემული თბური ნაკადის სიდიდე,  $q_{\text{გამოს}}$  განისაზღვრება ნახ.4.9 წარმოდგენილი გრაფიკის მიხედვით

3. ნუსელტის კრიტერიუმის განსაზღვრა უნდა მოხდეს მეორე თავში მიღებული კრიტერიალური განტოლებების მიხედვით:

იძულებითი ჭავლის ძირითად უბნისთვის

$$Nu_0 = 0.54 Re_0^{0.867} \left( \frac{S}{L} \right)^{0.567} \quad (4.6)$$

გრავიტაციული ჭავლისათვის

$$Nu_0 = 0.21 Gr_0^{1/3} \left( \frac{d_0}{L} \right)^{0.25} \quad (4.7)$$

$Re_0$  და  $Gr_0$  კრიტერიუმების სიდიდეები განისაზღვრება ჭავლის გეომეტრიული და ფიზიკური პარამეტრებით.

4. ჭავლის მაქსიმალური ღერძული ტემპერატურები ჭავლის სახეობის მიხედვით განისაზღვრება შესაბამისად (2.31) და (2.43) ფორმულების მიხედვით.

5. ჭავლის მიერ გადატანილი სრული სითბო განისაზღვრება ნუსელტის კრიტერიუმის მიხედვით რადგან  $Nu_0 = \frac{q_w d_0}{\theta_{m\lambda}}$  გვექნება  $q_{\text{სრ}} = \frac{Nu_0 \lambda}{d_0} \square_m$

6. სრული სითბოს ნაწილი ზედაპირიდან გამოსხივებით გადაეცემა სათავს, ხოლო ნაწილი თბოგამტარობით კედლის სიზრქის გავლით გადაეცემა გარემოს

$$\text{ე.ი. } q_{\text{ზედ}} = q_{\text{გამტ}} = q_{\text{სრ}} - q_{\text{გამსხ}}$$

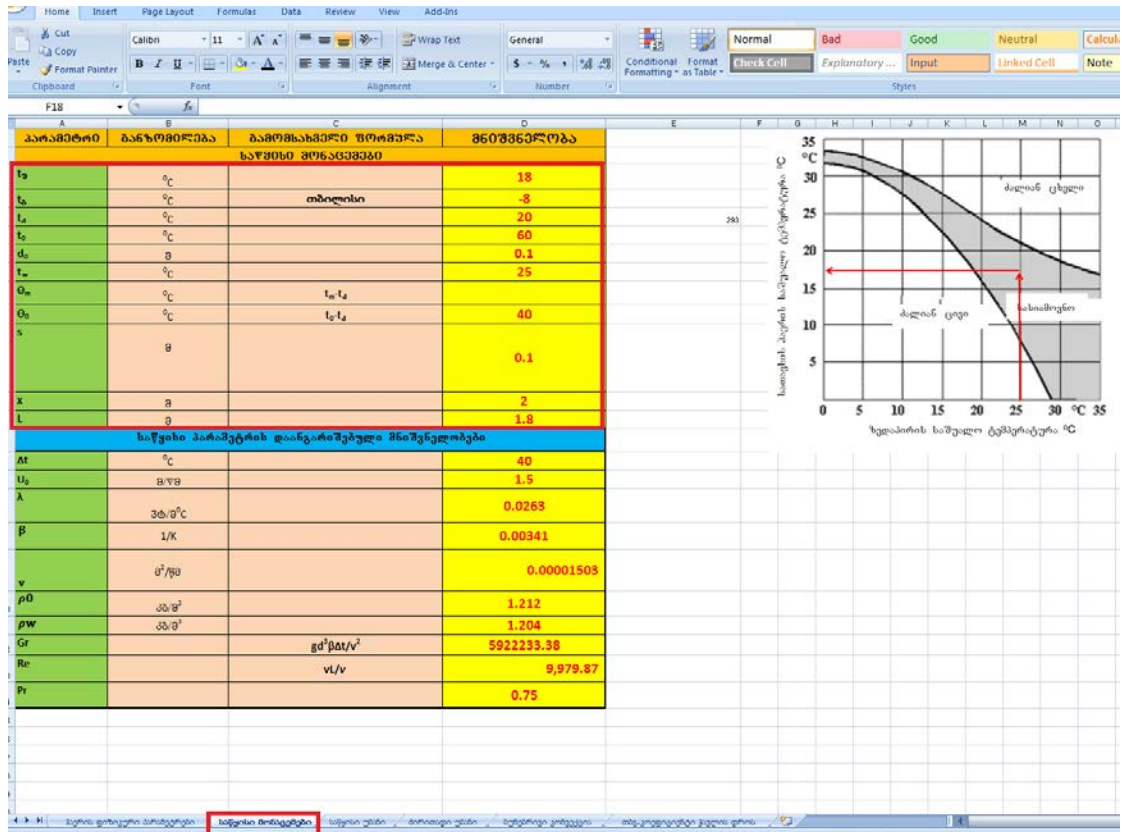
7. განისაზღვრება ბრტყელი მრავალშრიანი კედლის ტემპერატურული ველი, რაც ნიშნავს მატერიალური შრეების საზღვრებზე ტემპერატურების განსაზღვრას. შემდეგ აიგება სათანადო გრაფიკი და მოხდება ტემპერატურული ველის ცვლილების ანალიზი

8. განისაზღვრება შემომზადებული კონსტრუქციის თბოგადაცემის კოეფიციენტი და საჭირო და ფაქტიური თერმული წინააღდეგობები.

#### 4.4 დაფენილი თბური ჭავლის პარამეტრების განსაზღვრა EXCEL-ში დამუშავებული პროგრამის საშუალებით

წინა თავებში მიღებული თეორიული შედეგების და ჩვენს მიერ შემუშავებული შენობათა ჭავლური თბური დაცვის გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდის შემოთავაზებული მეთოდიკის მიხედვით წარმოდგენილი ბლოკ-სქემის საფუძველზე პროგრამა EXCEL-ში შევიმუშავეთ ჭავლური თბური დაცვის გაანგარიშების ავტომატური პროგრამა, რომელშიც ყველა საჭირო საწყისი პარამეტრების ჩაწერით როგორებიცაა  $t_a; t_g; T_a; t_0$  პროგრამა ავტომატურად ირჩევს მითითებული ტემპერატურის მიხედვით ჰაერის ფიზიკურ პარამეტრებს: კინემატიკური სიბლანტე, ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი, სიმკვრივე, ჰაერის თბოგამტარობის კოეფიციენტი და სხვა. აღნიშნული პარამეტრების საფუძველზე ახდენს Re და Gr უგანზომილებო კრიტერიუმების გაანგარიშებას ამის შემდეგ ავტომატურად იანგარიშება როგორც ბუნებრივი ასევე იძულებითი ჭავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურა  $t_m$  საწყის და ძირითად უბნებზე ჰიდროდინამიური და თერმული სასაზღვრო შრეების სისქეები, ნუსელტის კრიტერიუმები Nu ასევე აღნიშნული უბნებისთვის სითბოს გადაცემის კოეფიციენტები და საბოლოოდ შემომზადდ კონსტრუქციაზე დაფენილი ჭავლის მოქმედების ზონაში თერმული წინაღობის კოეფიციენტის მნიშვნელობები.

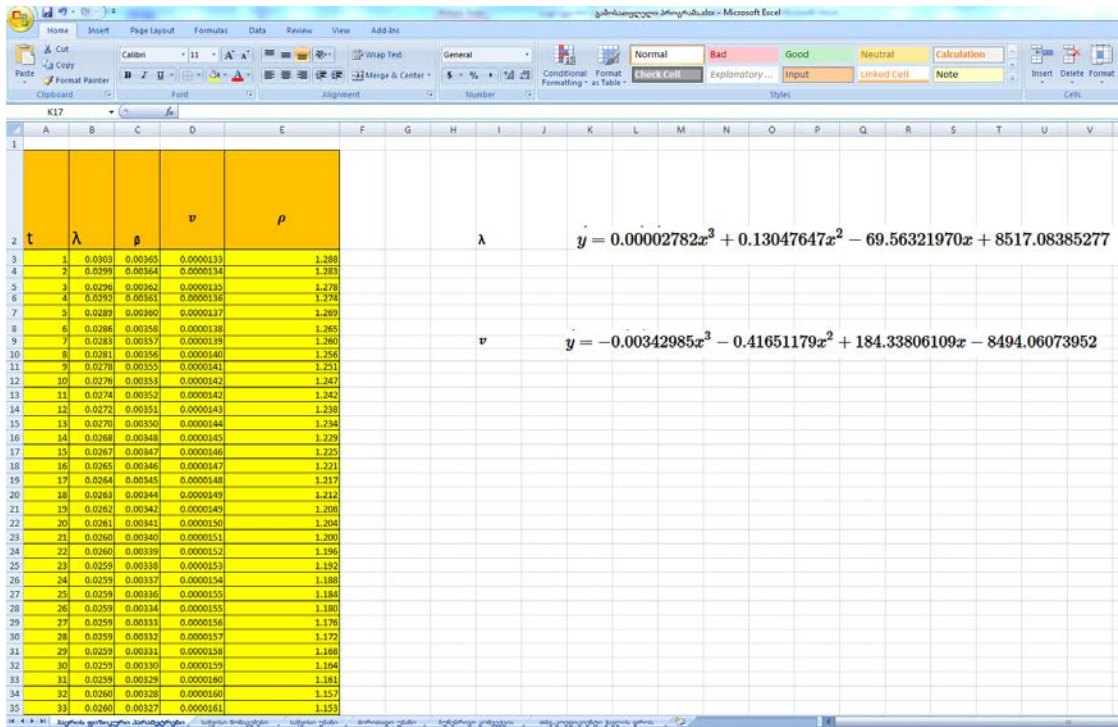
პროგრამა შედგება ექვსი ჩანართისგან პირველი ჩანართი “საწყისი მონაცემები” ნახ. 4.12 ხდება ხელით საჭირო პარამეტრების შეყვანა  $t_a; t_g; T_a; t_0$



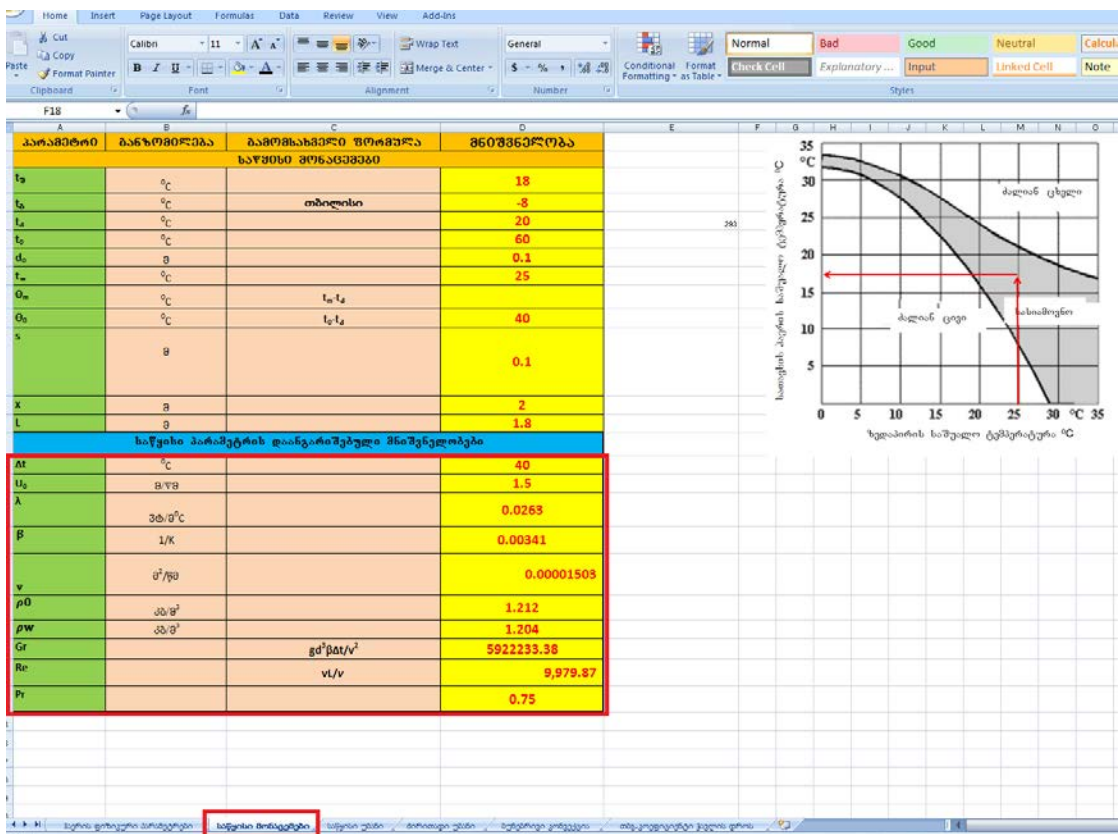
ცხრ 4.2 ჩანართი “საწყისი პარამეტრები “.საწყისი პარამეტრების მითითება

პარამეტრების მნიშვნელობების მითითების შემდეგ პროგრამა ავტომატურად ირჩევს ჩანართი “ჰაერის ფიზიკური თვისებები”-დან მითითებული ტემპერატურის შესაბამისად ჰაერის საჭირო ფიზიკურ პარამეტრებს [93] და სვავს შესაბამის უჯრაში რის შემდეგაც ანგარიშობს  $Re$  და  $Gr$  კრიტერიუმების მნიშვნელობებს





ცხრ.4.3 ჩანართი “ჰაერის ფიზიკური თვისებები” .



ცხრ.4.4 ჩანართი “საწყისი პარამეტრები” პროგრამის მიერ ჰაერის ფიზიკური პარამეტრების განსაზღვრა

ზემოთ აღნიშული პარამეტრების მითითებით და რეინოლდსის და გრასხოფის კრიტერიუმების რიცხვითი მნიშვნელობების ანგარიშის შემდეგ პროგრამა წინასწარ, ჩვენს მიერ ნაშრომის ფარგლებში მიღებული თეორიული შედეგების და მითითებული ალგორითმის მიხედვით ავტომატურად ანგარიშობს ჰიდროდინამიური და თერმული სასაზღვრო შრეების სისქეებს, ასევე ნუსელტის კრიტერიუმის საშუალო და ლოკალურ მნიშვნელობებს ნახ.4.5 ნახ.4.6 შემომზადდი კონსტრუქციაზე იძულებითი თბური ჭავლის ზემოქმედების დროს, როგორც ჭავლის საწყის ასევე ძირითად უბნებზე

გამომსახველი ფორმულა	რიცხვითი მნიშვნელობა
$b/x=0.188Re_0^{-2/15}*(p_w/p_0)^{0.866}*(s/x)^{2/15}$	0.004
b, მმ	7.37
$N_u=0.01*Re_0^{0.867}*(s/x)^{0.133}$	19.69
$U_m$	$U_0$
$t_m$	$t_0$

ცხრ.4.5 ჩანართი “საწყისი უბანი”.

ქირითადი უბანი	
გამომსახველი ფორმულა	რიცხვითი მნიშვნელობა
$b/x=0.026*Re_0^{-2/15}*(\rho_w/\rho_0)^{0.866}*(s/x)^{1/15}$	0.006
$b_t/x=0.0267*Re_0^{-2/15}*(\rho_w/\rho_0)^{0.866}*(s/x)^{1/15}$	0.006
$b, \text{ მმ}$	12.43
$b_t, \text{ მმ}$	12.43
$NU=0.0323*Re_0^{0.867}*(s/x)^{0.567}$	63.59
$NU=0.54*Re_0^{0.867}*(s/L)^{0.567}$	307.54
$U_m=3.8U_0(s/x)^{0.5} \text{ მ/წმ}$	1.27
$\Theta_m/\Theta_0=3/2(b_0/x)^{1/2}; t_m-t_w=(t_0-t_w)*3/2(b_0/x)^{1/2}$	13.4
$t_m=t_w+(t_0-t_w)*3/2(b_0/x)^{1/2}$	33.4

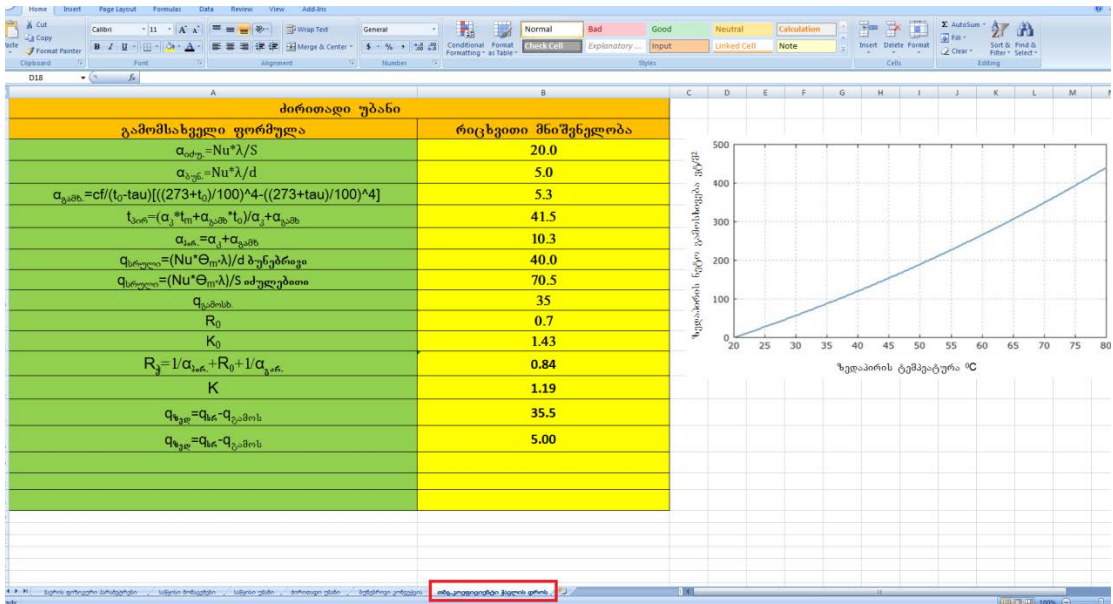
ცხრ.4.6 ჩანართი “ქირითადი უბანი”.

ანალოგიური პარამეტრების მნიშვნელობები მიიღება ბუნებრივი კოვექციისთვის ჩანართი “ბუნებრივი კონვექცია” ნახ.4.7

ბუნებრივი კონვექცია	
გამომსახველი ფორმულა	რიცხვითი მნიშვნელობა
$b=2.9*v^{1/3}*(g*B*A)^{-1/6}*x^{0.616}$ , მ	0.016
$A=0.34*(t_0-t_w)*(t_0-t_k)/(t_0-t_\infty)*d^{0.7}$	3.10
$b$ , მმ	16.36
$U_m=0.94*(g*B*0.34*(t_0-t_j)(t_0-t_j/t_0-t_\infty)*d^{0.7})^{1/2}*x^{0.15}$ ; მ/წმ	1.27
$NU=0.21Gr^{1/3}*(d_0/L)^{0.25}$	17.5
$\theta_m=t_m-t_w=0.34(t_0-t_w)*(t_0-t_j/t_0-t_\infty)*(d/x)^{0.7}$	1.9
$t_m=t_w+0.34(t_0-t_w)*(t_0-t_j/t_0-t_\infty)*(d/x)^{0.7}$	21.9

ცხრ.4.7 ჩანართი “ბუნებრივი კონვექცია”.

და საბოლოოდ ჩანართი “თბოგაცემის კოეფიციენტი ჭავლის ზემოქმედების დროს” პროგრამა ჩვენს მიერ მითითებული ალგორითმის მიხედვით ავტომატურად ითვლის შემომზღულ კონსტრუქციაზე როგორც ბუნებრივი ასევე იძულებითი თბური ჭავლის ზემოქმედების დროს თბოგაცემის კოეფიციენტების მნიშვნელობებს ასევე ჭავლის მიერ შემომზღული კონსტრუქციის შიდა ზედაპირზე გადაცემული მთლიანი სითბოს რაოდენობას ვტ/მ<sup>2</sup> და შემომზღული კონსტრუქციის თერმული წინაღობის კოეფიციენტს ჭავლის მოქმედების ზონაში .



ცხრ.4.8 ჩანართი “თბგ.კოეფიციენტი დაფენილი ჭავლის დროს”.

ამრიგად ზემოთ აღწერილი პროგრამა შესაძლებელს ხდის ჩვენს მიერ სადოქტორო ნაშრომის ფარგლებში მიღებული თეორიული შედეგების პრაქტიკულ გამოყენების საშუალებას.

## დასკვნა

1. თანამედროვე სამშენებლო დარგის ერთ-ერთი ინოვაციური მიმართულებაა ენერგოეფექტური მშენებლობა, რაც გულისხმობს თბური ენერჯის მნიშვნელოვან დაზოგვას მაქსიმალურად კომფორტული გარემოს უზუნველყოფით
2. შენობების ენერგოეფექტურობის მიღწევა შესაძლებელია მისი გარსის ოპტიმალური თბოფიზიკური მახასიათებლების შერჩევით და მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის ენერგოდამზოგი ტექნოლოგიების გამოყენებით, რომელთა ერთობლივი მოქმედება შენობათა თბური დაცვის მახასიათებლების მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას იწვევს.
3. შენობათა თბური დაცვა, რომელიც მისი შემომზღუდი კონსტრუქციების თბური დაცვით განისაზღვრება მნიშვნელოვან წილად დამოკიდებულია სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების ორგანიზებულ განაწილებაზე, მის სწორ გათვლასა და შენობათა საჰაერო რეჟიმის ოპტიმალური საექსპლუატაციო პარამეტრების დადგენაზე.
4. შემომზღუდი კონსტრუქციების თბური დაცვის ნაერსახეობიდან მნიშვნელოვანია მათი თბური დაცვა დაფენილი ჭავლების მეშვეობით, რომლებიც წარმოიქმნება სითბოს ხაზობრივ წყაროებთან ბუნებრივი (გრავიტაციული) კონვექციის გზით ან მიიღწევა იძულებითი სათბობ-სავენტილაციო ჭავლების ორგანიზებული მიწოდებით ამ კონსტრუქციის მხები მიმართულებით.
5. სასაზღვრო შრის თეორიის საფუძველზე შესწავლილია კონვექციით თბოგაცემა ბრტყელი დაფენილ ჭავლსა და შემომზღუდი კონსტრუქციის ზედაპირს შორის, გამოყენებულია კოანდას ეფექტზე დაფენილი მცოცავი დინების მოდელი რომელიც ტექნიკის მრავალ დარგში გამოყენებასთან ერთად წარმატებით გამოიყენება სათბობ-სავენტილაციო ჭავლებში მათი სხვადასხვა სახის ზედაპირებთან გავრცელებს დროს.
6. სასაზღვრო შრის მოძრაობის რაოდენობის და ენერჯის ინტეგრალურ განტოლებათა ამოხსნით, კარმან-პოლჰაუზენის მეთოდის გამოყენებით

მიღებულია შემომზადდ კონსტრუქციებთან გავრცელებული დაფენილი ჭავლების ისეთი ძირითადი მახასიათებლების მნიშვნელობები როგორცაა კედლისპირა სასაზღვრო შრის სისქე ტემპერატურის განაწილება ამ შრეში და მაქსიმალური ღერძული ტემპერატურის ცვლილება დინების მიმართულებით. ამოხსნები მიღებულია როგორც გრავიტაციული ასევე იძულებითი ჭავლებისთვის.ამ პარამეტრების მიხედვით მიღებულია კრიტერიალური განტოლებები კონვექციით თბოგაცემის ლოკალური და საშუალო კოეფიციენტების გამო-სათვლელად, დაფენილი ჭავლის გავრცელების მთელ ზონაში

7. შესწავლილია შემომზადდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირთან დაფენილი ჭავლის და ქვემოთ მიმართული ცივი ნაკადის ურთიერთქმედების ე.წ. შეგუბებულ ზონაში თბოგაცემა. მიღებულია ამ ზონაში თბოგაცემის კოეფიციენტის საანგარიშო გამოსახულება. დადგენილია შემხვედრი დინების დროს სასაზღვრო შრეების მოწყვეტის წერტილები, შერეული ნაკადის ტრაექტორია და დაფენილი ჭავლის შოსრსმსროლობა.

8. ბრტყელი კედლის თბოგაცემის ანალიზის საფუძველზე შედგენილია სხვადასხვა ტემპერატურულ-ტენიანობრივი რეჟიმის პირობებისათვის შემომზადდი კონსტრუქციის ძირითადი თბოტექნიკური მახასიათებლების ცვლილების დინამიკა მათზე სხვადასხვა პარამეტრების დაფენილი ჭავლების ზემოქმედების დროს, რაც საფუძვლად უდევს პარამეტრების დადგენას მის შემდგომ გაანგარიშებას და დაპროექტებას.

9. დამუშავებულია შენობათა ჭავლური თბური დაცვის გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს შენობათა თბური კომფორტის პარამეტრების ფართო სპექტრს და წარმოდგენილია რეკომენდაციები მიკროკლიმატის უზრუნველყოფის სისტემების შესარჩევად, შენობათა გარკვეული არქიტექტურულ-კონსტრუქციული თავისებურებების გათვალისწინებით.

დამუშავებულია თბური დაცვის პარამეტრების ანგარიშის პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც გვაძლევს საშუალებას საინჟინრო სისტემების გათვლის შრომატევადი პროცესი ავიცილოთ თავიდან ან საგრძნობლად გავამარტივოთ.



## გამოყენებული ლიტერატურა

1. გრძელიშვილი მ. , გორგობიანი ო., გათბობა, თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2015, 265 გვ.
2. Tiator, Ingolf Heizungsanlagen. Einbeck Deutschland: Voge-Verlag, 2015, 340s.
3. Kersten Sven Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2014-2016), EnergieAgentur.NRW. Letzte Änderung <https://enev-online.de/enev/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 15.09.2020
4. Energieeinsparverordnung EnEV 2004-2021  
<https://enev-online.de/enev/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 17.01.2021
5. Sommer A.W. Passivhauser: Planung-Konstruktion-Details-Beispiele, Deutschland Koln , Verlagsgesellschaft Rudolf Muller GmbH & Co. KG, 2018, 453s.
6. Schlichting H. Gersten K. Boundary Layer Theory. Wiesbaden Deutschland: Springer-Verlag, 2020, 800p.
7. Swan C. DOI: 10/Ato Z.c. coanda effect  
[https://www.sciencegate.app/document/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001902#google\\_vignette](https://www.sciencegate.app/document/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001902#google_vignette) უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 20.10.2019.
8. Richardson David, Understanding the coanda Effect,  
<https://www.continentalindustries.com/DD-Coanda>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 25.11.2018.
9. Heße W. Energieeffiziente Wärmeversorgung von Gebäuden, Wiesbaden , Springer Verlag, 2020, 169s.
10. Гажур А.А. Энергоэффективность. Единая критериальная система оценки территории, инфраструктуры, зданий, процессов, оборудования. Москва: Кнорус, 2018, 236 стр.
11. Щеглов С. Основы проектирования энергоэффективного здания. Москва: ООО “ТехНИКОЛЬ Строительные Системы”, 2021, 114 стр.
12. Desideri U. Asdrubali F. Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach Kindle Edition. England Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018, 858p.
13. Cengel Y. Boles M. Kanoglu M. Thermodynamics: An Engineering Approach. New-York: McGraw-Hill Education , 2019, 1008p.
14. Шилаев М.И Хромова Е.М. Дорошенко Ю.Н. Отопление вентиляция и кондиционирование воздуха. Москва: Юрайт , 2020, 250 стр.

15. რატანი გ. ფურცელაძე ო. ჰაერის კონდიციონირება და სიცივით მომარაგება , თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2015, 250 გვ.
16. Кудинов А.А. Строительная теплофизика, Москва, ИНФРА 2019, 262 стр.
17. Hall M.R., Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings .Cambridge: Woodhead Publishing, 2016, 760p.
18. СП 60.13330.2020, Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Москва: Минстрой России, 2020, 153 стр.
19. ГОСТ-30494-2011, Здания жилые и общественные, параметры микроклимата в помещениях Москва: Госстрой России , 2011, 17 стр.
20. СП 60.13330.2020 (СниП 23-01-99) Строительная климатология , Москва: Минстрой России , 2020, 159 стр.
21. Kreider J.F. Handbook of Heating ventilation and Air conditioning. Florida: CRC Press, 2019, 680p.
22. СП 50.13330.2020, Строительная климатология. Москва: Минстрой, 2020, 153 стр.
23. СП 50.13330.2012, Тепловая защита зданий, Москва: Минстрой России, 2012, 100 стр.
24. გრძელიშვილი მ. გიორგობიანი ო. არატრადიციული განახლებადი ენერჯით გათბობა, თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2012, 84 გვ.
25. Герасимов Д.Н. Моргунова С.Б, Основы теплообмена излучением. Москва: Лань , 2021, 156 стр.
26. Dietrich Udo, Dental Arno, Thermische Behaglichkeit-Komfort im Gebauden. Havencity Universitat hamburg: IEG, 2021, 37 s.
27. Grundlagen der Thermischen Behaglichkeit ,  
<https://www.e-genius.at/lernfelder/energieeffiziente-gebaudekonzepte/thermische-behaglichkeit/was-sind-die-grundlagen-der-thermischen-behaglichkeit>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 10.01.2020.
28. Малявина Е.Г., Строительная теплофизика и микроклимат зданий. Москва: МСИ-МГСУ, 2018, 288 стр.
29. Post M. Schmidt P. Praktische Bauphysik. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019, 971s.
30. Pinteric M., Building Physic: From physical principles to international standards. Cham Switzerland: Springer-Cham, 2017, 262p.
31. გოდერძიშვილი ს. კოპალიანი ა. გრძელიშვილი მ. შემინული ზედაპირების დაცვა გრავიტაციული ჭავლებით, *ჟურნალი მშენებლობა* #3(52) 2019წ. გვ. 80-84

32. Шибeko A.C. Рутковский M.A. Строительная теплофизика и теплотехнические измерения. Вологда: Инфо-Инженерия, 2020, 288 стр.
33. Еремкин A.И., Королева Т.Н., Тепловой режим зданий. Москва: АСВ, 2020, 368 стр.
34. Протасевич A.M. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. Минск: Высшая школа, 2015, 240 стр.
35. Schew-Raum Mehra Stadt Bauphysik Grundlagen Klima –und Umweltgerechter Stadte. Wiesbaden Deutschland: Springer-Lehrbuch 2020, 371s.
36. Schild K., Willems M. W., Stricker D. Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden Deutschland: Springer Verlag 2019, 573s
37. Willems W. M., Schild K. Stricker D., Feuchtschutz. Wiesbaden: Springer-Verlag 2017, 343s.
38. Haupl P. et al. Lehrbuch der Bauphysik: Schall-Warme-Feuchte-Licht-Brand-Klima, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017, 841s.
39. Medved Saso, Building Physics, Slovenia University of Ljubljana: Springer Cham, 2020, 472p.
40. Мора Р. Бин Р. Тепловой комфорт в помещении, *Журнал АВОК*, 2019, №6 стр. 48-53
41. Maiko Ventilatoren, Praktischer Leitfaden für die Komfort-Lüftung, Adobe Acrobat Document, <https://www.maiko-ventilatoren.com/cms-live/DE/Dokumente/IM0010004.PDF> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 6.09.2021.
42. Колубков A.H. Системы обеспечения микроклимата современных жилых зданий, *Журнал АВОК*, 2021, №1 стр. 18-23
43. Пророкова M.B. Бухмиров B.B. Качество микроклимата и энергосбережения, *Журнал ВЕСТНИК ЧГУ*, 2015, №2 стр. 32-35
44. Устинов. В. Микроклимат и качество воздуха в офисных зданиях, рекомендации, изд. Москва: АВОК, 2014, 23 стр.
45. ASHRAE STANDART-55 Thermal Environmental Conditions of Human Occupancy. USA: ANSI, 2021, 76p.
46. Evans Paul, Thermal Comfort in Buildings <https://theengineeringmindset.com/thermal-comfort-in-buildings/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 20.05.2019.
47. Weiser S., Hiking H., The Body and Thermal Comfort, University of Virginia Posted on Oktober

<https://arch3230samanthaweiser.wordpress.com/2012/10/29/the-body-and-thermal-comfort/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 29.10.2021.

48.Specht E. Prof.Dr.-Ing. Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg “Der Mensch als warmetechnisches System” <https://www.yumpu.com/de/document/view/21552497/der-mensch-als-warmetechnisches-system-otto-von-guericke-> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 22.11.2020.

49.Richter W., Handbuch der Thermischen Behaglichkeit-Sommerlicher Kuhlbetrieb. Dortmund/Berlin/Dresden:BAUA, 2011,116s.

50.Parnsons K. Human Thermal Comfort.Florida: CRC Press,2019,148p.

51.Khalil E.E. Air distribution in buildings. Florida: CRC Press,2014,264p.

52.Martin Zumsteeg Dipl.Ing TH Stuttgart Systemair Technisches Handbuch Luftung Deutschland 2020, 100s.

53.Абрамович Г.Н.Теория турбулентных струй. Москва:ЭКОЛИТ,2011, 720 стр.

54.Виноградов Б.С. Прикладная газовая динамика.Москва:ЭКОЛИТ,2011,352 стр.

55.Посохин В.Н. Аэродинамика вентиляции. Москва:АВОК-ПРЕС, 2008, 210 стр.

56.Beyre Michael ,Eindimensionale Berechnungsmethoden zur Auslegung von Luftungsanlagen in Tunneln unter besonderer Berücksichtigung dreidimensionaler Stromungseffekte, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Technischen Wissenschaften, Technische Universitat Graz, 2018,203s.

57.Марр Ю.Н Воздушно тепловые завесы. Расчет и проектирование завес для защиты проемов промышленных и общественных зданий.Санкт-Петербург:Тепломаш,2017,160стр.

58.Oertel H. Prandtl Fuhrer durch die Stromungslehre: Grundlagen und Phanomene.Wiesbaden:Springer-Vieweg ,2017,797s.

59.Самсонов В. Аэродинамика промышленных зданий.Москва:НИЦ ИНФРА-М,2019,230 стр.

60.Kiel Moe , Thermal Active Surfaces in Architecture. New York: Princeton Architectural Press, 2010,36s.

61.Horner Berndt/ Schmidt Manfred Handbuch der Klimatechnik. Berlin:VDE Verlag, 2018,Band 2,631s.

62. Natural convection trench heaters VERANO 2020

<https://veranoconvector.co.uk/trench-heating.html> უკანასკნელად იქნა  
გადამოწმებული 12.05.2020

63. გოდერძიშვილი ს. თბური ენერჯის ეკონომია შემომზადებული კონსტრუქციების შიდა ზედაპირების ტემპერატურის გაზრდის გზით *ჟურნალი ჰიდროინჟინერია* #1-2(29-30) 2021წ. გვ. 63-69

64. გოდერძიშვილი ს. შენობათა თბური დაცვა პლინტუსური გათბობის დროს *ჟურნალი მშენებლობა* #1-2(31-32) 2022წ. გვ.49-55

65.Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И, Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. Москва:Энергоатмоиздат,1985, 302 стр.

66.Biswas G. Dalal A. Dhir V.K. Fundametlas of convective heat transfer ,Florida: CRC Press,2019,331p

67.რატანი გ, გრძელიშვილი მ., სამშენებლო თბოფიზიკა. თბილისი: განათლება,1979, 205გვ.

68. Mills A.F. Coimbra C.F.M. Basic Heat and Mass Transfer.San-Diego:Temporal Publishing,2015,1025p.

69. Stephan K.,Baehr H.D. Warme –und Stoffubertragung. Wiebaden:Springer-Vieweg ,2016,832s.

70.Карнаух.В.В. Гтнкул С.И. Бирюков А.Б. Теплообменн теория и практика.Вологда: Инфо-Инжинерия,2021,332стр.

71.Савин В.К. К вопросу о турбулентной естественной конвекции у вертикальной изотермической стенки, МоскваТруды НИИСФ.1979, вып22(36),145 стр.

72. Flow Structure and Heat Transfer of jet Impringment on a Rib-Rouhgened Flat plate, <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/6/1550.2018> უკანასკნელად იქნა  
გადამოწმებული 20.12.2020.

73.Брдлик П.М. К вопросу о турбулентной естественной конвекции, *ИФЖ*. 1967, Т13 №2 ст.162-167

74.Брдлик П.М Савин В.К. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный при осесимметричном струйном обтекании плоских поверхностей , расположенных нормально к потоку, *ИФЖ*,1966, Т.11 №4 стр.432-437

75.Chiaasiaan M.S. Convective Heat and Mass Transfer. Florida:CRC Press,2018,652p.

76. Bacher H.D., K.Stepan, Warmee – und Stoffubertragung.Berlin Deutschland, Springer Verlag, 2019,834s.

77. Lienhard John H. IV, Lienhard John H.V ,A Heat Transfer Textbook. Cambridge Massachusetts:Phlogiston Press, 2019,784p.
78. Tien Mo Shih , Numerical Heat Transfer, *An International Journal of Computation and Methodology*, 1988-89, Volume 18, 387-425pp.
79. DeWitt; Bergman; Lavine, Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Hoboken: John Wiley & Sons 8 EDITION, 2017,1045p.
80. Klein Oliver , Jorg Schlenger, Basics-Bauphysik und Haustechnik. Berlin:Birkhäuser Verlag, 2018,87s.
81. Normen Langer, Klaus W. Liersch Bauphysik. Berlin:Beuth Verlag 2020,424s
82. Schulz M. Westkämpfer H., Die neue Heizung. Freiburg: Okobuch Verlag,2013,229s.
83. Шкарковский А.Л , Теплоснабжение ,Санкт-Петербург:Лань,2020,392 стр.
84. Hannoschock Nikolaus Wammleitung und transport:Grundlagen der Wärme- und Stoffübertragung. Wiesbaden: Springer-Vieweg ,2018, 510 s.
85. Hens H. Building Physics Heat, Air and Moisture. Hoboken: John Wiley & Sons 3 EDITION,2017,348p.
86. Кожин И.А. Исаев С.И. Леонтьев А.И. Теория теплообмена. Москва: МГУ им. Н.Э. Баумана ,2018,464 стр.
87. Михеев М.А., Михеева И.М., Основы теплопередачи, Москва: БАСТЕТ,2010, 344 стр.
88. Wtezel T. Bockh P. Heat Transfer. Berlin:Springer-Verlag,2012,276p.
89. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. Москва:ЛКИ,2018,296 стр.
90. Energieeffizienzklassen A+bis H für Gebäude Deutschauftragsagentur  
<https://www.oeffizienzhaus-online.de/energieeffizienzklasse/> , უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 19.01.2022.
91. Seifert Joachim, Flächenheiz- und Flächenkühl-systeme. Wiesbaden: Springer-Verlag 2021,222s.
92. Малышева А.Е. Гигиенические вопросы радиационного теплообмена с окружающей средой. Москва:Медгиз 1968, 242 стр.
93. Vargaftik B.N. Handbook of Thermal conductivity of Liquids and Gases 1st Edition. Florida: CRC Press ,2020,368 p.